

**Notas del curso: “Evaluación de Tierras”**

**por**

**David G. Rossiter**

**Universidad de Cornell  
Facultad de Agricultura & Ciencias de la Vida  
Departamento de las Ciencias de Suelo, Cultivos y la Atmósfera**

**Agosto 1994**

**Traducido por el proyecto CLAS**

**CLAS/ITC**

**Junio 1998**

**Cochabamba- Bolivia**

**Parte 7: Métodos no-FAO de Clasificación de Tierras**

**Nota:** Estas notas fueron desarrolladas por el curso de suelos, cultivos y ciencias atmosféricas 494 de la Universidad de Cornell: 'Tópicos Especiales en Suelos, Cultivos & Ciencias Atmosféricas: Evaluación de Tierras, con énfasis en las aplicaciones de computadora', Semestre de Primavera 1994, y fueron aumentados subsiguientemente y formateados para su publicación. Ellos no deberán ser considerados como un texto definitivo sobre evaluación de tierras.

Derechos de autor © David G. Rossiter 1994. La reproducción completa o parcial de estas notas se permite si y sólo si esta nota es incluida. La venta de estas notas o cualquier copia es prohibida estrictamente.

**Contenido de la Parte 7:  
"Métodos no-FAO de Clasificación de Tierras"**

<b>1. MÉTODOS PRE-FAO DE CLASIFICACIÓN DE TIERRAS:</b> .....	<b>1</b>
1.1 CLASIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE USO USDA Y VARIANTES INTERNACIONALES .	1
1.2 APTITUD DE TIERRAS PARA RIEGO USBR.....	5
1.3 INTERPRETACIONES DE LEVANTAMIENTOS DE SUELOS.....	8
1.4 ÍNDICES PARAMÉTRICOS.....	11
1.5 ESTIMACIONES DEL RENDIMIENTO.....	13
<b>2. ZONAS AGRO-ECOLOGICAS (ZAE)</b> .....	<b>16</b>
2.1 OBJETIVO .....	16
2.2 PRODUCTOS DE LOS ESTUDIOS .....	17
2.3 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE LOS CULTIVOS .....	17
2.4 LOS REQUERIMIENTOS DE SUELOS DE LOS CULTIVOS.....	17
2.5 INVENTARIO DEL RECURSO SUELO .....	18
2.6 RELACIÓN CON LA EVALUACIÓN DE TIERRAS ESTILO-FAO .....	18
<b>3. MÉTODOS MODERNOS DE CLASIFICACIÓN DE TIERRAS NO-FAO .....</b>	<b>19</b>
3.1 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR SU CAPACIDAD DE FERTILIZACIÓN (FCC) .....	19
3.2 LESA: UNA CLASIFICACIÓN DE TIERRAS EXITOSA PARA LA PROTECCIÓN DE TIERRAS AGRÍCOLAS.....	22
3.3 CALIFICACIONES DE POTENCIALES DEL SUELO (SPR).....	25
<b>4. REFERENCIAS</b> .....	<b>31</b>

Muchos sistemas se han ideado para clasificar la tierra para propósitos específicos, y muchos estudios se han completado usándolos. Hay una alta probabilidad que el evaluador de tierras los pueda encontrar en la práctica. La mayoría de éstos son útiles cuando se usan para el propósito para que fueron desarrollados. Para cada uno de estos sistemas estudiaremos: (1) los objetivos, (2) las suposiciones; (3) el método de la clasificación misma; (4) las limitaciones; y (5) la relación con la evaluación de tierras estilo FAO.

Los métodos se pueden dividir en (1) los métodos de la clasificación de tierras que se desarrollaron antes que el 'Esquema FAO para la Evaluación de Tierras', la mayoría de los cuales son todavía muy influyentes; (2) las Zonas Agroecológicas, y (3) los métodos de la clasificación de tierras desarrollados después el Esquema de FAO, pero que están fuera del Esquema.

---

# 1. Métodos pre-FAO de clasificación de tierras:

---

## 1.1 Clasificación de la Capacidad de Uso USDA y variantes internacionales

Esto es indudablemente el sistema de clasificación de tierras más usado en el mundo, y el evaluador de tierras muy a menudo lo encontrará. Referencia original: (Klingebiel & Montgomery, 1961). resumida en (McRae & Burnham, 1981) capítulo 5.

### 1.1.1 El Objetivo

Clasifica las unidades cartográficas de suelos a nivel de detalle de fase de la serie de suelos) según su habilidad de sostener las clases generales de utilización de tierras sin degradación o significativos **efectos fuera del sitio**, para la planificación de la finca.

Los usuarios originales eran Conservacionistas del Servicio de Conservación de Suelos del USDA, quienes aconsejaron a los productores acerca del uso más apropiado de sus campos. No se pensó crear planes detallados de manejo, sólo en la parte conservacionista de estos planes.

### 1.1.2 Definiciones

#### Capacidad versus aptitud

“Capacidad” se refiere a **clases generales de utilización de la tierra** (semejante a 'clases mayores de utilización de la tierra' del Esquema FAO) en vez de **sistemas específicos de utilización de tierras (tipos de utilización de Tierras de FAO)**, para los cuales hablamos acerca de **aptitud** de áreas de tierra. Por lo tanto no podemos esperar realizar reportes detallados acerca de utilización y manejo de tierras en una clasificación de la capacidad.

#### Clase, subclase y unidad

Muy semejante en concepto a la clase de aptitud, subclase y unidad de manejo de FAO.

**Clase de capacidad:** el grado general de 'la bondad' en el sentido de 'la posible intensidad del uso': 1 = mejor, 8 = peor. Por alguna razón que el sistema original usó los numerales romanos I, II, ...VIII. Usaremos los numerales árabes por la misma razón que usamos el sistema de medidas SI.

**Subclase de capacidad:** indica las limitaciones mayores, mediante el uso de una o de más letras. Las subclases USDA:

- 'e' = peligro de erosión,

- 'w' = exceso de agua,
- 's' = limitaciones de suelo dentro de la zona de enraizamiento (incluye poca profundidad, pedregosidad, fertilidad natural baja difícil de corregir, salinidad),
- 'c' = limitaciones climáticas (temperatura o precipitación).

La clase 1 no tiene subclases.

**Unidad de capacidad:** es una división de la subclase de las tierras que son casi idénticas en sus requerimientos de manejo. El grado y el tipo general de limitaciones son los mismos que una subclase, pero pueden haber importantes diferencias de manejo, por esta razón, queremos separarlos en el mapa de capacidad y en la tabla de recomendaciones. Por ejemplo, la clase 3s podría resultar del exceso de grava en la zona de enraizamiento o al exceso de sales; podríamos asignar códigos de unidad '3s-1' y '3s-2'. Las unidades se definen localmente para cada levantamiento y se describen en detalle. Ellos corresponden generalmente a las fases de series de suelos en un levantamiento de suelos detallado.

### **Unidades de evaluación**

Estas son siempre unidades de mapeo de inventarios de recurso de suelo, generalmente de levantamientos de suelos detallados aptas para **planes de finca**.

### **1.1.3 Definición de las clases de la capacidad**

Estos son tomados textualmente de (Klingebiel & Montgomery, 1961)

1. Los suelos en la clase 1 tienen pocas limitaciones que restringen su uso
2. Los suelos en la clase 2 tienen algunas limitaciones que reducen la elección de cultivos o requieren prácticas moderadas de conservación
3. Los suelos en la clase 3 tienen limitaciones severas que reducen la elección de cultivos, requieren prácticas especiales de conservación, o ambos
4. Los suelos en la clase 4 tienen limitaciones muy severas que reducen la elección de cultivos, requieren un manejo muy cuidadoso, o ambos
5. Los suelos en la clase 5 tienen poco o ningún peligro de erosión pero tienen otras limitaciones, impráctico para eliminar, que limitan su uso a pastos intensivos, bosque, o a alimento de fauna silvestre o de cubierta. (Nota: usualmente son suelos húmedos).
6. Los suelos en la clase 6 tienen limitaciones severas que los hacen generalmente no aptos para cultivos y limitan su uso a pastos o pastizales, bosque, o alimento de fauna silvestre o de cubierta.
7. Los suelos en la clase 7 tienen limitaciones muy severas que los hacen no aptos para cultivos y limitan su uso a pastoreo extensivo, bosque, o vida silvestre.

8. Los suelos y las formas de tierra misceláneas en la clase 8 tienen limitaciones que impiden su uso para la producción comercial de plantas y restringen su uso a recreación, fauna silvestre, abastecimiento de agua, o a propósitos estéticos.

Nota: Mientras más alto el número de clase menos intensa la utilización de tierras. Hay por lo tanto una clasificación implícita de clases de utilización de la tierra: cultivo muy intenso (1), cultivo intenso (1-2), cultivo moderadamente intenso (1-3), cultivo limitado (1-4), pastoreo intenso (1-5), pastoreo moderado (1-6), pastoreo limitado (1-7), forestería (1-7), fauna silvestre (1-8).

Nota: todo los términos calificativos son vagos e indefinidos, por ejemplo "severo", 'limita la elección'. Es un registro escrito del mejor juicio disponible, no un sistema objetivo de clasificación de tierras, aunque en la mayoría de las aplicaciones hay tablas que dan los límites de características de tierra que se pueden aceptar en cada clase, por ejemplo, la pendiente debe ser <5% para estar en la clase 1 o 2.

#### **1.1.4 Premisas en la Clasificación de la Capacidad de la Tierra de USDA**

Estos se emplean en el sistema original tal como se desarrollo en los Estados Unidos de América.

