



Zonificación agro-ecológica

Guía general

Contenido

BOLETIN DE SUELOS DE LA FAO 73

Servicio de Recursos, Manejo y Conservación de suelos Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, FAO

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

Roma, 1997

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

M-51

ISBN 92-5-303890-X

Reservados todos los derechos. No se podrá reproducir ninguna parte de esta publicación, ni almacenarla en un sistema de recuperación de datos o transmitirla en cualquier forma o por cualquier procedimiento (electrónico, mecánico, fotocopia, etc.), sin autorización previa del titular de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización, especificando la extensión de lo que se desea reproducir y el propósito que con ello se persigue, deberán enviarse a la Dirección de Información, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Vialle delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

© FAO 1997

Contenido

Prólogo

Abreviaturas

Capítulo 1: Introducción

Capítulo 2: Conceptos y definiciones

Definición de zona

Período de crecimiento

Régimen térmico

Unidad cartográfica de suelos

Inventario de recursos de tierras

Tipos de utilización de tierras y adaptabilidad de cultivo

Evaluación de la aptitud de tierras: Rendimientos potenciales y adecuaciones

Capítulo 3. Procedimientos ZAE

Grupo de actividades 1: Inventarios de tipos de uso de tierras

Paso 1.1. Selección de tipos de uso de tierras

Paso 1.2. Recopilación de inventarios de adaptabilidad climática a los cultivos

Paso 1.3. Recopilación de inventarios de adaptabilidad edáfica a los cultivos

Grupo de actividades 2. Recopilación de inventarios de recursos de tierras

Paso 2.1. Análisis de la duración del período de crecimiento

Paso 2.2. Definición de zonas térmicas

Paso 2.3. Recopilación de inventarios de recursos climáticos

Paso 2.4. Recopilación de inventarios de recursos de suelos

Paso 2.5. Recopilación de inventarios de uso actual de tierras

Paso 2.6. Recopilación de inventarios de recursos de tierras

Grupos de actividades 3. Evaluación de la aptitud de tierras

Paso 3.1. Adecuación de cultivos a zonas térmicas

Paso 3.2. Adecuación de cultivos a zonas de periodo de crecimiento

Paso 3.3. Clasificación de aptitud agro-climática

Paso 3.4. Comparación de los requerimientos de los cultivos a las condiciones de suelo

Paso 3.5 Modificación de las clases de aptitud en base a la textura, limitaciones de fase y pendiente

Resultados

Aplicaciones avanzadas

Aplicación avanzada 1: Productividad potencial de tierras

Paso 4.1. Formulación de opciones del patrón de cultivos

Paso 4.2. Formulación de rotaciones de cultivos

Paso 4.3. Impacto de la erosión de suelos sobre la productividad

Aplicación avanzada 2. Estimación del potencial de tierras cultivables de secano

Aplicación avanzada 3. Distribución espacial de los recursos. Optimización de los usos de tierras

Capítulo 4. Herramientas informáticas y sistemas de información geográfica

Capitulo 5. Zonificación ecológico-económica

[Glosario de términos](#)

[Bibliografía usada y recomendada](#)

[Cuadernos técnicos de la FAO](#)

Prólogo

Durante las dos últimas décadas, FAO ha desarrollado y utilizado con éxito la metodología sobre Zonificación Agro-ecológica (ZAE), facilitando el paquete informático necesario para asistir a los Países Miembros en la búsqueda de soluciones acertadas a diferentes problemas de evaluación de recursos naturales como base para una agricultura sostenible, tanto a nivel regional como nacional y sub-nacional. Dichos problemas de utilización del territorio han estado relacionados con otros aspectos sobre el desarrollo de tales zonas, como es la producción y auto-abastecimiento de alimentos. necesidades de explotación de ciertos cultivos, limitaciones de la fertilidad de los suelos, riesgos de erosión, degradación de tierras, etc.

FAO ha prestado ayuda directa a varios países, tales como Mozambique, Kenia, Nigeria, Brasil, China, Bangladesh y Nepal, en el uso, aplicación y adaptación de la metodología ZAE a las condiciones locales. Fundamentalmente a iniciativa propia, diversos países del sureste asiático tales como Tailandia, Malaysia y Filipinas, han desarrollado estudios de ZAE, que han producido interesantes resultados y aplicaciones. También se han organizado seminarios a nivel regional y nacional en Asia, Africa, América Latina y el Caribe para discutir aplicaciones y experiencias ZAE en diferentes países y regiones. A su vez, continuas extensiones y revisiones de la metodología ZAE sobre evaluación de recursos naturales y más recientemente desarrollando interfases con sistemas de información geográfica (SIG) han facilitado la extensión de bases de datos ZAE para implementar un amplio rango de evaluaciones sobre recursos rurales. Diferentes variantes de dicha metodología han surgido de acuerdo con su aplicación y adaptación a las condiciones locales. Igualmente, una amplia documentación se ha producido incluyendo numerosos informes técnicos detallados, material de formación y resúmenes de seminarios.

De acuerdo con dicha difusión de la metodología ZAE y su aplicación a nivel global nacional y local, surge la necesidad de desarrollar una terminología propia y un conjunto de normas que relacionen la escala y el alcance de desarrollo agrícola a los correspondientes niveles de resolución en la descripción de los recursos naturales; así como, facilidades para el conocimiento y uso de la voluminosa documentación ZAE. Estas normas generales pretenden llenar este vacío, intentando guiar a los especialistas en evaluación y planificación de recursos y otros posibles usuarios que deseen implementar la metodología ZAE: sus conceptos y métodos, la secuencia de actividades involucradas y herramientas usadas, así como el alcance y estado de las aplicaciones más avanzadas. Se pretende también elaborar un material de formación para su uso en cursos y seminarios sobre evaluación agro-ecológica de recursos rurales. El desarrollo futuro de sistemas de evaluación de recursos basado en la metodología ZAE/SIG de FAO vendrá determinado probablemente por dos factores principales: la mayor demanda por los Países Miembros de sistemas informatizados con múltiples objetivos y las posibilidades crecientes de los SIG como herramientas capaces de integrar diferentes tipos y grandes volúmenes de datos generados por los sistemas de teledetección. En todo caso, la tendencia es la puesta a punto de sistemas modulares integrados capaces de manejar una amplia diversidad de aplicaciones. Esto incluye grandes bases de datos relacionadas con diferentes tipos de modelos, sistemas de apoyo a la decisión e interfases que faciliten el uso de tales sistemas por usuarios no especialistas.

Esta publicación ha sido elaborada bajo la supervisión de J. Antoine de AGLS, siendo el resultado de la

recopilación de diferentes documentos que responden a la más reciente versión de la metodología ZAE aplicada en Kenia. Un primer borrador fue preparado por J. van Wambeke, habiendo circulado para su discusión y comentario. Este borrador fue, a su vez, revisado y ampliado por D. Radcliffe. Finalmente esta publicación ha sido mejorada con los comentarios y sugerencias de algunos miembros de la dirección de AGL, entre ellos los señores F. Nachtergaele, R. Brinkman, V. Sombroek, D. Sims y L. Jansen.

Los procedimientos descritos en esta primera edición se presentan como guías opcionales para ayudar a los técnicos, especialmente en países en desarrollo, a mejorar sus propias evaluaciones de recursos de tierras y aguas así como las decisiones sobre su uso.

Serán bien recibidos los datos de los usuarios, las experiencias específicas sobre utilización de las guías propuestas así como sugerencias sobre su utilidad y aplicabilidad a fin de producir una futura edición mejorada. Dichos comentarios pueden ser enviados a:

Director

División de Fomento de Tierras y Aguas

FAO

Viale delle Terme di Caracalla

00100 Roma, Italia.

[Indice](#) - [Siguiete](#) 

Abreviaturas

AEC	Celda agro-ecológica
APT	"Agricultural planning toolkit"
AWC	Capacidad de retención de agua útil del suelo
CYPPAC	Modelo de simulación del desarrollo de cultivos
CYSLAMB	Modelo de simulación del desarrollo de cultivos
DPC	Duración del periodo de crecimiento
FEZ	Zonificación ecológico-económica
ET	Evapotranspiración
ETa	Evapotranspiración real
ETo	Evapotranspiración de referencia
ETp	Evapotranspiración potencial
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
IIASA	Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados
ILRI	Instituto internacional de investigación en Producción Animal
LC	Característica de tierra
LER	Relación equivalente de tierras
LIS	Sistema computarizado de información de tierras
LQ	Cualidad de tierra
LRI	Inventario de recursos tierras
LUT	Tipo de utilización de tierras
MCI	Índice multi-cultivos
MCDA	Técnicas multi-criterios de apoyo a la decisión
NGO	Organización no Gubernamental
UNFPA	Fondo de las Naciones Unidas para Actividades en materia de Población
P	Precipitación
SLI	Inventario de limitaciones de suelos
SRI	Inventario de recursos de suelos
USLE	Ecuación universal de pérdida de suelos
ZAE	Zonificación agro-ecológica

Capítulo 1: Introducción

La capacidad de los recursos naturales del Mundo para mantener a su creciente población es una cuestión fundamental para la comunidad internacional. La población mundial continúa creciendo un 1.6% por año, superando el 3% por año en muchos de los países menos desarrollados. Al mismo tiempo, los recursos naturales esenciales, tales como tierras y aguas, están disminuyendo en cantidad y calidad debido a factores como la competitividad con las demandas de la industria y las grandes ciudades, la degradación y la contaminación.

El problema básico es el aumento de la presión ejercida sobre los recursos naturales. Los límites de la capacidad de producción de los recursos de tierras vienen determinados por el clima, las condiciones del suelo y la fisiografía, y por el uso y manejo aplicados a las tierras. El manejo sostenible de los recursos de tierras requiere de políticas correctas y una planificación basada en el conocimiento de estos recursos, las demandas de los usos sobre esos recursos, y las interacciones entre las tierras y los usos de las mismas.

Las respuestas a las cuestiones que se relacionan a continuación proporcionan las bases para la formulación de una política acertada y para la planificación del uso de las tierras.

Bases para las decisiones políticas y la planificación:

- ¿Cómo están las tierras distribuidas dentro del país y en las provincias componentes o distritos, en base a sus diferentes potencialidades y limitaciones?
- ¿Qué usos se pueden recomendar sobre diferentes tipos de tierras en diferentes localidades?
- ¿Cómo varía la cosecha potencial dentro de las localidades, años y estaciones?
- ¿Cuál es el balance entre las demandas de la población y la disponibilidad de tierras en áreas específicas, y cómo responde éste a las mejoras en las inversiones o el manejo?

Dentro del contexto de los objetivos de los gobiernos y de los usuarios de tierras, esta información permite el desarrollo de políticas de uso de tierras y posibilita estrategias en áreas específicas tales como:

- suministro de un volumen de información apropiado y recomendaciones en áreas específicas;
- suministro de insumos agrícolas, o de programas de destaque;
- establecimiento de prioridades en la investigación agrícola, y de redes para la transferencia agro-tecnológica;
- formulación de la legislación o líneas maestras que regulen y minimicen el impacto ambiental, y el establecimiento de un control medioambiental;
- identificación de programas o proyectos de desarrollo local.

Iniciativas de FAO

FAO ha dedicado una atención considerable al desarrollo de procedimientos para inventariar, evaluar y planificar los recursos de tierras, tanto a nivel global, como en regiones y países concretos a través de sus programas de campo. La finalización del *Mapa de Suelos del Mundo* a escala 1:5.000.000, junto con un sistema de clasificación de suelos normalizado (FAO, 1974), supuso un estímulo para la evaluación global y comparativa de los recursos de tierras. En 1976 el *Marco para la Evaluación de Tierras* (FAO, 1976) establecía la aproximación conceptual y la orientación metodológica para la evaluación de la aptitud de tierras. Este *Marco* está basado en la evaluación de las condiciones de tierras de acuerdo a los requerimientos específicos de los tipos de usos de tierras definidos. Esta aproximación ecológica marcó una diferenciación radical de los sistemas anteriores de estimación de los recursos de tierras, y propició un amplio rango de aplicaciones. Una serie de normas generales explican como este *Marco* se puede aplicar a la agricultura de secano y de regadío, bosques y pastizales extensivos (FAO, 1983; 1984a; 1985; 1991).

Proyectos de zonificación

El *Proyecto Zonas Agro-ecológicas* (ZAE; FAO, 1978) fue un primer ejercicio en la aplicación de la evaluación de tierras a una escala continental. La metodología usada fue innovadora en caracterizar extensiones de tierra por medio de información cuantificada de clima suelos y otros factores físicos, que se utilizan para predecir la productividad potencial para varios cultivos de acuerdo a sus necesidades específicas de entorno y manejo. Las *zonas agro-ecológicas* se definen como aquellas que tienen combinaciones similares de clima y características de suelo, y el mismo potencial biofísico para la producción agrícola.

La primera serie de resultados del proyecto ZAE fue la aptitud de tierra estimada para 11 cultivos y tres niveles de insumos, en cinco regiones del mundo en desarrollo. Como consecuencia, en cooperación con UNFPA y IIASA, se llevó a cabo una evaluación de la producción potencial y la capacidad de sostén de la población para las 117 naciones en desarrollo incluidas en el proyecto. Después de la presentación de los resultados de este estudio en la conferencia de FAO en 1983 se recomendó que estudios similares se emprendieran a nivel nacional. Ya entonces, FAO había estado ayudando a varios países, incluyendo a Mozambique, Kenia, China, Bangladesh, Nepal, Nigeria y Brasil, mostrándoles la metodología, y aplicando los resultados para hacer frente a problemas de tierras, alimentos, y población en sus provincias y distritos componentes. Investigaciones ZAE aún más detalladas se habían llevado a cabo en áreas seleccionadas dentro de países, o en pequeñas islas como Granada. En la Tabla 1 se dan algunos ejemplos de estudios ZAE llevados a cabo a diferentes escalas, y con diferentes objetivos.

ZAE y SIG

Aunque el concepto ZAE es esencialmente simple, la metodología desarrollada por FAO se diseñó e implementó para computadoras. La naturaleza del análisis, que implica la combinación de capas de información espacial para definir zonas, se presta muy especialmente a la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Las investigaciones más avanzadas de ZAE incorporan una serie de bases de datos, enlazadas a un SIG y relacionadas con modelos computarizados, que tienen múltiples aplicaciones potenciales en el manejo de los recursos naturales y la planificación del uso de las tierras. Utilizando estas técnicas, la ZAE proporciona un marco global para la evaluación y planificación de los recursos de tierras. Sin embargo las computadoras no son esenciales para los estudios ZAE, y hay muchos excelentes ejemplos de aplicaciones usando bases de datos u hojas de cálculo comerciales y

cartografía convencional.

Esta **Guía General** tiene la intención de ayudar a científicos y planificadores que deseen implementar la metodología ZAE a nivel regional, nacional o sub-nacional. El Capítulo 2 explica los conceptos ZAE y proporciona las definiciones de los términos utilizados. El Capítulo 3 proporciona una guía, paso a paso, para llevar a cabo un estudio ZAE, diseñando ejemplos de la experiencia de FAO en diferentes entornos y en países diversos; mientras que el Capítulo 4 presenta técnicas asistidas por computadora, incluyendo enlaces con SIG. El Capítulo 5 ofrece una alternativa integrada para abordar el problema de la zonificación teniendo en cuenta factores ecológicos y económicos, simultáneamente.

TABLA 1. Ejemplos de estudios ZAE/SIG según escala y tipo de aplicación

Nivel del planificación	Tipo de aplicación	Usuario
Global y regional		
1:5 000 000	Potencialidad de pradera y ganadería en Africa Occidental	ILRI Etiopía
	Capacidad de sostenimiento de la población del mundo desarrollado	FAO/UNFPA
Regional y grandes naciones		
1:1 000 000 a 1:5 000 000	Capacidad de sostenimiento de la población localización del uso de tierras, planificación de los recursos	Administración Estatal de las Tierras de China
Nacional y sub-nacional		
1:2 000 000	Zonificación agro-ecológica de Etiopía	Ministerio de Agricultura y Servicio Meteorológico, Etiopía
1:1 000 000	Planificación del desarrollo agrícola: cultivos, ganadería, bosque maderero	Gobierno de Mozambique Gobierno de Kenia
Sub-nacional y distritos		
1:500 000	Capacidad de sostenimiento de la población	Gobierno de Filipinas Gobierno de Malaysia
1:250 000	Evaluación del riesgo de degradación de tierras en el estado de Kaduna	Departamento Federal de Recursos de la Tierra, Nigeria
1:125 000	Recomendaciones sobre fertilización y aspectos tecnológicos en distritos y thanas	Servicio de Extensión, Bangladesh
Naciones pequeñas y nivel local		
1:50 000	Planificación del desarrollo agrícola en distritos descentralizados	Gobierno de Nepal
1:20 000	Evaluación de la aptitud para el riego en el norte del Valle del Rift	Gobierno de Etiopía
1:15 000	Evaluación del uso de tierras a nivel municipal	Gobierno de Granada

1:10 000	Asesoramiento para la planificación y el desarrollo de fincas en comunidades de aldeas	Gobierno de Omán
----------	--	------------------

Fuente FAO (1994a).

[Indice](#) - [◀ Precedente](#) - [Siguiente ▶](#)

Capítulo 2: Conceptos y definiciones

Definición de zona

Evaluación de la aptitud de tierras: Rendimientos potenciales y adecuaciones

El propósito de zonificar, la planificación del uso de recursos rurales, es separar áreas con similares potencialidades y limitaciones para el desarrollo. Los programas específicos pueden, entonces, formularse para proporcionar el apoyo más efectivo para cada zona.

La zonificación agro-ecológica (ZAE), de acuerdo con los criterios de FAO, define zonas en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. Los parámetros particulares usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y en los sistemas de manejo bajo los que éstos se desarrollan. Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos.

Cuando se combina con un inventario de usos de tierras, expresado como tipos de utilización de tierra y sus requisitos ecológicos específicos, la zonificación puede usarse entonces como base de una metodología para evaluar los recursos de tierras. La suma de otras capas de información, tales como la tenencia y disponibilidad de tierras, los requisitos nutricionales de las poblaciones humana y ganadera, las infraestructuras, costos y precios, ha hecho posible el desarrollo de aplicaciones más avanzadas en el análisis de los recursos naturales y la planificación de usos de tierras.

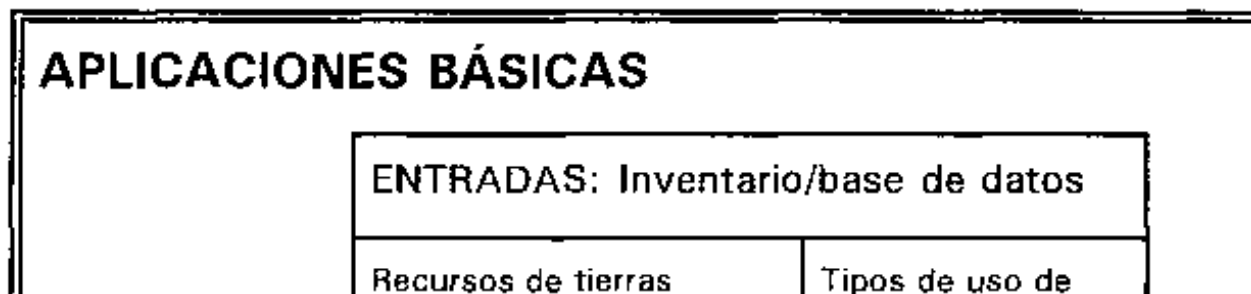
Aplicaciones básicas y avanzadas

La metodología ZAE se puede considerar como un conjunto de **aplicaciones básicas**, que conducen a una evaluación de la aptitud y productividad potencial de tierras, y un conjunto de **aplicaciones avanzadas** o periféricas, que se pueden construir sobre los resultados de los estudios de ZAE (Figura 1). Los resultados de las aplicaciones básicas incluyen mapas que muestran zonas agro-ecológicas y aptitud de tierras, la cantidad estimada de las áreas de cultivo potenciales, cosechas y producción. Tal información proporciona las bases para aplicaciones avanzadas tales como la evaluación de la degradación de tierras, modelos de producción ganadera, evaluación de la capacidad de sostenimiento de la población y modelos de optimización de usos de tierras.

Antes de aplicar los procedimientos ZAE, el usuario debería tener claros los conceptos básicos, así como entender las posibilidades y limitaciones de la metodología. Los elementos esenciales de las aplicaciones básicas ZAE comprenden:

- inventario de recursos de tierras
- inventario de tipos de utilización de tierras y requerimientos de los cultivos
- evaluación de la aptitud de tierras, incluyendo:
 - calculo de la cosecha máxima posible
 - comparación entre limitaciones y requerimientos

FIGURA 1: Marco conceptual de la metodología ZAE



tierras

PROCESAMIENTO DE DATOS: Modelos

RESULTADOS

Inventario de recursos de tierras
Mapas de zonas agro-ecológicas
Aptitud de tierras: clases de aptitud
rendimientos potenciales

APLICACIONES AVANZADAS (ejemplos)

- Productividad potencial de tierras;
- Estimación de áreas cultivables;
- Capacidad de sostenimiento de la población;
- Planificación de usos de tierras;
- Evaluación de riesgo de degradación de tierras;
- Evaluación de forraje para ganadería;
- Gestión de tierras;
- Planificación de la investigación agraria;
- Transferencia de tecnología agrícola;
- Recomendaciones sobre inputs agrícolas;
- Análisis y desarrollo de sistemas de explotación de fincas;
- Evaluación del impacto ambiental;
- Control del uso de los recursos de tierras;
- Evaluación del impacto de cambio climático

La metodología y las variables de entrada ZAE son independientes de la escala. Sin embargo, el nivel de detalle con que estén definidos factores como los suelos, el clima y los tipos de uso de tierras varía de acuerdo con la escala de los mapas y los objetivos del estudio.

Definición de zona

[Período de crecimiento](#)

[Régimen térmico](#)

[Unidad cartográfica de suelos](#)

[Inventario de recursos de tierras](#)

[Tipos de utilización de tierras y adaptabilidad de cultivo](#)

Celdas y zonas

La zonificación divide la superficie en unidades más pequeñas en base a la distribución de suelo, relieve y clima. El nivel de detalle en el que se define una zona depende de la escala del estudio y en ocasiones de la capacidad de los equipos para el procesamiento de los datos. El estudio de ZAE realizado en Kenia (FAO, 1993a) distingue celdas agro-ecológicas (AECs), que son las unidades básicas de evaluación y de procesamiento de datos, de zonas agro-ecológicas, que son unidades espaciales trazadas sobre un mapa de suelos. Mientras que cada AEC posee una única combinación de características de suelo y clima, referidos a un tipo de suelo particular, las zonas agro-ecológicas pueden contener un conjunto de características, relacionando diferentes tipos de suelo dentro de la misma unidad cartográfica. A veces se aplican definiciones aún más generales a las zonas agro-ecológicas, para compaginar varias unidades cartográficas de suelo o zonas climáticas con propiedades similares, aunque no idénticas. En el Cuadro 1 se dan definiciones de términos relacionados con la zonificación agro-ecológica.

