

¿Es necesario un nuevo enfoque de los estudios de fertilidad del suelo para una agricultura sustentable en Venezuela?

Rodolfo Delgado

CENIAP-INIA, Maracay
rdelgado@inia.gob.ve

Resumen

El desarrollo de una agricultura sustentable requiere mecanismos integrales para evaluar y manejar la fertilidad del suelo, y para recomendar dosis de fertilizantes orgánicos o minerales que cumplan con requerimientos ambientales, económicos, capacidades de los productores, y calidad de las cosechas. Más aun, este mecanismo integral debe ser capaz de evaluar el ciclaje y/o destino de elementos nutritivos, además de otros de importancia para la sustentabilidad del sistema suelo-agua-cultivo-atmósfera, y capaz de evaluar y pronosticar la sustentabilidad de prácticas de manejo y de sistemas de producción. En este trabajo se propone una estrategia para desarrollar un sistema integral para la evaluación y manejo de la fertilidad del suelo, y recomendación de fertilizantes, y que podría, además, ser útil para la enseñanza y estudio de aspectos asociados con sustentabilidad, procesos asociados a fertilidad del suelo, y para detectar necesidades de investigación.

Introducción

El desarrollo de una agricultura sustentable, la cual contribuye al establecimiento de un medio ambiente saludable y hospitalario para el ser humano (Delgado y Cabrera, 2005), demanda un nuevo enfoque para el diagnóstico y manejo del estado actual y futuro de la fertilidad del suelo, mediante la dosificación y manejo de enmiendas orgánicas naturales o químicas utilizadas para suplir los requerimientos de los cultivos. En Venezuela, aunque se han realizado algunos adelantos en la actualización de las bases de recomendación de fertilizantes mediante la utilización de variables adicionales de suelo, características específicas de cultivares y manejo, para mejorar la recomendaciones de fertilizantes (INIA, 2004), las mismas aún se basan en los procesos de correlación y calibración de métodos, y evaluación de respuesta de los cultivos a la aplicación de dosis de nutrimentos.

Algunas de las limitaciones del sistema de evaluación de la fertilidad y recomendación de fertilizantes, están asociadas con:

- 1) Cambio de las condiciones (capacidad de suministro y accesibilidad de nutrimentos) sobre la cual se realizó la calibración.
- 2) Cambio en las características y requerimientos nutricionales de los cultivares actuales, debido a la introducción de nuevos materiales genéticos,
- 3) La imposibilidad de relacionar la disponibilidad real de un nutriente, o el nutriente aplicado como fertilizante, con la producción real o incremento de la producción del cultivo.
- 4) Imposibilidad de la predicción y/o evaluación del impacto de prácticas de manejo y sistemas de producción en la disponibilidad de nutrimentos, debido a que no evalúa la fuente u origen de los nutrimentos en el suelo.
- 5) Expresión de una condición instantánea de la disponibilidad de nutrimentos, que no permite hacer ajustes en la dosis o manejo del fertilizante durante el ciclo del cultivo, y
- 6) La consideración de inalterabilidad e las condiciones o propiedades del perfil del suelo, y el énfasis en la capa superficial del suelo.

El sistema de evaluación, y manejo de la fertilidad del suelo para una agricultura sustentable debe presentar bondades que permitan:

