

## El rol del suelo en el desarrollo de la agricultura sustentable: la necesidad de integración de procesos del sistema suelo-cultivo-hombre-ambiente

*The role of the soil in getting a sustainable agriculture: The need for integration of the processes of the system soil-crop-human being-environment, and the impact of production system and management practices.*

Rodolfo Delgado<sup>1</sup> y Eduardo Casanova (†)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CENIAP-INIA-Laboratorio de Recursos Agroecológicos, [rdelgado@inia.gob.ve](mailto:rdelgado@inia.gob.ve)

<sup>2</sup>UCV-Facultad de Agronomía-Instituto de Edafología

---

### RESUMEN

El suelo constituye un componente fundamental del sistema suelo-agua-cultivo-hombre-ambiente-clima para el logro del “Bienestar humano, y medio ambiente hospitalario y sano” que constituye uno de los objetivos de la Agricultura Sustentable. En este artículo se analiza el rol del suelo en el desarrollo de una agricultura sustentable, considerando las principales funciones que al mismo se le atribuyen (ej. suplencia de nutrientes y agua, y conservación de C orgánico en el suelo para reducir las emisiones de C-CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera), y el impacto a diferentes niveles de escala espacial (ej. nivel de unidad uniforme de suelo dentro de una finca de producción, y nivel planetario o global). Más aun, se determinan los procesos en el suelo relacionados con las diferentes funciones del mismo, y algunas prácticas de manejo que pueden alterar la intensidad de éstas, así como las características o parámetros de los otros componentes del sistema que pueden ser impulsados. Finalmente, se indican, a manera de ejemplo, algunos aspectos que podrían ser estudiados, para mejorar el conocimiento de las funciones del suelo y la caracterización e integración de los diferentes componentes que intervienen para lograr una agricultura sustentable.

**Palabras Claves:** suelo, sustentabilidad, procesos, funciones del suelo.

### ABSTRACT

The soil is a fundamental component of the system soil-water-crop-human being-environment-climate in getting comfort for the Human being, while keep a healthful and hospitality environment”, which is one of the objectives of the Sustainable Agriculture. In this paper the role of the soil in getting a sustainable agriculture is analyzed, taken in account the main functions attributed to it (i.e. capacity to supply nutrients and water, and conservation of organic C in the soil to mitigate C-CO<sub>2</sub> gas emission to the atmosphere), and their impact at different terrestrial scales (i.e. at a uniform soil unit into a farm, and a global or planetary scale). Moreover, we shown some soil processes related to different soil functions, and management practices which could affect the intensity of them, in addition to characteristics or parameters of the others components of the whole system able to drive those soil processes. Finally we point out, as examples, some issues which could be study, in order to improve our knowledge of the functions of the soil, as well as the importance of integration of the different components of the system to get a sustainable agriculture.

**Key words:** soil, sustainability, processes, functions.

---

## Introducción

La importancia del suelo para la sustentabilidad de la vida en el planeta se puede visualizar del análisis de las funciones o relaciones que el mismo mantiene con los otros componentes del sistema suelo-cultivo-clima-ambiente-hombre (ej. suplencia de nutrientes y agua para los cultivos, hábitat y/o nicho de la biota en el suelo, diversidad biológica, ciclos biogeoquímicos de elementos de importancia para la nutrición mineral de cultivos y otros como CO<sub>2</sub>, metano). Las funciones que se le asignan al suelo para el logro de una agricultura sustentable, se define como “el rol que se le da al suelo de acuerdo a sus capacidades, características, o atributos que posee, y procesos que se desarrollan en él, que pueden ser modificables o alterables por condiciones de manejo”.