CUADRO 1: PALABRAS CLAVE EN LOS ESTUDIOS DE ZAE

Zonificación agro-ecológica, zona y celda

Zonificación agro-ecológica (ZAE) se refiere a la división de la superficie de tierra en unidades más pequeñas, que tienen características similares relacionadas con la aptitud de tierras, la producción potencial y el impacto ambiental

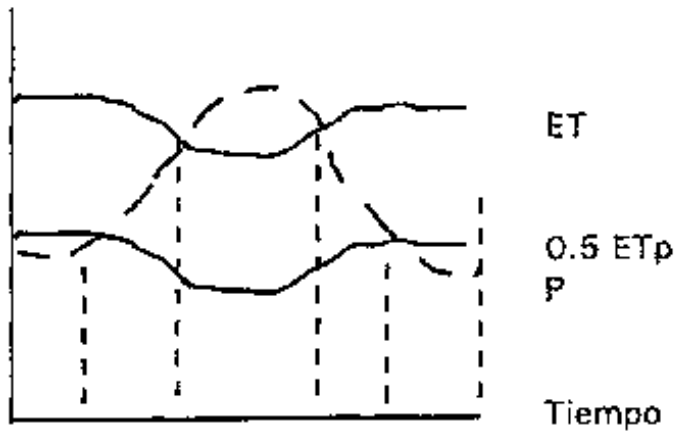
Una **zona agro-ecológica** es una unidad cartográfica de recursos de tierras, definida en términos de clima, fisiografía y suelos, y/o cubierta de tierra, y que tiene un rango específico de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras.

Una **Celda agro-ecológica (AEC)** se define como una combinación única de fisiografía, suelo y características climáticas. La AEC es la unidad básica de referencia para el análisis físico en estudios de ZAE.

Los elementos esenciales que definen una zona (o celda) agro-ecológica son el *período de crecimiento*, el *régimen de temperatura*, y la *unidad cartográfica de suelos*.

FIGURA 2: Presentación esquemática de los tipos de periodo de crecimiento

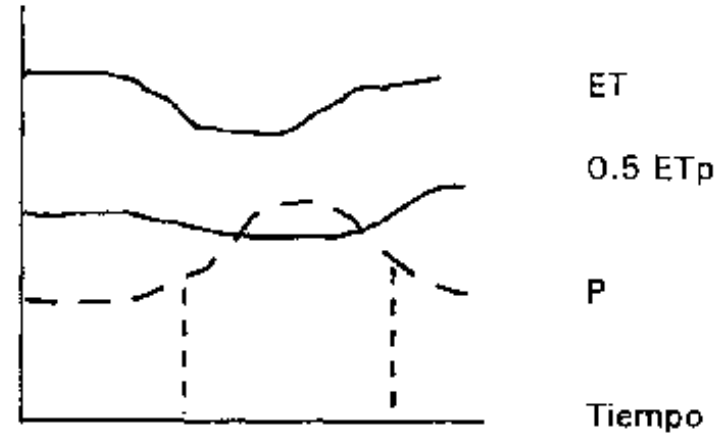
mm



B BH EH ER E

Normal

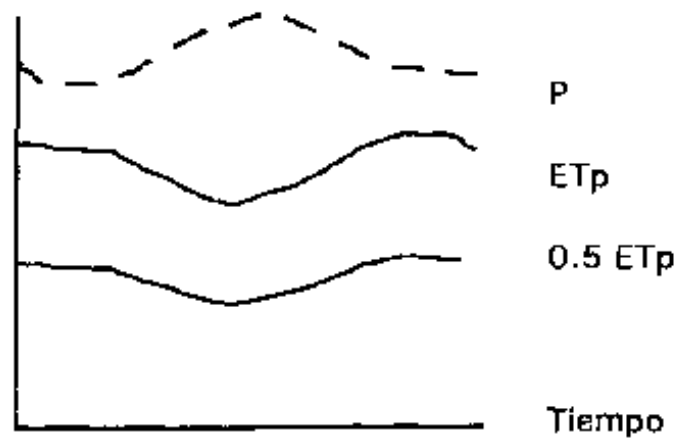
mm



B ER/E

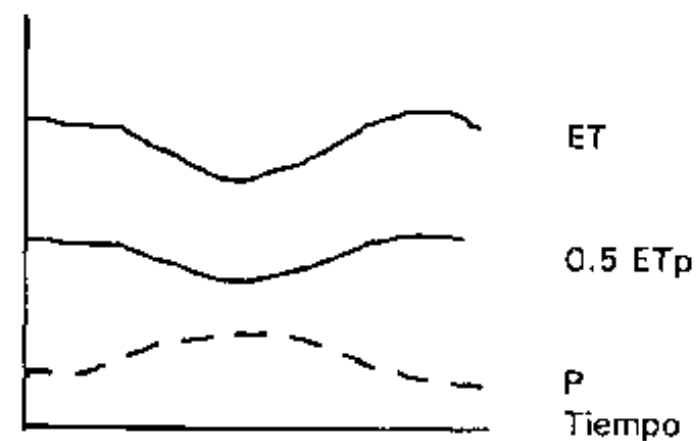
Intermedio

mm



Húmedo todo el año

mm



Seco todo el año

- B - Comienzo del periodo de crecimiento
- BH - Inicio del periodo húmedo
- EH - Final del periodo húmedo
- ER - Final de la estación de las lluvias
- E - Final del periodo de crecimiento
- P - Precipitaciones
- Etp - Evapotranspiración potencial

El concepto de *período de crecimiento* es esencial para la ZAE, y es una manera de incluir la estacionalidad en la evaluación de los recursos de tierras. En muchas zonas tropicales, las condiciones son demasiado secas durante parte del año para permitir el crecimiento de cultivos sin irrigación, mientras que en los climas templados la producción de los cultivos en invierno está limitada por las bajas temperaturas. El periodo de crecimiento define la época del año en la que las condiciones de humedad y temperaturas son idóneas para la producción del cultivo.

El periodo de crecimiento proporciona un marco ideal para resumir en el tiempo elementos variables del clima, que se pueden entonces comparar con los requerimientos y las respuestas estimadas de las plantas. Parámetros tales como régimen de temperatura, lluvia total, evapotranspiración e incidencia de riesgos climáticos son más relevantes si se calculan para el periodo de crecimiento, cuando pueden influir en el desarrollo del cultivo, que si se hace para la media del año completo.

Balance de humedad

La terminología que se refiere a la definición de los períodos de crecimiento y sus posibles componentes se presenta en el Cuadro 2. La estimación del periodo de crecimiento se basa en el modelo de balance hídrico que relaciona la lluvia (P) con la evapotranspiración potencial (ETp). Si el periodo de crecimiento no está limitado por la temperatura, la relación P/ETp determina el comienzo, el fin y el tipo de período de crecimiento. La Figura 2 muestra gráficos de P frente a ETp para los cuatro tipos generales de período de crecimiento.

La determinación del comienzo del periodo de crecimiento se base en el inicio de la estación lluviosa. Las primeras lluvias caen sobre un suelo que está generalmente seco en la superficie y que tiene un gran déficit de humedad en el perfil. En ausencia de reservas de humedad del suelo, la siembra, la germinación de la semilla y el crecimiento de los cultivos están en función de la cantidad y de la distribución de estas primeras lluvias.

El trabajo experimental indica que la eficiencia de las primeras lluvias incrementa considerablemente, cuando P es igual o mayor que la mitad de la ETp. El periodo de crecimiento continúa más allá de la estación lluviosa, cuando los cultivos maduran con las reservas de humedad almacenadas en el perfil del suelo. Por lo tanto, debe considerarse que el almacenamiento de humedad del suelo también determina la duración del periodo de crecimiento (DPC).

Modelos de DPC

En algunas áreas, particularmente aquellas en donde la lluvia no sigue un modelo único, la P puede superar a la ETp o ETp/2 para dos o más períodos diferentes durante el año, resultando más de un DPC por año. El modelo de periodo de crecimiento describe la representación proporcional de cada grupo de años en las series históricas totales. En la Figura 3 se ilustran ejemplos con diferentes números de períodos de crecimiento. Obviamente, hay diferencias en la respuesta de la planta dependiendo de que el periodo de crecimiento sea continuo, o que se divida en períodos más cortos con disponibilidad de humedad, separados por períodos secos. Por lo tanto, el número de DPCs es muy importante en la definición de zona agro-ecológica.

CUADRO 2: DURACION DEL PERIODO DE CRECIMIENTO (DPC)

La duración del periodo de crecimiento se define como el tiempo durante el cual las temperaturas permiten un crecimiento del cultivo ($T_{med} \geq 5^{\circ}C$) y la precipitación más la humedad almacenada en el perfil del suelo superan la mitad de la evapotranspiración potencial (diariamente la humedad acumulada en el perfil del suelo debe permitir la germinación de las semillas, variable del modelo fijada en 50 mm).

La DPC se puede interrumpir por (i) un periodo seco, es decir, el agua suministrada por la lluvia y la humedad almacenada en el suelo quedan por debajo de 0.5 ETP ($6 E_{ta} < 0.5 E_{to}$), y (ii) de acuerdo con la DPCt, por una parada invernal (inactividad o interrupción por el frío). N.B. Un período de crecimiento.

Características del período de crecimiento

Período de crecimiento de todo el año

La P excede normalmente a la ET para todo el año.

Período de crecimiento normal

La P supera a la ET para parte del año; pudiendose diferenciar:

- Un período de crecimiento
- Un período de crecimiento con periodo de inactividad
- Dos o más períodos de crecimiento

- Dos o más período de crecimiento de los cuales uno tiene un período de inactividad

Período de crecimiento intermedio

La P normalmente no excede a la ET, pero si la supera parte del año, se puede diferenciar:

- Un período de crecimiento
- Un período de crecimiento con periodo de inactividad
- Dos o más períodos de crecimiento
- Dos o más período de crecimiento de los cuales uno tiene un período de inactividad

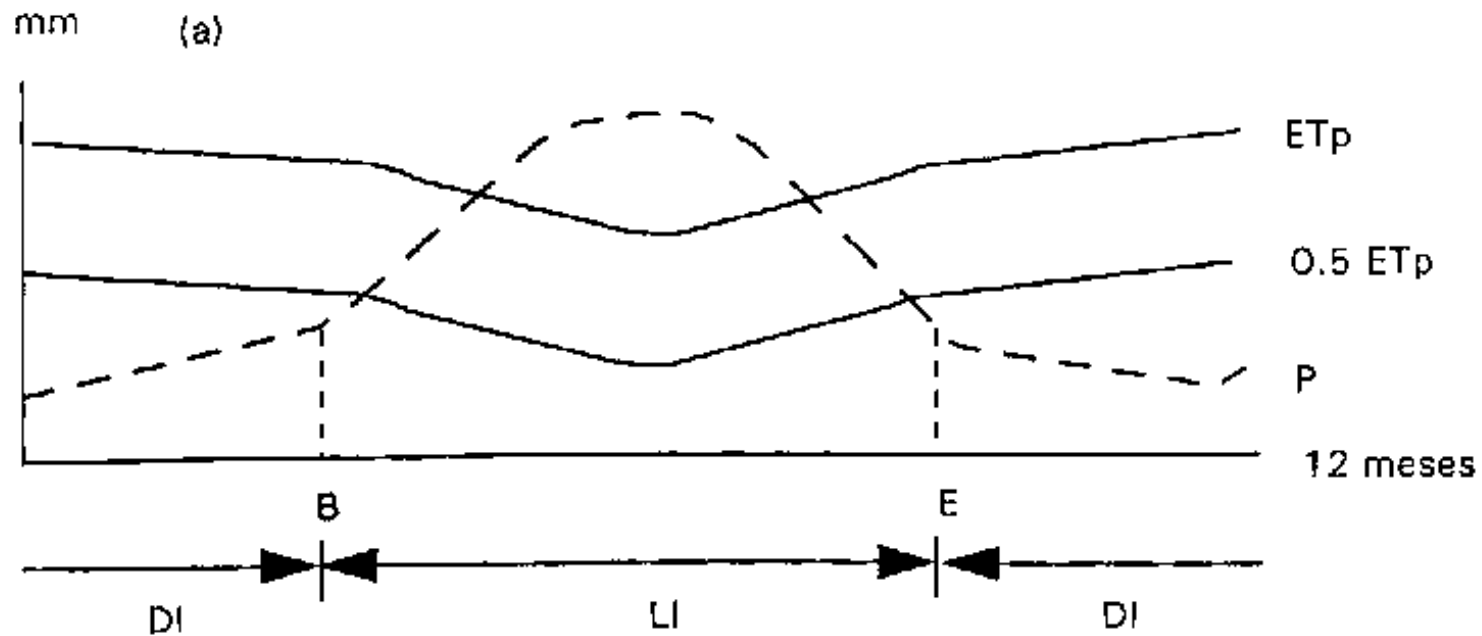
Sin período de crecimiento

A través del inventario de DPCs sobre una secuencia histórica de años, se puede evaluar la distribución del número de DPC en los diferentes años. La Tabla 2, basada en el estudio de ZAE en Kenia, establece 22 modelos de DPC.

DPCs de referencia

La mayor parte de los estudios de ZAE usan *períodos de crecimiento de referencia*, que se calculan por la ET de Penman para un cultivo herbáceo de referencia. Esto proporciona una base general para la zonificación, pero sin tener en cuenta las diferentes capacidades de los cultivos para extraer la humedad del suelo. Siguiendo los estudios de escala más general del proyecto de ZAE original, también se consideraba un patrón único para las reservas de humedad del suelo almacenadas hacia el final del período de crecimiento, en vez de basar los cálculos en las capacidades reales de retención de humedad de los tipos específicos de suelos. Sin embargo, el estudio nacional en Bangladesh, donde las reservas de humedad del suelo son particularmente importantes para los cultivos, permitió que el almacenamiento de humedad se ajustara en el rango 0-250 mm de acuerdo con el tipo de suelo.

FIGURA 3 Número de períodos de crecimiento y períodos secos por año



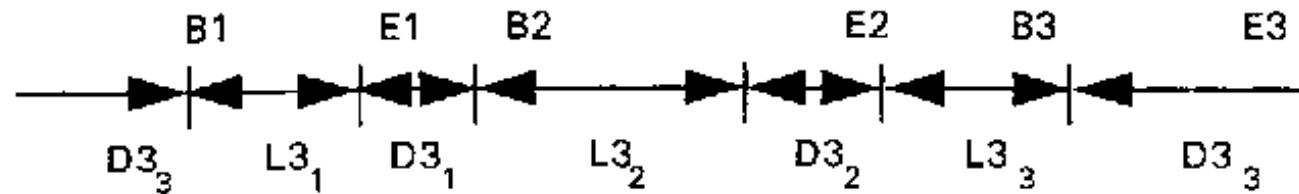
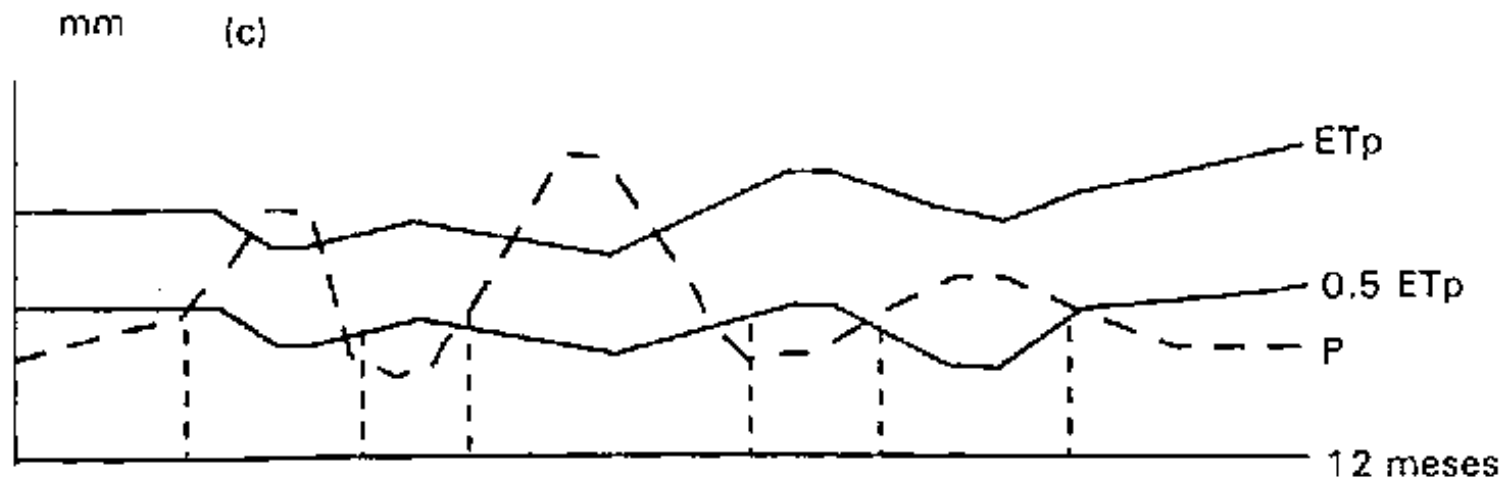
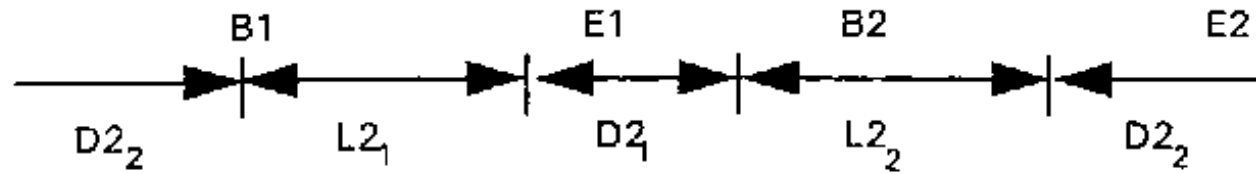
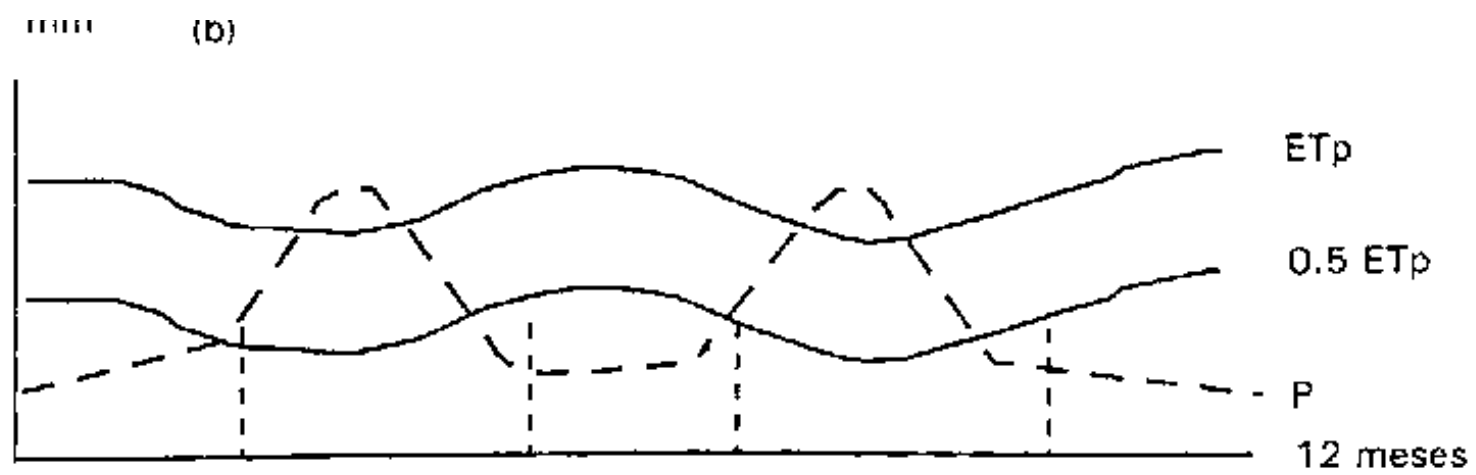


TABLA 2. Tipos de DPC en Kenia

Código	Tipo de DPC	Proporción (%)
--------	-------------	----------------

1	1	100
2	H - 1	60:40
3	1 - H	70:30
4	1 - H - 2	65:20:15
5	1 - 2 - H	65:20:15
6	1 - 2	65:35
7	1 - 2 - 3	50:35:15
8	1 - 3 - 2	40:35:20
9	1 - 2 - D	40:35:25
10	1 - D - 2	40:35:25
11	1 - D	60:40
12	2	100
13	2 - 1	70:30
14	2 - 1 - H	55:30:15
15	2 - 1 - 3	55:25:20
16	2 - 3	75:25
17	2 - 3 - 1	60:25:15
18	2 - 3 - 4	50:30:10
19	2 - 1 - D	70:15:15
20	3 - 2	60:40
21	3 - 2 - 1	50:35:15
22	D	100

Nota: 1, 2, 3, y 4 se refieren al número de períodos de crecimiento en cualquier año. *H* y *D* se refieren a los años que son completamente húmedos ($P > ET_p$) o completamente secos ($P < ET_p/2$), respectivamente. La tercera columna muestra la distribución proporcional de años con la frecuencia de períodos de crecimiento indicadas para el rango de años analizados.

Fuente: FAO (1993a)

La Tabla 3, basada en los datos de Botswana, ilustra la duración comparativa del período de la reserva de humedad para el crecimiento de tres cultivos sobre diferentes tipos de suelo.

TABLA 3. Períodos con reserva de humedad del suelo (días) para diferentes tipos de suelo y cultivo

Cultivo	Tipo de suelo				
	Aro	CMc	LPe	LVf	VRe
Caupí	25	40	7	52	62
Maíz	28	45	7	58	69
Sorgo	24	39	7	51	59

ARo: Ferralitic Arenosols;
CMc: Calcaric Cambisols;

LPe: Eutric Leptosols;
LVf: Ferric Luvisols;
VRe: Eutric Vertisols.

Supuestos: Reducción de la humedad a un ritmo constante desde la capacidad de campo basada en los coeficientes del cultivo de la estación tardía y las ETp diarias en Gaborone, Botswana desde el 1° de Abril. No se considera la reducción de la absorción debida a una disponibilidad restringida a bajos niveles de AWC.

Variación inter-anual

Aunque esa generalización sobre los cultivos se puede permitir en un estudio regional donde se consideran un número de éstos, la información sobre la capacidad de retención de agua disponible en el suelo (AWC) que se deduce normalmente del inventario de suelos, y su inclusión en el balance de humedad mejora la exactitud de la predicción de DPC. La Tabla 3 muestra claramente como la humedad almacenada en el suelo afecta a la DPC en su conjunto. El periodo de reserva de humedad en los Vertisoles (VRe) es lo suficientemente largo para el crecimiento de un cultivo de humedad residual corta, e incluso en entornos húmedos, a menudo se usan tales suelos para este propósito después del cese de las lluvias. Los cultivos de humedad residual en Bangladesh y Etiopía tienen lugar en suelos con alta AWC.