- 1) pronóstico de la disponibilidad y accesibilidad de nutrimentos en el corto mediano, y largo plazo,
- 2) pronóstico del destino de los nutrimentos en el sistema suelo-agua-cultivo-atmósfera, sometido a diferentes condiciones de manejo y/o sistemas de producción,
- 3) evaluación del impacto, en el corto, mediano, y largo plazo, de prácticas de manejo y de sistemas de producción, en la disponibilidad y accesibilidad de nutrimentos en el sistema,
- 4) consideración de las capacidades técnicas y el acceso a tecnológicas, capacidades económicas, y disponibilidad de insumos o capacidades locales de los productores,
- 5) recomendar sistemas de manejo, y fertilización para las diferentes unidades edafo-climáticas homogéneas dentro de las fincas de los productores,
- 6) pronóstico de la cantidad y calidad de cosecha,
- 7) evaluación de estrategias de manejo para a) incrementar la eficiencia de uso de nutrimentos, aplicados como fertilizantes, por el cultivo, b) prolongar la permanencia de nutrimentos en el sistema suelo-cultivo, c) disminuir las emisiones de gases invernadero hacia la atmósfera, y d) disminuir el flujo de nutrimentos hacia fuentes de agua en el suelo,
- 8) evaluación de la sustentabilidad de sistemas de producción y/o practicas de manejo, mediante la utilización de índices integrales que considere los aspectos socio-económicos particulares de los productores, las condiciones biofísicas y climáticas dentro de las unidades de producción, y la utilización de recursos o alternativas locales, y
- 9) que pueda ser empleada en la determinación de necesidades de investigación, y enseñanza de aspectos de sustentabilidad, y fertilidad de suelos a productores, técnicos, e investigadores.

En este estudio se analizarán los aspectos necesarios a considerar para el desarrollo de un Sistema Integral de Evaluación y Manejo de la Fertilidad del Suelo y de recomendación de Fertilizantes (**SIEMFRF**), presentado por Delgado (2006), como base de una agricultura sustentable, que incluya algunas de las bondades indicadas previamente.

Aspectos a considerar

El desarrollo de un sistema integral para la evaluación y manejo de la fertilidad del suelo debe considerar, entre otros aspectos:

- 1) el ciclaje de nutrimentos, y otros elementos de importancia (ej. C), en el sistema suelo-agua-planta-atmósfera,
- 2) la variabilidad espacial y temporal de las principales características de suelo y clima a nivel de unidades homogéneas dentro de fincas de producción,
- 3) el impacto de prácticas de manejo y/o sistemas de producción en las propiedades del suelo que afectan la suplencia y accesibilidad de los nutrimentos por el cultivo, y el impacto de estos cambios en el desempeño de los cultivos de los sistemas de producción,
- 4) las necesidades, expectativas, disponibilidad de equipos, accesibilidad a tecnologías, y capacidades económicas de los productores, y
- 5) la integración de procesos de diferente intensidad o tiempo promedio de residencia entre, y dentro, de los componentes del sistema suelo-agua-planta-clima.

Mas aun, el sistema debe considerar los principales procesos y variables del suelo que son sensibles a condiciones de manejo o sistemas de producción que, a su vez, crean una condición diferente durante el proceso de evaluación de esa practica o sistema y que afectara el desempeño futuro del sistema (ej. la estratificación de procesos, y algunas características

físicas del suelo que se crean con la implementación de sistemas de labranza mínima (Doran et al., 1987)).

Los principales componentes operativos y de mantenimiento, así como los usos y/o productos que se puede obtener con el uso del sistema integral para el manejo de la fertilidad en una agricultura sustentable (**SIEMFRF**), son indicados en la Figura 1.

Algunas consideraciones sobre expectativas y capacidades de los productores

En el sistema propuesto se incluyen algunos elementos que permiten considerar la diversidad en capacidades, y las expectativas del productor agropecuario, para hacer recomendaciones individuales:

- 1) expectativas en calidad (nutricional o alimentaria, niveles aceptables de elementos tóxicos y calidad para el procesamiento poscosecha) y cantidad de cosecha,
- 2) capacidades económicas y tecnológicas, y
- 3) requerimiento de mecanismos para la evaluación ex-ante de prácticas y/o sistemas de producción y de evaluación de escenarios probables, y análisis de riesgos.

En este caso, será necesaria la determinación de índices de suficiencia y tolerancia, de elementos nutritivos y tóxicos respectivamente, y de índices de calidad de la producción para el procesamiento industrial, y la cantidad deseable de cosecha, o producción objetivo, basado en la suficiencia para cubrir los requerimientos del núcleo familiar en el corto plazo (Ej. alimentación, vivienda, salud, educación), y en el mediano y largo plazo (Ej. mantenimiento, educación, jubilación, seguridad de descendencia), este ultimo aspecto sugerido por Foster (1992).