Debido a que las características o propiedades del suelo asociadas a las funciones del mismo, son alterables por condiciones de manejo (ej. labranza, manejo de residuos de cosechas, sistemas de producción), es necesario conocer, evaluar, y cuantificar el impacto de éstas en las características, propiedades, y cualidades importantes del suelo y, de manera interactiva, el impacto de estos cambios en los otros componentes del sistema. Mas aun, lo antes indicado sugiere, además de conocer y cuantificar los procesos en el suelo y su asociación con los otros componentes del sistema para la evaluación de la sustentabilidad, la necesidad de integración de los diversos procesos, factores, componentes del suelo, clima, manejo, y mecanismos que permitan la evaluación *ex ante* del impacto de sistemas de producción y practicas de manejo (en el corto, mediano, y largo plazo), en diferentes escenarios de clima, suelo, y manejo.

### **Funciones y procesos importantes en el suelo, e integración con otros componentes del sistema.**

La importancia del suelo en el desarrollo de una agricultura sustentable, se destaca del análisis de los diferentes procesos en el cual este interviene, y de las interrelaciones con características de los otros componentes del sistema que afectan los mismos, y que están relacionados con algunas de las funciones que se le han asignado al suelo. En el Cuadro 1, y a manera de ejemplo, se indican algunas de las funciones importantes del suelo en el marco del desarrollo de una agricultura sustentable, los procesos y/o características relacionadas que se desarrollan en el mismo, la asociación entre procesos o características en los otros componentes del sistema, y algunas estrategias de manejo que podrían alterar los mismos y mejorar las funciones del suelo. Algunas de estas funciones coinciden con las indicadas por De Kimpe y Warkentin (1998), aunque este análisis de la relación del suelo con los otros componentes del sistema, en el marco de una agricultura sustentable, se incluyo la función del suelo en la regulación, transformación y emisión de sustancias que alteran las características beneficiosas de la atmósfera y condiciones climáticas del planeta y la función del suelo como proveedor de medio físico para soportar las plantas, y acondicionador / direccionador / moderador del crecimiento y distribución de la longitud y materia seca del sistema radicular.

Las funciones del suelo para el desarrollo de una agricultura sustentable indicadas en el Cuadro 1 se pueden resumir en: 1) las que están asociadas con la suplencia de nutrimentos y agua para los cultivos, 2) las relacionadas con el mantenimiento de la cadena biótica o trófica, y diversidad biológica en el suelo, 3) las relacionadas con el mantenimiento de las propiedades o características beneficiosas de la atmósfera, condiciones climáticas, y balance energético del planeta, 4) el mantenimiento de la calidad de las fuentes de agua, y 5) la función del suelo como medio de soporte físico para el cultivo y modelador de la distribución de la masa y longitud radical en el perfil del suelo.

Asociados a las funciones indicadas en el Cuadro 1, se han identificado, a manera de ejemplo, algunos procesos que se desarrollan en el suelo y las principales características o propiedades del mismo que impulsan los mismos, y las características o propiedades de otros componentes del sistema que intervienen, y que también son capaces de direccionar los mismos.

### **Efecto de sistemas de producción y prácticas de manejo en funciones importantes del suelo para una agricultura sustentable:**

1) En el Cuadro 1 se observa que la labranza del suelo constituye uno de los aspectos de manejo mas impactantes en las funciones del mismo, al alterar el ciclaje de la materia orgánica del suelo y de los residuos de cosecha, la cual juega un rol fundamental en las funciones del suelo (Carter, 2002), mediante la promoción de la protección física y/o aceleración de la descomposición de las mismas mediado por la actividad microbiana, la actividad biótica y el ciclaje de nutrimentos, la redistribución de compuestos en el perfil del suelo, el almacenamiento y flujo de agua en el suelo, la emisión de gases hacia la atmósfera, y alteración de las características físicas del suelo que afectan el patrón de distribución de la longitud y masa radicular de las plantas, y el micro ambiente que alberga la actividad y diversidad biótica en el suelo (Martens, 2001). Six *et al.*, (2000), destacan la importancia del sistema de labranza en el ciclaje de la materia orgánica en el suelo, mediante su protección física en agregados del suelo, mecanismo que es impulsado por el tipo de labranza. La estratificación de algunas propiedades físicas, la actividad biológica del suelo, y aun del tipo específico de microorganismos del suelo (ej. proliferación de denitrificadores del suelo en labranza mínima) debido al tipo de labranza fue evidenciado por Doran *et al.*, (1987).

