

AGRICULTURA SOSTENIBLE Y FERTILIDAD DE SUELOS*

Sustainable agriculture and soil fertility

Eduardo Casanova O.¹

RESUMEN

Esta publicación enfatiza la necesidad de una agricultura sostenible sobre la base de una disponibilidad de tierras finita, constante crecimiento de la población nacional y mundial, conservación ambiental de los agroecosistemas, la necesidad de una biodiversidad, aumento de la productividad de los cultivos y conservación de los suelos. El concepto más reciente sobre agricultura sostenible fue enunciado en la cumbre de Johannesburgo en 2002 y destaca la importancia de la fertilidad de suelos para el logro de una agricultura sostenible tomando en consideración tanto los criterios de fertilidad química como los de fertilidad física y biológica, la necesidad de aumentar la eficiencia de uso de los fertilizantes mediante la estimación de los requerimientos de los cultivos y el balance de los nutrimentos en el suelo. En este trabajo se presenta un ejemplo para Venezuela de agricultura sostenible relacionado con la fertilidad de suelos con el uso de fertilizantes fosfatados de mediana solubilidad con resultados de mayor: producción de leche, de pasto, capacidad de carga de los potreros, rentabilidad, todo ello dentro de los conceptos de sostenibilidad. Se destaca el hecho de que por primera vez en Venezuela la producción sostenible forma parte de la Constitución Nacional.

Palabras clave: agricultura sostenible, fertilidad de suelos, pecuario, Venezuela.

ABSTRACT

This paper emphasizes the need of a sustainable agriculture based on the finite availability of land, constant growth of the national and world population, environment agricultural ecosystem environment conservation, genetic diversity, increase in crops productivity and soil conservation. It is highlighted the definition of sustainable agriculture in the Johannesburg Summit 2002 where It is emphasized the importance of

(*) Recibido: 01-03-2004

Aceptado: 13-09-2004

(1) Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay AP 4579, estado Aragua, Venezuela. E-Mail: casanovaen@cantv.net

soil fertility to achieve sustainable agriculture with the concepts of chemical, physical and biological fertility and the need of the efficient use of fertilizers to increase plant nutrient uptake and improving the estimation of crop requirement and the balance of soil nutrients. An example of the efficient use of phosphate fertilizers for sustainable agriculture in Venezuela is given for cattle raising (milk and meat production) with increase in productivity (more pasture, milk, animals/ha, profitability), environment protection and social acceptance by the farmers. It is strengthened that for the first time in Venezuela the sustainable production is declared in the National Constitution.

Key words: sustainable agriculture, soil fertility, cattle raising, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

Desde 1987, la Comisión Mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo de las Naciones Unidas ha desarrollado una serie de eventos referentes a Desarrollo Sostenible. Destacan por los acuerdos logrados, el de Río de Janeiro en 1992 con la Agenda 21 en la cual se destacaron los principios de dimensiones sociales y económicas, la conservación y gestión de los recursos, el fortalecimiento de la participación de los grupos sociales y la definición de medios para la puesta en práctica de un Desarrollo Sostenible; y el de Johannesburgo en el 2002 que estableció la necesidad de asegurar el balance entre el desarrollo económico y social y protección del ambiente como factores interdependientes, centra la atención en la erradicación de la pobreza, el cambio de patrones de producción y de consumo no sostenibles, en la protección de los recursos naturales como base para el desarrollo económico y social y el concepto es ampliado hacia temas complementarios como el acceso a los requerimientos básicos de agua limpia,

sanidad, techo adecuado, energía, salud, seguridad alimentaria y protección de la biodiversidad. Un concepto no enunciado en eventos anteriores y destacados en Johannesburgo fue la importancia de la fertilidad de suelos como medio para alimentar a 7.000 millones de personas en el mundo dentro de los conceptos de Desarrollo Sostenible.

A pesar de que el concepto de Desarrollo Sostenible se ha aplicado mundialmente desde 1987, en Venezuela son pocos los casos en los cuales se han producido datos que demuestran una tendencia hacia ese Desarrollo, con especial énfasis en el área agropecuaria.

Este trabajo tiene como objetivo presentar información de la necesidad de una agricultura sostenible, especificar su concepto más reciente, establecer la relación entre fertilidad de suelos y la sostenibilidad, hacer énfasis en la importancia de los fertilizantes y su impacto ambiental, mostrar la necesidad del uso eficiente de los fertilizantes para una agricultura sosten-

nible y describir un ejemplo en el país del uso eficiente de los fertilizantes con criterios de sostenibilidad.

LA NECESIDAD DE UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE

La International Fertilizer Industry Association, (IFA 1992) y (Casanova 1999) han resumido la importancia de una agricultura sostenible basada en los siguientes criterios: a) existe una disponibilidad de tierras finita. De las 13400 millones de hectáreas del planeta sólo 3200 millones son arables. En Venezuela de las 100 millones de hectáreas de la superficie nacional sólo 2 millones tienen escasas limitaciones, están totalmente bajo uso y sometidas a fuerte presión de ocupación urbanística e industrial, b) la población mundial crece a una tasa de 90 millones de personas al año o 250000 personas cada día y al año 2001 existían 6,3 billones de personas en el planeta y de ellos 87 % vive en países en vías de desarrollo y en la próxima década Asia tendrá que proveer alimento para 600 millones de personas adicionales. En Venezuela de las 22 millones reportadas por el Censo en 1997 se estima que sean 30 millones en el año 2010 a una tasa de crecimiento de 3 %, c) la expansión en los agroecosistemas en los últimos 50 años ha generado un flujo de CO₂ igual al liberado por la quema de combustible fósil en el mismo período. Igualmente, el uso de las tierras con fines agrícolas es la fuente inducida por los humanos más grande de N₂O la cual contribuye al