El análisis de la DPC se basa en la media de datos climáticos, o en datos históricos para años individuales. La mayor parte de los primeros estudios de ZAE calculaban la DPC en base a la lluvia media mensual y la ETp. Esta aproximación se puede aceptar para estudios regionales a pequeña escala, pero no es apropiado al analizar la variación temporal en la DPC, que se determina principalmente por las variaciones íter-anales en la distribución de la lluvia. La evaluación de la DPC para años individuales, basada en el uso de datos históricos de lluvia, permite la cuantificación del nivel de riesgo así como la producción potencial bajo condiciones climáticas medias. Tal aproximación mejora considerablemente la utilidad de la evaluación, muy en especial en áreas sujetas a sequías periódicas. En estudios nacionales de ZAE en Kenia y Bangladesh (FAO, 1993; Karim, 1994) se usó el modelo DPC descrito anteriormente, como un medio de captar la variación íter-anual en la DPC y en consecuencia la aptitud de tierras y predicción de rendimiento potencial. La adaptación más reciente del estudio de Kenia evalúa DPCs y aptitudes de tierras individuales sobre una serie histórica de años, permitiendo que los resultados se expresen en términos de probabilidades.

Régimen térmico

El *régimen térmico* es el otro parámetro básico que se utiliza para definir las zonas agro-ecológicas. El régimen térmico se refiere a la cantidad de calor disponible para el crecimiento y desarrollo de la planta durante el período de crecimiento. Normalmente se define por medio de la temperatura diaria durante el periodo de crecimiento. En evaluaciones regionales y nacionales de ZAE, las *zonas térmicas* se pueden definir en base a intervalos de temperatura de 5°C ó 2.5°C. En áreas templadas o subtropicales, se requiere con frecuencia un tratamiento más detallado de los regímenes térmicos (Tabla 10, página 33).

Unidad cartográfica de suelos

La *unidad cartográfica de suelos* es la unidad básica de un mapa de suelos. En mapas de pequeña escala, las unidades cartográficas de suelos raramente comprende suelos individuales, puesto que normalmente consisten en una combinación de un suelo dominante con suelos asociados. Cuando varios suelos de una unidad cartográfica se presentan en proporciones definidas en un determinado modelo geográfico, constituyen una asociación de suelos. Si tal modelo no existe, forman un suelo complejo. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de una unidad cartográfica formada por la composición de una asociación de suelos.

CUADRO 3: ALGUNOS TERMINOS UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN DE TIERRAS

Tierra. Un área específica de la superficie terrestre. En el contexto de la evaluación de tierra, incluye propiedades de la superficie, suelo y clima, así como de cualquier planta o animal residente en ella.

Evaluación de tierras. Estimación del comportamiento de una tierra cuando se utiliza con una finalidad determinada.

Unidad cartográfica de suelos. Área de tierras delineada sobre un mapa. Puede incluir un solo tipo de suelo, o diversos tipos que se presentan como una asociación.

Tipo de suelo. Unidad específica de suelo con un rango definido de características. Puede corresponder a la categoría más baja de un sistema de clasificación, incluyendo especificaciones de fase.

Tipo de utilización de tierras. Es un uso de tierra definido en términos de uno o varios cultivos, los insumos necesarios para producir estos cultivos, y las condicionantes socio-económicas que rodean la producción.

Características de tierras. Propiedad de tierra que puede ser medida o estimada directamente.

Cualidad de tierras. Atributo de tierra complejo que se comporta de forma diferente en cuanto a su influencia sobre la aptitud de la tierra para un uso determinado.

La presencia de cada tipo de suelo en cada unidad cartográfica se establece en términos de sus características y cualidades (Cuadro 3), que hacen referencia a los requisitos edáficos de las plantas o de los usos de tierras para su manejo y conservación.

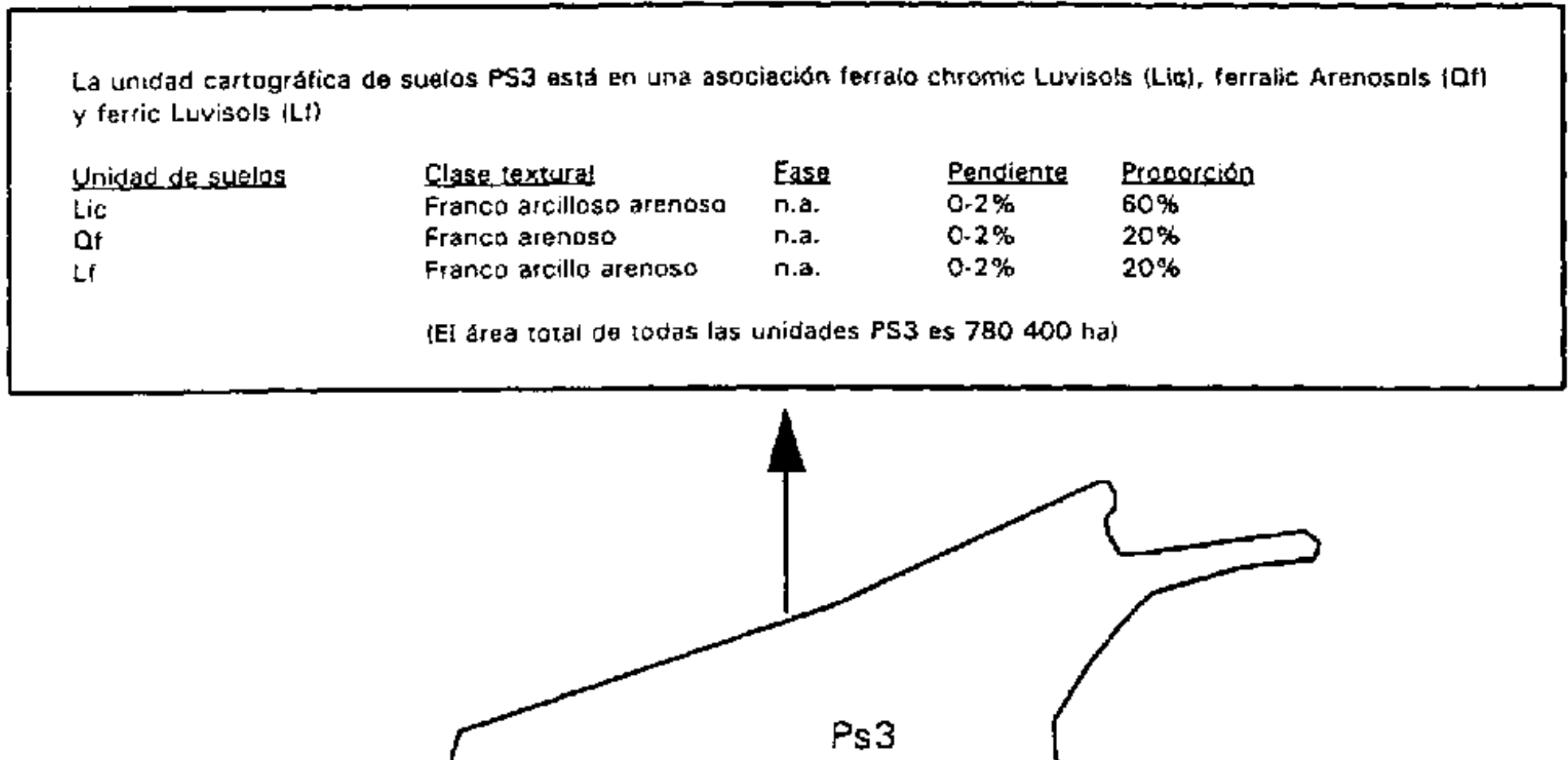
Tierra y suelo

El uso de los términos unidad de suelo y unidad de tierra no siempre queda claro en las publicaciones de FAO donde se describen la evaluación de tierras y la ZAE. Tierra, de acuerdo a la definición de FAO (Cuadro 3), incluye el clima, mientras que suelo incluye propiedades de la superficie de la tierra excluyendo los datos de clima. Una unidad cartográfica de suelo o tierra es una entidad espacial, que no es necesariamente uniforme en términos de características de tierra. Dado que una unidad de suelo se puede fácilmente confundir con una unidad cartográfica, se sugiere el término tipo de suelo para referirse a una unidad con un conjunto específico de características de suelo.

Inventario de recursos de tierras

El inventario de recursos de tierras es esencialmente una superposición de información de suelo y clima. Las unidades resultantes son las zonas agro-ecológicas, que tienen una combinación única, o un rango específico, de unidades cartográficas, regímenes de períodos de crecimiento, y regímenes térmicos; mientras que las celdas agro-ecológicas representan una combinación única de períodos de crecimiento, regímenes térmicos y tipos de suelo. Las características de tierra relevantes de cada AEC se relacionan con sus limitaciones climáticas y de suelo.

FIGURA 4. Ejemplo de composición de unidad cartográfica de suelos



Unidad morfológica (Psh):
plánicee sedimentaria superior
(plánicee de arena roja)

Geología/roca original (Pshu):
depósitos provenientes de erosión
laminar y edúca de sistemas de
rocas basales diferenciadas
(predominantemente gneis)

La información sobre administración, posesión y uso actual de tierras, relacionada con su disponibilidad potencial, se puede incorporar también en el inventario de tierras. Las técnicas de superposición múltiple son particularmente aplicables cuando se usan SIG; y cuando se incluye tal información las AECs y zonas resultantes se convierten en unidades de planificación mucho más efectivas. La Figura 8 presenta un ejemplo basado en la combinación de diez capas de información utilizadas en el estudio de ZAE de Kenia.

Tipos de utilización de tierras y adaptabilidad de cultivo

La evaluación de la aptitud de tierras y su productividad potencial se hace en relación a un tipo específico de uso de tierras bajo ciertas condiciones de producción. Siguiendo el *Marco General la Evaluación de Tierras* (FAO, 1976), el uso de la tierra se clasifica dentro de los tipos de utilización de tierras (Cuadro 3). Los tipos de utilización de tierras (LUTs) relevantes, basados en el uso actual y potencial de la tierra, tienen que estar claramente identificados y descritos antes de iniciar la evaluación de la aptitud de tierras.

¿Por qué especificar

Las principales razones para describir los tipos de utilización de tierras son las siguientes:

- Guiar en la selección de las características agro-ecológicas importantes que se incluirán en el inventario de tierras y que pueden influir en el nivel de los productos o en el impacto ambiental.
- Facilitar el proceso de definición de algoritmos y ajustar los límites entre las características agro-ecológicas y el nivel de producción potencial teniendo en cuenta:
 - el impacto de lo "fijo", limitaciones permanentes;
 - el nivel que se asume como capaz de modificar las limitantes "no fijas" de un determinado LUT, ej. ¿qué nivel de aplicación de nutrientes, mejora de tierra y cuidado de la planta se puede asumir?

La cuantificación de los requisitos de usos de tierras de los LUTs proporcionan las bases para la estimación de los rendimientos potenciales y para la evaluación de la aptitud de tierras. Los requisitos de uso de la tierra se agrupan de acuerdo a la adaptabilidad climática y edáfica del cultivo, y a los requerimientos para el manejo y la conservación. El inventario climático del cultivo relaciona los requerimientos, para la fotosíntesis y la fenología, que tienen relación con la cantidad y, cuando es necesario, con la calidad de la cosecha. El desarrollo fotosintético del cultivo, el crecimiento y el rendimiento están directamente relacionados con la ruta de la asimilación y su respuesta a la temperatura y la radiación. No obstante, los requisitos climáticos fenológicos no son específicos para un desarrollo de la fotosíntesis. Los requisitos edáficos describen la respuesta del cultivo a factores de suelo, tales como disponibilidad de nutrientes o la presencia de sustancias tóxicas. Los requisitos para el manejo y la conservación incluyen factores como la disponibilidad de suelo y la susceptibilidad a la erosión. Los procedimientos para relacionar y cuantificar los requisitos de los LUTs se dan en los inventarios de adaptabilidad en el Capítulo 3.

Evaluación de la aptitud de tierras: Rendimientos potenciales y adecuaciones

Cosecha máxima

Para la estimación de la productividad potencial, la metodología ZAE utiliza el concepto de cosecha y biomasa total máximas posibles. Para un LUT específico, el rendimiento máximo potencial se determina por la radiación y temperatura propias de una localidad particular, por la eficiencia fotosintética del

cultivo, y por la fracción de biomasa neta que el cultivo puede convertir en cosecha utilizable económicamente. Este rendimiento máximo potencial se usa como un insumo para el proceso de adecuación de los requisitos agroclimáticos y edáficos a las cualidades y características de las unidades tierra definidas en el inventario.

La biomasa máxima potencial y el rendimiento de los cultivos componentes de los LUTs se calculan normalmente usando un modelo de simulación simple (FAO, 1978). Los factores de corrección, basados en conocimiento de expertos, se utilizan para cuantificar las reducciones de la cosecha debido a las limitaciones, teniendo en cuenta los niveles de manejo e insumos. Los resultados son una serie de rendimientos potenciales estimados agronómicamente para cada LUT en cada unidad tierra. Estas estimaciones se relacionan luego con las clases de aptitud de tierras.

Los siguientes capítulos describen los procedimientos establecidos para aplicar la metodología ZAE en la evaluación de los recursos tierras.

[Indice](#) - [◀ Precedente](#) - [Siguiente ▶](#)

Capítulo 3. Procedimientos ZAE

[Grupo de actividades 1: Inventarios de tipos de uso de tierras](#)

[Grupo de actividades 2. Recopilación de inventarios de recursos de tierras](#)

[Grupos de actividades 3. Evaluación de la aptitud de tierras](#)

[Resultados](#)

[Aplicaciones avanzadas](#)

Grupos de actividades ZAE

El módulo central o de aplicaciones básicas de la metodología ZAE, que trata de estimar la aptitud de tierras y la productividad potencial para usos específicos, tres grupos principales de actividades:

- inventario de tipos de usos de tierras y sus requerimientos ecológicos;
- definición y cartografía de las zonas agro-ecológicas en base a los inventarios de recursos de tierras (incluyendo clima, relieve y suelos);
- evaluación de la aptitud de tierras de cada zona agro-ecológica.

La Figura 5 presenta la relación entre estas actividades y sus componentes metodológicos. Los productos intermedios y finales pueden ser posteriormente utilizados en una serie de aplicaciones avanzadas que se determinan en función de los objetivos del estudio. Este Capítulo describe la forma de aplicar los procedimientos incluidos en la parte central de la metodología ZAE, que tratan de estimar la aptitud de tierras y productividad potencial con particular referencia a sistemas de producción de cultivos. A continuación de esta descripción, breves resúmenes se hacen sobre las siguientes aplicaciones avanzadas:

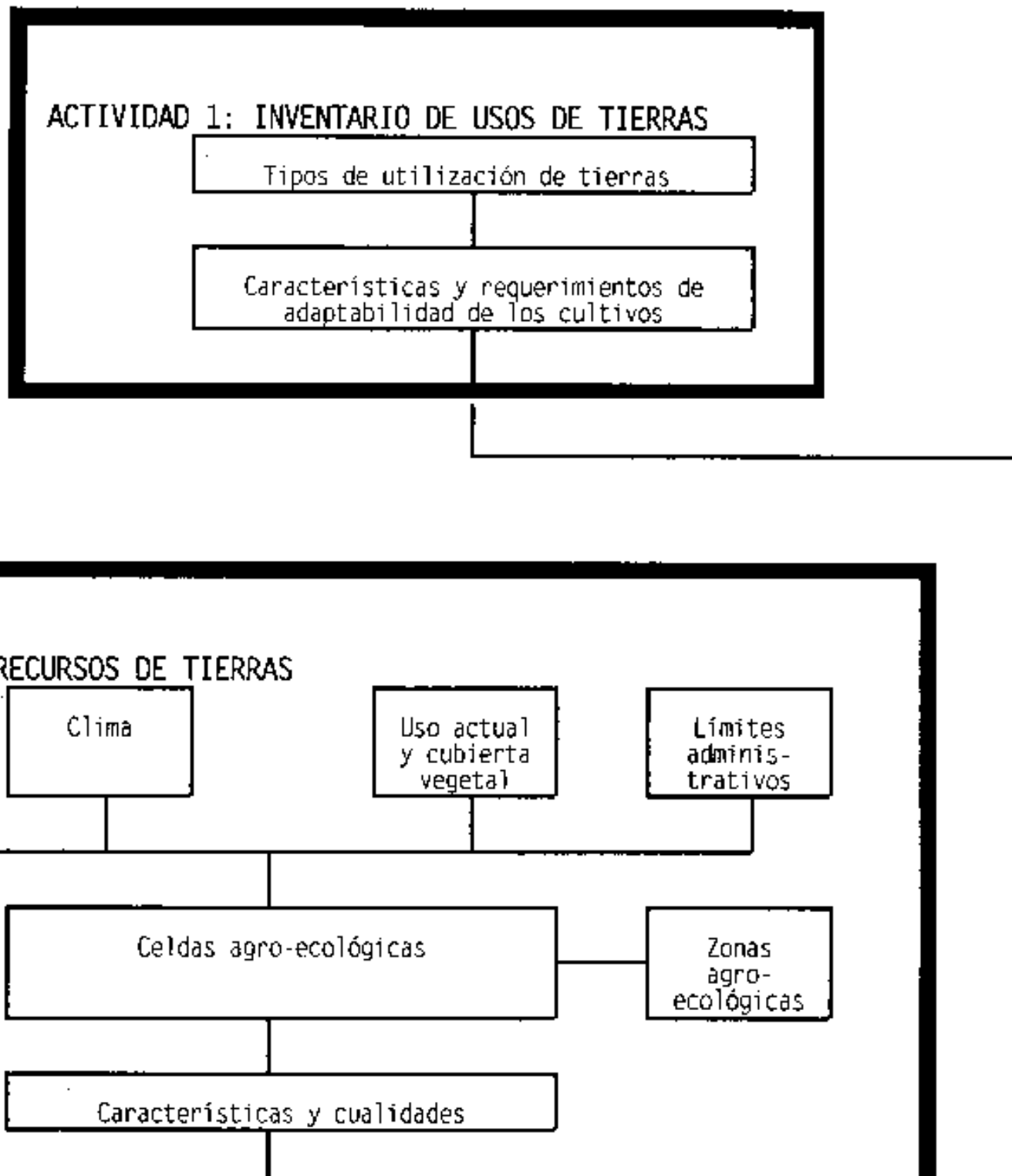
- estimación de la productividad de las tierras;
- extensión de las tierras potencialmente cultivables;
- optimización del uso de las tierras.

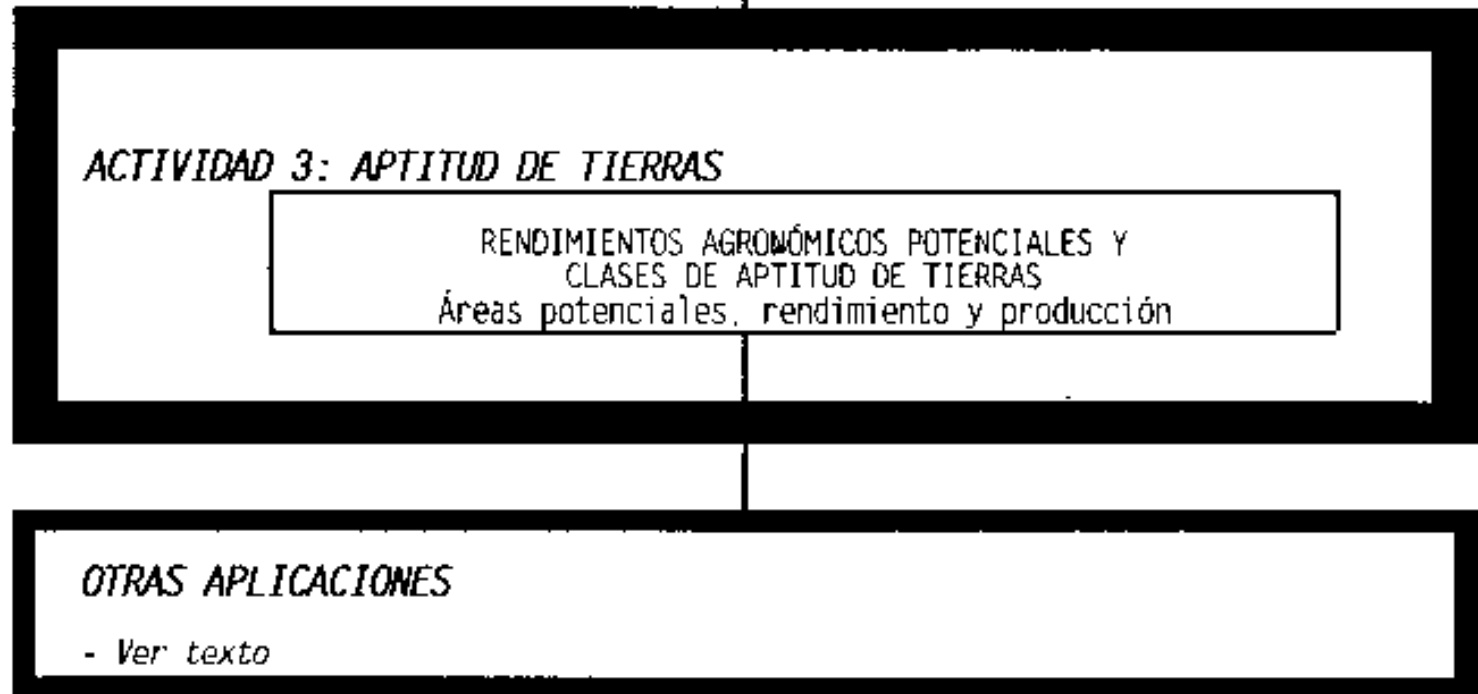
Paso a paso

Los procedimientos ZAE se describen paso a paso, junto con los datos básicos necesarios y los resultados intermedios y, a su vez, se ilustran con ejemplos de estudios de ZAE desarrollados por FAO. Se da especial importancia a facilitar al usuario un conocimiento de los procedimientos de forma que ellos puedan poner en práctica o adaptarlos de acuerdo con los objetivos específicos del estudio de ZAE y de los recursos disponibles. En términos generales, se puede decir que la computadora no es necesaria para desarrollar tales estudios, excepto cuando se incluyen objetivos de toma de decisiones. Sin embargo, se supone que la mayoría de los usuarios tendrá acceso a paquetes informáticos de bases de datos y hojas de cálculo, resultándole familiar su uso. En el Capítulo 4 se describen herramientas de paquetes informáticos específicas para distintos grupos de procedimientos, así como sus interfases con SIG.

La información incluida en los inventarios de recursos tierras se refiere a zonas de una gran extensión, según los requerimientos de los tipos de utilización de las tierras y los cultivos correspondientes. Los procedimientos para el inventario de dichos tipos de utilización de las tierras son por consiguiente descritos en primer lugar, aunque las relaciones entre requerimientos de los usos y las características de las tierras se establezcan posteriormente.

FIGURA 5. Aplicaciones básicas de metodología ZAE





Grupo de actividades 1: Inventarios de tipos de uso de tierras

[Paso 1.1. Selección de tipos de uso de tierras](#)

[Paso 1.2. Recopilación de inventarios de adaptabilidad climática a los cultivos](#)

[Paso 1.3. Recopilación de inventarios de adaptabilidad edáfica a los cultivos](#)

Paso 1.1. Selección de tipos de uso de tierras

Una serie de tipos de utilización de tierra (LUTs) es seleccionada de forma que reflejen los usos actuales de la tierra y los correspondientes a la nueva situación que se proyecta. Todas las subsiguientes evaluaciones de aptitud y productividad potencial a desarrollar como parte del estudio de ZAE se referirán a dichos tipos específicos de LUT como posibles utilidades de las zonas o celdas agroecológicas.

