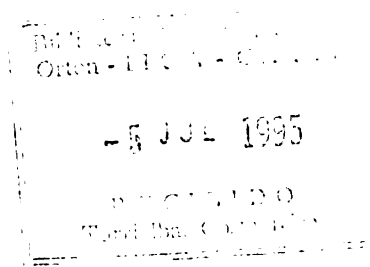


Sesión I

La Metodología "USTED" Uso Sostenible de Tierras en Desarrollo*



Resumen

Presentadores: Robert Sevenhuysen**
Donatus Jansen**
Rob Schipper**
Jetse Stoorvogel**

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Diferentes métodos han sido utilizados para derivar estrategias de uso de la tierra. La Evaluación de la Tierra se originó dentro de la disciplina de la ciencia del suelo. La evaluación de tierra se basó en unidades de tierra típicas, distinguidas en mapas de suelo y datos climáticos. Definiciones para condiciones actuales y potenciales eran muy rígidas y no reflejaban el rango de posibilidades a ser llevadas a cabo a través de formas alternativas de manejo de suelo seleccionadas por la persona que usaba la tierra.

Otro método con antecedentes más agronómicos fue el Análisis de Sistemas Agrícolas que también incluyó un análisis detallado de la estructura social de la familia del agricultor y un análisis económico, pero con poca atención a la variabilidad natural de la tierra e información geográfica. Además, la evaluación de la tierra muchas veces fue usada a nivel regional, y el análisis del sistema agrícola a nivel de finca.

Aunque ambos métodos tenían sus propios méritos y eran, hasta cierto punto, complementarios, había poca integración porque los dos pertenecían a diferentes mentalidades. La integración por un equipo multidisciplinario resultó en un nuevo marco, llamado LEFSA (Fresco *et al*, 1992). La realización del método LEFSA ha sido fomentado por el desarrollo de nuevas herramientas, de las cuales, las siguientes son importantes:

(1) Desarrollo de un modelo de simulación funcional para el crecimiento de cultivos, que permite predecir tanto los rendimientos actuales como los potenciales que dependen únicamente de las condiciones ambientales claramente definidas. Modelos correctamente validados permiten respuestas a las preguntas de "¿qué pasa si...?" que son tan comunes en el planeamiento de uso de la tierra moderna. Una serie de opciones puede ser calculada para cada unidad de tierra en términos de rendimiento bajo diferentes formas de manejo.

(2) Desarrollo de técnicas de monitoreo con sensores remotos para caracterizar patrones de uso de la tierra y condiciones de los cultivos. Los patrones obtenidos tienden a variar en el espacio y tiempo y proveen una imagen más realista y dinámica para el comportamiento de la tierra de lo que fue posible usando mapas estáticos de suelo y cultivos que eran basados en generalizaciones grandes.

* Resumen basado en el documento "Sustainable Land Use Planning in Costa Rica" preparado por R. Alfaro et al. Conference "Future of the Land". August 1993. Wageningen, Holland.

** Programa Zona Atlántica
Universidad Agrícola de Wageningen

(3) El Uso de Técnicas de Programación Lineal de Metas Múltiples que permiten la formulación de diferentes escenarios de uso de la tierra basados en condiciones sociales y económicas de exógenos. Sistemas de uso de la tierra son definidos para cada unidad de tierra, y los niveles de producción son funciones con diferentes formas de manejo. Patrones de uso en una área, que sea una finca o una región, dependen de prioridades siendo formuladas para el modelo. Así, diferentes intereses pueden ser balanceados de manera cuantitativa, dando una base racional para el planeamiento del uso de la tierra.

(4) Desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que pueden producir mapas de usos de la tierra rápidamente como función de manejo o de condiciones económicas, derivados por el uso de modelos de simulación y la aplicación de los modelos de programación lineal. Geo-referencia ha sido importante para comunicar los resultados de investigación a los usuarios.

La metodología USTED (Uso Sostenible de Tierras En Desarrollo) se basa en una combinación e integración única de las cuatro técnicas arriba mencionadas, que permiten diferentes escenarios de uso de la tierra o mapas generados por computadoras para usuarios en los niveles de finca y (sub)-regional.

1.2. Sostenibilidad

La necesidad para un enfoque integrado es más urgente, ya que es imposible imaginar un uso sostenido de la tierra que cubre todos los diferentes factores que influyen la sostenibilidad. El término "sostenibilidad" se emplea generalmente para indicar los límites puestos en el uso de ecosistemas por el hombre, o más específicamente, a la manera en la cual los recursos pueden ser usados para satisfacer las necesidades futuras sin debilitar la base de recursos naturales (cf. Fresco & Kroonenberg, 1992).