efecto invernadero y a la disminución de la capa de ozono, d) el 25 % de las especies vegetales desaparecerán en los próximos 50 años afectando la diversidad genética. La agricultura moderna del monocultivo es muy vulnerable: sólo 20 cultivos proveen 90 % de la alimentación mundial de los cuales arroz, maíz, trigo y papa contribuyen más que los otros 16 cultivos juntos. Sólo cuatro variedades producen 75 % del trigo en Canadá y en la India de 35 variedades de arroz que se sembraban hace 50 años ahora sólo se siembran 10, e) el potencial de producción ha disminuido debido a la degradación de los suelos. En el mundo se estima que 1200 millones de hectáreas están dedicadas a la agricultura, producción forestal y pastos y han sido afectadas por moderada a extrema degradación, la cual es caracterizada por una disminución de los contenidos de materia orgánica, pérdida de la estructura del suelo superficial, sellado superficial y excesiva escorrentía y erosión como resultado del excesivo uso de maquinarias, creación de una capa impermeable en el subsuelo y esto restringe la penetración de las raíces y su acceso a agua y nutrientes, agravando el efecto de cortos períodos de sequía durante el crecimiento del cultivo, aumento de las malezas, enfermedades y población de insectos, se afectan las prácticas culturales y reducen los rendimientos de los cultivos y pérdida de la biodiversidad. La degradación de los suelos en el mundo crece a una tasa de 10 millones de hectáreas por año y es fundamental-

mente debida a la disminución en la calidad del suelo asociado al mal uso por el hombre.

EL CONCEPTO DE AGRICULTURA SOSTENIBLE

Son varias las instituciones internacionales que han emitido sus conceptos sobre agricultura sostenible. La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) la describe como el manejo y la conservación de los recursos naturales y la orientación de cambios tecnologías e instituciones de tal manera de asegurar la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. Tal desarrollo sostenible en las áreas agrícolas, pecuarias, forestal y pesquera, conserva la tierra, el agua, los recursos genéticos de las plantas y los animales, es ambientalmente no degradante, apropiada técnicamente, económicamente viable y socialmente aceptable (IFA 1992). Por otro lado, la Sociedad Americana de Agronomía (citado por IFA, 1992) la define como un sistema de manejo que usa insumos disponibles como recurso natural o aquellos que son comprados externamente al sistema de producción, en la manera más eficientemente posible para obtener productividad y rentabilidad de la operación de la finca mientras se minimiza el efecto adverso sobre el ambiente. Por su parte el Congreso de los Estados Unidos de Norteamérica la define como un sistema integrado de prácticas de producción de plantas y

animales que tienen una aplicación específica en el sitio de producción y que satisface, en un largo período, las necesidades humanas por alimento, mejora la calidad del ambiente y la base de los recursos naturales, sobre la cual depende la economía de la agricultura; utiliza más eficiente de los recursos naturales no renovables y de los recursos de la finca e integra, donde es posible, los ciclos biológicos naturales; sostiene la viabilidad económica de las operaciones de la finca y aumenta la calidad de vida del productor y de la sociedad como un todo (IFA 1992).

Por su lado, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos la define como los sistemas de producción que mantienen o mejoran la calidad ambiental y los recursos básicos, proveen los alimentos para la dieta humana y la materia prima para la agroindustria, a la vez de ser económicamente viable y mejoran la calidad de vida de los productores y la sociedad en su conjunto.

Darst (2000) sostuvo que cuando estos términos se aplican a la agricultura incluye consideraciones para la adecuada suplencia de alimentos en el futuro así como el uso de los recursos de manera eficiente, rentabilidad para los agricultores y el impacto en el ambiente. Con el fin de que la agricultura se mantenga y cumpla con los requerimientos de alimentos de la población mundial hoy y en el futuro, debe proteger y mejorar el aire, el suelo y la calidad del agua. El mismo autor agregó que la agricultura sostenible no

es un concepto nuevo sino que ha evolucionado por miles de años, empleando nuevos conocimientos, experiencias y entendimiento e implementando nuevas tecnologías que demuestren ser beneficiosas.

En nuestro país (Casanova 1999), ha propuesto un concepto para Venezuela que incluye proveer alimentos para las generaciones actuales y futuras, conservar los recursos suelo, agua y ambiente, que sea rentable en función de la relación costo/beneficio, que sea socialmente deseable tanto para el hombre, las comunidades y sus sistemas de producción, que considere los aspectos científicos y tecnológicos globales pero adaptados o generados y validados a los sistemas de producción venezolanos, con las instituciones públicas y privadas ganadas a esa idea y que sea una política de Estado.

Casanova (1998) también ha mencionado que los criterios de sostenibilidad para cultivos anuales se han manejado durante varios años en Latinoamérica; sin embargo, son pocos los autores que han trabajado con ese criterio en ecosistemas de sabanas. Un concepto aplicable a los sistemas de producción es el de (West *et al.* 1994) quienes establecieron que el manejo de ese ecosistema debe mantener su integridad. Un sistema de producción animal en pasturas donde la productividad no disminuya es sostenible. Una producción animal constante o aumentada indica que la cantidad de forraje producido no ha

declinado significativamente en términos de su calidad y cantidad y que el potencial productivo de ese sitio todavía no ha sido disminuido. En consecuencia, la vegetación no ha cambiado o el valor forrajero de la vegetación no ha disminuido y no se ha perdido la capacidad productiva del suelo.