1. Considera sólo características relativamente permanentes de tierra. Por esta razón, a CaTs físicas tal como pedregosidad se les da más peso que a CaTs químicas tal como pH.
2. Dentro de una clase pueden haber suelos muy diferentes pero con el mismo grado (en una subclase, también tipo) de limitaciones.
3. No es una categorización de productividad. La clase 4 de tierra podría ser más productiva que la clase 1 pero también más frágil y menos versátil.
4. No hay ninguna tentativa para determinar la capacidad de ganancia.
5. Se supone un solo nivel de manejo moderadamente alto
6. Si mejoras de tierra mayores se llevan a cabo, la tierra debe ser reclasificada. El costo de la mejora no se considera.
7. Los factores geográficos, tales como la distancia al mercado, las clases de caminos, el tamaño y la forma de las áreas de suelos, la ubicación dentro de la finca o el terreno, no son incluidos.

Conclusión: es una clasificación interpretativa de suelos muy estrechamente enfocada.

#### **1.1.5 Clasificar unidades de evaluación: (1) evaluación directa**

El evaluador coloca la unidad en una clase según la descripción de la clase. Por ejemplo, si la unidad de mapeo tiene algunas limitaciones que reducen la elección de plantas o requiere prácticas moderadas de conservación, el evaluador lo ubica en clase 2. No hay tablas ni procedimientos explícitos de decisión, el evaluador escoge la clase que mejor se ajusta a la unidad de tierra. Esto es subjetivo pero puede ser muy consistente cuando se usa por un

evaluador experimentado (un buen ejemplo: 7 estados de Venezuela se clasificaron por Samuel Strebbin). Es también apropiado en áreas de asentamientos agrícolas con un pequeño rango de utilidades de tierra establecidas.

### **1.1.6 Clasificar unidades de la evaluación: (2) tablas**

En una tentativa para hacer la clasificación más objetiva (y utilizable por agrimensores menos experimentados), tablas interpretativas se pueden construir, mostrando el valor máximo de las características de tierras que se pueden aceptar en cada clase. Por ejemplo, la clase 1 puede ser definida como aquella que requiere pendientes <1%, la clase 2 <3%, la clase 3 <8%, la clase 4 <15% etc. Esos límites son puestos basados en las observaciones de utilidades de tierra actuales. No hay una razón *a priori* para escoger un límite particular, todo depende del efecto en la utilización de la tierra. Los límites pueden variar entre regiones, por ejemplo en regiones de precipitación intensa los límites de pendiente pueden ser más bajos. Las características de tierra se pueden combinar, por ejemplo, la pendiente y la textura de la parte superficial del suelo. El problema: las tablas pueden dar malas clasificaciones (en el sentido de las definiciones de clase) cuando hay combinaciones inusuales de características de tierra.

### **1.1.7 Adaptaciones Internacionales**

Este sistema fue ampliamente adoptado y a veces adaptado a condiciones locales:

1. El número y/o la definición de clases modificados.
2. Tablas locales de clasificación
3. Otras letras de subclases para factores localmente importantes
4. Múltiples clasificaciones para varios niveles de manejo (por ejemplo, tradicional y "mejorado")
5. La clase 5 no es una clase especial, sino en la misma escala como los demás.

Sólo (4) es realmente un avance conceptual, anticipando la noción del Tipo de Utilización de la Tierra. Estos tipos de cambios dirigieron al desarrollo del Esquema de FAO.

### **1.1.8 Conclusión**

Este sistema influyó obviamente al Esquema de FAO. Es todavía útil para la planificación de la conservación de la finca y para agrupar las unidades de mapeo de levantamiento de tierras en grupos generales de manejo. Los problemas mayores: (1) ignoran completamente los factores económicos, (2) la tierra no es evaluada para usos específicos. En el Esquema de FAO, también evaluamos para un TUT o para una CT específica de interés para la conservación, por ejemplo peligro de erosión. Algunas de las mismas tablas usadas para evaluar las limitaciones específicas en el sistema de capacidad se pueden usar así mismo para evaluar las CTs.

---

## 1.2 Aptitud de tierras para riego USBR

Cita original: (U.S. Departamento del Interior, 1951). Otras explicaciones: (EUROCONSULT, 1989) p. 146-149, (FAO, 1985) p. 103-109, (Landon, 1984) p. 47-52, (McRae & Burnham, 1981) p. 127-133, (Maletic & Hutchings, 1967)

### 1.2.1 El Objetivo

Tiene como fin escoger tierras para el desarrollo de riego, y para caracterizar sus factores principales de manejo. Los mapas de aptitud se usan para planear la ubicación de trabajos principales y secundarios de riego y drenaje, y para hacer las decisiones de financiamiento a nivel de proyecto. La visión **de la tierra** es tanto como un recurso que se puede modificar, pero cuya modificación debe ser sostenible y efectiva de costo. Es una mentalidad de ingeniero ("la naturaleza para ser manejada").

### 1.2.2 Los Principios

1. La predicción: El sistema mira hacia el futuro y hace predicciones acerca de cómo la tierra aparecería si fuera regada y/o drenada, incluyendo cambios en la napa freática, en salinidad o sodicidad, y en la forma de la tierra.
2. La correlación económica: los factores físicos están relacionados funcionalmente al valor económico, que es medido por la capacidad de reembolso: el residual disponible para pagar el agua después que todos los otros costos se hayan reunido. (Otra manera de expresar esto sería el retorno de agua al tipo de utilización de tierra.) El planificador entonces puede poner un umbral de reembolso para determinar cuáles tierras se deben incluir en un proyecto de riego.
3. Los factores permanentes y cambiables: debemos identificar los factores que pueden cambiar cuando se realiza el proyecto, y los que no. Por ejemplo, pH versus la textura del suelo. Uno de los objetivos de la evaluación es el de decidir cuáles factores pueden ser cambiados económicamente; dependiendo del alcance del proyecto casi todo se puede cambiar. Por ejemplo, material de suelo se puede transportar para cambiar la textura, si esto fuera rentable.
4. Arabilidad y regabilidad: El sistema USBR tiene dos etapas principales: (1) identifica las tierras arables que son aptas para regar según su capacidad de reembolso; (2) dentro de las tierras arables, identifica las tierras regables que se pueden regar actualmente. La tierra arable pero no regable no se puede regar a causa de limitaciones geográficas, tales como una no factible entrega de agua, o de una parcela aislada o de forma irregular.

### 1.2.3 Terminología

1. Tierra Arable: "Tierra que, en unidades de adecuado tamaño y que si fueron apropiadamente proporcionadas con las mejoras esenciales de nivelación, drenaje y facilidades de riego, podrían tener una capacidad productiva, bajo riego sostenido, suficiente para: reunir todos los gastos de la producción, inclusive los costos de



operación y mantenimiento de riego y proporciona un retorno razonable en la inversión de la finca; reembolse una cantidad razonable del costo de las facilidades del proyecto; y proporcione un nivel de vida satisfactorio para la familia de la finca."

(Nota el contexto es explícitamente, social y económico.)

2. Tierra regable: "Tierra arable bajo un plan específico por el cual es abastecida de agua o puede ser hecha disponible y que es (planeada para ser) proveída con riego, drenaje, protección contra inundaciones, y otras facilidades necesarias para sostener el riego."
3. Tierra productiva: tierra regable, menos el área de tierra para canales, edificios de finca y otra tierra en que no crecerán los cultivos. A menudo considerada que ocupa el 94-97% de la tierra regable.
4. Clase de tierra: Una categoría de tierra con la capacidad semejante de reembolso. Las diferentes tierras en esta clase pueden tener características físicas bastante diferentes.
5. Subclase de tierra: Una categoría dentro de la clase de tierra con un conjunto específico de características físicas que llevan a un tipo específico de limitación.

#### **1.2.4 Los presupuestos de la granja como indicadores económicos**

La unidad de evaluación es la 'típica' granja familiar. Un estudio económico se emprende del presupuesto de la granja en una hipotética 'típica' granja en cada una de las principales clases y subclases. Esto requiere que el economista establezca uno o más modelos de referencia de cultivo/ganadería y cuantifique las principales entradas y las salidas al sistema, ambas en tiempo y su cantidad. Los ingresos netos de la granja entonces se pueden calcular. Esto puede ser normalizado en base de por-hectárea dividiendo entre el número de hectáreas regables en la granja típica, de esta manera se obtiene la capacidad de reembolso por-hectárea.

Las capacidades de reembolso por-hectárea, sumado sobre el área de proyecto, son usadas para estimar el costo máximo del esquema de riego (en otras palabras, la viabilidad completa de proyecto), usando las tasas de interés corrientes o proyectadas.

El problema: en países sin experiencia en proyectos de riego, o en donde los productores no mantienen los presupuestos de la granja, la evaluación económica puede ser tentativa.

#### **1.2.5 Definición de clases de tierra**

Clase 1: "Arable": alta capacidad de reembolso; permite generalmente una gran variedad de cultivos y un rendimiento alto y sostenido; el agua es usada generalmente eficientemente; las tierras menos costosas para desarrollar

Clase 2: "Arable": capacidad intermedia de reembolso; permite generalmente un rango algo restringido de cultivos y rendimientos moderadamente sostenidos; el agua se usa generalmente de manera moderadamente eficientemente; puede ser más costoso para desarrollar que la clase 1.

Clase 3: "Arable": Semejante en su capacidad de reembolso y productividad a la clase 2, pero más arriesgado para desarrollar a causa de una sola grave deficiencia, o una combinación de varias deficiencias moderadas, eso se debe corregir para poner la tierra en producción.