Las LUTs se definen en términos de producto, o de un específico rango de productos, y de sistemas de manejo, incluyendo las operaciones o insumos que

ello conlleva. Las condicionantes socioeconómicas se incluyen normalmente en la definición. El nivel de detalle de dicha definición viene determinado por los objetivos del estudio y los datos necesarios para llevar a cabo la evaluación de aptitud. La mayoría de estudios de ZAE establecen los LUTs en base a cultivos, o rango de cultivos, y niveles de insumos, tal y como se muestra en la Tabla 4. Actualmente las bases de datos disponibles, como por ejemplo la Base de Datos de Usos de Tierras (De Bie, Van Leeuwen y Zuidema, 1995), permiten una caracterización cuantitativa de insumos, prácticas y productos.

Componentes de las LUTs

Los siguientes factores tendrían que ser incluidos en la definición de LUT:

- La descripción de algún sistema de producción actual o reciente en términos de producto, técnicas de producción, y tipo y rango de insumos y productos esperados.
- La identificación de los factores más importantes que afectan el potencial de producción, tales como limitaciones a la mecanización en zonas de pendiente, y requerimientos edáficos para el riego.
- Los escenarios de producción a estudiar y el nivel de producción a ser alcanzado en cada uno de ellos.
- La cuantificación de los niveles de insumos (laboreo, materiales, capital, etc.) asociados con los diferentes escenarios de producción. Esta información se utiliza para:
 - estimar los niveles probables de insumos que se corresponden con los productos esperados;
 - estimar la demanda total de insumos con relación a los recursos reales o previstos disponibles a nivel de país o provincia.

Siguiendo la definición de LUTs, los próximos pasos corresponden al inventario de sus requerimientos con relación a las condiciones climáticas, de suelo y relieve, necesarias para los cultivos considerados y los sistemas de manejo. Estos inventarios constituyen la base de una estimación secuencial de aptitudes climáticas y edáficas, y del cálculo de rendimiento potencial.

TABLA 4. Ejemplo de definición de tipos de uso de tierras

Atributo	Insumos bajos	Insumos medios	Insumos elevados
Producto y producción	Cultivo de cebada de secano, maíz, avena, mijo, arroz, sorgo, trigo, garbanzo, caupí, cacahuete, haba, guandú, soja, mandioca, batata, patata, banana, palma y caña de azúcar. Sistema individual y múltiple de cultivo bajo patrones de cultivos y rotaciones apropiados.		
Orientación sobre mercado	Producción de subsistencia	Producción de subsistencia más venta comercial de productos	Producción comercial
Intensidad de capital	Bajo	Intermedio con créditos accesibles	Alto
Intensidad de trabajo	Elevado, incluyendo trabajo familiar no remunerado	Medio, incluyendo trabajo familiar no remunerado	Bajo, trabajo familiar remunerado si se utiliza
Fuente de energía	Trabajo manual con herramientas manuales	Trabajo manual con herramientas manuales y/o tracción animal con implementos mejorados; alguna mecanización	Mecanización total

Tecnología	Variedades tradicionales. Sin fertilizantes ni agroquímicos. Períodos de barbecho. Escasas medidas de conservación	Variedades mejoradas. Adecuadas prácticas extensionistas, incluyendo algunos fertilizantes y agroquímicos. Algunos períodos de barbecho y medida de conservación	Variedades de altos rendimientos incluyendo híbridos. Óptimo uso de fertilizantes y agro químicos. Medidas de conservación completas
Infraestructura	Sin accesibilidad a los mercados. Inadecuados servicios de asistencia	Accesibilidad a algunos mercados y servicios de demostración	Accesibilidad a los mercados. Elevado nivel de los servicios de asistencia y acceso a los resultados de investigación
Tenencia de la tierra	Pequeña, fragmentada	Pequeña, algo fragmentada	Extensa, consolidada
Nivel de ingresos	Bajo	Moderado	Elevado

Fuente: FAO (1993a).

Paso 1.2. Recopilación de inventarios de adaptabilidad climática a los cultivos

Un inventario climático con relación al desarrollo de cultivos comprende variables relacionadas con los requerimientos fenológicos de los cultivos, rangos térmicos y características fotosintéticas.

Un ejemplo de los atributos de cultivos a tener en cuenta en la aptitud climática se muestra en la Tabla 5. Los requerimientos de duración del día se incluyen genéricamente, aunque no se contemplan a nivel de variedades. Información similar con relación a otros cultivos ha sido elaborada por FAO (1978) y Kassam (1980).

TABLA 5. Atributos de adaptabilidad climática de los cultivos

Atributos	Cebada	Avena	Caupí	Guisante verde	Guandú
Especies	<i>Hordeum vulgare</i>	<i>Avena sativa</i>	<i>Vigna uniculata</i>	<i>Vigna radiata</i>	<i>Cajanus cajan</i>
Ruta fotosintética	C3	C3	C3	C3	C3
Grupo de adaptabilidad	I	I	II	II	II
Días hasta la madurez	90-120 (1) 120-150 (2) 150-180 (3)	90-120 (1) 120-150 (2) 150-180 (3)	80-100 (4) 100-140 (4)	60-80 (4) 80-100 (4)	130-150 (4) 150-170 (4) 170-190 (4)
Parte cosechada	Semilla	Semilla	Semilla	Semillas	Semilla
Producto principal	Grano (C)	Grano (C)	Grano (L)	Grano (L)	Grano (L)
Hábito de crecimiento	Determinado	Determinado	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado
Ciclo					
- Natural	Anual	Anual	Anual	Anual	Perenne de poca duración
- Cultivado	Anual	Anual	Anual	Anual	Anual/Bianual
Parte cosechada	Tl	Tl	Ll	Ll	Li
Periodo de formación	LT	LT	ME	ME	ME
Zona térmica a considerar	3, 4, 5, 6, 7	3, 4, 5, 6, 7	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3

C - Cereal
 L - Legumbre
 TI - Inflorescencia terminal
 LI - Inflorescencia lateral
 LT- -Última tercera parte del ciclo de desarrollo
 ME - Mitad a final del ciclo de desarrollo

Zonas térmicas:	1 - > 25.0°C
	2 - 22.5-25.0
	3 - 20.0-22.5
	4 - 17.5-20.0
	5 - 15.0-17.5
	6 - 12.5-15.0
	7 - 10.0-12.5

- (1) zonas térmicas 3 & 4
- (2) zonas térmicas 5
- (3) zonas térmicas 6 & 7
- (4) zonas térmicas 1, 2 & 3

Fuente: FAO (1993a).

Con frecuencia se dan diferencias considerables en factores tales como la duración del periodo de crecimiento del cultivo, que se deben fundamentalmente a la diferente adaptación de las variedades a diferentes rangos de condiciones térmicas. En la Tabla 5 se presentan diversos ecotipos de cultivos en cuanto a días necesarios para la maduración. Estos ecotipos se deben de considerar separadamente tanto para la evaluación de aptitud como para la productividad potencial.

Los cultivos deben ser ordenados en grupos de adaptabilidad climática en base a similar eficacia fotosintética, suponiendo que los requerimientos fenológicos se satisfacen. La Tabla 6 sintetiza las características principales de cada grupo, ofreciendo ejemplos de cultivos integrantes. El índice fotosintético se utiliza para calcular la productividad potencial de biomasa (Paso 3.2.1).

TABLA 6. Características fotosintéticas de grupos de cultivos de adaptabilidad climática

Características	Grupo de adaptabilidad			
	I	II	III	IV
Ruta fotosintética	C3	C3	C4	C4
Índice de fotosíntesis a saturación de luz y temperatura óptima (mg CO ₂ dm ⁻² h ⁻¹)	20-30	40-50	>70	>70
Temperatura óptima (°C)	15-20	25-30	30-35	20-30
Intensidad de radiación de máxima fotosíntesis (cal cm ⁻² min ⁻¹)	0.2-0.6	0.3-0.8	> 1.0	> 1.0

Cultivos (ejemplos)	Cebada	Caupí	Mijo	Sorgo
	Avena	Guisante verde	Sorgo	Maíz
	Trigo	Guandú	Maíz	
	Haba	Haba	Caña de azúcar	
	Patata	Arroz		
		Soja		
		Cacahuete		
		Batata		
		Mandioca		
		Banana		
	Palma			

Fuente: FAO (1993a).

Paso 1.3. Recopilación de inventarios de adaptabilidad edáfica a los cultivos

La consecución agrícola del potencial climático de los cultivos depende de las propiedades del suelo y de cómo éste se maneja. Limitaciones impuestas por el relieve o por otros factores de la superficie territorial, como por ejemplo susceptibilidad a las inundaciones, se deben de tener igualmente en cuenta.

Muchos suelos son resultado de la acción climática y, como consecuencia, clima y suelo suelen presentar relaciones con efectos conjuntos sobre la producción de los cultivos. Esta estrecha interrelación entre clima, suelo y comunidades de plantas naturales, ayuda hasta cierto punto a evaluar la aptitud de tierras.

Requerimientos de suelo

Los requerimientos edáficos de los cultivos se pueden sintetizar en los siguientes grupos, separando las propiedades internas y externas del suelo:

- Propiedades internas:
 - régimen de temperatura;
 - régimen de humedad;
 - régimen de aireación;
 - régimen de fertilidad natural;
 - profundidad útil;
 - textura y pedregosidad;
 - toxicidad;
 - otras propiedades específicas.
- Propiedades externas:
 - pendiente/topografía;
 - presencia e intensidad de inundaciones;
 - accesibilidad y traficabilidad.

Desde los requerimientos de suelo básicos de los cultivos, se definen rangos óptimos y marginales de condiciones. Estos rangos son posteriormente utilizados para su comparación con las características de tierras en la determinación de la aptitud edáfica para el cultivo (Paso 3.4). Un ejemplo sobre una síntesis de inventario de requerimientos edáficos de los cultivos se muestra en la Tabla 7. Información detallada complementaria se puede encontrar en

distintas publicaciones de FAO(FAO, 1976, 1978, 1981, 1983, 1985, 1994a).

Fiabilidad de los datos

Nota importante: La información sobre los rangos óptimos y marginales de las condiciones edáficas de ciertos cultivos, tales como los presentado en la Tabla 7, pueden ser difíciles o imposibles de obtener. Ante la ausencia de información publicada, se pueden establecer paralelismos con otros cultivos con similares requerimientos fisiológicos. Ello es importante ya que la comparación de los requerimientos de suelo y clima con las características de tierras no es posible si faltan dichos datos. Cuando se cuente con datos locales fiables se tratará de actualizar y comprobar los requerimientos.

[Indice](#) - [◀Precedente](#) - [Siguiente▶](#)

Grupo de actividades 2. Recopilación de inventarios de recursos de tierras

[Paso 2.1. Análisis de la duración del período de crecimiento](#)

[Paso 2.2. Definición de zonas térmicas](#)

[Paso 2.3. Recopilación de inventarios de recursos climáticos](#)

[Paso 2.4. Recopilación de inventarios de recursos de suelos](#)

[Paso 2.5. Recopilación de inventarios de uso actual de tierras](#)

[Paso 2.6. Recopilación de inventarios de recursos de tierras](#)

Este conjunto de actividades comprende los siguientes pasos:

2.1 análisis de la duración del período de crecimiento (DPC);

2.2 definición de zonas térmicas;

2.3 recopilación de inventarios de recursos climáticos;

2.4 recopilación de inventarios de suelos y relieve;

2.5 recopilación de inventarios de uso actual de tierras;

2.6 combinación de las actividades anteriores hasta llegar a inventarios de recursos tierras en base a zonas o celdas agro-ecológicas. Este inventario suele incluir también información sobre los límites administrativos.

El inventario de recursos tierras se basa en la combinación de diferentes capas de información para definir celdas agro-ecológicas (AECs) con una única combinación de clima, suelo y otros atributos relacionados (Figura 5). Tales técnicas de superposición de la información resultan mucho más fáciles de desarrollar mediante SIG. No obstante, otros métodos alternativos pueden ser utilizados si no se dispone de un SIG (ver Paso 2.6).

TABLA 7. Inventario de adaptabilidad edáfica para cultivos seleccionados

Cultivo	Pendiente (porcentaje)				Drenaje	
	Insumos elevados		Insumos bajos y moderados		Todos insumos	
	Óptimo	Marginal	Óptimo	Marginal	Óptimo	Marginal
Cebada	0 - 8	8 - 16	0 - 8	8 - 24	MW - W	I - SE
Avena	0 - 8	8 - 16	0 - 8	8 - 24	MW - W	I - SE
Caupí	0 - 8	8 - 16	0 - 8	8 - 20	MW - W	I - SE
Guisante verde	0 - 8	8 - 16	0 - 8	8 - 20	MW - W	I - SE
Guandú	0 - 8	8 - 16	0 - 8	8 - 20	MW - W	I - SE

Clases de drenaje: I = Imperfecto; MW = Moderadamente bien drenado; W = Bien drenado; SE = Algo excesivamente drenado; E = Excesivamente drenado.

Cultivo	Inundación		Textura			
	Todos los insumos		Insumos elevados		Insumos bajos y moderados	
	Óptimo	Marginal	Óptimo	Rango	Óptimo	Rango
Cebada	F ₀	F1	L-MCs	SL-MCs	L-SC	SL-KC
Avena	F ₀	F1	L-C	SL-MCs	L-SC	SL-KC
Caupí	F ₀	F1	SL-SCL	LS-KC	SL-SCL	LS-KC
Guisante verde	F ₀	F1	L-CL	SL-KC	L-CL	LS-KC
Guandú	F ₀	F1	SL-SCL	LS-KC	SL-SCL	LS-KC

Clases de inundación: F₀ = ninguna; F1 = a veces

Clases de textura: MCs = arcilla montmorillonítica, estructurada; C = arcilla (sin especificar); KC = arcilla caolinítica;

SC = arcillo-arenosa; SiCL = franco-arcillo-limosa; CL = franco-arcillosa; SCL = franco-arcillo-arenosa; L = limosa; SL = franco-arenosa; LS = areno-limosa.

Cultivo	Profundidad (cm)		CaCO ₃ (%)		Yeso (%)	
	Todos los insumos		Todos los insumos		Todos los insumos	
	Óptimo	Marginal	Óptimo	Marginal	Óptimo	Marginal
Cebada	> 50	25 - 50	0 - 30	30 - 60	0 - 5	5 - 20
Avena	> 50	25 - 50	0 - 30	30 - 60	0 - 5	5 - 20
Caupí	> 75	50 - 75	0 - 20	20 - 35	0 - 3	3 - 15
Guisante verde	> 75	50 - 75	0 - 25	20 - 35	0 - 3	3 - 15
Guandú	> 100	50 - 100	0 - 25	20 - 50	0 - 3	3 - 15

Cultivo	pH		Fertilidad natural	Salinidad(mmhos/cm)	
	Todos los insumos		Todos los insumos	Todos los insumos	
	Óptimo	Marginal	Rango	Óptimo	Marginal
Cebada	6.0 - 7.5	5.2 - 8.5	Moderado	0 - 8	8 - 12
Avena	6.0- 7.5	5.2 - 8.2	Bajo/Moderado	0 - 5	5 - 10
Caupí	5.2 - 7.5	5.0 - 8.2	Bajo/Moderado	0 - 3	3 - 6
Guisante verde	5.5 - 7.5	5.2 - 8.2	Moderado	0 - 3	3 - 6
Guandú	5.2 - 7.5	5.0 - 8.2	Bajo/Moderado	0 - 3	3 - 6

Fuente: FAO (1993a).

El Cuadro 4 sintetiza los datos necesarios para desarrollar los inventarios de recursos climáticos.

CUADRO 4: DATOS CLIMÁTICOS NECESARIOS

Conjunto 1: Mapas

- * mapas topográficos

Conjunto 2: Para cada estación climática

- * localización (coordenadas) y elevación
- * precipitación
- * temperatura máxima diaria
- * temperatura media diaria
- * temperatura mínima diaria
- * proporción de horas de sol y de nubes
- * humedad relativa
- * velocidad de viento
- * riesgos climáticos

Nota: El periodo de tiempo para el que se refieren los datos depende del objetivo y nivel de detalle del estudio de ZA E. Siempre que sea posible, la lluvia se referirá a una secuencia histórica de años.

Paso 2.1. Análisis de la duración del período de crecimiento

Se entiende por período de crecimiento el período del año en el que tanto las condiciones de humedad como de temperatura son favorables para el desarrollo de los cultivos (Cuadro 3).

En los trópicos, donde la temperatura es rara vez un factor limitante, excepto a grandes alturas, la duración del período de crecimiento (DPC) se puede estimar por un simple balance de humedad entre la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (ETp). La DPC se debe estimar para todas las estaciones con medidas de precipitación en la zona de estudio, y para un período histórico superior a 20 años. Si no se dispone de los datos necesarios para el cálculo de la ETp, se puede estimar mediante correlaciones validadas con la altitud (ej. De Pauw, 1987); o, en zonas llanas, mediante interpolación lineal desde las estaciones limítrofes (ej. Schalk, 1990; Radcliffe, Tersteeg & De Wit, 1992).

Aunque el primer estudio de ZAE de FAO a escala continental basó el cálculo de DPC en datos mensuales de P y ETp, estudios más detallados (ej. Radcliffe, 1981; De Pauw, 1987; FAO, 1983) han puesto de manifiesto el interés de analizar records históricos de lluvias y utilizar los resultados como base para, posteriormente, hacer un análisis estadístico de la distribución de la DPC. Esta aproximación basada en datos históricos es muy recomendable, particularmente en zonas semi-áridas donde la variabilidad interanual de la precipitación y de la DPC calculada puede llegar a ser muy elevada (FAO, 1983; Radcliffe, 1993).

TABLA 8. Ejemplo de cálculo de DPC basado en la lluvia mensual histórica

Estación: Nazreth 8°33'N; 39°17'E; 1622 m

PET o lluvia (mm)	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual	DPC (días)
PET (med)	139	137	161	149	147	134	121	123	120	138	131	132	1631	
PET/2(med)	70	68	80	75	73	67	60	62	60	69	66	66	816	
Lluvia por año														
1975	2	8	1	101	42	202	470	168	90	72	0	8	1164	155
1976	0	33	67	64	96	48	190	213	109	0	30	6	856	95
1977	59	11	59	133	66	140	225	172	83	163	64	0	1175	155
1978	3	99	3	16	15	59	96	200	83	68	14	6	662	95
1979	115	21	60	9	126	115	91	120	21	17	14	5	714	125
1980	datos incompletos													
1981	0	40	89	57	95	3	246	311	138	5	0	0	984	95
1982	9	41	35	29	79	32	127	260	48	105	31	11	807	65
1983	21	34	34	79	188	25	215	231	72	14	0	0	913	95 + 65
1984	0	0	4	0	171	85	203	148	67	0	0	20	698	155
1985	3	33	23	184	67	8	405	327	169	0	0	0	1219	95
Media	21	32	38	67	95	72	227	215	88	44	15	6	919	155

Fuente: Adaptado de Radcliffe (1989).

La Tabla 8 ofrece un ejemplo del cálculo de la DPC para un período de 11 años en Nazreth, Ethiopia, que cuenta con un período de crecimiento simple para la mayoría de los años, a través de la humedad disponible. Este ejemplo ha sido tomado de un Manual para el personal de trabajo de campo, quienes no siempre tienen acceso a computadoras. Para períodos continuos de al menos dos meses cuando $P > ETp/2$, se toman fases intermedias más húmedas del periodo de crecimiento (Figura 2). Se consideran quince días del primer mes en el que la precipitación excede a la mitad de la evapotranspiración, y se añaden 30 días por cada mes con $P > ETp/2$.

El análisis estadístico de las DPCs mostradas en la Tabla 8 da un periodo de crecimiento *confiable* de 95 días en más del 75% de los años. La DPC media es también de 95 días para más del 50 % de los años. La estimación de la DPC en base a datos medios de lluvia fue de 155 días, considerablemente mayor a la situación real.

En el estudio de ZAE de Kenia (FAO, 1993), se compara la ETp y el balance de humedad para records históricos de forma que se consiguen resultados similares al ejemplo de la Tabla 8. Los equipos informáticos utilizados en este estudio permitieron un análisis más detallado de los diferentes componentes de los períodos DPC, en base a períodos más cortos de tiempo (tres días) que son particularmente importante en áreas con patrones de cultivos múltiples. De acuerdo con dicho análisis, se reconocieron 22 zonas DPC con frecuencias de ocurrencia de uno,

dos, tres y cuatro períodos de crecimiento por año (y también de todos los años húmedos y secos). Estas zonas DPC se muestran en la Tabla 2.

El inventario de recursos climáticos mostró la presencia individual de períodos húmedos, intermedios y secos y sus correlaciones estadísticas derivadas, en primer lugar, de las duraciones totales de los períodos de crecimiento en años con un DPC dominante y en años con el DPC asociado; y, en segundo lugar, de las duraciones de componentes individuales de períodos de crecimiento y de la DPC total en años con períodos de crecimiento múltiple. Los períodos de crecimiento individuales y la DPC total de cualquier año son utilizados para evaluar la aptitud climática de cultivos anuales y perennes, respectivamente (Paso 3.2, p. 40).

En regiones templadas, la temperatura es con frecuencia de igual o mayor importancia a la disponibilidad de humedad como factor determinante del desarrollo de los cultivos, y su influencia no fue adecuadamente considerada por la primera metodología ZAE (FAO, 1978). Además de precisar un mayor detalle en cuanto a régimen térmico (Paso 2.2), no hay que olvidar que la temperatura interacciona con la disponibilidad de humedad influyendo en la DPC. En el Cuadro 5 se muestran las modificaciones concretas introducidas sobre el modelo DPC desarrollado para considerar las condiciones de temperatura en China.