**Cuadro 1.** Funciones, procesos en el suelo, e interrelación con otros componentes del sistema Suelo-agua-cultivo-ambiente-clima-hombre.

Funciones Importantes del suelo en una Agricultura Sustentable	Procesos y características en el suelo, y relaciones con otros componentes del sistema	Componentes del sistema que intervienen en el proceso	Algunas estrategias o prácticas de manejo sugeridas para mejorar la función.
1) Suministro de Agua a los cultivos (cantidad y rapidez de suplencia).	Retención de humedad. Infiltración en el perfil del suelo	Clima mediante afectación de la cantidad, intensidad, y patrón de precipitaciones, y temperatura del aire que afecta la cantidad de agua que se dirige hacia la atmósfera por evaporación	Incrementar la porosidad en el suelo asociada al almacenamiento de agua.  Incrementar la entrada de agua en el perfil del suelo
2) Regulador del suministro de nutrimentos a los cultivos (cantidad y rapidez de suplencia), y de la permanencia de nutrimentos aplicados como enmiendas al suelo (ej. Fertilizantes minerales).	Degradación de minerales primarios y secundarios. Procesos de intercambio iónico (capacidad de intercambio catiónico y aniónico). Descomposición de materia orgánica del suelo y residuos orgánicos. Ciclo biogeoquímico de elementos nutritivos para las plantas? Procesos de inmovilización / mineralización de elementos de importancia. Procesos de absorción química de nutrimentos (ej. P).	Clima mediante suministro de agua, y temperatura que impulsa la descomposición química de minerales del suelo, y de compuestos orgánicos.	Incremento de la capacidad de intercambio iónico. Control de variables impulsoras de actividad biológica y química en el suelo (ej. temperatura y humedad del suelo). Proporción o grado de contacto entre materiales orgánicos y suelo, y protección de formas orgánicas a la acción microbiana
3) Mantenimiento de las cadenas tróficas y diversidad biológica	Hábitat y/o nicho de la biota del suelo (medio natural de conservación de la diversidad biótica en el suelo), y permite cadena alimentaria de organismos micro-meso-macro-fauna en el suelo.	Cantidad y calidad de compuestos orgánicos incorporados al suelo. Clima mediante la cantidad de agua incorporada al suelo por precipitación.	Prácticas de manejo que permitan mantener un equilibrio en características físicas del suelo (ej. distribución de tamaño de poros). Implementación de prácticas de manejo (ej. mínima labranza) que permitan la proliferación y/o diversidad biótica. Fertilización. Aplicación de enmiendas minerales y/o orgánicas
4) Regulación en la transformación y emisión de sustancias que alteran las características beneficiosas de la atmósfera y condiciones climáticas del planeta	Ciclo biogeoquímico de elementos asociados a efecto invernadero (ej. C-CO <sub>2</sub> , C-CH <sub>4</sub> , y N-NO <sub>2</sub> ). Protección física de la materia orgánica del suelo (ej. proceso de agregación del suelo).	Cantidad y calidad de compuestos orgánicos incorporados al suelo. Clima mediante suministro de agua, y temperatura que impulsan la descomposición química de minerales del suelo, y de compuestos orgánicos.	Mantener por periodos mas prolongados los residuos orgánicos sin descomponer en el suelo. Incrementar la agregación del suelo. Tipos de labranza que propende a mantener mas tiempo los residuos de cosecha sin descomponer en el suelo

**Cuadro 1.** Funciones, procesos en el suelo, e interrelación con otros componentes del sistema Suelo-agua-cultivo-ambiente-clima-hombre..... *continuación*