Clase 4: "Arable Limitada o de Uso Especial": apta sólo para un rango muy limitado de cultivos (por lo tanto, más arriesgado en términos físicos y del mercado porque sólo un producto puede crecer). Su capacidad de reembolso puede de hecho ser más alto que las Clases 2 o 3. Generalmente, el cultivo es indicado, por ejemplo '4R': arroz(inglés: rice), '4P' pastos, '4F': árboles frutales.

Clase 5: "Temporalmente No-Arable": no arable a causa de una deficiencia específica que se podría remover; estudios adicionales (ingeniería, agronómica, o económica) son necesarios para colocarlo en clase 6 o en una clase arable. Esta clase se usa en mapas preliminares solamente.

Clase 6: "No Arable": Imposible o no factible para desarrollar bajo las consideraciones económicas existentes o proyectadas. Incluye las tierras que a primera vista no son desarrollables tales como tierras escabrosas y fracturadas, así como también tierras que se podría desarrollar pero las cuales no reunirían criterios de reembolso.

### **1.2.6 Modificación para el SE de Asia**

En el sistema original, la mayoría de las tierras de arroz entran a la clase 4, lo cual no se ve tan bien en el plan de un proyecto. Así que las siguientes modificaciones se hicieron:

Clase 1: "Arable - cultivos diversificados"

Clase 2: "Arable - cultivos diversificados"

Clase 1R: "Arable – tierras húmedas para arroz"

Clase 2R: "Arable - tierras húmedas para arroz"

Clase 6: "No arable"

### **1.2.7 Definición de subclases y símbolos cartográficos de USBR**

En un mapa de USBR, cada área de tierra tiene un símbolo informativo, mostrando la clase de tierra, la subclase (debido a deficiencias mayores en suelo "s", topografía "t", y/o drenaje "d"), un código de utilización de tierra, un código relativo de productividad, un código relativo al costo de mejoramiento, un código del requerimiento de agua de la granja, y un código de drenabilidad. Así las tierras de una misma clase (igual capacidad de reembolso) pueden diferir significativamente en estos factores.

Además, las deficiencias específicas que lo llevaron a la designación de subclase "s", "t", o "d" se pueden listar, junto con su nivel de severidad. A cada deficiencia se asigna una letra, por ejemplo, "z": textura gruesa (esto podría llevarla a una subclase 's').

El símbolo final de la unidad del mapa es por lo tanto una guía muy informativa para el manejo, una vez que el proyecto es implementado.

### **1.2.8 Clasificar Unidades de evaluación**

Casi siempre, se desarrollan tablas de cruzamiento que relacionan características diagnósticas de tierra a limitaciones específicas y letras de subclases, así como también a la clase de tierra. Parecería que las estimaciones de rendimiento se necesitarían para cada combinación de características de tierra; en la práctica éstas son estimadas como reducciones de rendimiento desde algún nivel de la referencia.

### **1.2.9 Adaptaciones Internacionales**

Este sistema se ha sido ampliamente usado fuera de los Estados Unidos de América para la planificación de proyectos de riego. Las adaptaciones principales han sido:

1. El contexto local para expectativa de riqueza, para el tamaño de la granja, y para los costos (estos debe ser estimados localmente, de acuerdo al sistema)
2. Diferentes clases, subclases y limitaciones específicas.

### **1.2.10 La Relación con el Esquema de FAO**

El sistema de USBR influyó fuertemente en el Esquema, especialmente la idea que sólo consideraciones económicas pueden clasificar verdaderamente la tierra para los proyectos de desarrollo. El énfasis en la especificación de la granja típica en su contexto social es semejante al énfasis en el Tipo de Utilización de la Tierra. Las subclases son requerimientos generales de utilización de la tierra; los otros códigos de unidades de mapeo (por ejemplo, el costo del mejoramiento de la tierra) podrían ser considerados como los requerimientos específicos de Utilización de la Tierra.

---

## **1.3 Interpretaciones de Levantamientos de suelos**

La idea básica es tomar las unidades de mapeo de un levantamiento de suelos detallado (por ejemplo, al nivel de un condado en los EEUU, mapeado a 1:20 000, las unidades de mapeo son las fases de la serie de suelos) y interpretarlos directamente para utilidades de tierra anticipados. El resultado es la aptitud para el uso basado en la severidad de las limitaciones relativamente permanentes. No es una evaluación económica, aunque la dificultad relativa de vencer las limitaciones sea implícitamente tomada en cuenta. Muy a menudo, este

enfoque se toma para usos no agrícolas, tales como usos ingenieriles, cuyas limitaciones y 'productividad' no pueden ser fácilmente cuantificados en el contexto del levantamiento de suelos.

(Olson, 1981) es un libro de texto que usa este enfoque. (Olson, 1973) es un ejemplo para dirigir las aplicaciones la ingeniería tales como la construcción suburbana. Cualquier levantamiento de suelos post-1970 de los Estados Unidos de América tiene tablas interpretativas que siguen este enfoque. El Manual Nacional de Suelos (U.S. Departamento de la Agricultura, 1983b) §603.03 explica el enfoque, y tiene tablas de ejemplos.

Ejemplo: (del (U.S. Departamento de Agricultura, 1983b) Tabla 603-10)

### Clasificación para campos de absorción de tanques sépticos

Propiedad	Límites			Rasgo Restrictivo
	Leve	Moderado	Severo	
Textura USDA			Hielo	<i>Permafrost</i>
Subsidencia total(cm)			>60	<i>Subside</i>
Inundación	Ninguna	Rara	Común	<i>Inundado</i>
Profundidad del lecho rocoso (cm)	>180	100-180	<100	<i>Profundidad de la roca</i>
Profundidad del pan cementado (cm)	>180	100-180	<100	<i>pan cementado</i>
Estanque superficial			si	<i>Estanque</i>
Profundidad de alta napa freática (m)	>1.8	1.2-1.8	<1.2	<i>Humedad</i>
Permeabilidad a 60-150cm profundidad (cm/hr)	5-15	1.5-5	<1.5	<i>Percola lentamente</i>
Permeabilidad a 60-100cm profundidad (cm/hr)			>15	<i>Pobremente filtrado</i>
Pendiente (%)	<8	8-15	>15	<i>Pendiente</i>
Fracción >7.5cm (% en peso)	<25	25-50	>50	<i>Piedras grandes</i>
Movimiento pendiente abajo			Susceptible cuando esta cargado, excavado, o húmedo	<i>Deslizamiento</i>
Formación de huecos			susceptible debido derretimiento del hielo del suelo	<i>Huecos</i>

Las 'propiedades' (la columna de mas a la izquierda) son características de tierra que son conocidas para cada unidad de tierra que debe ser evaluada. La tabla es una tabla de limitación máxima: la columna mas a la derecha de "leve", 'moderado' y 'severo' que se aplican a cada evaluación. Cada unidad de mapeo obtiene una clasificación y una lista de características restrictivas.

Ventajas: directamente aplicable a la planificación. El tipo de limitación se hace explícito.

Desventajas: la mayoría de los informes no indican cómo las unidades de mapeo fueron valoradas (en otras palabras, el informe mismo no incluye la tabla de valoración). Los árboles de la decisión de ALES se podrían crear para hacer la interpretación, pero a veces los criterios son más 'holísticos' (pueden dar una buena clasificación, pero que no se puede reproducir). Un ejemplo del criterio holístico: 'el movimiento pendiente abajo' en el ejemplo de arriba; es por si mismo una interpretación.

Recuerde, no es una interpretación económica; el costo para vencer una limitación es sólo implícito. Algunas limitaciones pueden ser factibles de ser superadas, otras no, dentro del contexto de un TUT. En el ejemplo de arriba, es difícil y costoso el eliminar el fondo rocoso, pero la profundidad de la napa freática puede ser controlada por drenaje en ciertos sitios. La viabilidad ingenieril no se considera en las valoraciones, esta se tendría que determinar para cada sitio.

Relación a la evaluación de tierra estilo FAO: Las utilizaciones de tierras (tablas individuales) pueden ser consideradas para ser los Tipos de Utilización de Tierra. Los tipos de la limitación se pueden considerar para ser convertidos en los Requerimientos de Utilización de Tierra. Las variables diagnósticas de la tierra se pueden considerar para ser las Características de Tierra diagnósticas.

---

## 1.4 índices Paramétricos

(van Diepen et. al., 1991) p.182-184, (Sys, 1985) vol. 2. p. 185-196; (Koreleski, 1988, Storie, 1933), (McRae & Burnham, 1981) capítulo 6

El nombre 'paramétrico' es infortunado, ya que no tiene nada que ver con parámetros en ningún sentido matemático. Sería mejor índices 'multi-factoriales'.

### 1.4.1 Objetivo de los índices paramétricos

Idea Básica: Varios factores numéricos (generalmente valores de características de tierra) son combinados para alcanzar una sola valoración numérica final. Así toda tierra es valorada desde excelente (100) a sin uso (0), y se supone que esto es medido en una escala de razón, en otras palabras, la tierra valorada como 80 es 'dos veces tan bueno como' la tierra valorada como 40. Por lo tanto sería una base 'justa' para impuestos (así como evaluaciones de propiedad).

Los factores pueden ser combinados por agregación o multiplicación, y posiblemente normalizando, dependiendo del sistema.

### 1.4.2 Un índice multiplicativo: el 'índice de tierras' (IT)

El Índice de Tierras es un índice multiplicativo, derivado de cualquier número de factores que afectan el 'valor' de la tierra, generalmente características de tierra. El propósito es llegar a un solo número que represente la 'bondad' del área de tierra, generalmente en una escala de 0-100.