El potencial productivo de una determinada localidad depende del clima, la topografía, las relaciones suelo-agua y la capacidad del suelo de suplir los nutrientes; factores estos que determinan la capacidad de producción vegetativa de la sabana y por lo tanto la capacidad de la carga animal. Como que el clima y la topografía esencialmente no son afectados por el uso de la tierra, el potencial de una localidad a largo plazo se disminuiría por una pérdida irreversible de la humedad del suelo y de su habilidad para suplir nutrientes. Por otro lado, una baja carga animal puede tener poco o ningún efecto en la producción y productividad del forraje pero puede ser económicamente no rentable. Por lo tanto, para determinar si el pastoreo es un uso sostenible de la sabana se debe tomar en consideración la mejor carga animal para una empresa de producción animal económicamente rentable. En consecuencia, en el análisis de la sostenibilidad de un sistema de pastoreo debe considerarse la carga animal, las estrategias de manejo para un método de producción rentable, así como el mantenimiento o aumento del potencial productivo, a largo plazo, de la localidad.

Los criterios más recientes sobre sostenibilidad se enunciaron en la Cumbre de Desarrollo Sostenible realizada en Johannesburgo, Sur África (Johannesburg Summit 2002) donde se estableció la necesidad de asegurar el balance entre el desarrollo económico y social y protección del ambiente como factores interdependientes y pilares que mutuamente se refuerzan. Además, centran la atención en la erradicación de la pobreza, el cambio de patrones de producción y de consumo no sostenibles y en la protección de los recursos naturales como base para el desarrollo económico y social. El concepto es ampliado para aumentar el acceso a los requerimientos básicos de agua limpia, sanidad, techo adecuado, energía, salud, seguridad alimentaria y protección de la biodiversidad. En esta Cumbre se dedicó un espacio al desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe, en el cual se reconoció la importancia de acciones regionales y la toma en consideración de las individualidades regionales para compartir visiones y reconocer la diversidad cultural y definición de metas hacia la adopción de acciones concretas en diferentes áreas del desarrollo sostenible tales como biodiversidad, recursos de agua, vulnerabilidad y sostenibilidad de las ciudades, aspectos sociales (salud y pobreza), aspectos económicos (energía) e institucionales (capacidad de edificación). Se proponen acciones entre países de la región que refuercen la cooperación Sur-Sur y se pueda contar con el soporte de las organizaciones

multilaterales y regionales incluidas las instituciones de financiamiento.

LA FERTILIDAD DE SUELOS Y LA SOSTENIBILIDAD

Un suelo fértil y productivo es el recurso fundamental para un agricultor y para el ecosistema donde se desarrolla el sistema de producción. El objetivo del productor es mantener esa productividad, lo cual impone la necesidad de un buen manejo mejorando la estructura, el contenido de materia orgánica y la aireación, adecuado contenido de humedad, el pH apropiado y un óptimo nivel de nutrimentos. La expresión anterior tiene implícita los conceptos de fertilidad química, fertilidad física y fertilidad biológica, los cuales deben definirse dentro del contexto de sostenibilidad.

- a) Fertilidad química: la extracción de nutrimentos desde el suelo por las raíces de las plantas es afectada por una serie de propiedades químicas del suelo como el pH (ácido, neutro, alcalino), los niveles de aluminio intercambiable y en solución, el tipo de planta y su tolerancia o susceptibilidad a factores químicos como la acidez en función de su patrón de distribución de raíces, y la salinidad y sus efectos de toxicidad o a la inducción de deficiencias de nutrimentos debido al exceso de otros (Casanova 2002). De manera que el productor agrícola o pecuario que se mencionó en el párrafo

anterior debe mantener una buena fertilidad química de su suelo a través de la combinación de alguno de los siguientes manejos: corrección de la acidez y neutralización parcial o total del aluminio intercambiable y en la solución del suelo, uso de plantas tolerantes a algunas condiciones químicas como la acidez o la salinidad, corrección del exceso de sales para lograr un balance en los nutrientes del suelo. En otras palabras, eliminado las barreras químicas para un buen desarrollo del sistema radical.

- b) Fertilidad física: varios factores constituyen barreras físicas que impiden el crecimiento superficial o en profundidad del sistema radical. La compactación es uno de los más importantes por su efecto sobre la disminución de la penetración de las raíces y un menor aprovechamiento de la humedad y nutrientes y una menor aireación o disponibilidad de oxígeno. Un suelo compacto ha perdido su estructura, disminuye su capacidad de infiltración, la relación fracción mineral-aire-agua no es la más apropiada y todo ello se traduce en menor explotación del suelo por las raíces y en consecuencia una menor capacidad de absorber nutrientes del suelo.
- c) La Fertilidad biológica: mantener un buen nivel de materia orgánica en los suelos (incorporación de residuos, abonos verdes o cultivos leguminosos de cobertura), el uso de inóculos de bacterias fijadoras del nitrógeno

atmosférico en plantas leguminosas, la aplicación de micorrizas tanto en forestales como en cultivos alimenticios, para la absorción de nutrientes que no son fácilmente aprovechables, el uso de lombrices de tierra como mejora-doras de la estructura del suelo y el control de nematodos y otros microorganismos que afectan las raíces de las plantas, son algunos de los factores que deben ser mejorados para una buena absorción de elementos nutritivos por las plantas.