<b>Funciones Importantes del suelo en una Agricultura Sustentable</b>	<b>Procesos y características en el suelo, y relaciones con otros componentes del sistema</b>	<b>Componentes del sistema que intervienen en el proceso</b>	<b>Algunas estrategias o prácticas de manejo sugeridas para mejorar la función.</b>
5) Balance energético global en el planeta	Efecto albedo, afecta la cantidad de energía que es absorbida en el suelo e irradiada hacia la atmósfera (Balance energético). Afecta el microclima del suelo (ej. temperatura), y balance de agua. Color de la superficie del suelo. Forma y/o morfología de la superficie del suelo. Pendiente del suelo. Humedad del suelo. Calor específico (depende de la mineralogía, y contenido de MO).	La biota (plantas, cultivos) afecta la cantidad de radiación incidente, y la irradiación retenida.	Manejo de residuos de cosecha y/o cobertura vegetal. Morfología y/o estructura de las plantas-cultivos. Densidad de siembras. Rotación de cultivos y/o sistemas de producción. Labranza
6) Descontaminación del suelo, y mantenimiento de la calidad de fuentes de agua para consumo humano y animal, mediante el aislamiento y/o degradación de compuestos minerales u orgánicos tóxicos o contaminantes.	Procesos relacionados con la absorción-retención-acomplejamiento de especies minerales, y descomposición de compuestos orgánicos contaminantes o tóxicos para plantas, biota del suelo, animales o humanos, y contaminantes de fuentes de aguas (Purificación del agua de infiltración o lixiviación)... Respuesta del suelo a cambios de pH. Capacidad buffer del suelo.	Biota del suelo. Componente sólido del suelo Clima: afecta las condiciones de temperatura y humedad en el suelo que alteran la rapidez de las reacciones bioquímicas.	Manejo de residuos orgánicos: - calidad y cantidad de residuos. - grado de incorporación de residuos (labranza). Alteración de microclima del suelo mediante tipo de labranza. Alteración de las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo (ej. alteración del la CIC mediante alteración del pH debido a encalado).
7) Proveedor de medio físico para soportar las plantas, y acondicionador / direccionador / moderador del crecimiento y distribución de la longitud y materia seca del sistema radical.	Características físicas (ej. densidad aparente, resistencia a la penetración) que afectan 1) el desarrollo vertical y horizontal de las raíces, 2) la distribución de la materia seca y longitud radical en el perfil del suelo, y 3) la distribución de materia seca hacia el sistema radical.	Suelo. Cultivo o plantas. Hombre	Tipo de labranza que altere propiedades físicas del suelo. Siembra de cultivares con diferentes hábito de crecimiento y patrón de distribución de fotosintetizados.

2) El efecto de la aplicación de residuos de cosecha en las funciones del suelo, esta relacionado con la calidad (ej. contenido de lignina y N, relación C/N), cantidad, y manejo (proporción de incorporación en el suelo) de residuos de cosecha (Carter, 2002), que afectan la tasa de descomposición de la misma. Otros autores, como Paustian *et al.* (1997), señalan el poder inhibitorio de sustancias contenidas en los residuos (ej. contenido de polifenoles) que afectan sus descomposición o la acción de las enzimas. Salas (2001), sugiere, de estudios de descomposición de residuos orgánicos de diferente calidad, en suelos contrastantes tropicales, diferencias en el ciclaje de P, y con ello la disponibilidad de P en el suelo para los cultivos. Otros autores como Blair *et al.* (1992), destaca la importancia de la calidad de residuos en la inmovilización y retención de N aplicado como fertilizante, y por lo tanto en la re movilización del N de los residuos. Por otra parte, el grado de incorporación o de permanencia de residuos en la superficie del suelo, puede alterar la incidencia de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo y con ello la destrucción de agregados del suelo, la infiltración de agua, y afecta la escorrentía y con ello la erosión del suelo. Por otro lado, Casanova (2005) ha señalado la necesidad de preservar o aumentar los contenidos de materia orgánica en el suelo, no sólo por las mejoras en las propiedades físicas mencionadas anteriormente, sino por los aportes de N al cultivo, reduciendo los requerimientos de fertilizantes inorgánicos. El siguiente ejemplo, en el cual se considera solo el N proveniente de la mineralización de la materia orgánica del suelo, obviando el que pueda provenir de residuos orgánicos aun no mineralizados, se ilustra lo planteado: calculado el aporte de nitrógeno a partir de un suelo con 2 % de materia orgánica (valor bajo) para las condiciones tropicales venezolanas de la siguiente manera:

- a. 2 % de una hectárea que pese 2 millones de kg = 40.000 kg/ha de materia orgánica
- b. Asumiendo que esa materia orgánica tiene 5 % de nitrógeno = 2000 kg/ha de N
- c. Si la tasa de mineralización de esa materia orgánica es de 2 % /año = 40 kg N/ha-año
- d. Si el cultivo tiene una eficiencia de 50 % de utilización del N, las plantas aprovecharán = 20 kg N/ha-año.
- e. Si para producir altos rendimientos en maíz se requieren aproximadamente 150 kg N/ha, la materia orgánica en los suelos altamente evolucionados del país estaría aportando sólo 1/7 del N necesario. Los 130 kg N/ha restantes habrá que aplicarlos con fertilizantes minerales o en combinación con fertilizantes orgánicos. Mientras mayor es el contenido de materia orgánica en el suelo mayor será su aporte a los requerimientos de N por el cultivo.

3) Sistemas de producción (ej. rotación de cultivos):

La implementación de sistemas de producción puede alterar o afectar las funciones del suelo. Así, Omay *et al.* (1998) evaluando la eficiencia de utilización de N por el cultivo de maíz sembrado como monocultivo y en rotación con soya, encontró que la producción del maíz en rotación fue mayor que el maíz sembrado solo y fue requerido mas N-fertilizante en este ultimo sistema para igualar la producción del maíz en rotación. Lo antes indicado implica que en el largo plazo, los residuos de soya proveen una fuente de N para maíz, y ello sugiere que la función del suelo de suministro de nutrimentos es alterada. Otros autores, como Christenson y Butt (1997), evaluando el impacto de diferentes sistemas de producción, y de la cantidad de residuos incorporados al suelo, en un periodo de 20 años, encontraron que el N potencialmente mineralizable es afectado significativamente dependiendo del sistema de producción y la cantidad de residuos incorporados.

4) Manejo de la fertilización y tipos de fertilizantes (ej. eficiencia de utilización de fertilizantes, biofertilizantes, fertilizantes minerales naturales, abonos orgánicos, enmiendas orgánicas y efecto en la biomasa microbiana).

El impacto o efecto de la aplicación de fertilizantes y enmiendas orgánicas en las propiedades, características, y cualidades del suelo ha sido destacado por Fan *et al.* (2005), en estudios de rotaciones de maíz y trigo. Ellos indicaron la necesidad de aplicación conjunta de materiales orgánicos con fertilizantes minerales para una producción sustentable y encontraron el mayor incremento de carbono orgánico del suelo ( $160 \text{ mg kg}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) cuando se empleó N, conjuntamente con residuos de trigo y P cada segundo año, o la aplicación de N, y P conjuntamente con la incorporación anual de estiércol de bovino. Otros autores (Galantini y Rosell, 2006) destacan, que la aplicación de fertilizantes en el largo plazo, incrementa los contenidos de las fracciones lábiles de carbón en el suelo, y la cantidad y calidad de la fracción humificada.