Limites o niveles tolerables de emisiones de elementos a la atmósfera y agua, contenidos de nutrimentos en las cosechas, y disposición de subproductos de la actividad agrícola

El enfoque integral de evaluación y manejo de la fertilidad del suelo, y aplicación de fertilizantes, debe considerar, o estar asociado, con el ciclaje de elementos directamente relacionados con la nutrición de los cultivos (ej. NO₃-N, NH₄-N), y con aquellos elementos que causan impacto directo o indirecto (en el corto, mediano, y largo plazo), en las características y funciones del sistema suelo-agua-atmósfera (ej. gases invernadero: CO₂, NO, N₂O, CH₄).

Es necesario y/o apropiado:

- 1) establecer prácticas de manejo y sistemas de producción que, de manera relativa, presenten menor riesgo de emisión de gases, a la vez que permitan cubrir los requerimientos de los productores, y mantener las propiedades beneficiosas del suelo y agua,
- 2) avanzar en la determinación de niveles tolerables o aceptables de emisiones basados en las condiciones de suelo y clima de las unidades de producción, la disponibilidad de equipos y tecnologías y capacidades económicas de los productores, y
- 3) avanzar en la determinación y establecimiento de lineamientos locales, nacionales, regionales, o internacionales que regulen las emisiones.

Otras medidas o estrategias deben ser consideradas para la disposición y manejo de residuos o subproductos de las actividades agrícolas (Ej. Estiércoles de animales, o subproductos de proceso de caña de azúcar), que de no ser manejados adecuadamente podrían tener efectos nocivos sobre las fuentes de agua, atmósfera, suelo, cultivo, y aun sobre la salud humana.

Caracterización cuantitativa y modelización dinámica de mecanismos y/o procesos

En el desarrollo de esta propuesta se requiere investigaciones que permitan la caracterización e integración cuantitativa de los principales procesos involucrados que afectan tanto los contenidos de nutrimentos realmente disponibles, así como a las fuentes orgánicas o minerales de diferente calidad y accesibilidad a los descomponedores del suelo. La caracterización

cuantitativa de la disponibilidad y accesibilidad de nutrimentos, debe considerar los diferentes compartimientos orgánicos y minerales de nutrimentos y los principales procesos y características biológicas, químicas, y físicas del suelo, que varían naturalmente en el espacio o perfil del suelo o que son alterables por prácticas de manejo, sistemas de producción, y parámetros climáticos. Un ejemplo de las variables, procesos, e integración de los diferentes componentes que afectan la disponibilidad de N y P en el suelo es presentado por Delgado y Núñez (2004), y Salas (2001) respectivamente, y para la predicción del crecimiento del sistema radical por Delgado (2003).

Esta estrategia de investigación permitirá la determinación de la disponibilidad inmediata o futura de los nutrimentos, y del efecto de sistemas de producción o prácticas de manejo en la misma. Mas aun, debido a que se desea desarrollar un sistema capaz de evaluar tanto la evolución de la fertilidad del suelo en el corto plazo, para establecer sistemas de manejo y fertilización adecuada durante el ciclo del cultivo, y para evaluar la sustentabilidad de los sistemas de producción y prácticas de manejo (en el corto, mediano, y largo plazo), es necesario integrar cuantitativamente procesos de diferente intensidad y (ej. desnitrificación de $\text{NO}_3\text{-N}$ (duración en horas), y agregación del suelo (duración en años)), que afectan la disponibilidad de nutrimentos. Otro aspecto que es considerado en esta propuesta, es la evaluación de la accesibilidad de los nutrimentos asociada con las características del perfil del suelo, y el desarrollo del sistema radical de los cultivos.