La combinación de los criterios de fertilidad química, física y biológica llevan implícito el concepto de sostenibilidad ya que se conserva la capacidad productiva del recurso suelo no sólo para la generación actual sino también para la futura. Es socialmente aceptable, al mejorar la productividad mediante de un buen manejo y la adecuada asistencia técnica se obtienen productos a menor costo de producción, altos rendimientos y mayor rentabilidad y se afecta menos el ambiente, al realizar un mejor manejo de los fertilizantes químicos con los orgánicos y se mejoran las propiedades físicas de los suelos para una mejor y más eficiente absorción de los nutrientes por las plantas. Un concepto más reciente sobre las ideas expresadas en este párrafo es la fertilización con fines de obtener una nutrición de plantas Integral, el cual reconoce las diversas fuentes de nutrientes y lo torna relevante para planificación en la finca, regional o nacional. El un uso óptimo de los diferentes insumos de nutrientes le

ofrece al agricultor la mejor oportunidad para una agricultura sostenible, protege el ambiente y conserva los recursos. El principio que soporta a la Nutrición de Plantas Integrado es que los cultivos requieren aproximadamente cantidades constantes y relaciones entre los diferentes nutrimentos. En la medida en que la población mundial crece y por consiguiente aumenta la demanda por alimentos, más nutrimentos serán requeridos para producir mayores rendimientos de los cultivos y sin duda la mayor cantidad de los éstos serán suplidos por fertilizantes minerales producidos comercialmente. Mientras en los Estados Unidos el consumo de nitrógeno (IFA 1992) tiene una proporción de 64 % en fertilizantes comerciales, 21 % en leguminosas y residuos de cultivos, 12 % en estiércol y 3 % en otros (lluvia, residuos urbanos), en Venezuela de las 530000 t de fertilizantes consumidas el año 2000, 60% (318000 t) fueron de nitrógeno y es prácticamente la única fuente usada para la producción agrícola en el país ya

que es muy poco lo que se consume vía las leguminosas y residuos de cultivos, en estiércol o en residuos orgánicos urbanos o industriales, a pesar de existir investigaciones de las universidades y el INIA sobre sus posibilidades de uso en diversos cultivos.

El uso de fertilizantes minerales es particularmente importante en los países en vías de desarrollo ya que la respuesta de los cultivos a éstos es generalmente considerable. Los rendimientos promedios por hectárea en los cereales, que es el principal componente en la alimentación humana, son aproximadamente proporcionales a las cantidades de N-P-K aplicados como fertilizante. Para el caso venezolano (Casanova 2000) señaló para la fertilización del maíz, que las cantidades de fertilizantes usadas en el transcurso de los años no han mostrado una correlación con la productividad del cultivo, lo cual es indicativo de una baja eficiencia de uso del fertilizante aplicado (Fig. 1).

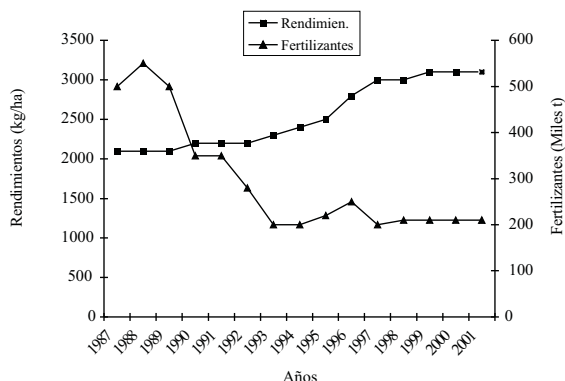


Figura 1. Relación entre la cantidad de fertilizante aplicado al maíz en Venezuela y su productividad entre los años 1987 y 2001.

Los aumentos en productividad que se observan en los años 1994-2001 se han producido más por el uso de híbridos de alto rendimiento que por la respuesta a la fertilización y los descensos en la cantidad de fertilizante son por la disminución de la superficie agrícola sembrada con maíz. Otro aspecto importante es que los rendimientos en grano de las leguminosas son mucho más bajos que el rendimiento de los cereales. En Venezuela, el rendimiento promedio nacional de maíz para el año 1997 alcanzó por primera vez la cifra de los 3000 kg/ha mientras que en las leguminosas como frijol, caraota y quinchoncho, sus rendimientos promedios nacionales fueron 798, 768 y 600 kg/ha, respectivamente (Casanova 2002). En general, un suelo que no ha sido fertilizado puede suplir no más de 1/5 del nitrógeno requerido para altos rendimientos. Casanova (1996) ha calculado el aporte de nitrógeno a partir de un suelo con 2 % de materia orgánica para las condiciones tropicales venezolanas de la siguiente manera:

- a) Dos por ciento de una hectárea que pese 2 millones de kg = 40000 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.

EL IMPACTO AMBIENTAL CON EL USO DE LOS FERTILIZANTES

El impacto del uso de los fertilizantes en el ambiente ha sido referido a 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” generada por el consumo de agua con concentraciones superiores a 10 mg/l de NO_3^- y en el cáncer gástrico aunque no se han presentado evidencias de una relación entre esta enfermedad y el contenido de nitratos en el agua (International Fertilizer Industry Association 1992).

La calidad del agua es afectada por nitratos provenientes 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 incorpore el uso de fertilizantes, generará cambios en la flora y la fauna por lo que se debe llegar a un compromiso de un balance entre la actividad agrícola y pecuaria y el mantenimiento de la flora y fauna donde esa actividad se realiza.

En Venezuela los nutrimentos más usados en la fertilización son el N, el fósforo (P) y el potasio (K). A continuación se presentan algunas de las mejores prácticas de manejo para esos nutrimentos para minimizar el posible impacto ambiental.

El N Y el ambiente: el N es rápidamente transformado en el suelo a la forma de nitrato el cual es muy soluble y se mueve con facilidad en el perfil del suelo. Las siguientes prácticas son recomendadas en el manejo de ese nutrimento:

1. Relacionar N aplicado con metas de rendimiento
2. Monitoreo de nitratos en el suelo para ajustar dosis de N
3. Uso de fuente apropiada
4. Época de aplicación asociada a las necesidades del cultivo
5. Uso de técnicas de estabilización del N para disminuir la formación de nitratos.
6. Varias aplicaciones ajustadas a los períodos de alta demanda por el cultivo.