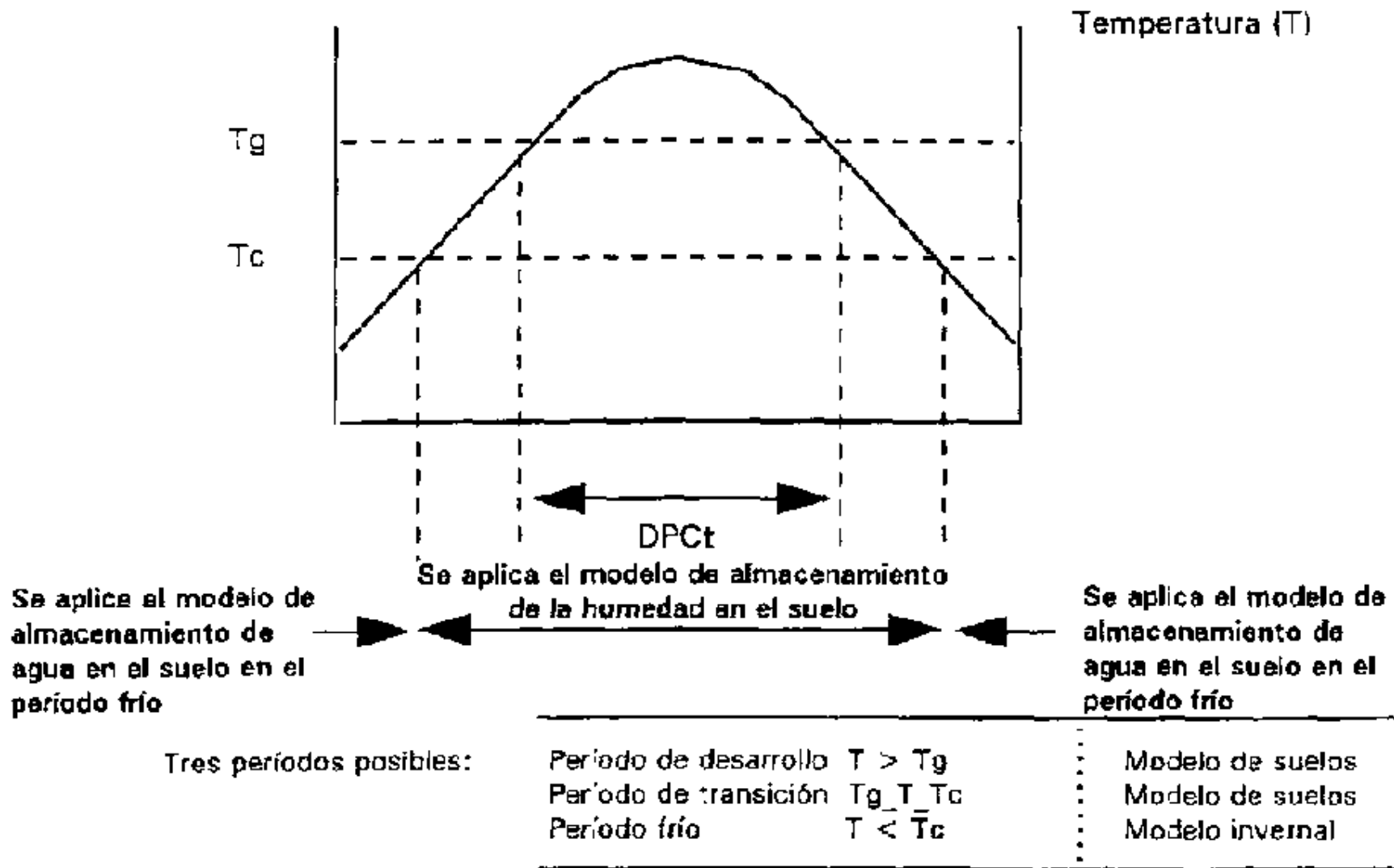
CUADRO 5: ESTIMACIÓN DE DPC EN ZONAS TÉRMICAS EL EJEMPLO DE CHINA

El estudio de ZAE de China identifica cuatro fases de un balance de humedad relacionado con la temperatura para determinar la DPC

- i. define un periodo de crecimiento por la temperatura, basado en el periodo del año (en días) en el que la temperatura es suficientemente alta para el desarrollo de los cultivos (correspondiendo a una temperatura media $>5^{\circ}\text{C}$ a $< 10^{\circ}\text{C}$ en la provincia de Heilongjiang);
- ii. se aplican diferentes balances de humedad al *periodo frío*, el *perlado de transición* y al penado de crecimiento (Figura 6);
- iii. la ETp Penman (o ET p/2) se sustituye por una estimación más baja de las necesidades de agua del cultivo en primavera (ej. alrededor del inicio potencial del penado de crecimiento relacionado con la humedad); v. se ajusta la extracción de humedad de la reserva de suelo de acuerdo con la disponibilidad (la humedad del suelo a tensiones próximas al punto de marchitez es mucho más difícil de extraer que aquellas próximas a la capacidad de campo). Se utiliza una función lineal cuadrática descrita por Doorenbos y Kassam (FAO, 1979) para calcular la extracción de agua a tensiones elevadas.

Fuente: Zheng Zhenyuan. 1994

FIGURA 6. DPC y modelos del balance de humedad en un estudio de ZAE en China

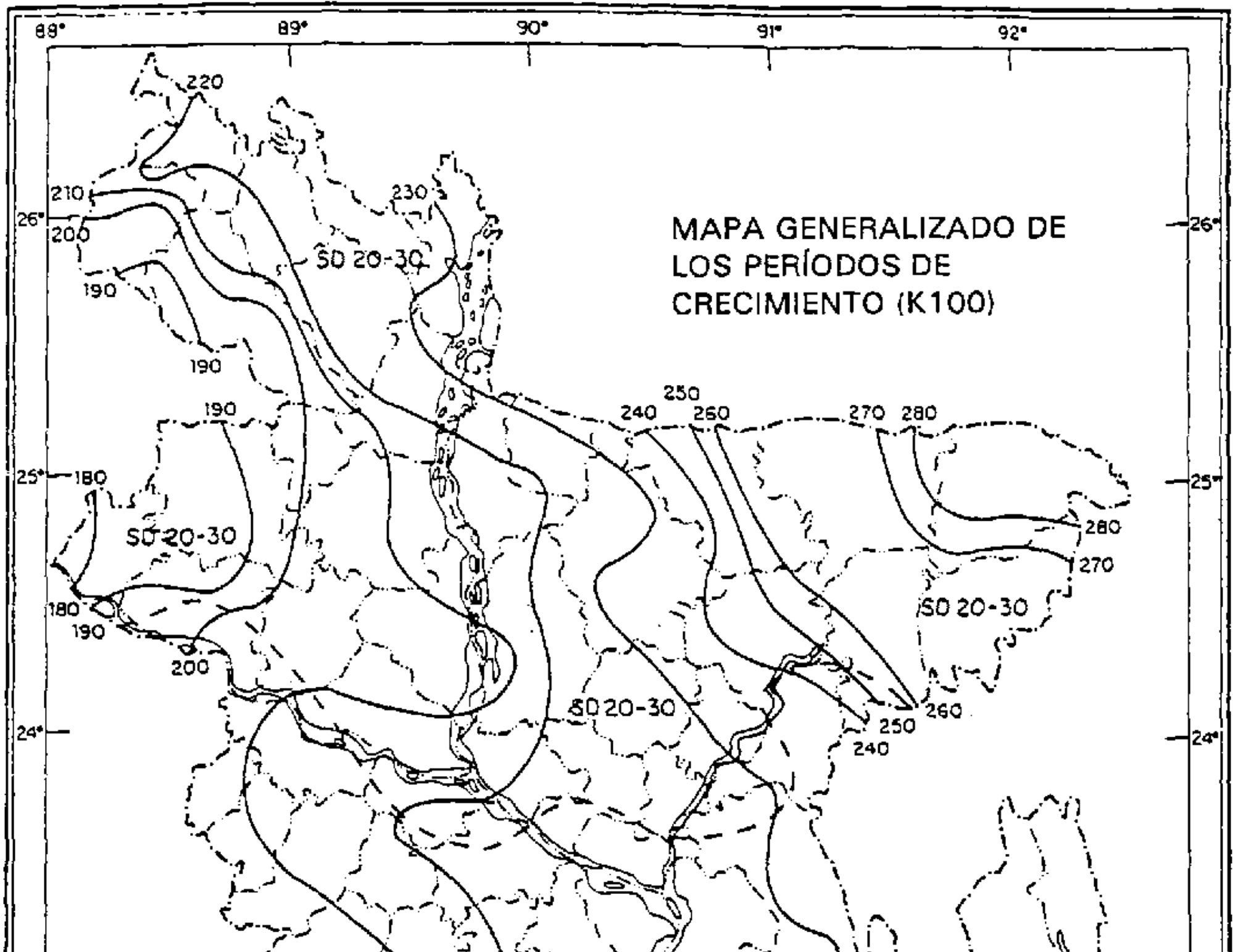


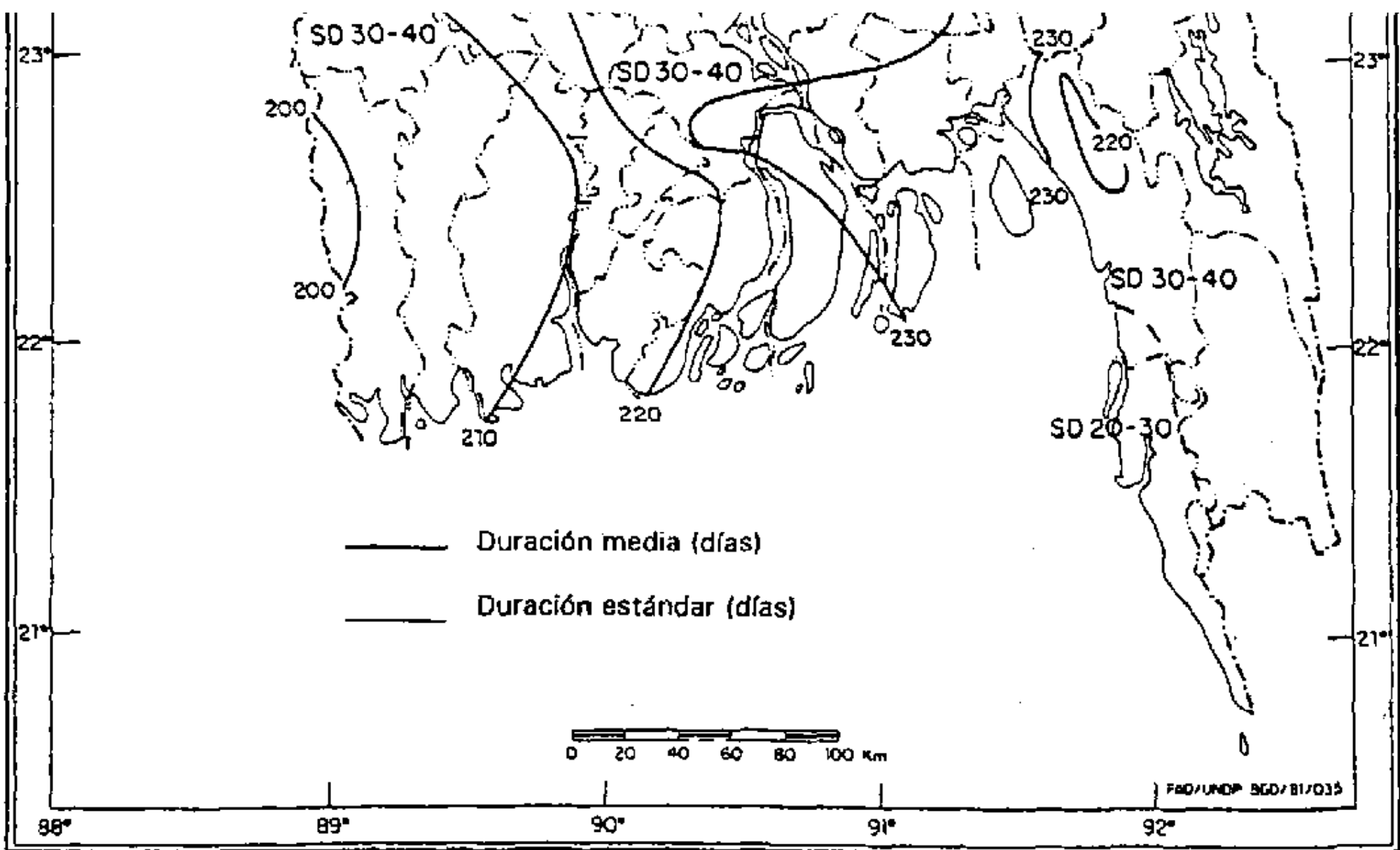
donde: T_g = Temperatura límite que marca el inicio y el fin dentro del período de crecimiento
 T_c = Temperatura límite que marca el inicio y el término de la estación fría

El estudio de China demostró la necesidad de adaptar ciertos elementos de la metodología ZAE cuando se aplica en ambientes diferentes a aquellos para los que fue primeramente desarrollada. Las modificaciones sobre el modelo de cálculo del balance de humedad va incluso más allá, siendo necesario considerar la estación de temperaturas bajas. La utilización de coeficientes de cultivos, aunque sea de una forma generalizada, representa un paso importante hacia una mayor precisión en el cálculo del balance de humedad específico para cada cultivo, y una mejora significativa de la metodología ZAE.

Las zonas de períodos de crecimiento se trazan en mapas, pudiendo hacerse en intervalos fijos de la DPC media, o en base a una DPC que presenta un determinado nivel de probabilidad (0.75 o 0.80). La Figura 7 muestra un ejemplo de zonas de períodos de crecimiento en Bangladesh (Brammer et al., 1988).

FIGURA 7. Mapa generalizado de los recursos de humedad de Bangladesh





Paso 2.2. Definición de zonas térmicas

Las zonas térmicas describen el régimen de temperaturas disponibles para el crecimiento de los cultivos durante el periodo de crecimiento. Se definen generalmente en base a los rangos de temperaturas medias. En áreas de montaña tropical, la temperatura media está con frecuencia fuertemente correlacionada con la altitud. La Tabla 9 ofrece los rangos de temperatura media y sus correspondientes altitudes para zonas térmicas de referencia en Kenia.

TABLA 9. Zonas térmicas de referencia en Kenia

Código de zona térmica	Rango de temperatura media diaria (°C)	Rango de altitud (msnm)
1	> 25.0	< 800
2	22.5-25.0	800-1200
3	20.0-22.5	1200-1550
4	17.5-20.0	1550-1950
5	15.0-17.5	1950-2350
6	12.5-15.0	2350-2700
7	10.0-12.5	2700-3100
8	5.0-10.0	3100-3900
9	< 5.0	> 3900

Un análisis tan simple del régimen de temperatura puede ser inadecuado en regiones templadas. En el estudio de ZAE llevado a cabo en China (Zheng Zhenyuan, 1994) se utilizó una combinación de tiempo de duración y días grados acumulados por encima de tres veces la temperatura crítica, y las temperaturas medias mensuales de Enero y Junio, para definir las zonas térmicas (Tabla 10).

Una más reciente revisión de los conceptos de régimen térmico ha llevado a las siguientes definiciones:

• **Zonas de periodo de crecimiento térmico (DPCT)**

Periodo del año en el que la temperatura media (Tmean) es $\geq 5^{\circ}\text{C}$. Este periodo se inventaria en intervalos de 30 días. La interrupción del invierno ($T_{\text{mean}} < 5^{\circ}\text{C}$) se define como (i) periodo de dormitancia cuando los cultivos pueden sobrevivir en hibernación, o (ii) interrupción fría cuando las temperaturas matan a los cultivos en hibernación (esa temperatura se establece en -8°C para 0 cm de cubierta de nieve, llegando hasta -22°C para una cubierta de nieve de 65 cm o más y siempre que no exceda de 200 días de duración).

TABLA 10. Características de las zonas térmicas en China

Zonas climáticas			Duración de temperaturas críticas (días)					Temperatura acumulada (días)				Temperatura media mensual	
Trópico	Subtrópico	Templado	> 20	> 15	> 10	> 5	> 0	> 15	> 10	> 5	> 0	Enero	Julio
	B1	C1	0	0	0	1-120	1-180	0	0	< 250	< 500	-31.0- -8.0	< 10.0
A1	B2	C2	0	0	1-60	30-180	120-240	0	10-1000	400-2000	7000-2000	-28.0- -3.0	7.0-15.0
A2	B3		0	0	61-120	120-180	210-270	0	1000-1500	2000-3500	2000-4000	-7.0- -4.0	12.0-20.0
	B4	C3	0	1-60	30-150	120-210	150-240	20-1000	500-2100	1200-2700	1500-3000	-31.0- -8.0	11.0-20.0
A3	B5		0	1-60	60-210	120-300	210-365	20-1000	700-3000	1800-4000	1500-4500	-7.7- -4.0	12.0-20.0
	B6	C4	0	61-90	90-150	120-210	150-300	1000-2000	1500-2600	2100-3200	2300-3500	-28.0- -6.0	17.0-20.0
A4	B7		0	90-120	150-240	240-330	300-365	1500-2500	2500-3700	3200-4200	3500-1700	1.0 - 5.0	17.0-20.0
A5	B8		0	121-180	210-300	270-365	360-365	2500-4000	3500-5000	4500-5700	4700-5800	3.0 - 10.0	19.0-22.0
		C5	1-60	60-120	120-150	150-210	180-270	1000-2500	1500-3000	2500-3500	2500-4000	-24.0- -12.0	20.0-23.0
		C6	1-60	90-150	150-180	180-240	240-270	2000-2500	2500-3500	3000-3750	3500-4000	-8.0- -4.0	20.0-23.0

	B9		1-60	90-150	150-210	210-270	270-360	1750-3000	2750-3750	3250-4000	3500-4750	-1.0- -8.0	19.0-25.0
A6			1-60	150-180	270-300	360-365	365	3200-3500	4500-4800	5000-5500	5000-5500	6.0 - 9.0	18.0-20.0
		C7	61-90	90-150	150-180	180-210	210-270	2250-3250	2500-3750	3000-4000	3250-4250	-20.0- -8.0	21.0-26.0
		C8	61-90	120-150	180-210	210-240	270-300	2500-3500	3250-4000	3500-4250	4000-4500	5.0 - 0.0	21.0-25.0
	B10		61-90	120-180	210-270	270-330	330-365	2750-3500	3750-4750	4250-5500	4500-5750	0.0 - 8.0	20.0-25.0
A7			61-90	180-210	270-300	360-365	365	3250-3750	4500-5000	5250-5750	5250-5750	5.0 - 8.0	21.0-22.0
		C9	91-120	120-180	180-210	210-240	240-270	3000-4000	3500-4250	4000-4500	4500-4750	-17.0- -8.0	25.0-27.0
	B11	C10	91-120	150-180	180-210	240-270	270-360	3000-4250	3750-4750	4250-5000	4500-5500	-6.0 - 3.0	24.0-28.0
A8			91-120	210-240	330-360	360-365	365	4000-5000	5250-6500	6000-6500	6250-6750	10.0 - 12.0	21.0-23.0
		C11	121-150	150-210	210-240	240-300	300-360	3750-5000	4250-5500	5000-6000	5000-6250	-4.0 - 5.0	26.0-33.0
	B12		121-150	170-210	240-270	270-360	330-365	2500-5000	4500-5750	5000-6500	5500-6750	4.0 - 8.0	21.0-30.0
A9			121-150	210-240	330-360	360-365	365	4000-5000	5250-5500	6000-6500	6250-6750	10.0 - 12.0	21.0-23.0
	B13		151-180	180-210	240-330	300-365	360-365	1500-5500	5000-7000	6000-7250	6500-7250	5.0 - 12.0	22.0-30.0
A10			151-180	240-270	300-330	365	365	4250-5000	6250-6500	6750-7000	6750-7000	11.0 - 12.0	22.0-24.0
	B14		181-210	210-270	270-360	330-365	360-365	5500-6500	6500-7500	7000-8000	7250-8000	9.0 - 13.0	27.0-29.0
A11			181-210	240-270	330-365	365	365	5000-6250	6500-7000	7000-7500	7000-7500	12.0 - 13.0	23.0-25.0
	B15		211-240	240-300	330-365	365	365	6000-7500	7000-8500	7500-8500	7500-8500	4.0 - 11.0	27.0-29.0
A12			211-240	270-300	330-365	365	365	6500-7500	7500-8000	7500-8000	7500-8000	14.0 - 16.0	24.0-27.0
	B16		> 240	300-330	330-365	365	365	7000-8500	8000-9000	8000-9000	8000-9000	16.0 - 17.0	27.0-29.0
A13			> 240	330-365	365	365	365	5000-9250	8250-9250	8500-9250	8500-9250	16.0 - 24.0	28.0-29.0

Fuente: FAO (1994a)

• **Zonas de período de heladas**

El período libre de heladas es aquel con temperaturas $T_{mean} \geq 10^{\circ}C$. Este periodo es también inventariado en intervalos de 30 días.

• **Zonas de permafrost de referencia**

Las zonas de permafrost de referencia se refiere a condiciones climáticas que son proclives a la formación y mantenimiento del permafrost. Como una aproximación a su definición, las zonas con $T_{mean} < -5^{\circ}C$ se suponen como de permafrost potencialmente continuo, y las que la T_{mean} varía de 0 a $-5^{\circ}C$ se suponen de permafrost intermitente o potencialmente discontinuo.

Paso 2.3. Recopilación de inventarios de recursos climáticos

Los inventarios de recursos climáticos se elaboran de la siguiente forma:

- representación gráfica de las estaciones de datos de temperatura, tipos medios y dominantes de la DPC, sobre un mapa;
- trazado de límites de zonas térmicas, de zonas de la DPC, e isolíneas de valores DPC medios y dominantes.

Además de técnicas normales de extrapolación, se suele hacer uso frecuente de imágenes Landsat, mapas climáticos, mapas de vegetación, mapas de uso del territorio, mapas topográficos y mapas de suelos para facilitar la delineación de límites e isolíneas. Si se utiliza un SIG, los mapas de inventario serían digitalizados. A partir de los mapas bases necesarios, los datos puntuales y el conocimiento sobre la interpolación de variables climáticas entre tales puntos, se pueden elaborar mapas climáticos en el entorno SIG.

Paso 2.4. Recopilación de inventarios de recursos de suelos

La información sobre tipos de suelo y relieve se obtiene normalmente de mapas de suelos ya existentes, así como de sus leyendas y memorias. Los mapas de suelos a nivel nacional, de escalas 1:1000000 o más pequeñas, son fuentes excelentes desde donde obtener los datos básicos. Para niveles de investigación más detallados, los mapas provinciales de suelos suelen ser suficientes, pudiendo ser necesario elaborar otros datos adicionales. A fin de facilitar la correlación entre suelos, es preferible utilizar el sistema de clasificación del Mapa de Suelos del Mundo FAO-Unesco (FAO, 1974; 1990a), aunque los sistemas nacionales de clasificación pueden ser igualmente usados ya que las características básicas para la evaluación de tierras se incluyen en las definiciones de los tipos de suelos.

¿Qué datos son necesarios?

Datos necesarios

En mapas de escala pequeña, la unidad cartográfica consta generalmente de asociaciones de clases de suelo individuales encontrándose dentro de los límites de una unidad fisiográfica cartografiada (Figura 4). Las unidades cartográficas reflejan tan exactamente como posible la distribución de suelos de grandes regiones. La información disponible para cada clase de suelo debe incluir los parámetros necesarios para responder a las necesidades de uso de la tierra. Aunque se puede establecer en la realidad un mínimo de datos necesarios para todas las aplicaciones, el rango de parámetros puede variar de acuerdo a la región geográfica y al nivel de detalle de la investigación. Por ejemplo, puede ser necesario incluir factores tales como aluminio de cambio en la caracterización del tipo de suelo en regiones húmedas tropicales, sin embargo otros factores, tales como las concentraciones de sales solubles son más importantes en áreas áridas. El Cuadro 6 muestra los parámetros de suelo necesarios para llevar a cabo los estudios de ZAE.