1.3. El Programa de la Zona Atlántica de CATIE-MAG-UAW

El Programa de la Zona Atlántica en Costa Rica está desarrollando una metodología para el análisis y planeamiento del uso sostenible de la tierra para apoyar la toma de decisiones a nivel de finca y regional. En el Programa, la Universidad Agrícola Wageningen coopera con el CATIE, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza en Centro América y con el MAG, el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. La metodología involucra las dimensiones ecológicas y económicas de la sostenibilidad en una estrategia de tres niveles:

- (1) el nivel de planta-suelo en el cual las demandas de los cultivos principales del área son analizadas en relación a los recursos de suelos según producción actual, limitada y potencial;
- (2) el nivel de finca, en el cual las decisiones económicas y agronómicas del manejo de finca son evaluadas; y
- (3) el nivel regional, que analiza condiciones más allá del nivel de la finca, tales como empleo y el sistema de mercadeo de los productos, pero también factores ecológicos como inundaciones.

2. El Sistema USTED

2.1. General

USTED (Uso Sostenible de Tierras En Desarrollo) es una metodología para analizar y planear el uso sostenible de la tierra. La metodología describe tanto la colección, procesamiento y

análisis de información relevante al uso de la tierra, como la incorporación de esta información en un modelo multi-disciplinario integrado. En su estado actual, USTED puede servir como ayuda en el planeamiento del uso de la tierra a nivel (sub)-regional.

Componentes del Sistema USTED

LUST: (Land Use System and Technology = Sistema y Tecnología de Uso de la Tierra) es la unidad básica de análisis. Un LUST se define como una combinación específica de una unidad de tierra con un tipo de utilización junto con una tecnología bien definida. Cada LUST describe una relación única y cuantitativa entre insumos y resultados físicos. Esta relación es determinada por varios factores como tipo de suelo, el efecto de prácticas de manejo con el comportamiento de cultivos/animales, el tiempo, etc. Dados los objetivos y recursos disponibles, los tomadores de decisiones de las fincas seleccionarán los LUSTs para implementarlos. Las fincas difieren significativamente en su potencial para la producción agrícola, que se refleja en las decisiones de los agricultores. Para justificar estas diferencias, las fincas fueron clasificadas según sus tamaños y tipos de suelo.

La sostenibilidad se define basado en un número de consideraciones teóricas y problemas de uso actuales y específicos al sitio. Usando la definición para sostenibilidad (la eficiencia óptima en el uso de recursos no renovables y el uso de recursos renovables a una tasa más baja o igual del reabastecimiento natural), el balance de nutrientes y el uso de biocidas son considerados como criterios de sostenibilidad para la Zona Atlántica de Costa Rica.

La Figura 1 muestra un resumen de la metodología, comenzando con la recolección de datos. Información básica necesaria para las descripciones de LUST, tipología de las fincas y la validación de los diferentes modelos se obtienen de encuestas y literatura. Se ha desarrollado el programa **MODUS** (Modules for Data management in USTED: Modules para el manejo de datos en USTED) para almacenar los LUSTs y calcular los coeficientes técnicos del modelo de programación lineal. Los datos geográficos se almacenan y se manipulan en un SIG.

MODUS calcula los parámetros de sostenibilidad y otros atributos para los diferentes LUSTs. Luego crea archivos de datos para el modelo de Programación Lineal. La definición de cada escenario está relacionada a un número de coeficientes o metas en el modelo de programación lineal. Cambios en los atributos (como precios), condiciones de límites o metas que resultarán en un escenario por aparte. MODUS funciona como un enlace entre la recolección de datos y el modelo de programación lineal. Los resultados de este modelo volverán al SIG, donde pueden ser presentados e interpretados.

La metodología descrita en esta Sección es operacionalizada usando diferentes paquetes de software, como el PC Arc/Info versión 3.4D+ (ESRI, 1990), entre otros, para las operaciones de SIG y la versión 4 de OMP (Beijers and Partners, 1992) para los modelos de programación lineal. Sin embargo, el enlace entre estos paquetes de software se basa en MODUS.

2.2 Descripción del LUST

Los agricultores tienen diferentes opciones para utilizar cada tipo de suelo particular en su finca. El modelo de programación lineal indica cuál combinación de estas opciones resulta en un uso óptimo de los suelos en una finca, tomando en cuenta las metas y los limitantes de la finca.

Para facilitar el uso del modelo de programación lineal bajo diferentes condiciones, la descripción del LUST debe incluir los factores que expresan las metas y los limitantes. Uno de los puntos esenciales en la metodología es el enlace entre las diferentes bases de datos.