Modelos de simulación dinámicos

Los modelos integrales e interactivos permitirán hacer un seguimiento del destino de nutrimentos en el sistema suelo-agua-planta-atmósfera, la evaluación del impacto de prácticas de manejo y sistemas de producción, y se pueden utilizar en la evaluación de sustentabilidad de esas prácticas. Una característica fundamental que debe presentar los modelos de simulación, es la capacidad para pronosticar:

- 1) en el corto plazo (días) los requerimientos de fertilización y evaluación de escenarios de manejo que permitan la optimización de uso de los mismos, mientras se mantiene la calidad del suelo y medioambiente, y la producción y calidad de las cosechas, y
- 2) en el mediano y largo plazo (meses, años, décadas) los cambios en propiedades y/o cualidades del suelo que son alteradas por las condiciones de manejo, y por los sistemas de producción implementados. Un ejemplo de un modelo integral con estas características es el modelo CENTURY (Metherell *et al.*, 1993). Debido a la necesidad de dar una recomendación de fertilizantes, y prácticas de manejo de manera individualizada, según las características bio-físicas específicas de las unidades de producción, los modelos deben estar basados en los principales procesos bio-físico-químicos del suelo, y estar impulsados por las principales variables o propiedades de suelo que varían espacialmente o en el perfil del suelo de manera natural, o que son alterables por condiciones de manejo de los sistemas agrícolas.

Debido a la lentitud con la cual se podrían manifestar cambios en las propiedades importantes e impactantes del suelo por la acción de las prácticas de manejo y/o sistemas de producción, no es posible visualizar el efecto de los sistemas de producción sino hasta luego de varios años de su implementación. Los modelos de simulación basados en procesos, y de carácter integral e interactivo, permiten realizar evaluaciones ex-ante del impacto de prácticas de manejo y sistemas de producción, y el efecto de estos cambios en la cantidad y calidad de las cosechas.

Sistema de información de requerimientos nutricionales y de alternativas nutricionales para los cultivos

Los nuevos materiales genéticos normalmente implican requerimientos nutricionales, o características morfo-fisiológicas adaptativas diferentes, como se sugiere de los trabajos de Eghball y Maranville (1993), y Costa *et al.* (2002), quienes detectaron diferencias en el desarrollo de raíces de diferentes genotipos de maíz bajo estrés de nitrógeno y agua, y en la eficiencia de utilización de nutrimentos y distribución de fotosintetizados (Xu y Juma (1993).

Por otra parte, normalmente se desarrollan o descubren nuevas fuentes orgánicas o minerales de nutrimentos (ej. *Azolla filiculoides*, solubilizadores de P de la roca fosfórica), con diferentes características en el suministro de los nutrimentos, y de su impacto en propiedades del suelo. Lo antes indicado sugiere la necesidad de caracterizar, y hacer disponible en bases de datos, la información específica de los materiales genéticos que normalmente son liberados para utilización por los productores, y de las características y propiedades de fertilizantes orgánicos y minerales.

Los aspectos señalados destacan la importancia de asociar e integrar los programas de desarrollo de nuevos materiales genéticos (ej. variedades e híbridos) con los programas de evaluación y manejo de la fertilidad de suelo para garantizar el desarrollo de materiales productivos y con bajos requerimientos de insumos, más eficientes en la utilización de los nutrimentos asimilados, y capaces de utilizar más eficientemente las fuentes naturales de nutrimentos del suelo. De allí la necesidad de establecer un conjunto mínimo de datos o información que debe ser recopilada por los evaluadores en mejoramiento genético, para ser empleada en los mecanismos integrales de evaluación.

Índices integrales de sustentabilidad

La evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas y/o prácticas de manejo, como se ha considerado en esta propuesta, requiere el desarrollo de índices integrales que consideren:

- 1) los aspectos y/o factores más importantes dentro de cada uno de los componentes del sistema,
- 2) el establecimiento de límites aceptables de referencia para comparar y evaluar esos factores (Carter, 2002), y
- 3) la ponderación de la contribución de cada uno de esos componentes en la conformación del índice integral (Morse *et al.*, 2001).

Algunos elementos relacionados con los componentes:

- 1) expectativas del productor,
- 2) utilización de insumos y servicios del área agrícola o localidad donde se ubica la unidad de producción, y cumplimiento de expectativas de la demanda local por productos específicos,
- 3) calidad del medio ambiente, y
- 4) evolución de cualidades del suelo como la fertilidad y/o otras funciones del suelo, que pueden emplearse en el diseño de un índice integral de evaluación de la sustentabilidad de la fertilidad del suelo, se indican, a manera de ejemplo, en el Cuadro 1.