Otro efecto de la fertilización y uso de residuos se ha observado en la actividad biológica y enzimática en el suelo. Así, Mandal *et al.* (2007), en estudio de larga duración donde investigo el efecto de la aplicación de fertilizantes y aplicación de residuos, encontró los valores mas elevados de biomasa

microbiana y actividad enzimática en los tratamientos con aplicación de residuos y fertilizantes, aunque señalan la necesidad de considerar el periodo de crecimiento del cultivo (trigo) en estudios de esta naturaleza. Así mismo Chu *et al.* (2007), en estudios de larga duración (16 años), también encontraron que la fertilización incremento la biomasa microbiana, y la actividad de la deshidrogenasa, pero no cuando hay deficiencia de P, lo que sugiere la importancia de una fertilización balanceada, y el rol del fósforo en el mantenimiento de la materia orgánica del suelo, y en la promoción de la biomasa y actividad de los microorganismos. Jagadamma *et al.* (2007) encontraron, en estudios de larga duración con aplicación de fertilizantes y sistemas de manejo, que se afecta la concentración de carbono orgánico del suelo, y compartimientos de la misma, en los primeros 30 cm. del perfil, posiblemente relacionado con incrementos en la cantidad biomasa producida e incorporada al suelo.

### **Sugerencias de algunos aspectos de importancia que deben ser analizados, revisados, o estudiados.**

El rol del suelo, en el desarrollo de una agricultura sustentable, debe ser considerado de manera conjunta con el rol de los otros componentes del sistema suelo-cultivo-clima-ambiente-hombre. En este sentido, es necesario la identificación de las características, o propiedades del suelo que intervienen en los procesos del suelo, que están relacionadas o afectadas por otros componentes del sistema, por prácticas de manejo, o por los sistemas de producción.

Así mismo, se hace necesaria la caracterización cuantitativa de los procesos importantes que ocurren en el suelo, donde se consideren o incluyan las características del mismo que son alterables por los otros componentes del sistema, o por las condiciones de manejo o de los sistemas de producción. Ejemplos de la caracterización cuantitativa e integración de los diferentes componentes es señalado por Delgado y Núñez (2004), para la predicción del N disponible del suelo. La caracterización cuantitativa permita la integración de la información generada en mecanismos integrales (ej. modelos de simulación), que pueden ser empleados para la evaluación ex ante de la implementación de determinada práctica de manejo o sistema de producción en diferentes condiciones de suelo, o escenarios de suelo, clima, o manejo. Delgado y Núñez (2005) destacan las bondades de la modelización para la integración de la información, y para la evaluación de escenarios de suelo, y clima, y para la transferencia de tecnologías. En el mismo orden de ideas de Delgado y Núñez (2004, 2005), Casanova (2005), Salvagiotti *et al.* (2000) y Lavado *et al.*, (2007) han sugerido la importancia de realizar un balance de los nutrimentos (salidas y entradas) de manera de tener un criterio más preciso sobre las recomendaciones de fertilización en contraposición a los criterios de cuadros de doble entrada que se usan actualmente en el país, en los laboratorios con fines de diagnóstico y recomendación de fertilizantes. Para el caso del N se han mencionado como salidas a la desnitrificación, volatilización, lavado y extracción por el cultivo como principales variables a cuantificar. Para las entradas estaría la fijación biológica del N, el N mineralizado a partir de la materia orgánica, el N en la precipitación y la cantidad de fertilización. Como en el balance las entradas deberían ser iguales a las salidas, de esa ecuación se puede despejar a la cantidad de fertilización a aplicar si se han cuantificado el resto de las variables. Lavado *et al.*, (2007) ha presentado valores de entradas y salidas de N para dos regiones de las Pampas Argentinas que se resumen en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Estimaciones de las entradas y salidas de nitrógeno para dos regiones de las Pampas Argentinas (Fuente: Lavado *et al.*, 2007).

Región	Desnitrificación %	Volatilización %	Lavado %	Fijación Biológica Kg.ha <sup>-1</sup>	Lluvia Kg.ha <sup>-1</sup>	N mineralizado kg/ha/año
Pampa del Sur	1.0 – 6.9	5.9 – 11.4	5 - 22	200 - 300	< 5.0	90 – 150
Pampa Ondulada	0.8 – 4.0	9.5 – 37.0	0.5 – 9.0	60 - 100	14	50

Los datos del Cuadro 2 sugieren la necesidad de cuantificar esas variables para las zonas tropicales como Venezuela, de manera de iniciar un proceso que permita una mejor precisión en las recomendaciones de fertilización nitrogenada.

