

Desarrollo de un sistema integral para la enseñanza, evaluación y transferencia de tecnologías agrícolas sustentables en Venezuela

Rodolfo Delgado
Evelyn Cabrera de Bisbal

Investigadores. INIA-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias
Correo electrónico: rdelgado@inia.gov.ve

En Venezuela la agricultura se desarrolla en una amplia diversidad de condiciones edafo-climáticas, sistemas de producción y de manejo de los sistemas agrícolas, y de productores con diferencias en formación y en capacidades económicas y de adopción de tecnologías. Además, existen limitaciones para la evaluación y transferencia de tecnologías en las fincas de producción, debido a que sólo algunas áreas agrícolas del país están caracterizadas a una escala de detalle mayor a 1:50.000.

El desarrollo de una agricultura sustentable, donde el eje central es el establecimiento de sistemas de producción, los cuales permitan el bienestar del ser humano, mientras se mantiene un medio ambiente hospitalario y sano para las generaciones actuales y futuras (Delgado y Cabrera, 2005), debe considerar las particularidades biofísicas de unidades homogéneas dentro de las fincas de producción, las capacidades tecnológicas, expectativas, y económicas de los productores, así como el impacto de las actividades agrícolas en el medio ambiente, tanto local, regional y global (planeta), como se observa en la Figura 1.

De esta manera se podrá prescribir prácticas de manejo específico para cada condición donde se realizan actividades agrícolas, contrario a la visión de desarrollo de tecnologías universales (MacRae *et al.* 1989). Se destaca bajo este enfoque, el componente de enseñanza y formación, el cual contribuye a la difusión y adopción de tecnologías sustentables y a la preservación de la sustentabilidad integral de la agricultura mediante la formación integral de productores, científicos, extensionistas, empresarios y ciudadanos.

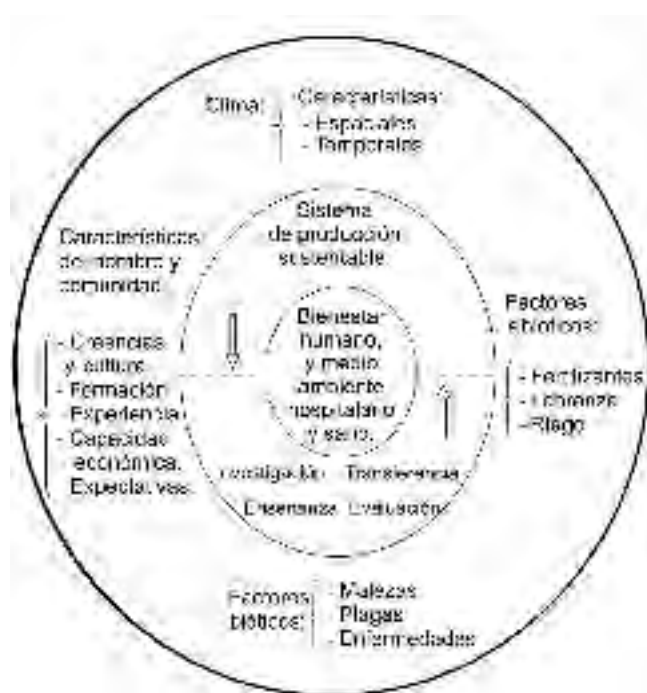


Figura 1. Principales componentes a considerar para el desarrollo de una agricultura sustentable.

Propuesta de un sistema integral para una agricultura sustentable

El sistema integral propuesto debe estar fundamentado en los aspectos siguientes:

- La caracterización e integración cuantitativa e interactiva de los principales factores y procesos biológicos, físicos y climáticos que afectan el desempeño de los sistemas de producción en escalas de tiempo apropiado (corto, mediano y largo plazo) y el impacto de estos sistemas de

producción en las principales características y funciones del sistema suelo-ambiente en el ámbito local (unidad de producción), regional (ejemplo: reservorios de agua) y global (ejemplo: emisión de gases a la atmósfera).