Como se puede observar en el Cuadro 1, existen elementos que permiten evaluar el impacto de los sistemas de producción y/o prácticas de manejo a diferentes niveles o escalas:

- 1) a nivel de unidades homogéneas de suelo dentro de la finca de producción, se puede evaluar el impacto en características, propiedades y/o cualidades importantes del suelo (ej. la capacidad de suplencia de nutrimentos y agua),
- 2) a nivel de finca de producción, se considera elementos que permiten evaluar el logro de las expectativas del productor en cubrir la demanda inmediata y futura del núcleo familiar (ej. ingreso neto),
- 3) a nivel local o regional donde se utiliza elementos que permite evaluar la utilización de insumos y servicios ofrecidos a nivel local, y la producción de productos para cubrir la demanda local, y
- 4) a nivel global, donde se emplea elementos que permiten evaluar el mejoramiento o preservación de propiedades o funciones beneficiosas del planeta (ej. la evaluación de la emisión de gases invernadero a la atmósfera).

Asociado con los elementos que se consideran para la conformación del índice integral (Cuadro 1), se sugiere, a manera de ejemplo, algunos parámetros que pueden ser utilizados para el

establecimiento de límites de referencia y/o para la categorización del grado de sustentabilidad de un sistema de producción o práctica de manejo determinado. En cada caso sería necesario evaluar el grado de desviación entre los valores obtenidos debido a un manejo determinado y los límites de referencia, y categorizar esas desviaciones. Para la determinación del índice integral se considerarán todos los aspectos evaluados, previa ponderación del peso que cada uno de ellos tendrá en la conformación del mismo, similar a lo sugerido por Comerma *et al.* (1992), quienes utilizaron un procedimiento similar para la valoración de la aptitud física de la tierra.

Características bio-físico-climáticas de áreas homogéneas y sistemas de información geográfica

La selección de planes de fertilización, prácticas de manejo, y sistemas de producción debe estar basado, entre otros aspectos como se ha indicado previamente, en la consideración de las características y/o propiedades específicas de unidades homogéneas dentro de las fincas de los productores que actúan directamente, o asociadas de manera integrada con otras, e impulsan o intervienen en los procesos del suelo. Los mecanismos integrales e interactivos discutidos previamente (Modelos de simulación dinámicos), y que serán utilizados para la evaluación a corto, mediano, y largo plazo son impulsados por propiedades del suelo que varían espacialmente de manera natural y en el perfil del suelo. La importancia de considerar las especificidades (mediante el establecimiento de unidades o áreas de suelo homogéneas), y con ello reducir las desventajas de las generalizaciones, es analizada por Buol y Smith (1988). De lo antes discutido, se destacan dos aspectos: la necesidad de establecer áreas mínimas homogéneas de manejo, y la determinación de variables y parámetros de suelo que intervienen en procesos relevantes. En relación al establecimiento de superficies mínimas homogéneas de manejo, se cree necesario integrar y ponderar aspectos como:

- 1) la homogeneidad de características relevantes del suelo,
- 2) aspectos prácticos como la disponibilidad de recursos económicos o de tecnologías por el productor (Ej. equipos de labranza), para la implementación de prácticas de manejo o sistemas de producción apropiadas o sugeridas según las unidades homogéneas,
- 3) aspectos técnico-científicos como los límites o rangos aceptables de desuniformidad de características espaciales y del perfil del suelo dentro de las unidades homogéneas, y
- 4) importancia del beneficio ecológico-económico percibido, debido al establecimiento de superficies mínimas de manejo.

Finalmente, debido a la necesidad de:

- 1) almacenar e integrar la información de suelo, clima, y manejo a nivel de finca o unidades homogéneas dentro de las fincas,
- 2) suministrar información a los mecanismos integrales de simulación y evaluación (Modelos de simulación), y
- 3) almacenar y procesar la información generada por los modelos de simulación, es necesario desarrollar Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permitan esas funciones. Ejemplos de la utilidad del uso de SIG y mecanismos de predicción para el manejo y entendimiento de sistemas dinámicos como sistemas pastoriles es presentado por Coughenour (1991).