Es importante mantener el menor impacto ambiental posible con las prácticas de manejo que se usan en los sistemas de producción. Por ejemplo, Casanova (2005), ha reportado que si no se hace un manejo de la fertilización de manera sustentable, se generarían impactos en el ambiente particularmente en la salud humana, a la calidad del agua y a la flora y fauna. En el caso humano la principal preocupación ha sido el papel de los nitratos en la enfermedad de los "niños azules" generado por el consumo de agua con concentraciones superiores a 10 mg. L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub>-N (U.S. EPA. 1991).

La calidad del agua es afectada por nitratos como aporte que se hace a partir de la descomposición de la materia orgánica de los suelos en el período después de la cosecha y antes del establecimiento del próximo cultivo. En el caso de la actividad pecuaria la preocupación es por el mal manejo del estiércol lo cual puede generar una fuerte pérdida de nitrógeno (N) hacia el aire y el agua.

El mantenimiento de la fauna y la flora es un objetivo ambiental clave, sin embargo, la práctica de una agricultura productiva que implica el uso de fertilizantes, ocasionará cambios en estos componentes por lo que se debe llegar a un compromiso que genere un balance entre la actividad agrícola y pecuaria y el mantenimiento de la flora y fauna donde esa actividad se realiza.

Debido al rol fundamental que juega la actividad microbiana en el ciclaje de la materia orgánica del suelo y nutrientes, es necesario evaluar los aspectos que afectan la misma, así como la habilidad de la comunidad biológica a adaptarse al medio ambiente mediante ajuste de la tasa o actividad, la biomasa, o la estructura de la comunidad (Schloter *et al.*, 2003). Como ejemplo, Chu *et al.* (2007), sugiere la importancia de una fertilización balanceada, y el rol del fósforo en el mantenimiento de la materia orgánica del suelo, y en la promoción de la biomasa y actividad de los microorganismos. Este aspecto podría ser de gran importancia en las condiciones tropicales, donde normalmente se encuentra suelos con bajos niveles de P. Sin embargo, la respuesta de incremento de biomasa a la aplicación de nutrientes esta asociada a condiciones de manejo, tipos de vegetación, y de las condiciones climáticas asociadas a la disponibilidad de agua como se infiere de los resultados obtenidos por Galicia y García-Oliva (2004).

En los estudios de fertilidad del suelo deben considerarse otros aspectos adicionales a los normalmente considerados. Así, se deben incluir el ciclaje de otros elementos como carbono (CO<sub>2</sub>), y especies de N (ej. óxido nítrico) que contribuyen al efecto invernadero como lo destacan Delgado y Salas (2006).

## LITERATURA CITADA

- Blair J.M., D.A. Crossley Jr., y L.C. Callaham.** 1992. Effects of litter quality and microarthropods on N dynamics and retention of exogenous <sup>15</sup>N in decomposing litter. *Biol. Fertil. Soils.* 12:241-252.
- Carter M.R.** 2002. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94: 38-47.
- Casanova E.** 2005. Libro de Texto "Introducción a la Ciencia del Suelo". Segunda Edición. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 482pp.
- Christenson D.R. y M.B. Butt.** 1997. Nitrogen mineralization affected by cropping system. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28:1047-1058.
- Chu H., X. Lin, T. Fujii, S. Morimoto, K. Yagi, J. Hu, y J. Zhang.** 2007. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. 39:2971-2976.
- De Kimpe, C.R. y B.P. Warkentin.** 1998. Soil functions and the future of natural resources. *Adv. GeoEcology* 31:3-10.
- Delgado R., y M.C. Núñez U.** 2004. La modelización interactiva en la evaluación de sustentabilidad de sistemas de producción y prácticas de manejo, y en la transferencia de tecnología. CENIAP Hoy. Revista Digital CENIAP HOY # 6, septiembre-diciembre 2004. Maracay, Aragua, Venezuela. URL: [www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n6/art/delgado\\_r/arti/delgado\\_r.htm](http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n6/art/delgado_r/arti/delgado_r.htm).