- La consideración de las especificidades biofísicas propias de cada unidad de producción (variables de suelo y clima que impulsan procesos importantes en el suelo), que reflejen la variación espacio-temporal natural existente entre ellas.
- La integración con sistemas de información geográfica de características espacio-temporales relevantes e impactantes del suelo, clima y manejo de los sistemas agrícolas.
- Índices integrales de evaluación de sustentabilidad, los cuales consideren elementos relevantes de cada uno de los componentes del sistema.
- Capacidad técnica y económica de los productores para la adopción de tecnologías, y expectativas de los productores en cuanto al logro del bienestar actual y futuro del núcleo familiar, como ente fundamental para la preservación y difusión de sustentabilidad.
- La consideración del productor en las diferentes fases del logro de una agricultura sustentable y la enseñanza de los diferentes actores (investigadores, técnicos, extensionistas, productores, entre otros).

La Figura 2 indica algunos de los componentes y factores que los afectan, los cuales se podrían considerar para el desarrollo de un “Sistema integral de evaluación de agricultura sustentable”, así como algunos de los aspectos de utilidad del mismo. Se destacan los componentes relacionados a:

- Investigación orientada a la generación de información necesaria sobre procesos claves en el sistema suelo-cultivo-clima-manejo-factores biótico.
- Modelos de simulación como elementos de integración efectiva e interactiva de los componentes.
- Sistema de información geográfico para la integración de información espacio-temporal de suelo, clima, manejo.

- Modelo de evaluación de sustentabilidad.

La implementación de un sistema con estas características permitirá contribuir, entre otros aspectos, a:

- Evaluación y transferencia de sistemas de producción o prácticas sustentables.
- Detección de necesidades de información.
- Estudios de impactos ecológicos, económicos, ambientales y evaluación de riesgos climáticos.
- Enseñanza de productores, técnicos, extensionistas e investigadores.



Figura 2. Sistema integral de evaluación de agricultura sustentable.

Algunas características de la investigación para una agricultura sustentable

El desarrollo de una agricultura sustentable debe estar basado, en una estrategia orientada a:

- Los aspectos relevantes a investigar dentro de los componentes suelo, planta, clima, prácticas de manejo y factores económicos-sociales.
- El establecimiento de mecanismos que garanticen la complementariedad e integración efectiva de los procesos dentro de los diferentes componentes y los procesos que permiten la integración entre componentes. El grado de detalle y escala temporal adecuado o necesario para extrapolación a nivel de finca de producción, y que permita evaluaciones durante el ciclo

de desarrollo de los cultivos y pueda predecir comportamientos futuros de los sistemas de producción, y su impacto en el medio ambiente.

- El desarrollo de nuevos métodos e índices de evaluación de sustentabilidad.

Un caso que se puede tomar como ejemplo de integración de algunos procesos dentro de un componente en particular (ejemplo: suelo), de la relación entre componentes (ejemplo: suelo-planta-clima), procesos de diferentes escalas de tiempo y de consideración de variables que impulsan procesos en el sistema suelo-planta-ambiente, es la determinación de nitrógeno disponible en el suelo y aspectos relacionados con la aplicación de nitrógeno en la forma de fertilizante (Delgado y Núñez 2004).

Algunos aspectos a ser abordados por la investigación, para el desarrollo de una agricultura sustentable, según la propuesta indicada, pueden estar enmarcados dentro de las áreas siguientes:

- Desarrollo de índices integrales para la evaluación de sustentabilidad.
- Caracterización funcional de los principales procesos en el suelo, impulsados por las variables más importantes de suelo y clima (alterables o no por prácticas de manejo), las cuales afectan el crecimiento de las plantas y calidad del suelo.
- Identificación del impacto de sistemas de producción y prácticas de manejo, en propiedades de suelo y ambiente, y del efecto interactivo de estos cambios en el desempeño actual y futuro de los sistemas de producción.
- Caracterización funcional de procesos importantes de cultivo, impulsados por variables de clima, suelo y planta, que permitan la evaluación del impacto de diferentes escenarios de suelo (ejemplo: contenido humedad), clima (ejemplo: concentración de CO₂) y manejo (ejemplo: densidad de siembra) en el desempeño de híbridos o variedades (con diferentes patrones de crecimiento, eficiencia de uso de agua, nutrientes, radiación, entre otros).
- Caracterización funcional de la incidencia de factores bióticos (ejemplo: plagas, enfermedades,

malezas, otros) en procesos y variables de los componentes suelo y cultivo, y su efecto en el desempeño de los sistemas de producción.