7. Fertilización balanceada para maximizar la eficiencia del N.

8. Aplicación de fertirrigación (fertilizante en el agua de riego).

El P y el K en el ambiente: estos nutrimentos no son tan móviles como el N y tienden a permanecer muy cerca del sitio donde son colocados como fertilizantes o cuando son liberados en el proceso de descomposición de la materia orgánica, en consecuencia no representan una amenaza para las aguas subterráneas. El principal efecto ambiental se produce por la escorrentía (incluye erosión de suelos) de tierras cultivadas, pastos y bosques que pueden contribuir a la contaminación de lagos y ríos. A continuación se mencionan algunas tecnologías para el mejor manejo del P y el K en Venezuela:

1. Uso de terrazas y métodos de conservación
2. Mantener la superficie del suelo con cobertura vegetal
3. Incorporar el fertilizante al suelo (no dejarlo sobre la superficie)
4. Fertilización adecuada para rápido crecimiento del cultivo para protección del suelo
5. Uso de labranza conservacionista

El control de los fertilizantes sobre el ambiente depende de cómo el agricultor maneja sus fuentes de fertilizantes en función de su proceso productivo y no del fertilizante mismo (International Fertilizer Industry Association 1992).

EL USO EFICIENTE DE LOS FERTILIZANTES PARA UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE

La industria de los fertilizantes tanto en instituciones internacionales como en Venezuela debe tener como objetivo aumentar la eficiencia de uso de los nutrimentos, y una mejor estimación de los requerimientos de los cultivos y el balance de los nutrimentos en el suelo. De lograrse ese objetivo los beneficios serían el aumento de la producción de alimentos, mayor rentabilidad para los productores y protección del ambiente, aspectos básicos de una agricultura sostenible. Uno de los factores que puede ayudar al logro de ese objetivo es la transferencia de tecnología exitosa a los agricultores y su adopción y puesta en práctica en sus fincas. Prácticas como la agricultura de precisión (subdivisión de una finca en áreas más pequeñas y su análisis para determinar las necesidades de fertilizantes y agroquímicos), la rotación de cultivos (como el caso de maíz ajonjolí en Portuguesa o maíz-sorgo en Cojedes) pueden disminuir las necesidades de fertilizantes y pérdidas de nutrimentos por escorrentía los cuales tienen un fuerte impacto en los ecosistemas acuáticos por problemas de eutroficación y disminución de oxígeno y muerte de peces. El uso de residuos de cultivos y de abonos verdes ayudan a regresar al suelo parte de los nutrimentos que fueron absorbidos por los cultivos. Para mantener los rendimientos debe mantenerse la fertilidad del suelo.

En Venezuela el uso eficiente de los fertilizantes para una agricultura sostenible comienza por conocer mejor nuestras condiciones de suelo, plantas y clima y las respectivas interacciones entre los factores de cada uno de esos sistemas. En la Tabla 1 se presenta la superficie de cultivos anuales y permanentes sembrados o establecidos en Venezuela hasta el año 2002. Un análisis integral de esa superficie permite rápidamente resumir lo siguiente:

- a) Existe seis veces más superficie de cultivos permanentes que de cultivos anuales
- b) Los rendimientos en casi todos los casos son bajos (menos en arroz y maíz)
- c) La superficie sembrada de algunos rubros no es suficiente para satisfacer los requerimientos nacionales (sorgo, maíz amarillo, leguminosas de grano, oleaginosas, leche y carne) lo cual genera una situación estratégica de dependencia que tiende a vulnerar la soberanía nacional.

Todos esos cultivos anuales y permanentes se desarrollan en unas condiciones de suelos (Fig. 2) donde predominan los problemas de fertilidad en 32 % de la superficie nacional (32 millones de hectáreas) y suelos en pendientes con 44 % (44 millones de hectáreas) del territorio cuya segunda limitación es la fertilidad. Es decir 70 millones de hectáreas (70 % de la superficie nacional) tienen problemas

Tabla 1. Los cultivos anuales y permanentes en Venezuela, año 2002.

| Anuales | Superf. (ha) | Rend. (kg/ha) | Permanentes + Frutales + otros | Superf. (ha) | Rend. (kg/ha) |
|---------------------|--------------|---------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| Maíz | 516497 | 3487 | Caña | 137974 | 64318 |
| Sorgo | 265363 | 2083 | Café | 233873 | 393 |
| Arroz | 154203 | 5104 | Cacao | 53706 | 295 |
| | | | Tabaco | 3367 | 1920 |
| Hortalizas | 49829 | | Naranja | 33017 | 13826 |
| | | | Mango | 4993 | 15017 |
| Caraotas | 15673 | 816 | Aguacate | 5878 | 7565 |
| Frijol | 12017 | 772 | Palma aceitera | 25105 | 13874 |
| Soya | 1610 | 2756 | Piña | 14668 | 20459 |
| | | | Patilla | 10057 | 14824 |
| Ajonjolí | 51543 | 522 | Bananos | 41097 | 17886 |
| Maní | 520 | 2888 | Plátano | 59313 | 12704 |
| Girasol | 2747 | 1026 | Yuca | 47447 | 12762 |
| | | | Melón | 7610 | 17183 |
| Algodón | 15069 | 935 | Lechosa | 6766 | 19244 |
| Raíces y tubérculos | 85014 | | Uva | 688 | 16645 |
| | | | Pastos introducidos | 5000000 | |
| | | | Pino | 450000 | |
| | | | Eucalipto + Teca | 10000 | |
| | 1170085 | | | 6145559 | |

de fertilidad y su productividad depende en gran medida del manejo de los conceptos mencionados anteriormente de fertilidad química, física y biológica.