Fases de suelos

Las fases de suelo indican características de la tierra que no son consideradas en la definición de unidades taxonómicas de suelo, pero que son importantes para el uso y manejo de la mismas. Las fases de suelo definidas en la Leyenda FAO-Unesco (FAO, 1974; 1990b) pueden ser agrupadas como sigue:

- indicación de un impedimento o limitación mecánica
 - * Rocas, cantos rodados, piedras, gravas;
- indicación de límite de la profundidad útil del suelo
 - * Lítico, paralítico, petrocálcico, petroférico;
- indicación de una limitación físico-química
 - * Salino, sódico.

CUADRO 6: DATOS DE SUELOS NECESARIOS

Conjunto 1: Mapas

- * mapas topográficos/geológico/del terreno
- * mapas de suelo/fisiográfico + leyenda + informe

Conjunto 2: Para cada suelo/unidad fisiográfica

- * composición de la unidad cartográfica en función de suelo dominante, asociación de suelos e inclusiones;
- * porcentaje de presencia de cada suelo asociado dentro de la unidad cartográfica;
- * profundidad útil y capacidad de agua útil, cantidad y calidad de la materia orgánica, CEC-arcilla, saturación en bases, estabilidad estructural, pedregosidad y rocosidad, para cada grupo de unidad de suelo identificada en el área de estudio;
- * extensión del área de cada unidad cartográfica;
- * clase de pendiente dominante;
- * clase de textura de la zona de raíces para cada suelo asociado;

Símbolo de la unidad cartográfica

Los componentes del símbolo de la unidad cartográfica representan la distribución de los tipos de suelos y la clave sobre sus propiedades. Un ejemplo se muestra en la Tabla 11.

Paso 2.5. Recopilación de inventarios de uso actual de tierras

El uso actual de la tierra y su cubierta vegetal es particularmente importante cuando los resultados ZAE son aplicados para una planificación del uso de la misma. Por tanto las clases de uso de la tierra y su cubierta deben ser sistemáticamente anotadas durante el inventario de recursos y pueden considerarse como atributos de las AECs. No obstante, este inventario es completamente distinto del inventario de tipos de uso de la tierra (Grupo de Actividades 1), que define el uso potencial de la tierra y establece una lista de los requisitos para la evaluación de la misma.

Paso 2.6. Recopilación de inventarios de recursos de tierras

Elaborar un inventario de tierras es el resultado de superponer zonas térmicas, zonas DPC e inventarios de recursos de suelo. Información adicional sobre límites administrativos, uso de tierras y otros aspectos, tal como la incidencia de la mosca tse-tsé, puede ser también tenida en cuenta como se muestra en el ejemplo de la Figura 8. El resultado de este procedimiento es un mayor número de celdas agro-ecológicas, así por ejemplo, en el estudio de ZAE en Kenia fueron definidas aproximadamente 91,000 AECs. La Tabla 12 muestra un ejemplo de unidades cartográficas de recursos de tierra, unidades cartográficas de suelos y AECs, como se hace en un inventario de recursos de tierras.

La utilización de un SIG es muy recomendable para el tratamiento de tal volumen de información. Sin embargo, si no se dispone de un SIG, a veces es posible asignar información desde un inventario (ej. clima) a unidades cartográficas definidas en otro inventario (ej. suelos) y usar los límites de estas unidades cartográficas como único marco espacial de trabajo para el inventario de tierras. Por ejemplo, la evaluación de la aptitud de tierras de Bostwana (Radcliffe et al., 1992) utilizó el mapa nacional de suelos 1:1,000,000 (De Wit y Nachtergaele, 1990) para la distribución espacial de unidades a ser evaluadas. Los límites de estas unidades fueron determinadas mediante imágenes de satélites y trabajos de campo relativamente fiables. Los límites entre zonas climáticas, basados en datos recogidos de un número de estaciones de referencia, no eran muy fiables, y el terreno relativamente llano de Bostwana no permitió establecer una relación entre los factores climáticos y la altitud. Para superponer límites climáticos poco fiables sobre límites de suelo fiables, a cada unidad cartográfica de suelos se le asignó un conjunto de información climática que fue utilizada como insumos para la evaluación de la aptitud de tierras. Este procedimiento generó 846 unidades de aptitud de tierras, análogas a las AECs.

Igualmente, si se utiliza un SIG, la digitalización de datos de diferentes fuentes puede llevar a una mala asignación de límites, y puede ocurrir que las unidades cartográficas resultantes no se ajusten a la realidad. Tales problemas surgieron, por ejemplo, en áreas montañosas de China (Zheng Zhenyuan, 1994), donde se decidió ajustar los límites de las asociaciones de suelo a los límites de zonas climáticas (esencialmente lo contrario al procedimiento seguido en Bostwana donde los límites de las zonas climáticas se definieron por los de las unidades cartográficas).

TABLA 11. Composición de unidades cartográficas de la Región III (Nicaragua)

Símbolo/km ²	Unidad de suelos	%	Textura	Pendiente	Fase	Área (km ²)
1/145	Eutric Regosol	100	2	3	Lítico	145
2/225	Pellic Vertisol	85	3	1	Sin fase	191.2
	Chromic Vertisol	10	3	1	Sin fase	22.5
	Eutric Fluvisol	5	3	1	Sin fase	11.3
3/450	Mollic Andosol	90	2	1	Sin fase	405.0
	Vitric Andosol	6	2	1	Sin fase	27.0
	Pellic Vertisol	4	3	1	Sin fase	18.0
4/825	Vitric Andosol	92	2	1	Sin fase	759.0
	Mollic Andosol	5	2	1	Sin fase	41.2
	Luvic Phaeozems	3	2	1	Sin fase	24.8
5/1550	Eutric Cambisol	70	2	3	Pedregoso	1085.0
	Eutric Regosol	20	2	3	Lítico	310.0
	Eutric Fluvisol	10	2	1	Sin fase	155.0
6/735	Luvic Phaeozem	80	2	2	Sin fase	588.0
	Pellic Vertisol	15	3	1	Sin fase	110.2
	Eutric Regosol	5	2	1	Sin fase	36.8
8/950	Eutric Cambisol	60	2	2	Sin fase	570.0
	Pellic Vertisol	30	3	1	Sin fase	285.0
	Luvic Phaeozem	10	2	2	Sin fase	95.0
9/620	Haplic Phaeozem	80	2	2	Sin fase	496.0
	Eutric Regosol	15	2	2	Sin fase	93.0
	Mollic Andosol	5	2	2	Sin fase	31.0

Fuente: Van Wambeke (1991).

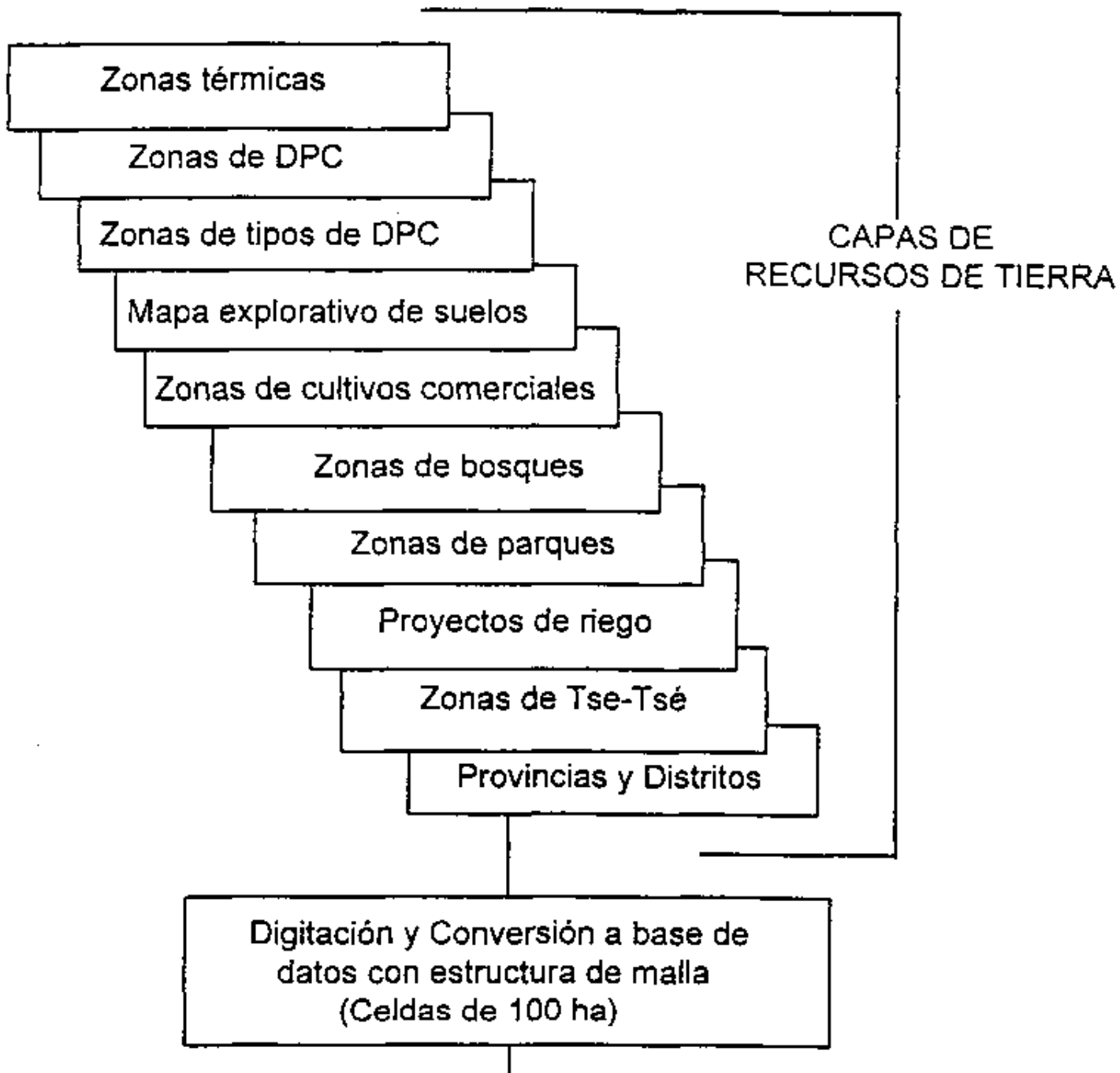
TABLA 12. Inventario computarizado de tierras: celdas agro-ecológicas

UNIDAD DE MAPEO DEL INVENTARIO DE RECURSOS DE TIERRA	Zona térmica	LG, código	Modelo DPC, código	Inventario de suelo	Extensión (km ²)
7	IV	5	7	193	880

UNIDAD DE MAPEO DEL INVENTARIO DE RECURSOS DE SUELOS	Tipo suelo	Textura, clase	Pendiente, clase	Fase, código	%
<u>193</u>	Yh	2	1	20	60
	Xk	2	1	20	40

CELDA ZAE	Zona térmica	DPC, código	Modelo DPC, código	Suelo, tipo	Textura, clase	Pendiente, clase	Fase	Extensión (km ²)
I	IV	5	7	Yh	2	1	20	528
II	IV	5	7	Xk	2	1	20	352

FIGURA 8. Estructura de la base de datos de recursos de tierras para la definición de celdas agro-ecológicas en Kenia



**Información cuantificada de
composición de unidades
de suelo**

**Celdas Agro-ecológicas
Información computerizada (SIG) para cada celda**

**Régimen térmico (9 zonas); Zonas de DPC (15 zonas);
Zonas de tipo de DPC (22 zonas); Formas de la tierra (49 tipos);
Pendiente (6 clases); Geología/Material madre (37 tipos);
Unidad de suelo (128 tipos); Textura de suelo (17 clases);
Fases del suelo (17 tipos); Cultivos comerciales (19 tipos);
Zonas de bosques (3 tipos); Zonas de parques (3 tipos);
Proy. de riego (19 áreas princip.); Zonas de infestación Tse-tse (1 tipo);
Provincias (8); Distritos (41)**

Independientemente de si se utiliza una técnica probabilística o un simple mapa como marco espacial de trabajo para el inventario de recursos, las AECs deben ser definidas con precisión por sus características de suelo y clima.

- extensiones totales de todas las unidades de suelos, desglosadas en clase de textura, clase de pendiente y fase dentro de cada zona térmica, y en cada zona DPC, en un campo/provincia base;
- tabla resumen del inventario mostrando la distribución de las unidades individuales de suelos (combinaciones para todas las pendientes, texturas y fases) por zonas de la misma duración del período de crecimiento (combinaciones para todas las zonas térmicas y zonas de modelos del periodo de crecimiento);
- tabla resumen mostrando la distribución de unidades individuales de suelo (combinaciones para todas las pendientes, texturas y fases) por zonas de duración del período de crecimiento para cada zona térmica (combinaciones para todas las zonas de modelos del periodo de crecimiento);
- tabla resumen mostrando la distribución de unidades individuales de suelos con textura, pendiente y fase y por zonas de duración del período de crecimiento para cada zona térmica y cada zona de modelo del periodo de crecimiento.
- mapas e información tabulada sobre zonas agro-ecológicas.

Grupos de actividades 3. Evaluación de la aptitud de tierras

[Paso 3.1. Adecuación de cultivos a zonas térmicas](#)

[Paso 3.2. Adecuación de cultivos a zonas de periodo de crecimiento](#)

[Paso 3.3. Clasificación de aptitud agro-climática](#)

[Paso 3.4. Comparación de los requerimientos de los cultivos a las condiciones de suelo](#)

[Paso 3.5 Modificación de las clases de aptitud en base a la textura, limitaciones de fase y pendiente](#)

La evaluación de la aptitud relativa de la tierra es llevada a cabo mediante comparación de limitaciones con requerimientos de los cultivos, y modelación de la producción potencial de biomasa y rendimiento. Esta operación se realiza, normalmente, en dos fases principales, en la primera de ellas se evalúa la aptitud agro-climática y en la segunda se ajustan las clases de aptitud de acuerdo a las limitaciones de suelo. Cada fase principal comprende un número de pasos que se relacionan a continuación.

Fase 1: Aptitud agro-climática y rendimientos agronómicos potenciales

3.1 Comparación de los atributos de regímenes de temperaturas con los requerimientos del cultivo, tal y como se refleja en los grupos de cultivos, para determinar que cultivos se seleccionan para seguir el proceso de evaluación.

3.2 Cálculo de los rendimientos libres de limitaciones de todos los cultivos seleccionados tomando en consideración los regímenes de temperatura y radiación dominantes en cada zona DPC.

3.3 Cálculo de la capacidad de producción agronómica mediante estimación de reducciones de rendimiento debidas a limitaciones agro-climáticas por déficit de humedad, plagas y enfermedades, para cada cultivo en cada zona DPC.

Fase 2: Evaluación de la aptitud agro-edáfica en base a limitaciones del suelo

3.4 Comparación de los requerimientos de suelo de los cultivos con las condiciones edáficas de las unidades de suelo descritas en el inventario de los mismos, para diferentes niveles de insumos.

3.5 Modificación de la evaluación de las unidades de suelos como consecuencia de las limitaciones debidas a las condiciones de pendiente, textura y fase.

Al margen de el Paso 3.2 que comprende un modelo mecanicista de producción de biomasa y rendimiento de cultivo, todos los procedimientos anteriormente descritos asumen 'normas comparativas' para definir las clases de aptitud de tierras, y estimar el rendimiento potencial bajo diferentes niveles de insumo. Muchas de estas normas, que se pueden considerar bastante flexibles, provienen del conocimiento experto disponible derivado de los primeros estudios de ZAE (FAO, 1978). El número de clases de aptitud, clases de manejo, niveles de insumo y relación entre ellas se pueden modificar de acuerdo con el nivel de información, el ámbito de aplicación y los objetivos de cada investigación ZAE. El Cuadro 7 muestra un ejemplo de 'normas comparativas' desarrolladas en el estudio de ZAE de Kenia.

Paso 3.1. Adecuación de cultivos a zonas térmicas

El paso inicial en el proceso de adecuación consiste en la comparación de los requerimientos de temperatura de cultivos individuales con zonas térmicas identificadas en el inventario de recursos climáticos. Este paso representa esencialmente una criba que excluye los cultivos que no son aptos en regímenes específicos de temperatura.

Un ejemplo de adecuación de los requisitos de temperatura de los cultivos con zonas térmicas se presenta en la Tabla 13. Cuando todos los requerimientos se cumplen, la zona es evaluado como S1, cuando los requerimientos son sub-óptimos, la zona es evaluado como S2, S3 o S4, y cuando los requerimientos no se cumplen, la zona es evaluado como N (no apta). Las relaciones entre condiciones sub-óptimas y reducciones de rendimiento se muestran en el Cuadro 7.

Paso 3.2. Adecuación de cultivos a zonas de periodo de crecimiento

La adecuación de los cultivos a zonas de periodo de crecimiento se lleva a cabo siguiendo los siguientes pasos:

- 3.2.1 cálculo de la biomasa neta y rendimiento del cultivo libre de limitaciones por zonas DPC;
- 3.2.2 inventario de limitaciones agro-climáticas para cada zona DPC, por cultivo y por nivel de insumo;
- 3.2.3 aplicación de las limitaciones agro-climáticas a los rendimientos libres de limitaciones para determinar agro-climaticamente los rendimientos potenciales de los cultivos por zonas DPC;
- 3.2.4 cálculo de cómo son afectados los rendimientos potenciales de los cultivos por la variabilidad anual de las condiciones de humedad;
- 3.2.5 clasificación de la aptitud agro-climática de cada media total dominante de la zona de periodo de crecimiento (inventariado) para cada cultivo, según los posibles rendimientos agro-climáticos por zonas térmicas y por zona de modelo de periodo de crecimiento.

CUADRO 7: EJEMPLO DE NORMAS SOBRE LA APTITUD DE TIERRAS EN ESTUDIOS DE ZAE

1. Rendimiento potencial con pocos insumos = 25% del rendimiento con insumos elevados.
Rendimiento potencial con insumos intermedios = 62,5% de rendimiento con insumos elevados.
2. Las clases S2, S3 y S4 por requerimientos del cultivo en cuanto a zonas térmicas implican una reducción potencial del 25%, 50% y 75% respectivamente (*Paso 3.1*).
3. El rendimiento potencial en un penado intermedio de crecimiento corresponde al 50% del periodo normal (excepto para Fluvisols y Gleysols) (*Paso 3.2*).
4. Las limitaciones agroclimáticas *moderada* y *severa* producen una reducción de rendimiento potencial del 25% y 50% respectivamente. (*Paso 3.3*).
5. Las clases de aptitud agroclimática (*Paso 3.3*), y de aptitud de tierras (*Paso 3.5*) corresponden a los siguientes rangos de rendimiento potencial (expresado como porcentaje del rendimiento potencial máximo):

VS (S1)	May apta	80-100
S (S2)	Apta	60-80
MS (S3)	Moderadamente apta	40-60
mS (S4)	Poco apta	20-40
Vms	Muy poco apta	5-20

NS (N)	No apta	0-5
<p>6. Los rangos S2, S3 y S4 de parámetros de suelo seleccionados en función de los requerimientos del cultivo implican reducciones del rendimiento potencial del 25%, 50% y 75% respectivamente (<i>Paso 3.4</i>).</p> <p>7. Los suelos de textura gruesa (arenosos y franco arenosos) tienen otro 25% de reducción de rendimiento en todos los cultivos excepto cacahuets y patatas.</p>		

3.2.1 Biomasa neta y rendimiento potencial

Los estudios de ZAE de FAO han generado valores de biomasa máxima y rendimiento potencial de los cultivos haciendo uso de modelos cuyas características principales son las siguientes:

1. Cálculo de la producción de materia seca total para un cultivo representativo;
2. Aplicación de un factor de corrección según tipos de cultivos y temperatura;
3. Aplicación de un factor de corrección según el desarrollo del cultivo en función del índice de área foliar;
4. Aplicación de un factor de corrección según la producción de materia seca neta;
5. Aplicación de un factor de corrección según la fracción cosechable;

TABLA 13. Evaluación de la aptitud de tierras de cultivo según zonas térmicas

Código de cultivo	Cultivo	Periodo de crecimiento (días)	Zona térmica								
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
011	Cebada	90-120	N	N	S3	S1	na	na	na	N	N
012		120-150	N	N	na	na	S1	na	na	N	N
013		150-180	N	N	na	na	na	S2	S4	N	N
021	Maíz (valles)	70-90	S1	S1	S1	N	N	N	N	N	N
022		90-110	S1	S1	S1	N	N	N	N	N	N
023		110-130	S1	S1	S1	N	N	N	N	N	N
031	Maíz (tierras altas)	120-140	N	N	N	S1	na	na	N	N	N
032		140-180	N	N	N	S1	na	na	N	N	N
033		180-200	N	N	N	S1	na	na	N	N	N
034		200-220	N	N	N	na	na	na	N	N	N
035		220-280	N	N	N	na	S2	na	N	N	N
036		280-300	N	N	N	na	S2	S4	N	N	N
041	Avena	90-120	N	N	S4	S2	na	na	na	N	N
042		120-150	N	N	na	na	S1	na	na	N	N
043		150-180	N	N	na	na	na	na	na	N	N
051	Mijo perla	60-80	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N

052		80-100	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
061	Arroz (secano)	90-110	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
062		110-130	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
071	Arroz (inundado)	80-100	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
072		100-120	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
073		120-140	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
081	Sorgo (valles)	70-90	S1	S1	S1	N	N	N	N	N	N
082		90-110	S1	S1	S1	N	N	N	N	N	N
083		110-130	S1	S1	S1	N	N	N	N	N	N
091	Sorgo (tierras altas)	120-140	N	N	N	S1	na	N	N	N	N
092		140-180	N	N	N	S1	na	N	N	N	N
093		180-200	N	N	N	S1	na	N	N	N	N
094		200-220	N	N	N	na	S3	N	N	N	N
095		220-280	N	N	N	na	S3	N	N	N	N
096		280-300	N	N	N	na	S3	N	N	N	N
111	Trigo	100-130	N	N	S4	S1	na	na	na	N	N
112		130-160	N	N	na	na	S1	na	na	N	N
113		160-190	N	N	na	na	na	S2	S4	N	N
211	Caupí	80-100	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
212		100-140	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
221	Green gram	60-80	S1	S2	S4	N	N	N	N	N	N
222		80-100	S1	S2	S4	N	N	N	N	N	N
231	Maní	80-100	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
232		100-140	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
241	Frijoles phaseolus	90-120	N	S4	S1	S1	na	na	N	N	N
242		120-150	N	na	na	na	S1	na	N	N	N
243		150-180	N	na	na	na	na	S3	S4	N	N
251	Guandú	130-150	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
252		150-170	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
253		170-190	S1	S1	S3	N	N	N	N	N	N
261	Soja	80-100	S2	S1	S1	S3	N	N	N	N	N
262		100-140	S2	S1	S1	S3	N	N	N	N	N
311	Yuca	150-130	S1	S1	S2	S4	N	N	N	N	N

Fuente: FAO (1993a).