Como se mencionó antes, cada LUST es identificado por una unidad de tierra (tipo de suelo), tipo de utilización y nivel de tecnología. En la base de datos actual para la Zona Atlántica, 25 diferentes tipos de suelos y 8 diferentes tipos de utilización son identificados. Varios niveles de tecnología para cada Sistema de Uso de la Tierra (LUS = Land Use System) son necesarios para proveer alternativas al modelo de programación lineal. Para facilitar el desarrollo de metodología, los 25 tipos de suelo están agrupados en 3 grupos grandes, que son relativamente homogéneos. Se consideran sólo las combinaciones relevantes de uso y tipo de suelo, como se aprecia en el Cuadro 1.

Para los diferentes sistemas de uso, niveles tecnológicos se definen y son descritos como diferentes LUSTs.

Cuadro 1 Combinaciones de grupos de suelo y tipos de utilización de tierra estudiados en el Programa de la Zona Atlántica

Cultivos	Principales grupos de suelo		
	Fértil bien drenado	Fértil mal drenado	Infértil bien drenado
Maíz	X		
Yuca	X		X
Piña	X		X
Palmito	X		X
Plátano	X		
Pasto	X	X	X
Forestales	X	X	X

Esta consideración conlleva a descripciones de LUST que incluyen una secuencia de operación cronológica (Stomph y Fresco, 1991), como preparación del suelo, siembra, cuidado y cosecha. La cantidad de insumos es indicada, por ejemplo, mano de obra, biocidas, equipo, y otros materiales por cada operación. También se incluye la cantidad de producción, cuando es aplicable. Un LUST simplificado se presenta en el Cuadro 2. Diferentes LUSTs pueden seguir las mismas operaciones y usar el mismo tipo, pero diferentes cantidades de insumos, o pueden producir el mismo tipo, pero diferentes cantidades de producción.

Atributos, como precios, contenidos de nutrientes, o toxicidad no están incluidos en estas descripciones de LUST. Ellos, en cambio, están almacenados en archivos de atributos, que pueden ser traídos por el programa MODUS y el SIG. Se usan identificadores únicos para cada operación o factor de insumo/producto para facilitar referencias cruzadas entre el LUST y los archivos de atributos.

Cada LUST describe una relación única entre insumos y productos físicos. Los datos para cuantificar esta relación se derivan de varias fuentes. Encuestas de fincas y el campo proveen información para describir la situación actual, ej. los LUSTs escogidos por agricultores bajo objetivos, limitantes y precios actuales. Experimentos de campo y conocimientos de expertos, en combinación con modelos de simulación de crecimiento de cultivos, dan LUSTs que indican los potenciales de producción de cultivos. Aquí, tres niveles se distinguen: producción potencial cuando no hay limitaciones físicas, producción con agua limitada (determinado por el exceso o falta de agua, que está relacionado con el clima y características físicas del suelo), y producción con nutrientes limitados (determinado por las características químicas del suelo).

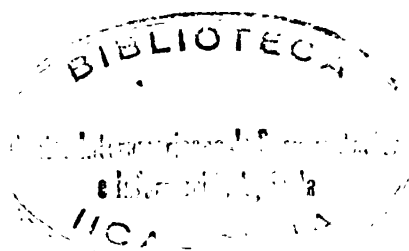
Una descripción de estos LUSTs potenciales permite escenarios de evaluación que incorporan mejoras técnicas futuras.

2.3 Fuentes de datos

Inventarios de reconocimiento de unidades de tierra y suelos fueron llevadas a cabo a través de la interpretación de fotografías aéreas (IR 1:80,000, 1984; B&W 1:35,000, 1981) seguida por encuestas exhaustivas del campo. Fotografías 1:10,000 (1989) fueron usadas para encuestas detalladas en áreas pilotos. Se han hecho análisis físicos y químicos de laboratorio para todos los tipos principales de suelos. Los datos recolectados se almacenan en el Sistema de Información Geográfica ARC/INFO llamado SIESTA (Sistema de Información y Evaluación de Suelos y Tierras del Atlántico). Unidades en el mapa están descritas por combinaciones específicas de unidades de terreno que son la división más pequeña del estudio. Cada unidad de terreno se caracteriza por diez propiedades como geología, fisiografía, forma, material, grado de inclinación, cantidad de piedras en la subsuperficie y suelo. La estructura de la base de datos es tal, que mapas temáticos, interpretaciones y enlaces con otras bases de datos, pueden hacerse fácilmente (Wielemaker & Oosterom, 1992; Oosterom *et al.*, 1992; Krabbe, 1993; Wielemaker & Vogel, 1993). Las propiedades de tierra definen las limitaciones de modelos de simulación para el crecimiento de cultivos. Los límites naturales entre las unidades en el mapa forman los límites de los diferentes sistemas de uso de la tierra. Por lo tanto, estos límites, junto con los límites de las fincas, también aparecen en los mapas del último escenario.