Originalmente derivado para el calculo de impuestos de tierra (el Índice Storie de 1930 de California, luego actualizado varias veces). La fórmula es:

$$IT = \frac{\prod_{i=1}^q R_i}{100^{q-1}}$$

Dónde  $R_i$  son los factores de valoración individuales, en una escala de 0-100, y  $q$  es el número de factores, para que el denominador normalice el resultado a 0-100.

Los factores más importantes se valoran de 20-100, los menos importantes de 80-100 (tal que ellos no puedan tener un valor menor de 80, limitando así su efecto en el IT). Esto es evidentemente una valoración *a priori* sin base objetiva.

En el índice original Storie, había 3 factores: el perfil del suelo, la textura/pedregosidad de las capas superiores del suelo, y las limitaciones misceláneas tal como el drenaje.

Ejemplo: perfil del suelo 80/100, la textura de las capas superiores del suelo 60/100, misceláneos 90/100.  $IT = (80)(60)(90)/(100)^{3-1} = 43.2$

Problemas de un índice multiplicativo: sentido falso de certeza, elección arbitraria de factores, validaciones de factores automáticamente, asumen interacciones sinérgicas en los factores, el usar más factores bajan las valorizaciones, propagación severa de error, el concepto débil de TUT (podría haber una escala diferente de valoración para usos diferentes, pero esto es raro; generalmente se valoriza en base a un uso 'típico' agrícola.

### 1.4.3 Un índice multiplicativo: el 'Índice de Productividad'

Este es un índice multiplicativo que procura de correlacionar sus factores para rendimiento. Un ejemplo es el Índice de Productividad (IP) de (Pierce *et al.*, 1983), que se pensó para cuantificar la contribución de ciertos factores, que son afectados por la erosión, en el rendimiento. La idea básica es determinar la 'suficiencia' de  $A$  = capacidad de agua disponible,  $C$  = densidad aparente y  $D$  = pH para el crecimiento de raíces, como es estimada para una distribución de raíces idealizada  $WF$  sobre el perfil, asumido para tener  $n$  capas hasta una profundidad de 1m hacia abajo. Llegamos al índice multiplicativo:

$$IP = \sum_{i=1, \dots, n} (A_i \times C_i \times D_i \times WF_i)$$

Cada una de las variables son estandarizadas a 1.0 para una respuesta ideal de las raíces, 0.0 para el fracaso completo del cultivo. Este índice se pensó para cultivos de profundas raíces, pero podría ser adaptado para otros limitando la profundidad de suelo considerada.

Problemas: calibrar cada factor independientemente, se supone que su interacción es multiplicativa!

#### **1.4.4 Un índice aditivo**

Otro método es un sistema sencillo de puntos, con factores diferentes siendo asignados a una porción, de los 100 puntos totales.

Por ejemplo: 40 puntos para las propiedades físicas del suelo, 30 puntos para las propiedades químicas del suelo, 30 puntos para características del sitio (por ejemplo, la topografía).

El sistema LESA (lectura posterior) es un ejemplo.

#### **1.4.5 Uso de índices paramétricos**

Estos han sido sorprendentemente populares, a pesar de sus limitaciones obvias: estructura rígida, ningún contenido económico, pesos arbitrarios.

¿Por qué? Para dar un solo número para pago de impuestos o para valorar la tierra de 'bueno' a "malo". Veremos que la Valoración del Potencial de Tierras del USDA/SCS es un índice aditivo con un sabor moderno.

Juicio de (van Diepen et al., 1991): "a pesar de su enfoque cuantitativo aparente, los métodos paramétricos son evaluaciones cualitativas" (p. 184). Esto porque los factores y sus pesos son subjetivos.

---

### **1.5 Estimaciones del Rendimiento**

(van Diepen et al., 1991) pág. 178 ff. es una introducción a muchos métodos de estimación del rendimiento.

Una evaluación de tierras es muy útil, donde es posible, es una estimación directa del rendimiento del cultivo en una unidad de mapeo de la tierra. Esto es sólo posible donde el cultivo tiene una gran extensión en la zona y donde hay datos suficientes de rendimiento que han sido coleccionados. Las estimaciones del rendimiento se refieren a promedios a largo plazo y, posiblemente, a la variabilidad de los rendimientos (por ejemplo, (Dumanski & Onofrei, 1989)).

El Manual Nacional de Suelos (U.S Departamento de Agricultura, 1983b) §603.10-1 explica un enfoque para dirigir la estimación del rendimiento. Aquí el Tipo de Utilización de Tierra es una combinación del nivel de insumos, del sistema de cultivo, y de la variedad. El enfoque trabaja mejor donde uno o dos TUTs representan la mayor parte del área cultivada.



El objetivo es establecer un rendimiento esperado y, si es posible, un rango de rendimientos probables, de cada cultivo adaptado en cada unidad de mapeo, para un TUT específico. Porque el rendimiento es tan variable, y afectado por factores tan numerosos, una cantidad grande de arte y de juicio experto entra en las estimaciones.

El proceso se divide en dos pasos: (1) una estimación cuantificada sobre varios suelos de referencia, en otras palabras, suelos importantes y extensos que entre ellos cubren la mayor parte de los rangos de propiedades de suelos en una región, y entonces (2) un juicio experto de rendimientos sobre otros suelos, con la referencia a los suelos de referencia y las diferencias entre los suelos de referencia y otros suelos con respecto a propiedades claves conocidas para afectar el rendimiento (del paso (1)), tal como la capacidad de retención de agua.

### **1.5.1 La colección de datos**

Siempre necesitamos alguna medición objetiva del rendimiento. Los rendimientos pueden ser medidos de (1) campos de productores, (2) los ensayos de campo para fertilizante, variedad, labranza, etc., (3) las parcelas de investigación en estaciones experimentales.

Para cada rendimiento medido, debemos cuantificar los factores que pueden afectar, incluyendo (1) la unidad de mapeo de suelo donde el rendimiento fue medido, (2) las prácticas de manejo usadas para producir el rendimiento (la historia de cultivos, el manejo de cosecha y cultivo, el tipo y la cantidad de fertilización orgánica e inorgánica, el tipo de insectos y control enfermedades), (3) el tiempo durante el período cuando el rendimiento fue obtenido (especialmente la precipitación y temperatura), (4) la variedad, (5) la posición del sitio (el elemento del paisaje, la longitud de la pendiente sobre el sitio, el grado de la pendiente y el aspecto).

### **1.5.2 El Procesamiento de Datos**

Los Rendimientos de las tres fuentes pueden ser estandarizados a una escala común (generalmente la de los campos de productores) multiplicando por un factor de corrección que tiene en cuenta el manejo más intenso en las parcelas de investigación y en ensayos de campo. El factor correctivo se puede estimar de la razón del promedio completo, de los rendimientos de cada fuente.

El efecto de los factores productivos del rendimiento podría ser mejor cuantificado por un análisis de varianza, que revelaría la importancia de cada factor individualmente así como también las interacciones. A menudo no hay suficientes datos sistemáticos para hacer esto (los viveros de plantas son una excepción). Otro enfoque es el análisis de regresión en un rango de variables de predicción.

Si los ensayos pueden ser agrupados por la práctica de manejo (por ejemplo, si la mayoría de los productores en el área usan prácticas semejantes de labranza y fertilización), entonces los rendimientos en el grupo se pueden situar para dar un rendimiento

proporcional en cada suelo. La proporción entonces puede ser multiplicada por un rendimiento de referencia para dar el rendimiento esperado para cada unidad de suelo.

### **1.5.3 El comité experto**

Una vez que las relaciones de rendimiento para suelos de referencia se han establecido, un comité experto de científicos de suelos, agrónomos, y conservacionistas estiman los rendimientos relativos en todos los suelos que no son de referencia, teniendo en cuenta las diferencias claves. Por ejemplo, si una unidad de mapeo difiere de un suelo de referencia sólo en que es más delgado, la diferencia en el volumen radicular y la capacidad disponible de agua se pueden estimar, y luego el efecto en el rendimiento debido a este factor por sí solo.

En la práctica se pueden obtener resultados muy buenos para todos los suelos, de un comité local de científicos de suelos, de agrónomos, y de los productores (si ellos están dispuestos a revelar información sobre rendimientos). Resulta ser bastante fácil de situar las tierras en un área de levantamiento y asignar a cada grupo un rendimiento proporcional refiriéndose a un local óptimo o al nivel de referencia. Esto funciona porque los humanos somos buenos en comparaciones, y no tan buenos en estimados absolutos

---

## 2. Zonas Agro-ecologicas (ZAE)

El término 'zonas agro-ecologicas', abreviación ZAE, se refiere a cualquier método para dividir la superficie de la tierra en áreas más o menos homogéneas con respecto a los factores físicos que son más importantes para la producción de cultivos (u otros plantas). El término apareció por primera vez con el esfuerzo de FAO de mediados de los 1970s para determinar la capacidad potencial de carga humana, y es este sistema original el que estudiaremos. Se entiende que un producto similar puede ser producido por otros métodos; sin embargo, la idea básica de producir mapas de evaluación cuantitativa de adaptabilidad de cultivos son comunes a todo estudio ZAE.

Referencia original: (FAO, 1978) para Africa, y volúmenes subsecuentes para el Sudeste de Asia, Sudoeste de Asia, y Sud y Centro América. El evaluador de tierras puede usar los mapas resultado 1:20'000.000 (área mínima legible = 160,000 km<sup>2</sup>) para tener ideas generales de aptitud de cultivos, o puede usar la metodología por misma para producir mapas de mayor escala. Un ejemplo de escala mayor ZAE es (Kassam et al., 1991), el cual es el primer estudio al nivel de país (Kenya, a escala 1:1'000.000) siguiendo los estudios continentales.