TABLA 14. Biomasa neta potencial y cosecha comercializable en función de la radiación y la temperatura

Unidad: ton/ha														
Nombre de cultivo		Duración del periodo de crecimiento (días)												
		<135	135-149	150-164	165-179	180-194	195-209	210-224	225-239	240-254	255-269	270-284	285-299	>300
Maíz	Bn	22.30	22.30	19.30-19.90	16.30-21.60	16.30-22.20	18.60-20.90	18.30-20.90	18.00-20.80	18.00	19.00-19.70	18.50-19.70	18.50-19.70	18.90-19.20
	By	8.90	8.90	7.70-8.00	6.50-8.60	6.50-8.90	7.40-8.40	7.30-8.30	7.20-8.30	7.20	7.60-7.90	7.40-7.80	7.40-7.80	7.60-7.70
Arroz	Bn	13.60	13.60	12.10-13.30	10.50-13.30	10.50-13.60	11.50-13.00	11.50-13.00	11.40-12.70	11.40	12.10-12.30	11.70-12.30	11.70-12.00	11.90-12.10
	By	4.10	4.10	3.60-4.00	3.10-4.00	3.10-4.10	3.50-3.90	3.50-3.90	3.40-3.80	3.40	3.60-3.70	3.50-3.70	3.50-3.60	3.60-3.60
Maní	Bn	10.00	10.00	8.90-9.90	7.70-9.90	7.70-10.20	8.60-9.90	8.60-10.10	8.50-10.10	8.50	9.00-9.10	8.80-9.40	8.80-9.10	8.90-9.10
	By	3.00	3.00	2.70-3.00	2.30-3.00	2.30-3.10	2.60-3.00	2.60-3.00	2.60-3.00	2.60	2.70-2.70	2.60-2.80	2.70-2.70	2.70-2.70
Soja	Bn	10.00	10.00	8.90-9.90	7.70-9.90	7.70-10.20	8.60-9.90	8.60-10.10	8.50-10.10	8.50	9.00-9.10	8.80-9.40	8.80-9.10	8.90-9.10
	By	3.00	3.00	2.70-3.00	2.30-3.00	2.30-3.10	2.60-3.00	2.60-3.00	2.60-3.00	2.60	2.70-2.70	2.60-2.80	2.70-2.70	2.70-2.70
Sorgo	Bn	20.10	20.10	17.40-19.50	14.70-19.40	14.70-20.00	16.50-18.80	16.50-18.80	16.20-18.80	16.20	17.10-17.80	16.60-17.00	17.00-17.30	16.60-17.30
	By	5.00	5.00	4.30-4.90	3.70-4.90	3.70-5.00	4.10-4.70	4.10-4.70	4.10-4.70	4.10	4.30-4.40	4.20-4.30	4.30-4.30	4.20-4.30
Yuca	Bn	31.60	31.60	28.00-29.30	24.30-31.30	28.20-32.00	27.10-31.30	27.10-32.00	26.80-32.00	26.90	28.50-28.60	27.50-29.50	27.50-28.50	27.90-28.70
	By	17.40	17.40	15.40-16.10	13.40-17.20	15.20-17.60	14.90-17.20	14.90-17.60	14.80-17.60	14.80	15.70-15.70	15.20-16.20	15.20-15.70	15.40-15.80
Algodón	Bn	16.90	16.90	15.00-16.50	13.10-16.50	13.10-16.90	14.50-16.30	14.40-16.00	14.20-16.30	14.30	15.00-15.30	14.60-15.40	14.60-15.00	14.80-15.10
	By	1.18	1.18	1.05-1.16	0.91-1.16	0.91-1.18	1.02-1.14	1.01-1.12	1.00-1.14	1.00	1.05-1.07	1.02-1.08	1.02-1.05	1.04-1.05
Caña de azúcar	Bn	46.70	46.70	40.40-46.70	33.90-45.90	33.90-47.20	38.60-45.90	38.60-46.40	38.10-46.40	42.00	40.80-41.30	39.30-42.50	40.00-40.80	40.00-40.00
	By	11.70	11.70	10.10-11.70	8.50-11.50	8.50-11.80	-11.50	9.60-11.60	9.50-11.60	10.50	10.20-10.30	9.80-10.60	10.00-10.20	10.00-10.00

Fuente: FAO (1994a).

La aplicación detallada del modelo de biomasa y rendimiento fue descrito por Kassam (1977) y FAO (1978). El modelo se incluye también en "Agricultural Planning Toolkit" (APT) y en el estudio de ZAE (ZAE/CCS). Los programas informáticos necesarios para su mecanización fueron desarrollados por FAO (FAO, 1990; Fischer y Antoine, 1994).

La biomasa potencial máxima y el rendimiento se calculan para todos los cultivos anuales evaluados con una mínima aptitud marginal (establecidos en zonas térmicas) para cada duración individual del periodo de crecimiento en las zonas DPC. En áreas con variaciones significativas de altitud, la evaluación debe considerar el incremento del ciclo de duración del periodo de crecimiento asociado a temperaturas frías. Los cultivos perennes se evalúan teniendo en cuenta el periodo total de crecimiento en áreas con más de una DPC por año.

La Tabla 14 muestra un ejemplo de rendimiento potencial libre de limitaciones basado en los efectos predominantes de radiación y temperatura sobre el crecimiento y desarrollo fotosintético de los cultivos, y de acuerdo con la duración de los periodos de crecimiento.

Algunos estudios de ZAE recientes llevados a cabo en Asia (FAO, 1994a) han mostrado discrepancias entre los rendimientos máximos potenciales calculados por el modelo estándar ZAE y los rendimientos conseguidos en estaciones de investigación y en fincas experimentales. En algunos casos esto puede atribuirse a los recientes

avances en variedades de plantas, particularmente en el arroz de cáscara, lo que ha dado lugar a algunas publicaciones originales sobre modelos con un gran número de insumos. Otras discrepancias pueden ser debidas simplemente a lagunas en el conocimiento actual en cuanto a respuesta fisiológica de ciertos cultivos a factores medioambientales. En China las cifras sobre rendimiento máximo de trigo, maíz, arroz y soja obtenidas en fincas agrícolas experimentales fueron utilizadas con preferencia a aquellas calculadas por el modelo de rendimiento de biomasa (Zheng Zhenyuan, 1994).

3.2.2, 3.2.3 Limitaciones agro-climáticas

Para la evaluación agro-climática, las pérdidas de rendimiento ocurren como consecuencia de ciertas limitaciones climáticas que se deben tener en cuenta. La pérdida de rendimiento de un cultivo de secano por limitaciones agro-climáticas se debe a las siguientes condiciones:

- Falta de relación entre el ciclo normal de crecimiento del cultivo y la duración del periodo de crecimiento disponible en la zona.
- Grado de déficit de humedad durante el periodo de crecimiento.
- Factores de reducción de rendimiento y calidad por plagas, enfermedades y herbicidas.
- Factores climáticos, que, actuando directa o indirectamente, reducen la calidad y el rendimiento del cultivo, principalmente, por sus efectos sobre el desarrollo de los componentes de la cosecha.
- Factores climáticos que afectan la eficiencia de las labores de labranza y los costes de producción.

TABLA 15. Resumen de un inventario de limitaciones agro-climáticas

LIMITACIONES AGRO-CLIMÁTICAS POR CULTIVOS: CULTIVOS EN GRUPOS II Y III EN AREAS TROPICALES Y SUBTROPICALES (PRECIPITACIONES DE VERANO)

Longitud del periodo de crecimiento (días)	Limitaciones			Limitaciones			Limitaciones			Impedimentos		
	Nivel insumos		Ejemplos	Nivel insumos		Ejemplos	Nivel insumos		Ejemplos	Nivel insumos		Ejemplos
	Bajos abcd	Altos abcd		Bajos abcd	Altos abcd		Bajos abcd	Altos abcd		Bajos abcd	Altos abcd	
Mijo			Sorgo			Maíz			Soja			
75-89	2010	2010	Variabilidad de precipit.	2110	2010	Variabilidad de precipit.	2120	2020	Variabilidad de precipit.	2020	2020	Variabilidad de precipit.
90-119	1000	1000	Aves dañinas	2100	2000	Aves dañinas	2110		Desecam. de las barbas	2010	2010	
120-149	0000	0000		1100	1000		1100	1000		1000	1000	
150-179	0000	0000		0000	0000		0000	0000		0000	0000	
180-209	0100	0100		0000	0000		0000	0000		0100	0000	
210-239	0110	0111		0110	0011		0100	0001		0110	0001	
240-269	0221	0222	Mildiú	0121	0022	Mildiú	0101	0002		0110	0002	Mancha foliar
270-299	0221	0222	Barrenillo	0221	0122	Barrenillo Mosca de brotes	0101	0102	Barrenillo	0111	0102	Cicadelas
300-330	0221	0222	Cecimodia Cornezuelo	0221	0222	Mohos	0101	0102	Mancha foliar Niebla	0211	0112	Barrenillos de la vaina

330-364	0222	0222	Caries	0222	0222	Caries Cecimonia	0112	0112	Virosis Prod. húmedo	0222	0112	Prod. húmedo
365	0222	0222	Dif. Iaboreo	0222	0222	Dif. Iaboreo	0222	0222	Dif. Iaboreo	0222	0222	Dif. Iaboreo
	Fijoles phaseolus			Algodón			Batata			Yuca		
75-89	2020	2020	Variabilidad de precipit.	2000	2000	Variabilidad de precipit.	2010	2010	Variabilidad de precipit.	2010	2010	Variabilidad de precipit.
90-119	2010	2010	Malform.	2110	2000		2010	2010	Suelo seco/	2010	2010	Suelos seco/
120-149	1000	1000	vaina/mela calid. grano	1110	1000		1001	1001	compacto para extracción	1011	1011	compacto para extracción
150-179	0000	0000		0110	0000		0000	0000		1101	1001	
180-209	0100	0000		0110	0000		0000	0000		0100	0000	
210-239	0110	0001		0110	0110	Chinche tintórea	0000	0000		0100	0000	
240-269	0210	0002	Mancha foliar	0110	0111	Gusano de la cápsula	0010	0000		0100	0000	
270-299	0211	0102	Moscas blancas	0121	0121	Hojas rizadas Chinches chupadoras	0010	0001		0100	0000	
300-330	0211	0112	Virosis	0221	0122	Marchitez	0020	0012	Podredum. blanda Podredum seca	0100	0000	Tizón
330-364	0222	0122	Cicadelas	0222	0222	Altas tempera nocturnas	0020	0012	Gorgojo de la raíz	0110	0011	Moscas blancas Nematodes
365	0222	0222	Dif. Iaboreo	0222	0222	Dif. Iaboreo	0021	0022	Dif. Iaboreo	0111	0012	Dif. Iaboreo

Notas:

0. Sino con ligeras limitaciones.
1. Limitaciones moderadas.
2. Limitaciones graves.

Columna a - Pérdidas de rendimiento debidas al efecto de la carencia de agua en el crecimiento de los cultivos.

Columna b - Pérdidas de rendimiento debidas al efecto de plagas, enfermedades y malas hierbas en el crecimiento de los cultivos.

Columna c - Pérdidas de rendimiento debidas a los efectos de la carencia de agua, las plagas y enfermedades y los impedimentos climáticos, era los componentes del rendimiento, la formación de materia económicamente aprovechable y la cualidad del producto.

Columna d - Pérdidas de rendimiento debidas a impedimentos que dificultan el laboreo (todas las operaciones de cultivo, incluida la manipulación del producto).

Fuente: FAO (1978).

Tipos de limitaciones

Todas estas limitaciones agro-climáticas se reflejan de la siguiente forma:

- Limitaciones que resultan del déficit por humedad durante el periodo de crecimiento (ej. variabilidad de la lluvia).

- Limitaciones debidas a plagas, enfermedades y malas hierbas que afectan directamente el crecimiento del cultivo (ej. barrenillo de tallo, roya de la hoja y enfermedades de virus).
- Limitaciones debidas a varios factores que afectan la calidad y consistencia del producto (ej. chinche manchador y barrenillo de la vaina).
- Limitaciones surgidas de las dificultades y manejo del producto (ej. excesiva humedad de la tierra o el producto).

La severidad de estos cuatro grupos de limitaciones, por cultivo, zona de duración del periodo de crecimiento y nivel de insumos se pueden presentar de la forma que se muestra en la Tabla 15.

Los valores de 0, 1 y 2 corresponden a ninguna, moderada y severas limitaciones respectivamente. Los rendimientos libres de limitaciones agro-climáticas se reducen a medida que las limitaciones se acercan a las presentadas en el Cuadro 6.

[Continuación](#)

[Indice](#) - [◀ Precedente](#) - [Siguiete ▶](#)

3.2.4 Informe sobre la variabilidad anual de la DPC

Este paso solo se lleva a cabo si la DPC se ha calculado por años individuales. Los rendimientos previstos para cultivos anuales se calculan para cada cultivo por cada componente individual de la DPC, en cada zona térmica y para cada nivel de insumos.

TABLA 16. Clasificación de la aptitud agro-climática

Cultivos	Nivel de insumos	Período de crecimiento (días)	75-89	90-119	120-149	150-179	180-209	210-239	240-269	270-299	300-329	330-364	365
Mijo perla	Alto	Rendimiento	1.1-1.6	2.2-3.1	2.2-3.0	2.8-3.9	2.0-2.8	1.1-1.6	0.3-0.5	0.3-0.5	0.3-0.4	0.3-0.4	0.3-0.4
		% de sostenibilidad	28 41	57 79	79	100	73	41	12	12	10	10	10
		máxima	MS	S	VS	S	MS	NS					
	Bajo	Rendimiento	0.3-0.4	0.5-0.8	0.5-0.8	0.7-1.0	0.5-0.7	0.4-0.5	0.2-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2
		% de sostenibilidad	29 40	56 78	79	100	73	55	19	17	17	17	
		máxima	MS	S	VS		S	MS	NS				
Sorgo	Alto	Rendimiento	0.5-1.3	1.8-2.6	2.7-3.8	3.5-5.1	3.4-5.0	1.8-2.7	0.8-1.2	0.6-0.9	0.4-0.6	0.4-0.6	0.4-0.6
		% de sostenibilidad	10 25	35 51	53 74	100	98	53	23	18	12	12	12
		máxima	NS	MS		VS		S	MS	NS			
	Bajo	Rendimiento	0.1-0.2	0.3-0.5	0.5-0.7	0.9-1.3	0.9-1.3	0.5-0.7	0.2-0.3	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2
		% de sostenibilidad	7 19	27 39	40 56	100	98	54	27	17	17	17	16
		máxima	NS	MS		VS		S	MS	NS			
Maíz	Alto	Rendimiento	0.5-1.2	1.9-2.7	3.7-5.4	4.6-7.1	4.8-7.0	3.4-5.1	2.3-3.4	1.7-2.5	1.6-2.4	1.2-2.4	0.5-0.8
		% de sostenibilidad	7 17	27 38	52 76	100	98	72	48	35	34	25	11
		máxima	NS	MS	S	VS			S	MS			NS
	Bajo	Rendimiento	0.1-0.2	0.4-0.5	0.7-1.0	1.2-1.8	1.2-1.7	0.9-1.3	0.7-0.9	0.7-0.9	0.6-0.9	0.5-0.7	0.2-0.3
		% de sostenibilidad	5 13	20 29	39 57	100	99	72	54	52	51	38	17
		máxima	NS	MS	S	VS			S			MS	NS

Fuente: FAO (1978).

Cada AEC se clasifica con respecto al modelo DPC, especificando en el informe todos los componentes de la DPC en cada modelo. Cuando se conoce la frecuencia del número de componentes de la DPC dentro de los modelos DPC (Tabla 2, p.12), se construye en perfil con la variabilidad en rendimientos potenciales. Estos rendimientos pueden ser expresados como excedentes, máximos y mínimos.

Para los cultivos perennes se utiliza el total de la DPC, estableciéndose rendimientos potenciales reducidos para DPCs por déficit de humedad. Por ejemplo, los DPCs que cuentan con varios componentes intermedios de período de crecimiento en su estructura, la pérdida de rendimiento debida a tales oscilaciones puede ser cuantificada de acuerdo con las normas de reducción de producción (Cuadro 7).

Resultados

Los resultados calculados por los procedimientos anteriormente descritos corresponden a los rendimientos potenciales para cada cultivo, por cada zona de duración media del período de crecimiento, por cada zona modelo del período de crecimiento y por cada zona térmica. Estos rendimientos potenciales constituyen la base de la clasificación de aptitud agro-climática que se presenta a

continuación.

Paso 3.3. Clasificación de aptitud agro-climática

Las clases de aptitud agro-climática se derivan de la relación de los rendimientos agro-climáticos (reducidos de acuerdo a las limitaciones en la Tabla 15) al rendimiento potencial máximo determinado por la disponibilidad de radiación y temperatura. Se definen, generalmente, entre cuatro y seis clases de aptitud basadas en diferentes rangos de rendimiento potencial con relación al máximo potencial. Ciertas normas, tal como se muestran en el Cuadro 7, se utilizan para establecer los límites entre las clases de aptitud. La Tabla 16 muestra un diagrama de presentación de rendimientos potenciales asociados a diferentes zonas DPC.

[Indice](#) - [◀ Precedente](#) - [Siguiendo ▶](#)

Je	Eutric Fluvisols	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Jt	Thionic Fluvisols	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Lo	Orthic Luvisols	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Lc	Chromic Luvisols	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Lf	Ferric Luvisols	53	52	53	52	53	51	53	52	53	52	53	51	53	53	53	52
Lg	Gleyic Luvisols	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	N	N	N	N	N	N
Ne	Eutric Nitisols	51	51	51	51	51	51	51	S1	S1	S1	S1	51	51	51	51	51
Nd	Distric Nitisols	53	51	53	S1	S3	S1	S3	S1	S3	S1	S3	S1	53	51	53	51
Nh	Humic Nitisols	53	51	53	51	53	51	53	51	53	51	53	51	53	51	53	51
Oe	Eutric Histosols	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Qc	Cambic Arenosols	N	53	53	52	53	51	N	S4	S3	S3	S3	S1	53	53	54	54
Ql	Luvic Arenosols	N	53	53	52	53	51	N	54	53	53	53	51	53	53	54	54
Qf	Ferralic Arenosols	N	S4	S4	S4	S3	S4	N	N	S4	S4	53	54	53	54	N	N
Qa	Albic Arenosols	N	N	N	N	54	54	N	N	N	N	54	54	54	54	N	N
Re	Eutric Regosols	51	51	51	51	51	51	51	51	S1	S1	S1	51	51	51	51	51
So	Orthic Solonetz	N	S1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
V	Vertisols	S4	N	S4	S1	S4	S3	S4	S1	S4	S2	N	S3	N	S3	S3	51
Vp	Pellic Vertisols	54	51	54	51	54	53	54	51	S4	S2	N	53	N	53	53	51
We	Humic Planosols	53	53	53	53	51	53	53	53	53	53	53	53	54	54	53	53
Ws	Solodic Planosols	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	54	54
X	Xerosols	51	51	51	51	51	51	51	51	53	53	51	51	NA		NA	

Zo	Orthic Solonchaks	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Zg	Gleyic Solonchaks	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

[Indice](#) - [◀ Precedente](#) - [Siguiente ▶](#)

Paso 3.5 Modificación de las clases de aptitud en base a la textura, limitaciones de fase y pendiente

Las limitaciones impuestas por la textura y la fase de un suelo deben ser evaluadas apoyándose en la experiencia local o el conocimiento experto. Las normas adecuadas se redactan en un informe para limitaciones adicionales de texturas y fases particulares. Un ejemplo se muestra en el Cuadro 6.

Las limitaciones por pendiente afectan tanto a la facilidad de cultivo como a la susceptibilidad de erosión. La Tabla 18 muestra un ejemplo de los límites de pendiente para varios cultivos y niveles específicos de insumos.

TABLA 18. Límites de pendiente (%) según tipo de uso de tierras

Tipos de utilización de tierras	Nivel de insumos		
	Bajo	Intermedio	Alto
Cultivos de zonas secas sin medidas de conservación de suelos	< 30	< 30	< 16
Cultivos de zonas secas con medidas de conservación de suelos	< 30	< 30	< 30
Cultivos de zonas húmedas sin medidas de conservación de suelos	< 5	< 5	< 2
Cultivos de zonas húmedas con medidas de conservación de suelos (aterrazamiento)	< 30	< 30	< 30
Café, té, leña y pasto, con y sin medidas de conservación de suelo	<45	< 30	<45

Fuente: FAO (1993a).

Para una unidad tierra con una pendiente mayor que los límites antes marcados, la aptitud de la tierra es evaluado como N, no apta.

Si existe suficiente información, se puede calcular también la pérdida de suelo y la disminución de productividad. Esto es un avance importante en cuanto a la aplicación inicial ZAE, desarrollado durante el estudio de Kenia. El modelo se describe en el resumen de la sesión de productividad de tierras (p. 54). Información más detallada sobre tal aproximación y metodología se encuentra en trabajos de Mitchell (1984), Stocking (1984) y FAO (1993a).

La base de estas aplicaciones ZAE fue el desarrollo de un ZAE/SIG en Kenia. Los inventarios ZAE de recursos de tierras combinan mapas digitalizados superpuestos con condiciones climáticas, inventario de suelos, unidades administrativas y uso de la tierra de propiedades seleccionadas, por ejemplo, zonas de cultivos comerciales, áreas forestales, proyectos de riego, áreas de plaga de Tse-tse y parques recreativos. Los datos digitalizados se convierten en una base de datos de celdas. Cada pixel o celda representa un kilómetro cuadrado (100 Ha). Los programas de computadora ZAE se aplican al inventario de tierras de comarcas para analizar la aptitud de las mismas. Estos tipos de aplicación en la evaluación de productividad de tierras en Kenia dieron lugar a modelos de cultivos, sistemas de producción silvo-pastorales y consideraciones sobre erosión de suelos. Se ha generado una base de datos de productividad de tierras que contiene información cuantificada sobre la productividad de todas las posibles formas de utilización de la misma para cada celda agro-ecológica en los diferentes distritos. La evaluación de productividad de tierras considera 64 tipos de cultivos para alimentos y pastos, 31 especies de bosques y nueve sistemas agropecuarios agrupados en 26 sistemas de producción y 10 tipos de ganadería. Esta base de datos proporciona la información necesaria al 'Modelo Espacial de Asignación Óptimo de Recursos'. Este modelo fue desarrollado para la integración de la producción de cultivos, ganadería y maderas dentro del marco ZAE 'Evaluación de la Productividad de la Tierra', y la posterior planificación del uso de tierras, en varios escenarios a nivel nacional y comercial. El modelo recoge los parámetros de un escenario específico desde un fichero de control, utiliza datos de producciones potenciales por celda agro-ecológica, a partir de una base de datos de productividad de tierras, cultivos, pastos y bosques madereros, sistemas ganaderos sobre estructura de rebaños; y determina, simultáneamente, el uso de tierras por eldas agro-ecológicas, tantas como niveles diferentes de sistemas ganaderos, suministro de comida y utilización por zona ganadera y temporada. De esta forma, el modelo proporciona un marco referencial para especificar diferentes tipos de objetivos y de restricciones.