2.4 Tipología de fincas

Dos consideraciones son importantes para la tipología de fincas (la finca se refiere a la familia del agricultor y sus recursos): la referencia geográfica y la estabilidad de los tipos de fincas. Aunque, a primera vista, el uso de la tierra puede parecer como un criterio lógico para la tipología, no se incluye, ya que forma el producto del modelo de programación lineal. La clasificación se basa en el potencial para la producción agrícola en la finca, definida por tamaño de finca y tipos de suelo. Combinado con la asunción de un tamaño similar de familia y así recursos de mano de obra, las clases que resultan tienen una proporción similar de disponibilidad de tierra y mano de obra.



2.5 Modelo de programación lineal

El model de programación lineal selecciona y distribuye un número de LUSTs para cada tipo de finca. Los modelos para cada tipo de finca son incorporados en un model de programación lineal sub-regional, que incluye limitantes como la disponibilidad de empleo fuera de la finca

Cada tipo de finca puede seleccionar entre todas las actividades de uso de la tierra disponibles o LUSTs.

Hasta ahora, el modelo contiene variables para los cultivos principales (yuca, maiz, palmito, papaya, piña, y plátano), pastos y ganado y bosque (bosque natural, plantaciones y silvopastoril). Para producir estos, los tipos de fincas seleccionan LUSTs. Luego, el modelo tiene variables mensuales de mano de obra. Además, el modelo contiene ecuaciones para costos y uso de fertilizantes (N, P, K). Para tomar en cuenta la sostenibilidad, la pérdida de nutrientes (también N, P, K) y uso de biocidas son incluidos como limitantes.

Los limitantes son relacionados a balances entre productos y costos, a la disponibilidad de tierra por finca y por tipo de suelo cada mes, y a los requisitos de mano de obra, en balance con la disponibilidad de ella, especificado por tipo de mano de obra cada mes. La primera etapa optimiza los beneficios netos, p.ej. la diferencia entre beneficios y costo, medida por producto, insumos y precios de factores de 1991. La segunda etapa evalua los otros objetivos relacionados a los parámetros de sostenibilidad, la pérdida mínima de nutrientes y uso mínimo de biocidas.

El programa restringe el análisis de uso sostenible de la tierra a dos parámetros: pérdida de nutrientes y uso de biocidas. El balance de nutrientes es modelado (Stoorvogel, 1993) para todos los LUSTs. En el principio, en USTED, la pérdida de nutrientes es incluida como una condición de límite, con varios valores limitantes. Soluciones ajenas del modelo de programación lineal, p.ej. optimizando el ingreso de agricultores versus minimizando la pérdida de nutrientes, permite la evaluación de los costos recíprocos de oportunidad de estos objetivos. Los umbrales para la pérdida de nutrientes pueden establecerse como resultado de un proceso iterativo.

Se sabe la cantidad de biocidas usada en todos los LUSTs. Un valor de índice para biocidas es creado basado en la cantidad de ingredientes activos, su toxicidad (según la clasificación OMS) y sus vidas medias. Igual que para la pérdida de nutrientes, los biocidas forman una condición limitante aparte en el modelo de programación lineal. Sin embargo, los valores de umbral para el índice de biocidas son tentativos.

Aplicación y Discusión

Tomadores de decisiones a nivel regional o nacional o tienen una gran cantidad de medidas tales como incentivos y regulaciones para influenciar el uso de la tierra (Lutz y Daly, 1991). En muchos casos, el efecto de estas medidas y otros determinantes importantes de uso de la tierra (p.ej. crecimiento de población, precios de demanda, asuntos de sostenibilidad) son desconocidos. Escenarios, indicando posibles tendencias de uso de la tierra y/o medidas de políticas, pueden ser evaluados a través de USTED para el uso de la tierra.

Aunque el sistema es operacional, todavía requiere esfuerzos grandes de recolección de datos. El mapeo de suelos y uso de la tierra deben proveer la referencia geográfica necesaria de los diferentes tipos de fincas. Una encuesta de fincas y experimentos de fertilización deben formar la base para la descripción de LUSTs actuales y potenciales. Modelos validados de simulación para el crecimiento de cultivos o sistemas de expertos son indispensables para llevar a cabo la etapa entre los experimentos de fertilización y los LUSTs potenciales, aunque los resultados sean muy simplificados. Criterios relevantes de sostenibilidad tienen que ser identificados y sus procesos estudiados.

Debe ser claro que los tipos de fincas, basados solamente en la cantidad y calidad de un recurso (tierra) no pueden considerarse como una clasificación de finca apropiada. Otros aspectos, como el uso actual de la tierra, capital y la disponibilidad y asignación de la mano de obra, y los objetivos y estrategias deben tomarse en cuenta.

Figura 1: Escenario de USTED