- Desarrollo de procedimientos para la predicción de variables climáticas en las fincas o de unidades de producción, mediante el desarrollo de funciones espacio-temporales que utilicen datos históricos de estaciones climáticas, características de paisaje de terreno y sistemas de información geográficas de clima y suelo.
- Desarrollo de métodos de levantamiento de información relevante de suelo para la caracterización de áreas homogéneas apropiados para explotaciones agrícolas de diferentes características y dimensiones, y establecimiento de un conjunto mínimo de propiedades o características a evaluar, especialmente de la capa de suelo que es el soporte primario y de exploración del sistema radical.
- Desarrollo de sistemas de información geográficas impulsado por variables o funciones para predecir nuevas variables requeridas en la evaluación de sustentabilidad de sistemas de producción: información de incidencia de plagas, enfermedades (impulsadas por condiciones climáticas y tiempo), información sobre pérdidas de suelo e incidencia en variables de suelo asociadas a disponibilidad de agua y nutrientes en el tiempo.

Modelos de simulación para el estudio de los sistemas de producción

El uso de modelos de simulación en la evaluación de sustentabilidad y calidad ambiental bajo diferentes condiciones de manejo y sistemas de producción, y para la evaluación temprana de sustentabilidad de sistemas agrícolas, han sido destacados por Thornton (1992) y Monteith (1990). En otras investigaciones, Paustian *et al.* (1992), demuestra como los modelos de simulación se pueden emplear para evaluar la dinámica de la materia orgánica del suelo en largos períodos de tiempo, mientras que Hadas *et al.* (1992) los utiliza para evaluar procesos breves en el suelo como inmovilización de nitrógeno.

En general, el empleo de modelos de simulación integrales para la evaluación de la sustentabilidad

en diferentes escenarios de suelo y clima, y bajo diferentes prácticas de manejo, en el corto, mediano y largo plazo, se fundamenta en:

- Su condición de elemento integrador e interactivo de los diferentes componentes y procesos que ocurren en los agroecosistemas (suelo, clima, cultivo, factores bióticos).
- La incorporación de procesos de diferentes escalas de tiempo, que permitan, durante el ciclo de vida de los cultivos (días) o en periodos largos, la evaluación de procesos más lentos, como la erosión de suelos.
- La consideración de las propiedades más importantes de suelo y clima, como variables que impulsan procesos, que reflejan la variabilidad espacial y temporal en la cual se desarrollan actividades agrícolas.

Algunas consideraciones en el desarrollo de los modelos de simulación, para predecir el desempeño del sistema de producción en las unidades homogéneas, se resumen a continuación:

- Predicción de disponibilidad de nutrientes y agua en el suelo en una base de horizonte por horizonte.
- Determinación de parámetros o procesos del sistema suelo-cultivo afectados por los sistemas de producción en el corto, mediano y largo plazo (días, años, décadas).
- Consideración cuantitativa del efecto de las propiedades físicas y químicas de los diferentes horizontes del suelo, en el desarrollo radical de los cultivos.
- Incorporación de características nutricionales y desarrollo de los cultivos que expresen adaptabilidad a diferentes condiciones de suelo y clima.
- Consideración de variables importantes de suelo y clima que expresen la variabilidad espacial de esos componentes y permitan que el modelo sea sensible a variaciones espaciales y temporales.
- Incorporación de variables impulsoras de los principales procesos en el suelo que sean alterables por condiciones de manejo.

- Consideración de la utilización de insumos y tecnologías con potencialidad de adopción, de acuerdo a las posibilidades socioeconómicas de los productores y capacidades locales.
- Consideración del efecto de factores bióticos sobre procesos y variables del suelo y cultivo, los cuales alteran el desempeño de los sistemas de producción.

Debido a la necesidad de evaluar diversos sistemas de producción, los cuales pueden variar desde cultivos anuales continuo (ejemplo: cereal-cereal), hasta cultivos asociados (ejemplo: leguminosa-cereal), los modelos deben incluir aspectos o parámetros fundamentales de los cultivos (ejemplo: desarrollo diferencial del sistema radical), que permita la evaluación de competencia en el uso de recursos del suelo (ejemplo: agua o nutrientes) y aun de radiación solar, y aspectos particulares de cada cultivo, como la fijación de elementos como nitrógeno (leguminosa).