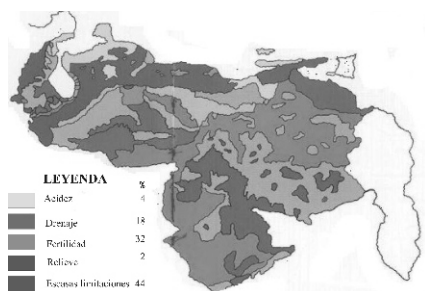


Figura 2. Limitaciones actuales para uso agrícola de las tierras (Mogollón y Comerma1994).

En las condiciones de suelo mencionadas (Fig. 2) las casi siete millones de hectáreas sembradas de cultivos anuales y permanentes se desarrollan bajo condiciones climáticas muy variadas desde condiciones semiáridas (Falcón, Lara, áreas costeras del país) donde llueve menos de 400 mm al año hasta el estado Bolívar en la cuenca alta y media del Caroní, con precipitaciones de 3000 a 5000 mm anuales.

Un ejemplo venezolano del uso eficiente de fertilizantes con criterio de sostenibilidad

Venezuela tiene suficiencia en la producción industrial de fertilizantes

nitrogenados ya que dispone de la fuente abundante en el aire (79 % de N) y de suficiente energía para fijarlo hasta producir nitrógeno amoniacal que luego es usado como materia prima para la producción de los fertilizantes nitrogenados. Esta producción se realiza en los complejos petroquímicos de Morón, El Tablazo y Jóse para satisfacer la demanda nacional y las solicitudes de exportación. Por otro lado, se depende totalmente del K ya que no se dispone de minas para la explotación y producción de fertilizantes potásicos por lo que es importado en su totalidad, mayormente de los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá. El caso del P es muy particular ya que en Venezuela se encuentran yacimientos de rocas fosfóricas en los estados Falcón, Táchira, Mérida, Zulia y Bolívar con reservas probadas, probables e inferidas de 2650 millones de toneladas las cuales pueden satisfacer las demandas del país por muchos años. La roca fosfórica puede ser materia prima para la producción de fertilizantes de mediana solubilidad como el caso de la roca fosfórica parcialmente acidulada y para la producción de ácido fosfórico el cual se usa como materia prima para la producción de fertilizantes de alta solubilidad.

Debido a la variedad de cultivos anuales y permanentes (Tabla 1), de los tipos de suelos donde se desarrollan esos cultivos (Fig. 2) y de las condiciones climáticas (Fig. 3), se debe programar del uso de las diferentes fuentes de fertilizantes de mediana y

alta solubilidad en función de esas condiciones. Esa es la razón por la cual se han desarrollado investigaciones de laboratorio, invernadero y campo (parcelas experimentales, semi-comerciales y comerciales) durante los últimos 10 años (Casanova 1993, Barreiro *et al.* 2000, Casanova 2001, Casanova 2002) para la evaluación de estos fertilizantes fosfatados de mediana y alta solubilidad. Uno de los rubros más estudiados con la roca fosfórica parcialmente acidulada es el pasto y a continuación se presentan resultados de evaluaciones con criterios de sostenibilidad.

a) Más leche

Una de las evaluaciones comerciales más recientes se realizó en Punta de Mata, estado Monagas, en un proceso de recuperación de pasturas degradadas en un sistema de producción de ganadería de doble propósito. Los pastos utilizados en 30 fincas evaluadas fueron *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria humidicola* y

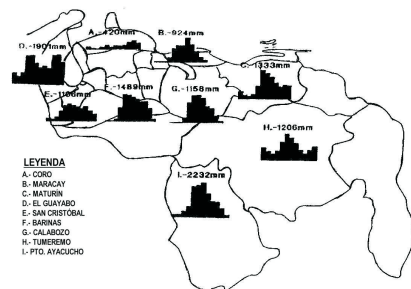


Figura 3. La distribución de las lluvias en Venezuela (Casanova 2000)

Brachiaria brizantha con un alto índice de degradación debido a insuficiente período de descanso de los potreros y prácticas de fertilización aplicadas inadecuadamente y en forma no oportuna, en suelos de sabanas bien drenadas con fuertes limitaciones de fósforo y nitrógeno. El área experimental de carácter comercial se estableció hace 10 años y en la actualidad tiene valores promedios de 20 a 25 cm de altura, una cobertura de 30 a 40 % y rendimiento por debajo de 0,30 t/ha de materia seca por corte y niveles de proteína cruda de 2 a 3 % considerados muy bajos y además de baja digestibilidad. En estas condiciones los animales del tipo cebú solo producían de 3 a 5 litros de leche por animal por día.

A estas pasturas degradadas se les aplicó roca fosfórica acidulada al 40 % en una dosis de 200 kg/ha a comienzos de lluvia e incorporada con un pase de rastra y 3 kg de semilla de *Stylosanthes capitata*, una leguminosa tropical que conjuntamente con la *Brachiaria* resultó en una excelente combinación de gramíneas y leguminosas. Los resultados fueron excelentes ya que el valor nutritivo del pasto se incrementó a 6 % de proteína cruda, aumentó el nivel de fósforo, calcio, magnesio, hierro, cobre, cinc y manganeso en el pasto y la producción de leche registró un incremento de 40 a 60 % lográndose promedios de producción de 8 litros de leche por animal por día. La combinación de gramíneas y leguminosas mejoró la calidad nutritiva del pastizal con una buena adaptación,

excelente consumo por el ganado y fácil recuperación después del pastoreo.