- Delgado R., y M.C. Núñez.** 2005. Modelo de simulación para la predicción y evaluación de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. XVII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. 17 al 20 de Mayo, 2005. Maracay, Edo. Aragua. Venezuela.
- Delgado R., y A.M. Salas.** 2006. Consideraciones para el desarrollo de un Sistema Integral de evaluación y manejo de la Fertilidad del suelo y aplicación de fertilizantes para una Agricultura Sustentable en Venezuela. *Agron. Trop.* 56: 289-323.
- Doran J.W., D.G. Fraser, M.N. Culik, y W.C. Liebhardt.** 1987. Influence of alternative and conventional agricultural management on soil microbial processes and nitrogen availability. *American Journal of Alternative Agriculture* 2: 99-106.
- Fan T., B.A. Stewart, W.A. Payne, W. Yong, J.Luo, y Y. Gao.** 2005. Long-term fertilizer and water availability effects on cereal yield and soil chemical properties in Northwest China. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 69:842-855.
- Galantini J., y R. Rosell.** 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil and Tillage Res.* 87:72-79.
- Galicia L., y F. García-Oliva.** 2004. The effects of C, N and P additions on soil microbial activity under two remnant tree species in a tropical seasonal pasture. *Applied Soil Ecology* 26:31-39.
- Jagadamma S., R. Lal, R.G. Hoefl, E. D. Nafziger y E. A. Adee.** 2007. Nitrogen fertilization and cropping systems effects on soil organic carbon and total nitrogen pools under chisel-plow tillage in Illinois. *Soil and Tillage Res.* 95:348-356.
- Lavado, R., H. Echeverría y H. Rimski-Korsakov.** 2007. Balance of soil nitrogen in croplands of the Argentinean Pampas. Comparison between the two main productive Areas. XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, León, México. Trabajo en extenso en formato de CD.
- Mandal A., A. K. Patra, D. Singh, A. Swarup, y R. E. Masto.** 2007. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages. *Bioresource Technology.* 98:3585-3592.
- Martens D.A.** 2001. Nitrogen cycling under different soil management systems. *Adv. in Agron.* 143-192.
- Omay A.B., C.W. Rice, L.D. Maddux, y W.B. Gordon.** 1998. Corn yield and nitrogen uptake in monoculture and in rotation with Soybean. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1596-1603.
- Paustian K., G.I. Agren, y E. Bosatta.** 1997. Modelling litter quality effects on decomposition and soil organic matter. In: E. Cadisch and K.E. Giller. *Driven by nature: plant litter quality and decomposition.* CAB INTERNATIONAL. pp. 313-335.
- Salas A.M.** 2001. Phosphorus cycling during decomposition of plant residues in weathered soils from the tropics: Influence of plant factors. Ph.D. diss. Colorado State Univ., Fort Collins. CO. USA. 176 p.
- Salvagiotti, F., H. Pedrol y J. Castellarin.** 2000. Utilización del método del balance de nitrógeno para la recomendación de la fertilización nitrogenada en maíz. *Informaciones Agronómicas, Instituto del Potasio y el Fósforo,* 38:11-13.
- Schlöter M., O. Dilly y J. C. Munch.** 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 98:255-262.
- Six J., E.T. Elliott, y K. Paustian.** 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil. Biol. Biochem.* 32:2099-2103.
- U.S. EPA.** 1991. Integrated Risk Information System (IRIS): Nitrate (CASRN 14797-55-8). Washington, DC:U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/iris/subst/0076.htm>.