---

### 2.1 Objetivo

Estudios Continentales: "Para obtener una primera aproximación del potencial de producción de los recursos de tierras del mundo, y así proporcionar el banco de datos físico necesario para planear el futuro desarrollo agrícola." Esta apuntado explícitamente al potencial de producción de cultivos energéticos para consumo humano(arroz, maíz, sorgo, mijo perla, trigo, soja, frijol phaseolus, yuca, papa blanca, papa dulce) así como también algodón, dada la base del recurso físico, especialmente clima y en menos detalle los suelos, no teniendo en cuenta los factores sociales y económicos. ¿Las preguntas geopolíticas son: cuál es la capacidad de carga humana en cada división política? y cuales son las implicaciones por la presión de migración?

Los estudios a escala de país son orientados hacia el desarrollo de políticas de las zonas rurales(crédito, infraestructura, investigación). Éstos tratan de contestar preguntas más específicas, por ejemplo "Donde se pueden obtener máximos reembolsos de insumos mejorados y en que utilización de tierras?", "Qué niveles de inversión se necesitan obtener estos reembolsos?", "Dónde los esfuerzos de investigación, extensión, y educación deben ser concentrados?"

---

## 2.2 Productos de los estudios

1. Una clasificación climática global y cuantitativa para la agricultura de secano, para cada uno de los cultivos escogidos.
2. Una clasificación de la adaptabilidad agro-climática (para cada cultivo), en una forma adecuada para emparejar los cultivos con los recursos de clima y suelos
3. Los datos del costo de producción de los cultivos por zonas climáticas y de suelos, suficiente para juzgar si los rendimientos exceden los costos ( a escala de país solamente).
4. Para cada cultivo, un mapa de clases de aptitud S1, S2, S3/N1 y N2, basado en la producción predicha relativa de biomasa (>80%, 40-80 %, 20-40 %, <20% de rendimiento libre de limitaciones), para dos niveles de tecnología (altos y bajos en insumos) que define un Tipo general de Utilización de Tierras.

---

## 2.3 Requerimientos Climáticos de los cultivos

Esto incluye la humedad (de la precipitación y la capacidad de almacenaje del suelo), la temperatura, la radiación, y el fotoperíodo, pues ellos afectan el crecimiento y la fenología. Estos datos son sintetizados en mapas climáticos interpretativos: (1) longitud del período de crecimiento; (2) el patrón del período de crecimiento; (3) la zona térmica.

Los cultivos se agrupan según su vía fotosintética (C3, C4, C4 adaptados para tierras altas) pues esto afecta mucho a cómo la planta responde a la humedad y la temperatura.

La innovación clave es el concepto de la longitud del período de crecimiento, que en los trópicos se basa en patrones de precipitación y en los subtropicos también en la temperatura. Esto es usado para cuantificar las reducciones del rendimiento.

---

## 2.4 Los requerimientos de suelos de los cultivos

Estos incluyen los requerimientos internos (por ejemplo, temperatura del suelo, humedad, aireación, fertilidad, profundidad, pedregosidad, salinidad y otras toxicidades) y externos o los requerimientos del sitio (por ejemplo, pendiente, micro- y macro-relieve, ocurrencia de inundación durante el período de crecimiento, accesibilidad y traficabilidad). En estos estudios, mayores mejoras de terrenos (riego, drenaje, lavado, formación de la tierra, etc.) no son contemplados.

Por lo tanto éstos son realmente requerimientos de suelos y paisaje. Para cada uno de éstos, se establece una tabla con valores óptimos y extremos. Por ejemplo, la salinidad para la

soja: óptima es 0 a 4 dS m<sup>-1</sup>, los valores extremos son 0 a 6. El nivel óptimo se asocia con rendimientos de 80-100% de rendimiento.

---

## **2.5 Inventario del recurso suelo**

El mapa de suelos de FAO del Mundo a escala 1:5'000,000 se usó como mapa de suelos. Es reconocido que este documento es de calidad muy desigual; el mapa mismo muestra tres grados de certeza. Las propiedades del suelo necesarias para la evaluación son inferidas del nombre de la unidad del mapa, que en cambio implica ciertos horizontes diagnósticos, y la fase de la unidad de mapa, para pendiente y textura. La escala y el nivel de detalle de este mapa se ajustan con los objetivos del estudio.

En un estudio al nivel de país, un mapa más detallado de suelos (por ejemplo. 1:1'000.000 o 1:500.000) es necesario.

Nota que un mapa general de suelos puede listar varios componentes para cada unidad de mapa; aunque estos no puedan ser mostrados en el mapa debido a limitaciones de escala, cada uno puede ser descrito y puede ser interpretado separadamente, y la proporción de la unidad de mapa cubierta por el componente puede ser listada. Así los cálculos exactos de áreas aptas son posibles aún con mapas de escala pequeña.

---

## **2.6 Relación con la evaluación de tierras estilo-FAO**

El estudio original no es una evaluación de tierras detallada porque los TUTs son imperfectamente definidos; los estudios de país tienen más detalle. Las ZAE pueden ser interpretadas para muchos de los RUTs 'agro-ecológicas' en una evaluación de tierras, por ejemplo el periodo de crecimiento, el régimen de radiación, las condiciones de cultivo. Las ZAE de FAO usan las definiciones de aptitud basadas en el rendimiento relativo del Esquema de Evaluación de Tierras, y adoptan también los principios básicos del Esquema como un punto de partida. Los estudios de país siguen explícitamente el Esquema.

En un sentido, cualquier evaluación de tierras para cultivos agrícolas debe incluir un ZAE, aunque esto no sea expresado explícitamente.

---

## **3. Métodos modernos de clasificación de tierras No-FAO**

Para planificación de objetivos bien definidos, sistemas de propósito especial pueden dar resultados rápidos y reproducibles con una precisión aceptable.

---

### **3.1 Sistema de Clasificación de Suelos por su Capacidad de Fertilización (FCC)**

Este sistema es explicado por (Sánchez, Couto & Buol, 1982). Christopher Smith de USDA/SCS, un estudiante de Stan Buol, corrigió y actualizó el sistema en una tesis reciente de PhD (Smith, 1989), que no ha sido publicado en ningún journal científico.

Este es un buen ejemplo de una clasificación de suelos (no una valoración de suelos!) que sirve para un propósito específico sin pretender ser una evaluación de tierras. Es interesante por sí mismo y puede servir como un apoyo importante para evaluación de tierras.

#### **3.1.1 Objetivo del FCC**

"El sistema de Clasificación de Suelos por su Capacidad de Fertilización (FCC) se desarrolló como una tentativa para superar la brecha entre las sub-disciplinas de clasificación de suelos y fertilidad de suelos." (Sánchez, Couto & Buol, 1982, p. 283). FCC es un ejemplo de un sistema técnico de clasificación de suelos, en otras palabras, los suelos se clasifican para un propósito específico, no según relaciones naturales supuestas, como en un sistema natural de clasificación de suelos.

#### **3.1.2 Estructura del FCC**

"FCC es un sistema técnico para agrupar los suelos según los tipos de problemas que presentan para el manejo agronómico de sus propiedades químicas y físicas. Acentúa los parámetros cuantificables de parte superior del suelo así como también parámetros de subsuelo directamente relacionados al crecimiento de la planta. Las clases de FCC indican las limitaciones principales relacionadas a la fertilidad del suelo, que se pueden interpretar con relación a sistemas específicos de cultivo o tipos de utilización de tierras." (Sánchez, Couto & Buol, 1982, resumen)

Un código de FCC se compone de tres componentes: (1) el Tipo, (2) el tipo de Sustrato

(opcional), (3) los modificadores (opcionales).

**Tipo:** la textura general de la capa arable o a los primeros 20cm de la superficie depende de cual es más superficial: S = arenoso (arenoso y franco arenoso USDA), L = franco, C = arcilloso (>35 % arcilla), O = orgánico (>30 % M.O. a por lo menos 50cm de profundidad).

**Subtipo:** usado sólo si hay un cambio textural marcado de la superficie hasta el subsuelo: S, L, C igual como para el Tipo, R = rocas u otra capa dura que restringe las raíces dentro de los primeros 50 cm de profundidad.

El tipo, el subtipo o ambos pueden incluir también el símbolo (') para indicar 15-35% de grava o más gruesos, o un doble (") para indicar >35% de grava o más gruesos.

Entonces, estos dos dan una idea general de la capacidad de retención de agua y de la superficie de intercambio dentro de la zona radicular.

**Modificadores:** 13 letras minúsculas, que se pueden usar solas o en combinación, para indicar los hechos importantes acerca de las propiedades químicas y físicas de suelos que tienen un efecto directo en el manejo de la fertilidad del suelo. Cada una se determina de una o más características diagnóstico de la tierra.

Ejemplos de modificadores

- e** baja capacidad de intercambio en la superficie del suelo. Debe tener las siguientes CaTs diagnósticas: (1) CEC <4 meq/100g suelo por la suma de bases +KCl-extractable Al ('efectivo CEC'), o (2) CEC < 7 meq/100g suelo por la suma de cationes a pH7, o (3) CEC < 10 meq/100g suelo por suma la de cationes + Al +H a pH8.2.
- v** vertisol (arcilla plástica muy pegajosa). Debe tener uno de las siguientes CaTs diagnósticas: (1) >35% de arcilla y >50% de la fracción de arcilla son arcillas expandibles 2:1.
- d** seco: regímenes de humedad ustico, aridico o xerico (Taxonomía de Suelos), en otras palabras, el subsuelo es seco > 90 días seguidos por año dentro de los 20-60 cm profundidad.