Desde el punto de vista económico se comparó el costo de la recuperación de la pastura por el método tradicional (300000 Bs./ha) en el cual hay que sembrar nuevamente el potrero y con disponibilidad del pasto al año a diferencia de la metodología de recuperación de pasturas llevada en esta experiencia comercial (50000 Bs./ha) con el pasto disponible a los dos meses y con los aumentos en producción de leche señalados anteriormente.

En la Tabla 2 se comparan los resultados obtenidos con la metodología de recuperación de pasturas degradadas que fueron tratadas con roca fosfórica parcialmente acidulada y el manejo tradicional del productor.

b) Más pasto

Los aumentos en la producción de pastos son significativos en varias localidades del país. En el Guárico oriental con *Brachiaria brizantha* en dos localidades se incrementó la producción de este pasto en 40 y 125 %, en Monagas con el mismo pasto se elevó en 50 % y con *Brachiaria humidicola* en 80 %. Los mejores resultados se han obtenido con la combinación de 200 kg de roca fosfórica parcialmente acidulada al 40 % y 100 kg de urea/ha. La calidad alimenticia de estos pastos se ve reflejada tanto en los aumentos de sus niveles de fósforo como en los niveles de proteína (7 % a 12,50 %). En la Tabla 3 se muestra los resultados.

c) Más animales por superficie de potrero

Como consecuencia del aumento en la producción y composición química del pasto el ganadero tiene la posibilidad de ubicar más animales por unidad de superficie. En Monagas, la capacidad de sustentación de los potreros pasó de 3 a 4,20 unidades animales /ha durante el período julio a noviembre con la aplicación de 200 kg/ha de roca fosfórica parcialmente acidulada a 40 % y 200 kg/ha de urea. En otras fincas del mismo Estado la capacidad de sustentación pasó de tres (3) a cuatro (4) unidades animales /ha. Esto permite una ganancia en peso en los animales de 500 a 600 g/día (Tabla 4).

d) Más rentabilidad

Una de las premisas de la agricultura es lograr que el productor viva en el campo con un nivel de rentabilidad de su sistema de producción que le permita a él y su grupo familiar lograr condiciones económicas dignas y mantener el optimismo de producir alimentos para 22 millones de venezolanos. Los aumentos en la producción de leche en cerca de 3 l/vaca/día e incrementos de peso en animales a la venta de 120 kg de carne, permiten al productor pecuario ganar 90 dólares por día en la venta de leche en un rebaño de 100 vacas y 15600 dólares en carne por la venta en pie en un rebaño de 100 animales (Tabla 5).

Tabla 2. parámetros de productividad del pasto, nivel nutricional, productividad en leche y costo de recuperación de una pastura degradada bajo el tratamiento de roca fosfórica parcialmente acidulada al 40 % y leguminosas en comparación con el manejo tradicional del productor.

| Estimador | Tratamiento | Testigo | Factor de Aumento |
|-------------------------------|--------------------|----------------|--------------------------|
| t MS/ha/corte | 1,80 | 0,30 | 6 |
| % Proteína cruda | 6,40 | 3 | 2,10 |
| % P | 0,15 | 0,08 | 1,90 |
| % K | 1,02 | - | |
| % Ca | 0,26 | 0,20 | 1,30 |
| % Mg | 0,46 | 0,25 | 1,80 |
| mg / kg Fe | 332 | 214 | 1,60 |
| mg / kg Cu | 5 | 1 | 5 |
| mg / kg Zn | 45 | 37 | 1,20 |
| mg / kg Mn | 154 | 83 | 1,90 |
| Nº de vacas en ordeño | 100 | 100 | |
| Litros de leche/vaca/día | 8 | 5 | 1,60 |
| Costo de recuperación (Bs/ha) | 50000 | 300000 | 6 |

Fuente: Casanova 2002

e) Sostenibilidad

Los diversos conceptos emitidos sobre agricultura sostenible a comienzos de este trabajo se cumplen con el uso de roca fosfórica parcial-

mente acidulada al 40 % en pastos en Venezuela: se aumenta la rentabilidad del productor como se demostró en el punto anterior, es socialmente aceptable ya que es de fácil aplicación y no requiere de tecnologías diferentes a las

Tabla 3. Rendimiento de Materia Verde (t/ha) en Diferentes Localidades del País con la Combinación de 200 kg de roca fosfórica parcialmente acidulada al 40 % (RFPA) y 100 kg de Urea / ha.

| Localidad / Pasto | 0 kg/ha de RFPA | 200 kg/ha de RFPA | % de Aumento |
|-----------------------------|-----------------|-------------------|--------------|
| Guárico oriental (BB)* | 25 | 35 | 40 |
| Guárico oriental (BB)* | 8 | 18 | 125 |
| Monagas y Anzoátegui (BB)* | 10 | 15 | 50 |
| Monagas y Anzoátegui (BH)** | 15 | 27 | 80 |

* *Brachiaria brizantha*

Fuente: Casanova 2002

** *Brachiaria humidicola*

Tabla 4. Aumento en la capacidad de sustentación de los potreros con la fertilización con roca fosfórica parcialmente acidulada al 40 % (RFPA) y urea.

| Localidad | Testigo | RFPA + Urea |
|--------------------------|---------|-------------|
| Monagas | 3 | 4.2 |
| Monagas | 3 | 4 |
| Ganancia en peso (g/día) | 200 | 500 - 600 |