Usos potenciales del desarrollo e implementación de la propuesta

El desarrollo de un sistema integral permitirá, como se indica en la Figura 1:

- 1) la recomendación de dosis y época de aplicación de fertilizantes, y fuentes alternativas de nutrimentos para las condiciones bio-físicas específicas de la unidad de producción y capacidades técnico-económicas del productor,
- 2) reajustar las dosis y prácticas de fertilización y manejo durante el ciclo del cultivo,
- 3) predicción de cantidad y calidad de cosecha,

- 4) predicción de las características del suelo o cualidades asociadas a la capacidad de suministro y accesibilidad de nutrimentos al cultivo,
- 5) predicción y evaluación del ciclaje de nutrimentos en los diferentes componentes del sistema suelo-agua-planta-atmósfera, y
- 6) la evaluación ex-ante de la sustentabilidad de prácticas de manejo o sistemas de producción, en diferentes escenarios de suelo, clima, y manejo.

Además, el sistema **SIEMFRF** podría ser útil para la enseñanza, a diferentes niveles desde agricultores hasta investigadores, de los aspectos relacionados con la evaluación y manejo de la fertilidad del suelo, y permitirá la determinación de vacíos de información necesaria, y garantizaría la integración del conocimiento generado en las investigaciones de las diferentes disciplinas.

Bibliografía citada

- Buol S.W., and C.W. Smith. 1988. Data collection and presentation for improving interpretations for agriculture. In. Proceedings of the International interactive workshop on soil resources: Their Inventory, analysis and interpretation for use in the 1990's. March 22-24, 1988. Sheraton Airport Inn. Minneapolis, Minnesota. Educational development System, Minnesota Extension Service, University of Minnesota. St. Paul, Minnesota.
- Carter M.R. 2002. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94:38-47.
- Comerma J., S. Torres, D. Lobo, N. Fernández, R. Delgado, y L. Madero. 1992. Aplicación del sistema de evaluación de tierras de la F.A.O. 1985 en la zona de Turén, Venezuela. Cuadernos de Agronomía # 1. Instituto de Edafología. FAGRO, UCV.
- Costa C., L.M. Dwyer, X. Zhou, P. Dutilleul, C. Hamel. L.M. Reid and D.L. Smith. 2002. Root morphology of contrasting maize genotypes. *Agron. J.* 94:96-101.
- Coughenour M. 1991. A GIS/RS based modeling approach for a pastoral ecosystem in Kenya. In. Second international symposium on Advanced technology in natural resources management. Proc. American Society for Photogrammetry and remote sensing. Bethesda, MD., WI. USA.
- Delgado R. 2003. Soil-plant dynamics related to N uptake and soil N availability. Ph.D. diss. Colorado State University. Fort Collins, Colorado.
- Delgado R. 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 (3): En Prensa.
- Delgado R., y E. Cabrera de Bisbal. 2005. Un sistema integral de enseñanza, evaluación, y transferencia de tecnologías para una agricultura sustentable en Venezuela. *Agron. Trop.* 55 (2):163-181.
- 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: http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasTecnicas/ceniaphoy/articulos/n6/arti/delgado_r/arti/delgado_r.htm .
- Doran J.W., D.G. Fraser, M.N. Culik, and 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.