Sistema de información geográfica y caracterización orientada de las unidades de producción

El sistema de evaluación y transferencia que se desea implementar, con el cual se pretende:

- Evaluar sistemas de producción que involucre cultivos de diferentes características y capacidades de exploración del volumen del suelo.
- Considerar la finca como unidad de producción que ofrece, además del aspecto físico-climático del sistema de producción, la capacidad socioeconómica del productor para la adopción o no de la tecnología.
- Evaluar el impacto de tecnologías y sistemas agrícolas en características del suelo y medio ambiente (ejemplo: contaminación de aguas subterráneas), para ello es necesario contar con el sistema de información geográfica con la capacidad de suministrar, procesar y almacenar información en una base de datos diaria, y en una base de horizonte por horizonte del perfil del suelo.
- Integrar la información propia del sitio de estudio (finca del productor) con la información gene-

rada del sistema de información geográfica del área de estudio (ejemplo: datos climáticos, como precipitación, radiación, temperatura de aire y suelo), de suelo (ejemplo: erosión) e información de incidencia de plagas y enfermedades. Lo antes señalado permitirá la integración del sistema de información geográfica a los modelos de simulación, lo cual es de gran utilidad en las evaluaciones de sustentabilidad, como lo sugiere Thornton (1992).

Evaluación de sustentabilidad de los sistemas agrícolas

La determinación de sustentabilidad de un sistema de producción, prácticas de manejo o tecnología agrícola debe estar basada en la evaluación del efecto de la misma en el mejoramiento o mantenimiento de las características deseables del sistema suelo-ambiente, conservación de los recursos naturales y mejoramiento o mantenimiento de la condición socioeconómica de los productores agrícolas. El sistema de evaluación de sustentabilidad debe ser una medida del bienestar social y preservación de la calidad del medio ambiente, lo cual es el eje central del principio de sustentabilidad (ver Figura 1). Lo antes señalado sugiere el desarrollo de índices que reflejen de manera integral la sustentabilidad del sistema.

La evaluación del impacto de una tecnología o sistema de producción en el ambiente físico, requiere tanto de la valoración o cuantificación de los cambios en propiedades importantes del suelo, como del efecto de esas variaciones en la productividad del sistema. Así mismo, es necesaria la valoración del efecto de los sistemas de producción en la contaminación de fuentes de agua y atmósfera y los costos asociados a la recuperación o saneamiento de los mismos.

Finalmente, otro de los componentes a considerar en la evaluación integral de sustentabilidad lo cons-

tituye el balance de egresos e ingresos asociados a la producción agrícola, lo cual podría establecer el ingreso neto disponible por el productor o núcleo familiar para cubrir las necesidades mínimas para su desempeño.

Bibliografía consultada

- Delgado, R.; Bisbal, E. C. de. 2005. Un sistema integral de enseñanza, evaluación y transferencia de tecnologías para una agricultura sustentable en Venezuela. *Agronomía Tropical (Venezuela)* 55(2):163-181.
- Delgado R.; Nuñez U., M. C. 2004. La modelización interactivo 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: ww.ceniap.gov.ve/eniaphoy/articulos/n6/art/delgado_r/arti/delgado_r.htm.
- Hadas, A.; Molina, J. A. E.; Feigenbaum, S.; Clapp, C. E. 1992. Factors affecting nitrogen immobilization in soil as estimated by simulation models. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1481-1486.
- MacRae, R. J.; Hill, S. B.; Henning, J.; Mehuys, G. R. 1989. Agricultural science and sustainable agriculture: a review of the existing scientific barriers to sustainable food production and potential solutions. *Biological agriculture and horticulture* 6:173-219.
- Monteith, J. L. 1990. Can sustainability be quantified?. *Indian journal of Dryland agricultural research and development.* 5(1-2):1-15.
- Paustian, K.; Parton, W. J.; Persson, J. 1992. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long term plots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 476-488.
- Thornton P. K. 1992. Application of computer modeling to evaluate sustainability. Documents of the "Training program on plant nutrient management for sustainable agriculture". September 14-25, IFDC, Muscle Shoals, Alabama. USA.