Los otros son **g**(gley), **a**(toxicidad de Al), **h** (ácido pero no tóxico por Al), **i** (alto fijación-P por el hierro), **x** (minerales amorfos), **k** (bajas reservas de K), **b** (reacción básica), **s** (salinidad), **n** (nátrico), y **c** (arcilla sulfática).

### 3.1.3 Interpretación de la nomenclatura FCC

La idea de FCC es que el 'nombre' del suelo completo dado por su FCC es significativo para el manejo de la fertilidad del suelo. Ejemplos:

'Lehk' : Buena capacidad de retención de agua (L por todas partes, solamente en la superficie), capacidad media de infiltración (L), baja retención de nutrientes para las plantas (Le), deficiente en bases (hk); aplicaciones fuertes de bases y N se deben dar en dos o más dosis para evitar su lavado (Le), requiere encalar para Cultivos sensibles al Al (h), peligro potencial de sobre-encalamiento llevando a la no-disponibilidad de micronutrientes (e), baja habilidad para suministrar K (k) de modo que fertilizantes de K se requerirán para plantas que necesitan niveles elevados de K.

'CATg' : La erosión puede exponer la textura arcillosa poco favorable del subsuelo (C), drenaje limitado para que las operaciones de cultivo puedan ser restringidas (g) y algunos cultivos pueden ser afectados adversamente por agua en la zona radicular (g). En posiciones a profundidades bajas que pueden ser inundadas, un suelo ideal para arroz.

### 3.1.4 Interpretación de mapas de suelos con FCC

Si información suficiente está disponible en la leyenda descriptiva, o implicada por el sistema de clasificación, los mapas existentes de suelos pueden ser reclasificados en mapas FCC. (Sánchez, Couto & Buol, 1982) así interpretaron el Mapa de Suelos del Mundo de la FAO, usando la descripción de la leyenda, la fase de información para cada unidad del mapa, un mapa general de regímenes de humedad del suelo, y publicaciones sobre relaciones de nutrientes de plantas de los suelos clasificados en la leyenda de la FAO. Ejemplo: La unidad Af18-1<sup>a</sup> del mapa de la FAO (un Acrisol Férrico, de texturas gruesas) = clase Scdaek de FCC.

Entonces el mapa de clases FCC puede ser reclasificado para algún calificativo específico o la combinación de éstos. Por ejemplo, un mapa se puede producir en todos los suelos donde la toxicidad de Al es probable, o donde aplicaciones divididas de abono N se recomendarían.

### 3.1.5 Problemas con FCC

El sistema ha sido criticado por algunos de sus límites de clase específicos (por ejemplo, 15-35% de los fragmentos gruesos para el modificador 'principal', por qué no 10-20% etc.) Muchos de éstos corresponden a los límites en la Taxonomía de Suelos. Ellos podrían ser modificados localmente, y de hecho Smith cambió algunos de éstos en su revisión.

Otra crítica es que las clases no son suficientemente precisas para hacer las recomendaciones específicas de manejo de fertilidad. Esto parece injusto dado el propósito del sistema, que es el de indicar el tipo general de las limitaciones. Las unidades de FCC pueden ser siempre divididas en sub-unidades de acuerdo a los criterios locales. Nuevamente, Smith dividió algunas clases en dos.

Mi crítica es que la estructura del código es inconsistente, especialmente la revisión por Smith. Ejemplo: los calificativos **h** y **a** son realmente dos intensidades del mismo fenómeno



(la acidez del suelo) y serían mas lógicamente expresados como un modificador más el intensificador ' (por ejemplo, **h** y **h'**). En la revisión, la prima se usa inconsistentemente.

### 3.1.6 Uso de FCC en la evaluación de tierras estilo-FAO

Los modificadores de FCC (letras) pueden estar directamente relacionados a cualidades individuales de la tierra. Por ejemplo, el modificador **g** está relacionado directamente al LQ 'disponibilidad de Oxígeno para raíces'.

Un grupo de modificadores de FCC juntos podría definir un LQ. Por ejemplo: para la LQ 'susceptibilidad a erosión', las clases de FCC **Ci**, **Cx** y **Lx** serían poco susceptibles (dentro de una clase dada de pendiente) a causa de su muy alta permeabilidad; los modificadores **v** y **bv** podrían indicar materiales de suelos altamente erosivos; suelos con un cambio textural a subsuelos arcillosos (por ejemplo, **SC**, **LC**) o para rocas (por ejemplo, **SR** o **LR**) serían muy degradados en el caso de erosión, también son susceptibles a la erosión en masa si la capa de textura más fina se satura.

Entonces, si un mapa de FCC está disponible, puede ser muy valioso para definir el manejo de la fertilidad relacionada a las cualidades de la Tierra. Un problema es la naturaleza general de las clases de FCC (a menos que haya modificaciones locales); generalmente sólo dos o tres niveles de severidad pueden ser separados por el código de FCC.

---

## 3.2 LESA: Una clasificación de tierras exitosa para la protección de tierras agrícolas

Una introducción general está en (van Diepen *et al*, 1991) pág. 191-2. El sistema original es presentado por (U.S. Departamento de Agricultura, 1983a). Algunas aplicaciones se dan por (Dunford *et al*, 1983, Van Horn, Steinhardt & Yahner, 1989, Wright *et al*, 1983). Un examen crítico de la primera década de la implementación de LESA esta en (Steiner, Pease & Coughlin, 1994) con una breve vista general por (Coughlin *et al.*, 1994)

### 3.2.1 Objetivo de LESA

"LESA fue desarrollado por el [US] Servicio de Conservación del Suelos (SCS) para ayudar a implementar el Acta de Políticas de Protección de Tierras Agrícolas. El propósito primario del sistema fue el de proporcionar a las instancias de toma de decisión locales con un sistema objetivo y consistente, numéricamente basado para determinar cuáles tierras agrícolas deben estar disponibles para desarrollar y cuales deben ser protegidas para cultivar." (Daniels, 1990) p. 617. La idea básica es la de identificar las tierras que son 'las mejores tierras agrícolas' en dos sentidos: su capacidad productiva inherente y la posibilidad de que una granja en el sitio puede ser económicamente y políticamente viable.

LESA fue aplicado a la adquisición de derechos de desarrollo en áreas críticas de tierras agrícolas: dinero limitado para ser gastado para el máximo beneficio público. Otras aplicaciones importantes son los permisos de zonificación para usos de no agrícolas y usos relacionados a la finca, la designación de distritos agrícolas, la transferencia de derechos de desarrollo, y la evaluación de impuestos de propiedad.

LESA es una estructura y un procedimiento a ser refinado y calibrado localmente. La declaración original (U.S. Departamento de Agricultura, 1983a) es usada por el Servicio de Conservación de Suelos, a menos que sea reemplazado por sistemas LESA desarrollados localmente.

### **3.2.2 Implementación de LESA**

Dos pasos: (1) Diseño del sistema local: decidir cuales factores usarse y asignar pesos; (2) aplicación del sistema local para parcelas individuales en respuesta a preguntas específicas, por ejemplo, cuáles derechos de desarrollo se deben adquirir. En el primer paso, todos los grupos de interés y los técnicos expertos están implicados: SCS, planificadores del pueblo y del país, productores, desarrolladores, negocios agrícolas, políticos. En el segundo paso, un grupo más pequeño que representa los mismos intereses hacen las calificaciones reales. El primer paso es crítico para una aplicación objetiva del sistema, porque es cuando los factores son medidos sin considerar a su efecto sobre propiedades específicas.

### **3.2.3 Estructura de LESA**

Aunque LESA pretenda ser objetivo y numérico, de hecho es altamente subjetivo. Sin embargo, la subjetividad no se esconde, al contrario, es explícita en la formulación y la aplicación del sistema.

Dos criterios principales: (1) la calidad productiva inherente de la tierra, (2) la presión local de desarrollo contra la economía agrícola existente. Los primeros generalmente contribuyen 100 puntos y los segundos 200 puntos hasta un valor máximo de 300 puntos (la combinación se puede ajustar para un sistema local de LESA). Note que los factores geográficos y geo-económicos (del sitio) son dos veces tan importantes como la productividad inherente de la tierra.

La unidad de evaluación es generalmente la granja pero podrían ser campos individuales. Los planificadores también definen objetivos de tener un área mínima de tierras agrícolas e incluyen las mejores tierras a aquel objetivo, o definen un puntaje mínimo que debe ser alcanzado por una granja para ser considerada para preservación. Aunque los puntajes absolutos son sin significado real, los rangos deben ser consistentes, y esto es todo lo que es necesario.

### **3.2.4 'Evaluación de Tierras' (LE)**

Criterio (1) o evaluación de tierras (LE) (note que este es un uso muy restringido del título de este curso!) está implementado básicamente como estimaciones de rendimiento para un cultivo de referencia usando la tecnología estándar del área. No existe demasiada controversia aquí, y las tablas estándares de calificación de SCS casi siempre se usan tal como están. La calibración local: ¿cuál cultivo de referencia, cuál tecnología? Las estimaciones del rendimiento son a partir de datos históricos o de interpretaciones de levantamientos de suelos (nota: en los US, todos los levantamientos de suelos al nivel de condado incluyen las estimaciones del rendimiento para los principales cultivos). Problema: que tal de los cultivos de no-referencia que pueden ser de valor alto y difícil de reemplazar, por ejemplo huertos? El sistema trabaja bien en áreas donde los granos comerciales son predominantes.