Fuente: Casanova 2002

Tabla 5. Rentabilidad en leche y en carne con la aplicación de roca fosfórica parcialmente acidulada al 40 % (FOSFOPODER) a los pastos en el estado Monagas (rebaño de 100 animales, 1 leche/vaca/día y peso (kg) de animales a la venta).*

| Localidad | Testigo | FOSFOPODER + Urea | Precio a puerta U.S.\$/1 (leche) o U.S.\$/kg (carne) | Ganancia adicional U.S.\$/día (leche) o U.S.\$/rebaño (carne) |
|-----------------|---------|-------------------|--|---|
| Monagas (leche) | 5 | 8 | 0,30 | 90 |
| Monagas (carne) | 350 | 470 | 1,30 | 15600 |

* Base de los cálculos de ganancia: leche: 3 litros leche/vaca/día x 0.30 U.S.\$/l x 100 animales, Carne: 120 kg más de carne x 1.30 U.S.\$/kg en pie x 100 animales.

tradicionales usadas por el productor y ambiental-mente segura ya que esta fuente de fósforo es un fertilizante de mediana solubilidad que libera sus nutrimentos en función de los requerimientos del cultivo y en consecuencia no se mueve hacia los cuerpos de agua o hacia la atmósfera.

LA SOSTENIBILIDAD CON RANGO CONSTITUCIONAL

Antes de 1999 no existía en Venezuela un marco legal para el desarrollo de una agricultura sostenible. Con la nueva constitución del país (Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, 1999) sancionada el 30 de diciembre de 1999 según la Gaceta Oficial No 36860, se contempla en varios artículos relacionados con el tema agroalimentario, los aspectos sobre agricultura sostenible. En el Artículo 305 se establece que el Estado promoverá la agricultura sostenible, garantiza la seguridad agroalimentaria y privilegia la producción agropecuaria interna. En el Artículo 306 se indica que el Estado promoverá las condiciones para el desarrollo rural integral y en el Artículo 307 se expresa que el Estado velará por la ordenación sostenible de las tierras de vocación agrícola para asegurar su potencial de producción agropecuario. Por otro lado, en el Artículo 128 se explica que el Estado desarrollará una política de ordenación del territorio de acuerdo con las premisas de desarrollo sostenible y en el Artículo 299 se

establece que el Estado conjuntamente con la iniciativa privada promoverá el desarrollo armónico de la economía nacional y garantizará su sostenibilidad para una justa distribución de la riqueza. Finalmente, en el Artículo 326 se mencionan los principios de seguridad de la nación sobre bases de un desarrollo sostenible.

REFERENCIAS

- Barreiro, I., Casanova, E. and Castillo, J. R. 2000. PAPR for sustainable agriculture. *Phosphorus and Potassium* 228: 27-37.
- Casanova, E. 1993. Agronomic evaluation of fertilizers with special reference to natural and modified phosphate rock: results from the Latin American Phosphate Rock Network. FAO/IAEA Meeting "Evaluation of the agronomic effectiveness of phosphate fertilizers through the use of nuclear and related techniques. Vienna, Austria. p. 21.
- Casanova, E. 1996. *Introducción a la Ciencia del Suelo*. 2a Edición. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico,. Universidad Central de Venezuela. 379 pp.
- Casanova, E. 1998. Suelos y Fertilización de Forrajes en Venezuela. En Tejos, R., Zambrano, C., Mancilla, L., García, W. y Camargo, M., eds. *Memorias Congreso Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal*. UNELLEZ, Barinas, Venezuela. pp. 129-136.
- Casanova, E. 1999. Fertilización, nutrición y sustentabilidad de sabanas. En Itilier Salazar Quintana, ed. *Memorias XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, Temuco, Chile, p.16.

- Casanova, E. 2000. La fertilización y nutrición mineral del maíz en Venezuela. p.p. 275-294. En *El Maíz en Venezuela* (H. Fontana y C. González, Compiladores), Fundación Polar. 508 pp.
- Casanova, E. 2001. Evaluating the effectiveness of phosphate fertilizers: phosphate rock use and related technology in Venezuela. *Workshop Direct application of phosphate rock and related technology: latest development and practical experiences*. Malaysian Society of Soil Science and International Fertilizer Development Center, Kuala Lumpur, Malaysia. p. 38.
- Casanova, E. 2002. El uso de rocas fosfóricas y su efecto en la productividad de carne y leche en Venezuela. En Tejos, R., W. García, C. Zambrano, L. Mancilla y N. Valvuela, Eds., *Memorias VIII Seminario Manejo y Utilización de pastos y forrajes en sistemas de producción animal.*, Universidad Nacional Experimental Ezequiel Zamora, Barinas. pp. 99-106.
- Darst, B.C. 2000. Sustainable Agriculture, a Modern Perspective. In: *Better Crops with Plant Food, Potash and Phosphate Institute* (4): 3-5.
- International Fertilizer Industry Association (IFA), 1992. *Sustainable Agricultural systems for the twenty-first century, the role of mineral fertilizers*, Paris, France. 16 pp.
- Johannesburg Summit. 2002. Report of the world summit on sustainable development. [Documento en línea]. Cumbre de Desarrollo Sostenible, J o h a n n e s b u r g . E n : www.johannesburgsummit.org.
- Mogollón, L. y Comerma, J. 1994. *Suelos de Venezuela*. Gerencia Corporativa de Asuntos Públicos de PDVSA Palmaven, Caracas, Venezuela. 313 pp.
- Venezuela 1999. *Constitución de la República Bolivariana de Venezuela*. Edición del Ministerio de Relaciones Exteriores, Caracas.
- West, N. E., McDaniel, K., Smith, E.L., Tueller, P.T. and Leonard, S. 1994. *Monitoring and interpreting ecological integrity of arid and semi-arid lands of the western United States*. Range Improvement Task Force, New Mexico State University, Las Cruces.