- Eghball B., and J.W. Maranville. 1993. Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. *Agron. J.* 85:147-152.
- Foster T.H. 1992. Fostering awareness and facilitating change: Toward increased sustainability. Resource Material for the Training program on Plant Nutrient Management for Sustainable Agriculture. Sep. 14-25, 1992. IFDC, Muscle Shoals, Alabama. USA.
- INIA. 2004. Manual de alternativas de recomendación de fertilizantes para cultivos prioritarios en Venezuela. INIA. p. 248.
- Metherell A.K., L.A. Harding, C.V. Cole, and W.J. Parton. 1993. CENTURY soil organic matter model environment. Technical documentation agroecosystem Version 4.0. Great Plains. System Research Unit Technical report # 4. USDA-ARS, Fort Collins, CO.
- Morse S., N. McNamara, M. Acholo, and B. Okwoli. 2001. Sustainability indicators: The problem of integration. *Sustainable Development.* 9:1-15.
- Salas A. 2001. Phosphorus cycling during decomposition of plant residues in weathered soils from the tropics: Influence of plant factors. Ph.D. Diss. Colorado State University, Fort Collins, CO. USA.
- Xu J.G., and N.G. Juma. 1993. Above -and below- ground transformation of photosynthetically fixed carbon by two barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in a typic Cryoboroll. *Soil Biol. Biochem.* 25:1263-1272.

Nota de los editores

El artículo fue revisado y avalado por:

Maria Fernanda Rodríguez -INIA- mfrodriguez@inia.gob.ve
Adriana Cortez -INIA- acortez@inia.gib.ve

Citación del presente artículo:

Delgado, R. 2006. **¿Es necesario un nuevo enfoque de los estudios de fertilidad del suelo para una agricultura sustentable en Venezuela?**. Revista Digital CENIAP HOY N° 12 septiembre-diciembre 2006, Maracay, Aragua, Venezuela. ISSN: 1690-4117 Depósito Legal: pp.200302AR1449 Sitio: www.ceniap.gov.ve

Cuadro 1. Elementos a considerar, en algunos de los componentes del sistema suelo-agua-planta-hombre-medio ambiente, para la evaluación de sustentabilidad.

Componente del sistema	Elemento para evaluación de Sustentabilidad	Nivel de dominio o impacto	Limites de referencia para la evaluación
Cumplimiento de expectativas del productor	Ingreso neto en la Finca	Finca	Ingreso esperado o aceptable para cubrir requerimientos del productor.
	Calidad de cosecha	Unidad homogénea específica de suelo	Nivel de Proteínas, vitaminas, concentración de nutrimento. Contenido de compuestos que afectan la calidad para procesamiento industrial (ej. contenido de almidón).
Empleo de alternativas y servicios locales y satisfacción de demandas locales.	Utilización de Insumos y/o alternativas, y servicios locales. Producción de cosecha y/o subproductos para satisfacer demanda local.	Local	Proporción de insumos no locales aceptables en la explotación. Proporción aceptable de costos en insumos no locales, versus costos en insumos locales.
		Local/Regional	Proporción de mercado local satisfecha.
	Emisión de gases a la atmósfera	Global	Limites aceptables a nivel regional o global.
	Lixiviación y escorrentía de N hacia aguas profundas, y reservorios. Disposición de sub-productos de la actividad Agroindustrial.	Local/Regional	Limites aceptables a nivel local o regional.
Calidad del medio ambiente.	Capacidad de suplencia de nutrientes.	Local/Regional	Normativas locales y regionales.
		Unidad homogénea específica de suelo	Capacidad inicial o natural de suplencia de nutrimento de los suelos. Variación relativa de la capacidad de suplencia entre sistemas de producción o prácticas de manejo. Cantidad de nutrimentos en compartimientos del suelo asociados a la capacidad de suplencia Volumen de suelo explorable por el sistema radical.
Fertilidad del suelo (suplencia y accesibilidad) y otras funciones del suelo	Conservación de materia orgánica y ciclaje de nutrimentos.	Unidad homogénea específica de suelo	Variación relativa de la diversidad biótica entre sistemas de producción y/o en relación a la condición inicial o natural del sistema. Variación relativa del contenido de materia orgánica del suelo. Variación en la cantidad de materia orgánica en agregados del suelo.
	Capacidad de almacenaje y suplencia de agua, y propiedades hidráulicas del suelo.	Unidad homogénea específica de suelo	Variación de la capacidad de suplencia de agua en relación a la condición natural o inicial de los suelos, y/o entre sistemas de producción o prácticas de manejo.

Figura 1. Sistema integral para la evaluación y manejo de la fertilidad, y manejo de la fertilización, en una agricultura sustentable.