(Estas referencias de rendimiento a menudo son expresadas por la calificación del potencial de suelos, vea otra conferencia.)

### **3.2.5 'Evaluación del Sitio' (SA)**

Criterio (2) o evaluación del sitio (SA) es mucho más complicada y polémica. Un comité local considera y da peso a los factores que favorecen a la agricultura tales como 'el tamaño de la granja', 'la proporción de tierras agrícolas de clase 1 y 2 en la granja', 'proximidad a los servicios de apoyo (tal como los comerciantes de alimentos y fertilizantes)', y aquellos que favorecen el desarrollo, tal como 'el grado del desarrollo no-agrícola dentro de ... km.', "zonificación actual", 'proximidad a servicios municipales'.

Los factores de SA son agrupados en categorías tales como (1) viabilidad económica de la agricultura, (2) existencia de políticas que soporten el uso agrícola, (3) la falta de la presión del desarrollo. Bajo la categoría (1) están incluidas la existencia de infraestructura (por ejemplo para la reparación de maquinaria) y los mercados (por ejemplo, un elevador de granos).

En un estudio de implementaciones de LESA, (Coughlin *et al.*, 1994) informa que un SA típico usa de 10 a 20 factores, muchos de los cuales son bastante subjetivos. Algunos de los factores están en correlación, así que puede haber sesgo en la calificación SA final.

Conclusión: un sistema muy subjetivo con respecto a la evaluación del sitio, sin embargo transparente (todas las suposiciones y pesos son explícitos).

### **3.2.6 LESA y SIG**

LESA tiene aptitud natural para una implementación de SIG (Williams, 1985) desde que muchos de los factores son geográficos: por ejemplo la adyacencia a las propiedades agrícolas o no-agrícolas, la fragmentación del paisaje, la distancia a la infraestructura agrícola o urbana. Algunos de éstos son demasiado difíciles para la determinación rutinaria sin un SIG.

También, cuando los pesos son cambiados, el comité local puede ver interactivamente que los cambios en las áreas a ser preservadas o abandonadas para desarrollo. Los puntajes de LESA de un área entera pueden ser sumados para dar un índice de la 'afabilidad de la granja', y este puntaje puede ser evaluado para diferentes escenarios de desarrollo.

### **3.2.7 Relación al estilo-FAO de evaluación de tierras**

Una pregunta específica a ser resuelta por LESA podría ser considerando un Tipo de Utilización de Tierra, por ejemplo, si la tierra para ser incluida en un distrito agrícola.

La LE y SA se podrían considerar ser dos cualidades de la tierra, la primera incluyendo todos los factores in-situ, y la segunda todos los factores geográficos. Sin embargo, los grupos del factor de SA podrían también considerarse CTs individuales.

Los factores diagnósticos (por ejemplo, el índice de productividad, la distancia a los servicios agrícolas de apoyo, adyacencia al desarrollo existente) podrían ser considerados como características de tierra diagnósticas.

---

## **3.3 Calificaciones de Potenciales del Suelo (SPR)**

El concepto de SPR se introduce en (Beatty, Petersen & Swindale, 1979) p. 108-110. El Manual Nacional de Suelos §603.09 (U.S. Departamento de Agricultura, 1983b) explica el sistema y los procedimientos con todo detalle. El nombre es vago y las calificaciones son de valor dudoso; sin embargo el sistema esta incluido aquí porque se intenta reemplazar las interpretaciones simples del levantamiento de suelos con un enfoque más basado en lo económico.

### **3.3.1 Definición**

Las calificaciones potenciales de suelo son clases que indican la *calidad relativa* de un suelo para un uso particular comparado con otros suelos de un área dada. Lo siguiente es tomado en cuenta al asignar las calificaciones: (1) el nivel del rendimiento o desempeño, (2) el costo relativo de aplicar la tecnología moderna para minimizar los efectos de cualquier limitación del suelo, y (3) los efectos adversos de cualquier limitación continua sobre valores sociales, económicos o de medioambiente.

### **3.3.2 Objetivo**

Un enfoque más moderno que el índice Storie para cuantificar la bondad relativa de la tierra usando un índice paramétrico. Estas calificaciones son usadas con propósitos de planificación, no para recomendaciones de utilización de la tierra. Ellas miden la aptitud relativa para una utilización de la tierra. En este sentido, ellas pueden ayudar a los

planificadores a priorizar tierras para ser mantenidas en la agricultura. Ellas identifican también la fuente general del problema. Están pensadas especialmente para reemplazar las tablas de limitaciones, los cuales se basan en factores físicos sin una interpretación económica explícita.

Un objetivo principal del SPR, como un reemplazo para las tablas de limitaciones (por ejemplo, interpretaciones del levantamiento de suelos como fue presentado en una clase previa), es dar un valor económico aproximado a las limitaciones.

### 3.3.3 Clasificación

Los criterios de clasificación son establecidos localmente para el área en que las calificaciones deberán ser hechas. Las siguientes clases son reconocidas:

1. **Potencial muy alto.** La producción o el desempeño están en o por encima de las condiciones estándar locales porque las condiciones del suelo son excepcionalmente favorables, los costos de instalación o manejo son bajos, y no hay las limitaciones de los suelos.
2. **Potencial alto.** La producción o el desempeño están en o por encima de estándares locales; los costos de las medidas para vencer las limitaciones de los suelos son juzgados localmente para ser favorables con relación al desempeño esperado, y las limitaciones de suelo que continúan después de que medidas correctivas se realizaron no empañan apreciablemente la calidad del medioambiente o de los ingresos económicos.
3. **Potencial medio.** La producción o el desempeño están algo por debajo de estándares locales; o los costos de las medidas para vencer las limitaciones del suelo son altos, o las limitaciones del suelo continúan después de que las medidas correctivas se aplicaron, empañan algo la calidad del medioambiente o de los ingresos económicos.
4. **Potencial bajo.** La producción o el desempeño están significativamente debajo de los estándares locales; o los costos de las medidas para vencer las limitaciones de los suelos son muy caros, o las limitaciones del suelo continúan después de que se aplicaron las medidas correctivas, empañando apreciablemente la calidad del medioambiente o de los ingresos económicos.
5. **Potencial muy bajo.** La producción o el desempeño están muy por debajo de estándares locales; o existen limitaciones severas de los suelos para lo cual medidas económicamente posibles no son disponibles, o las limitaciones de los suelos continúan después que se aplican las medidas correctivas, disminuye gravemente la calidad de medioambiente o de los ingresos económicos.

El concepto de la viabilidad económica está explícito en este sistema.

### 3.3.4 Concepto General del Índice de Potencial del Suelo

Las calificaciones son las clases basadas en el *índice*, el cual es una calificación numérica de la aptitud relativa. La forma general:

$$SPI = P - (CM + CL)$$

Donde

SPI = Índice Potencial del Suelo

P = Índice del rendimiento u otra medida del desempeño, como es localmente establecida

CM = Índice de costos de las medidas correctivas para vencer o aminorar los efectos de las limitaciones del suelo

CL = Índice de costos que resultan de limitaciones que continúan

Notas:

- (1) Este no es un análisis económico detallado; las calificaciones relativas son todo lo que se necesita; Sin embargo, los tres índices deben estar sobre escalas proporcionadas.
- (2) CM y CL se deben medir en la misma escala de tiempo (generalmente, anualmente, con valor actualizado de costos futuros usados para poner a CL a la misma escala de CM).
- (3) P es un porcentaje de referencia establecido localmente de producción o desempeño. Puede ser >100%.

Punto clave: la productividad del suelo se equilibra contra los costos por medidas correctivas y limitaciones que continúan. Las medidas correctivas pueden ser de una sola vez, tal como las mejoras de terrenos, o continuas, tal como la fertilización.

### 3.3.5 El factor P

"P es un índice del estándar de rendimiento o de desempeño del área. Es establecido y definido localmente." P=100 para un suelo de referencia, generalmente el mejor o uno de los mejores suelos para el uso. Entonces el desempeño del rendimiento esperado de cada suelo es comparado con el estándar, y P es establecido como el porcentaje del estándar. P no es una medida actual del rendimiento.

Por alguna razón extraña, los rendimientos más altos son reflejados en P, pero los más bajos rendimientos son reflejados en CL. Esto no tiene sentido.

Ejemplo: si la referencia de rendimiento = 120, entonces si el rendimiento de este suelo es 132,  $P = (132/120)*100 = 110$ . Si la referencia de rendimiento es 100, entonces el P del suelo es  $= (132/100)*100 = 132$ .

Para usos no-productivos (por ejemplo, usos ingenieriles), P = 100 y los costos en CM y

CL deben ser normalizados a esto.

### 3.3.6 El factor CM

"CM es un índice de costos agregados arriba de una instalación estándar definida o sistema de manejo que es comúnmente usada si no existen limitaciones de suelos que deben ser superadas." En este nivel,  $CM = 0$ . Es posible que  $CM < 0$  si aún la instalación 'estándar' no se necesita en un caso excepcional. Los ejemplos de instalaciones son sistemas de drenaje, o la construcción de un trabajo de ingeniería tal como un sistema séptico.

Para cada tipo de costo agregado, un valor de punto es asignado (por un comité local) a cada nivel de costos. Éstos son calibrados tal que 1 punto de CM es equivalente a 1 punto de P. Esto es relativamente fácil de establecer para usos productivos tales como cultivos: si  $P = 100$  representan un margen bruto de  $\$500 \text{ ha}^{-1}$ , entonces 1 punto de CM debería representar  $\$5 \text{ ha}^{-1}$ .

Ejemplo: Medidas correctivas y sus costos para moradas sin sótanos (desde (U.S. Departamento de Agricultura, 1983b) p. 603-158) :

Medidas Correctivas	Costo(\$)	Índice CM
<b>Excavación y gradeo</b>		
<b>8-15% pendientes</b>	100-300	2
<b>15-30% pendientes</b>	300-500	4
<b>Excavación y disposición de rocas (Limolita fracturada)</b>		
<b>0-8 % pendientes</b>	1,000-1,400	12
<b>8-15% pendientes</b>	700-900	8
<b>Drenaje de la base y la tabla</b>	600-800	7

De esta tabla podemos inferir que 1 punto de  $CM = \$100$ , por lo tanto si  $P = 100$ , el valor de una morada sin sótano será  $\$10,000$  después de que los costos 'normales' de construcción son tomados en cuenta.

Una parte importante de determinar CM es la identificación de tecnologías factibles y sus costos; en el ejemplo anterior, cuyas limitaciones pueden ser corregidas (note que ninguna excavación fue permitida en pendientes mayores a 30%) y sus costos.

### 3.3.7 El factor CL

CL es un índice de las limitaciones que continúan después de las medidas correctivas (tomadas en cuenta en CM) han sido aplicadas. Éstas son de tres tipos:

1. Desempeño continuo, tal como bajo rendimiento, inconveniencias, molestias, probabilidad de fallas periódicas (especialmente de los trabajos de ingeniería). Este tipo de limitación continua debe ser incluido en P, y no en CL!;
2. Los costos de la conservación periódica para mantener el desempeño, por ejemplo, la renovación de un sistema de séptico o el mantenimiento periódico de un sistema de drenaje;
3. Los daños producidos **fuera del sitio** resultantes de la utilización, tales como la sedimentación o la contaminación.

Las más fáciles de establecer son las limitaciones del desempeño para los cultivos; esto es apenas una razón de la reducción del rendimiento al rendimiento estándar, en otras palabras, el porcentaje de reducción en el rendimiento. Por ejemplo, si el rendimiento estándar es 120, y el esperado de una unidad de mapa es un rendimiento de 90 aún después de todas las medidas correctivas que se han aplicado,  $CL = (120-90/120)*100 = 25$ . Esto será restado de P (por qué ellos no lo computaron en P para comenzar con ello?).

Para otros gastos, el costo está normalizado a P = 100 y generalmente expresado en el valor presente.

### 3.3.8 Ejemplo de Tabla de Calificación

Del (U.S. Departamento de Agricultura, 1983b) p. 603-165:

Uso del Suelo: Moradas sin sótanos				Area: Condado Alpha			
Unidad de Mapeo: Calhoun franco limoso, pendiente A				Medidas correctivas		Limitaciones continuas	
Factor de Evaluación	Condiciones de suelo y sitio	Grado de limitación	Efectos en el uso	Clase	Indice	Clase	Indice
Profundidad de la napa freática	0-60cm (encaramado)	severo	césped húmedo, problemas de construcción	Drenaje superficial	2	Mantenimiento de drenaje	1
				drenaje especial durante la construcción	4	Restricciones del uso de la yarda en la temporada húmeda	6



Inundación	Ninguna	Ligera	Ninguna		
Pendiente	0-1%	Ligera	Ninguna		
Encoge- expande	Bajo	Ligero	Ninguna		
				<b>Total</b>	6
				<b>Total</b>	7

$$SPR = P - (CM + CL) = 100 - (6+7) = 87$$

### 3.3.9 Subjetividad en el sistema SPR

Todas partes del sistema son derivadas localmente, generalmente en consulta con una variedad de usuarios y agentes de tierras rurales. Así las calificaciones actuales pueden ser ajustadas arbitrariamente, sin embargo, las valoraciones de suelos son menos arbitrarias, aunque éstas puedan ser influidas por el peso dado a las medidas correctivas contra el índice del desempeño.

### 3.3.10 Relación a la evaluación de tierras estilo-FAO

El 'Tipo de la Utilización de la Tierra' es un solo tipo de alta-tecnología, donde todas las medidas correctivas posibles han sido aplicadas; entonces el sistema SPR estima si éstos fueron costo-beneficio y si hay alguna limitación continua.

---

## 4. Referencias

1. Beatty, M.T., Petersen, G.W. & Swindale, L.D. (ed). 1979. Planning the uses and management of land. Agronomy Monograph 21, Madison: American Society of Agronomy. xxvii,1028 pp.
2. Coughlin, R.E., Pease, J.R., Steiner, F., Papazian, L., Pressley, J.A., Sussman, A., and Leach, J.C. 1994. *The status of state and local LESA programs*. Journal of Soil and Water Conservation 49(1): 6-13.
3. Daniels, T. 1990. *Using LESA in a purchase of development rights program*. Journal of Soil and Water Conservation 45(6): 617-621.
4. Dumanski, J. & Onofrei, C. 1989. *Techniques of crop yield assessment for agricultural land evaluation*. Soil Use Manag. 5(1): 9-16.
5. Dunford, R.W., Roe, R.D., Steiner, F.R., Wagner, W., R., and Wright, L.E. 1983. *Implementing LESA in Whitman County, Washington*. Journal of Soil and Water Conservation 38: 87-89.
6. EUROCONSULT. 1989. *Agricultural Compendium for rural development in the tropics and subtropics*. Amsterdam: Elsevier. 740 pp.
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1978. *Report on the Agro-ecological zones project*. World Soil Resources Report 48, Vol. 1: Methodology and results for Africa. Rome: FAO. xi, 158 pp.
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1985. *Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture*. Soils Bulletin 55, Rome, Italy: FAO. 231 pp.
9. Kassam, A.H., van Velthuizen, H.T., Fischer, G.W., and Shah, M.M. 1991. *Agroecological land resources assessment for agricultural development planning: A case study of Kenya; Resources database and land productivity*. Vol. Main Report. Rome & Vienna: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). xi, 196 pp.
10. Klingebiel, A.A. & Montgomery, P.H. 1961. *Land capability classification*. USDA Agricultural Handbook 210, Washington, DC: US Government Printing Office. 21 pp.
11. Koreleski, K. 1988. *Adaptations of the Storie index for land evaluation in Poland*. Soil Surv. Land Eval. 8: 23-29.
12. Landon, J.R. (ed). 1984. *Booker tropical soil manual : a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. New York:

Longman. xiv, 450 pp.

13. Maletic, J.T. & Hutchings, T.B. 1967. *Selection and classification of irrigable land*, in *Irrigation of Agricultural Lands*, Hagan, R.M., Haise, H.R. & Edminster, T.W., Editor. Madison: American Society of Agronomy. p. 125-173.
14. McRae, S.G. & Burnham, C.P. 1981. *Land evaluation*. Monographs on soil survey, Oxford: Clarendon Press. viii, 239 pp.
15. Olson, G.W. 1973. *Soil survey interpretation for engineering purposes*. FAO.
16. Olson, G.W. 1981. *Soils and the environment*. New York: Chapman & Hall. 178 pp.
17. Pierce, F.J., Larson, W.E., Dowdy, R.H., and Graham, W.A.P. 1983. *Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion*. Journal of Soil and Water Conservation 38: 39-44.
18. Sánchez, P.A., Couto, W. & Buol, S.W. 1982. *The fertility capability soil classification system: interpretation, applicability and modification*. Geoderma 27(4): 283-309.
19. Smith, C.W. 1989. *The Fertility Capability Classification System (FCC) - 3rd Approximation: A technical soil classification system relating pedon characterization data to inherent fertility characteristics*. North Carolina State University.
20. Steiner, F., Pease, J.R. & Coughlin, R.E. (ed). 1994. *A decade with LESA*. Ankeny, IA: Soil & Water Conservation Society.
21. Storie, R.E. 1933. *An index for rating the agricultural value of soils*. Bulletin - California Agricultural Experiment Station, Vol. 556. Berkley, CA: University of California Agricultural Experiment Station.
22. Sys, C. 1985. *Land evaluation*. Ghent, Belgium: State University of Ghent, International Training Centre for post-graduate soil scientists; Algemeen Bestuur van de Ontwikkelingssamenwerking.
23. U.S. Department of Agriculture, S.C.S. 1983a. *National agricultural land evaluation and site assessment handbook*. Washington, DC: .
24. U.S. Department of Agriculture, S.C.S. 1983b. *National soils handbook*. Title 430, Washington, DC: US Government Printing Office.
25. U.S. Department of the Interior, B.o.R. 1951. *Irrigated land use, Part 2: Land classification*. Bureau of Reclamation Manual, Vol. 5. Washington: U.S. Government Printing Office.

26. van Diepen, C.A., Van Keulen, H., Wolf, J., and Berkhout, J.A.A. 1991. *Land evaluation: from intuition to quantification*, in *Advances In Soil Science*, Stewart, B.A., Editor. New York: Springer. p. 139-204.
27. Van Horn, T.G., Steinhardt, G.C. & Yahner, J.E. 1989. *Evaluating the consistency of results for the agricultural land evaluation and site assessment (LESA) system*. *Journal of Soil and Water Conservation* 44(6): 615-620.
28. Williams, T.H.L. 1985. *Implementing LESA on a geographic information system case study*. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 51(12): 1923-1932.
29. Wright, L.E., Zitzmann, W., Young, K., and Googins, R. 1983. *LESA - agricultural land evaluation and site assessment*. *Journal of Soil and Water Conservation* 38: 82-86.