TABLA 19. Ejemplo de los resultados tabulados de la aptitud ZAE (área)

País:	Tailandia
Provincia:	Chanthaburi
Áreas de tierras variablemente idóneas para la producción (km²)	

Longitud del período de crecimiento	Maíz						Yuca						Arroz						
	VS	S	MS	mS	NS	Total	VS	S	MS	mS	NS	Total	VS	S	MS	mS	NS	Total	
Insum. altos:																			
120-134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135-149	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150-164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165-179	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180-194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
195-209	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210-224	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
225-239	0	13	12	0	575	600	0	25	0	0	575	600	0	0	0	25	575	600	
240-254	0	888	12475	0	4774	18137	888	12475	0	0	4774	18137	0	875	0	7884	9378	18137	
255-269	0	90	12627	12520	19793	45030	717	24518	0	0	19795	45030	372	2480	2108	7599	32471	45030	
270-284	0	0	0	270	1162	1432	0	136	134	0	1162	1432	0	0	25	0	1407	1432	
285-299	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
300-360	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Totales	0	991	25114	12790	26304	65199	1605	37154	134	0	26306	65199	372	3355	2133	15508	43831	65199	
Insum.bajos:																			
120-134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
135-149	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
150-164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
165-179	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
180-194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
195-209	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
210-224	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
225-239	0	0	0	25	575	600	0	0	25	0	575	600	0	0	0	0	600	600	
240-254	0	438	455	3961	13283	18137	0	899	7896	4591	4751	18137	0	0	438	437	17262	18137	
255-269	0	0	0	230	44800	45030	0	230	19442	4941	20417	45030	0	741	0	4219	40070	45030	
270-284	0	0	0	0	1432	1432	0	0	136	134	1162	1432	0	0	0	13	1419	1432	
285-299	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
300-360	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Totales	0	438	455	4216	60090	65199	0	1129	27499	9666	26905	65199	0	741	438	4669	59351	65199	

Note: VS-Muy idóneo (80-100% rendimiento); S-idóneo (60-80%); MS-Moderadamente idóneo (40-60%); mS-Marginalmente idóneo (20-40%); NS-No idóneo (<20%).

Fuente: FAO (1994a).

La planificación de los escenarios se establece por selección y cuantificación de objetivos y limitaciones relacionadas a aspectos tales como preferencias exigidas, objetivos de producción, requerimientos nutricionales, limitaciones de insumos, limitaciones comerciales, balances alimenticios, limitaciones de cultivos mezclados e impactos medioambientales tolerables. Dado el número potencialmente elevado en celdas agro-ecológicas y el número de actividades a ser tenidas en consideración, técnicas de programación lineal se utilizaron para analizar la multitud de posibles soluciones y seleccionar las más adecuadas. Por ejemplo las técnicas de programación lineal se utilizaron con objeto de examinar sistemas de usos de tierras alternativos, a nivel de distrito y regional. Tales sistemas sugieren usos apropiados del territorio que mejor satisfacen los objetivos de desarrollo especificados, tales como modelos de consumo de alimentos, capacidades para soportar población o niveles de empleo rural. Una aplicación

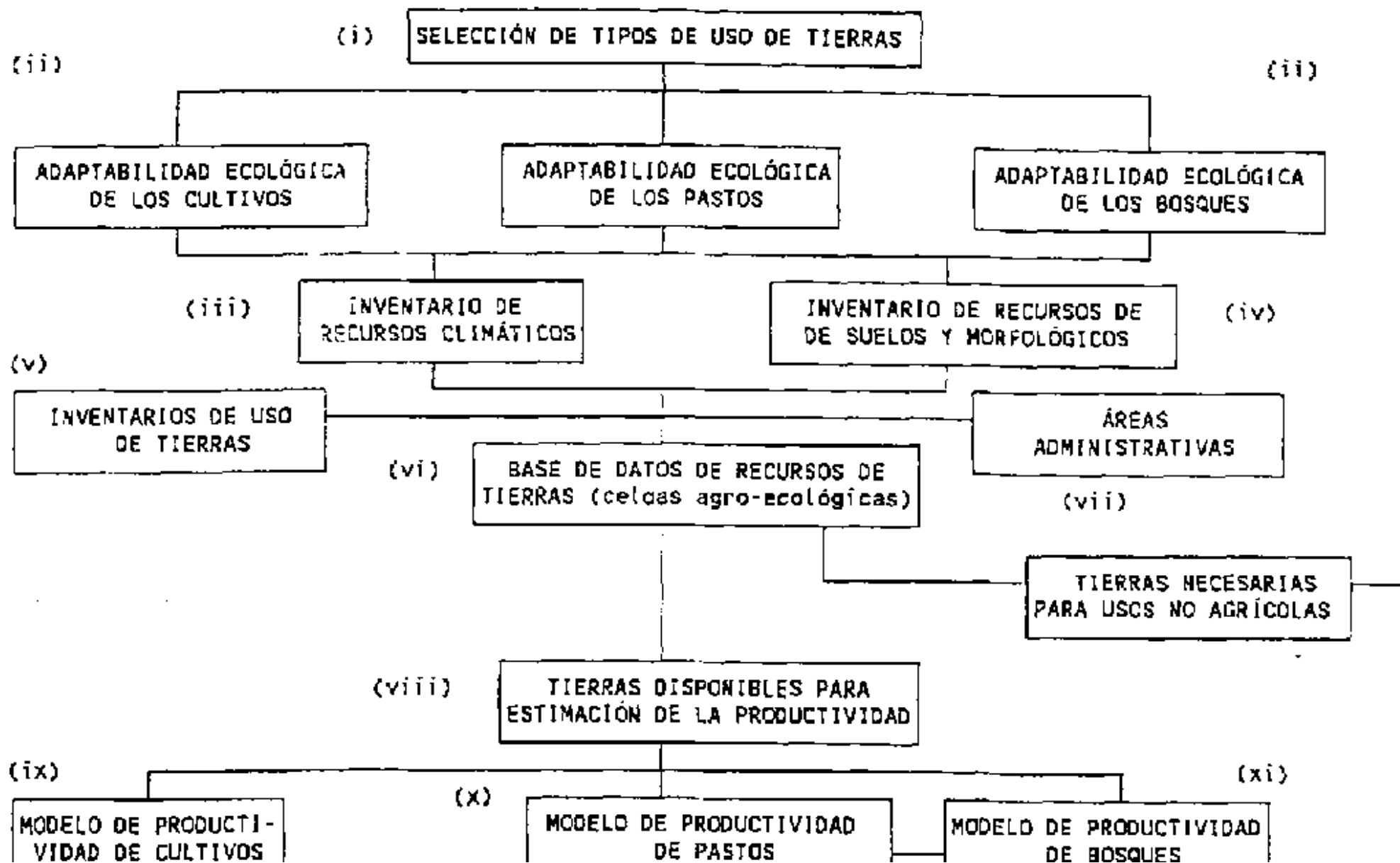
típica consistió en la determinación de capacidades potenciales de soporte de población, utilizando varios escenarios con objetivos simples o múltiples.

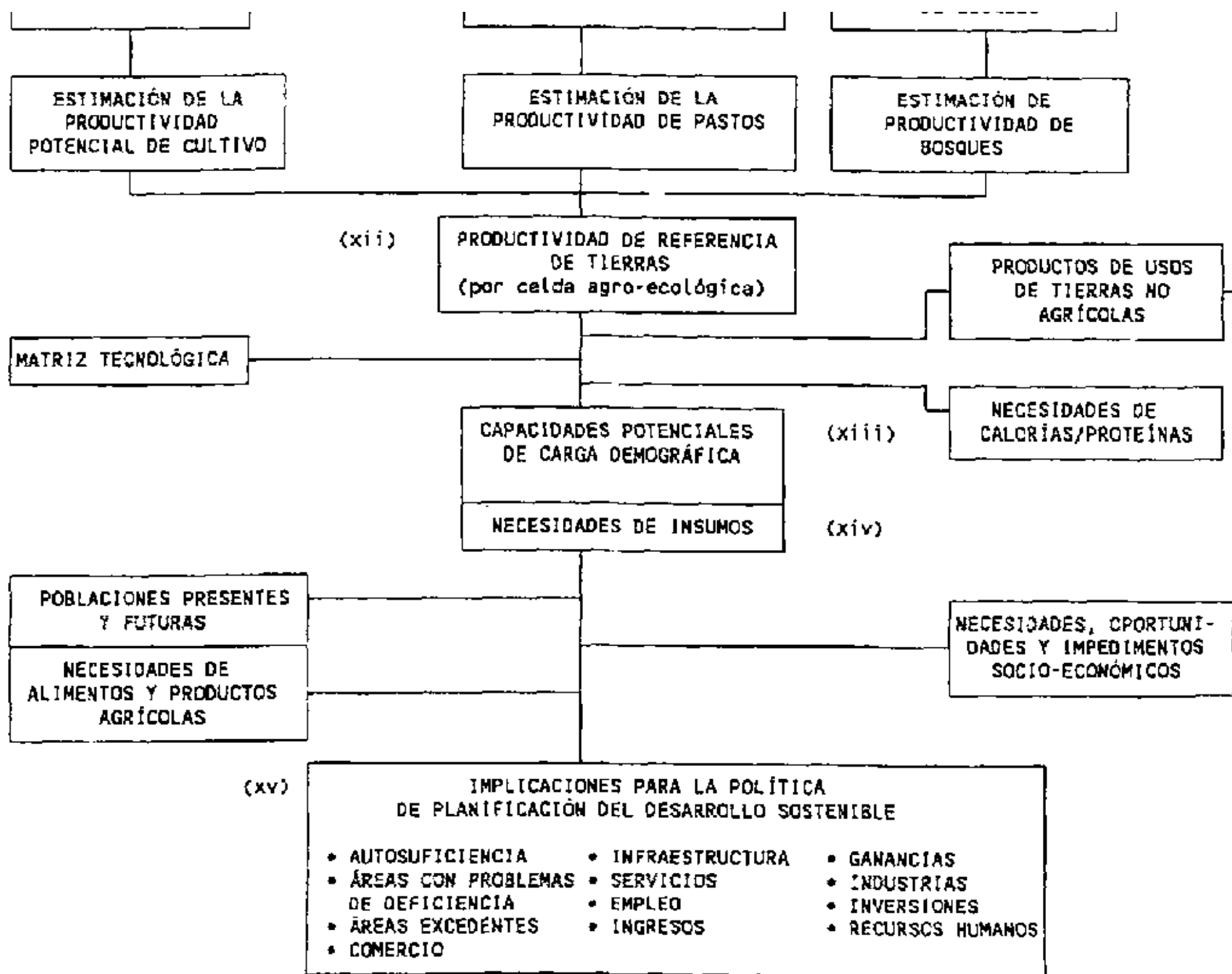
[Indice](#) - [◀ Precedente](#) - [Siguiete ▶](#)

Resultados

Los resultados de la evaluación de aptitud de tierras representan un conjunto de clases de aptitud para el desarrollo de cultivos sobre diferentes unidades tierras, AECs, con un determinado nivel de insumos. Cada clase de aptitud de tierras para cada cultivo y nivel de insumo se corresponde con un rango de rendimientos esperados. Conocida la extensión de cada AEC o unidad de tierra, se pueden desarrollar estimaciones de producción para una mejor definición de zonas agro-ecológicas, o límites administrativos pueden ser añadidos para relacionar las AEC a unidades de tierra delimitadas por provincias o distritos. La Tabla 19 ofrece un ejemplo para cultivos específicos en la provincia de Chanthaburi, Thailandia.

FIGURA 9. Representación esquemática del modelo global seguido en el estudio de Kenia





Aplicaciones avanzadas

[Aplicación avanzada 1: Productividad potencial de tierras](#)

[Paso 4.1. Formulación de opciones del patrón de cultivos](#)

[Paso 4.2. Formulación de rotaciones de cultivos](#)

[Paso 4.3. Impacto de la erosión de suelos sobre la productividad](#)

[Aplicación avanzada 2. Estimación del potencial de tierras cultivables de secano](#)

[Aplicación avanzada 3. Distribución espacial de los recursos. Optimización de los usos de tierras](#)

Un número determinado de aplicaciones avanzadas ZAE se pueden desarrollar a partir de los resultados conseguidos de las aplicaciones básicas o de evaluación básicas o de evaluación de aptitud de tierras. Estas aplicaciones avanzadas se basan en un conjunto de normas derivadas de supuestos básicos sobre las interacciones entre rendimiento y aspectos agro-ambientales, así como sobre las necesidades de manejo y conservación de los sistemas de producción. Un conjunto de normas conceptuales, similares a las utilizadas en las aplicaciones básicas ZAE, se presentan en el Cuadro 7 (p. 38). Hay que tener en cuenta que estas normas basadas en el conocimiento actual de expertos tienen que ser periódicamente revisadas y actualizadas conforme se va consiguiendo mayor información.

La necesidad o interés de estos análisis adicionales sobre los resultados de evaluación de aptitud de tierras viene determinado por los propios objetivos de los estudios de ZAE. La disponibilidad de conocimiento experto y la precisión de los supuestos básicos sobre los que se basan dichos análisis tienen que ser tenidas en consideración a la hora de aplicar los resultados en planificación y formulación de políticas.

El más extenso conjunto de aplicaciones avanzadas ZAE desarrolladas hasta la fecha tuvieron lugar en el estudio de FAO en Kenia (FAO, 1993), cuyo primer objetivo fue soportar decisiones sobre planificación de usos de tierras a nivel de distrito. Para conseguir tales objetivos fue necesario estimar los rendimientos y la productividad potencial de diversos sistemas de producción (incluyendo cultivos, pastos y bosques) y la construcción de modelos para optimizar el uso de la tierra, permitiendo comparar los beneficios entre diferentes sistemas de producción.

Aplicación avanzada 1: Productividad potencial de tierras

La evaluación de la aptitud de las tierras permite la selección de cultivos individuales para cada ZAE o unidad de tierra, de acuerdo con su potencial de rendimiento. La productividad de tierras es una estimación de la productividad potencial anual calculada para los cultivos más apropiados de acuerdo con la longitud del periodo de crecimiento disponible en esa zona. Para ese cálculo se requiere cubrir los siguientes pasos:

- 4.1 formulación y cuantificación de las opciones del patrón de cultivos;
- 4.2 formulación y cuantificación de las rotaciones de cultivos;
- 4.3 estimación del impacto de la erosión de suelos sobre la productividad.

Paso 4.1. Formulación de opciones del patrón de cultivos

Para unas condiciones climáticas favorables, la mayor productividad de tierras se debe conseguir mediante cultivos múltiples. Los cultivos pueden ser desarrollados bien secuencialmente o mezclados, tal y como se recoge en el Cuadro 8. Los cultivos secuenciales son posibles solamente cuando el período de crecimiento disponible (bien continuado o múltiple) se extiende más allá de la duración del ciclo de crecimiento de un cultivo concreto.

En las zonas libres de heladas de Kenia, la limitación para los cultivos secuenciales proviene de la disponibilidad de humedad en el suelo. En las zonas con un período de crecimiento largo, como ocurre en las partes sub-húmedas (DPC de 210 a 270 días) y húmedas (DPC >270 días), los cultivos se pueden desarrollar a través de la mayor parte del año. En tales zonas se da una fuerte asociación entre cultivos, siendo posible los cultivos secuenciales tanto en forma de monocultivos como de cultivos asociados (Tabla 20). Sin embargo, y como consecuencia de las temperaturas frías en las zonas térmicas T6 y T7 (Tabla 9), los cultivos secuenciales adquieren menor importancia ya que los cultivos anuales adaptados a esas zonas son generalmente tardíos para alcanzar la madurez.

En áreas con DPC < 120 días, únicamente son posibles los cultivos individuales de corta duración en todas las zonas térmicas. Algunos cultivos simultáneos se practican entre cultivos con períodos de maduración similares, pero con menor presencia en las zonas térmicas T1, T2, T3, T4 y T5. En las zonas T6 y T7, son frecuentes los cultivos mixtos con períodos de maduración similares.

CUADRO 8: DEFINICIONES DE TIPOS DE PATRONES DE CULTIVOS (FAO, 1993)**Patrón múltiple**

Intensificación del sistema de cultivo en el espacio y el tiempo. Desarrollo de dos o más cultivos sobre el mismo campo en un año.

Patrón secuencial

Desarrollo de dos o más cultivos seguidos sobre el mismo campo y por año. El subsiguiente cultivo se planta una vez que el anterior se ha cosechado. La intensificación de cultivo es solamente en el tiempo y no hay por tanto competencia entre cultivos. Se maneja solamente un cultivo sobre el mismo campo.

Patrón entre-cultivos

Desarrollo de dos a más cultivos simultáneamente sobre el mismo campo. La intensificación de cultivo ocurre tanto en el espacio como en el tiempo. Existe competencia entre cultivos durante todo o parte del ciclo de desarrollo. Se maneja más de un cultivo a la vez sobre el mismo campo.

TABLA 20. Principales patrones de cultivos de secano definidos por zonas térmicas y zonas DPC

DPC	Zonas térmicas		
	T1, T2, T3	T4, T5	T6, T7
< 120	SCas	SCas	SCas
	(Ia)	(Ia)	
120-210	SCas	SCas	SCas
	Ia + Id	Ia + Id	Ia
	(Smo + Smu)		
210-270	SCa1	SCa1	SCa1
	Ia + Id	Ia + Id	Ia + (Id)
	Smo + Smu	(Smo + Smu)	
270-365	SCa1 + SCp	Sca1 + SCp	SCa1 + SCp
	Id + Ia	Id + Ia	Ia + Id
	Smo + Smu	(Smo + Smu)	(Smo + Smu)

Nota: Entre paréntesis figura el status menor.

Explicación:

- SCas - Patrón simple de cultivos anuales de ciclo corto;
- SCa1 - Patrón simple de cultivos anuales de ciclo largo;
- SCp - Patrón simple de cultivos perennes;
- Ia - Patrón entre-cultivos de similares perlados de maduración
- Id - Patrón entre-cultivos de diferentes períodos de maduración;
- Smo - Patrón secuencial mono-cultivo;
- Smu - Patrón secuencial multi-cultivo.

En áreas con DPC entre 120 y 210 días, son comunes los cultivos mixtos, incluyendo aquellos que presentan diferentes períodos de maduración, para las zonas térmicas T1, T2, T3, T4 y T5. A pesar de las bajas temperaturas T6 y T7, son frecuentes los cultivos mixtos con períodos de maduración similares.

En áreas con DPC < 270 días, son frecuentes los cultivos mixtos, especialmente aquellos de diferentes períodos de maduración. En tales áreas, el lento desarrollo de los cultivos hace que la madurez sea tardía y coincida con las mejores condiciones del final de la estación húmeda; practicándose los cultivos múltiples, tanto en forma simultánea como secuencial.

Las opciones del patrón de cultivos se formulan siguiendo tres pasos diferentes:

- i. ajustar los ciclos de desarrollo de los cultivos con los componentes de las DPCs para cada AEC;

ii. incorporar los *tiempos muertos* entre cultivos, dentro de los patrones de cultivos secuenciales, necesarios para cosechar el primer cultivo, preparar la tierra y sembrar el siguiente cultivo;

iii. decidir para que cultivos y niveles de insumos el modelo entre-cultivos es aconsejable.

En el modelo desarrollado en Kenia, el sistema entre-cultivos se consideró exclusivamente para los niveles de insumos bajo e intermedio, para todos los cultivos excepto arroz, caña de azúcar, banana y palma de aceite.

Paso 4.2. Formulación de rotaciones de cultivos

Ello se realiza teniendo en consideración las limitaciones de espacio y tiempo, así como las necesidades de tierras en barbecho, a partir de los patrones de cultivos anuales seleccionados. Dichas limitaciones se refieren a condiciones agro-ecológicas; así, por ejemplo, solo se consideran monocultivos en zonas semiáridas.

Las necesidades de barbecho se establecen con objeto de mantener los niveles de *humus* (ver detalles en FAO, 1993a; Anexo 4, p. 28), expresadas en porcentaje de tiempo que la tierra ha de estar sin cultivar tal y como se expresa en el patrón de cultivos. Para un nivel intermedio de insumos, suponiendo el uso de algún tipo de fertilizante, las necesidades de barbecho son equivalentes al 33 % de las correspondientes para un nivel de insumos bajo (normas específicas se aplican para suelos Fluvisols y Gleysols).

En el estudio de Kenia, el período básico del tiempo de barbecho se estableció como el necesario para DPCs de entre 120 y 269 días. Para DPCs superiores a 270 días, el tiempo de barbecho fue el 50% mayor que el básico como consecuencia de problemas adicionales de malas hierbas, plagas, enfermedades, lavado y erosión de suelos. A su vez, para DPCs de 90 a 119 días, las necesidades de barbecho se establecieron en el 25 % mayor que el básico debido a problemas derivados de las condiciones de aridez y riesgos de degradación; y para DPCs entre 60 y 89 días esas necesidades se fijaron en el 50% mayor como consecuencia de problemas de degradación y necesidades de conservación de la humedad del suelo.

Las opciones de rotación de cultivos se formulan para cada celda agro-ecológica y para cada patrón de cultivos generado. Ello se establece en dos fases. Las limitaciones de la combinación de cultivos apropiados se utilizan, en primer lugar, para establecer combinaciones de cultivos no apropiados en cuanto a espacio y tiempo; y, en segundo lugar, para incorporar las necesidades de barbecho adecuadas para cada patrón de cultivos aptos.

Para los patrones de cultivos que comprenden más de un cultivo, las necesidades medias de barbecho para cada cultivo se tienen en cuenta para definir las rotaciones.

Paso 4.3. Impacto de la erosión de suelos sobre la productividad

El impacto de la erosión de suelos sobre la productividad se estima en tres fases. En primer lugar el riesgo de erosión se calcula mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), que tiene en cuenta la erosividad de la lluvia, erodibilidad del suelo, longitud y pendiente, cubierta vegetal del cultivo y prácticas de conservación. La pérdida neta de suelo es luego calculada mediante comparación de la erosión calculada con una estimación del índice de formación de suelo que se determina por zona térmica y de DPC. En tercer lugar, la disminución de la profundidad de suelo es relacionada a la pérdida de productividad ajustando las clases de aptitud a unos rangos críticos de profundidad del suelo. Tales cálculos pueden ser utilizados para estimar los límites de tolerancia de pérdida de suelo bajo determinadas opciones de prácticas de manejo, derivando especificaciones sobre medidas necesarias de conservación de suelo.

TABLA 21. Resultados de la evaluación de producción de cultivos (conjunto de suposiciones B)

TOTAL NACIONAL: KENIA (Conjunto de suposiciones B)

Tierras cultivables por clase de productividad (100 ha):

No.	Zona	C1	C2	C3	C4	Total	C5	Total	Total	C1-C4
		> 80	60-80	40-60	20-40	C1-C4	5-20	C1-C5	extent	% de la zona
1	Árida	0	287	2204	3108	5598	19084	24682	423321	1.3
2	Semi-árida	993	2327	6988	8010	18318	14146	32464	67536	27.1
3	Sub-húmedo	3434	4660	5658	5319	19072	4767	23839	37538	50.8
4	Húmedo	3532	7756	6606	7550	25444	4736	30180	46427	54.8
	Total	7959	15030	21456	23988	68433	42733	111165	574823	11.9

Producción potencial de cultivos:

No	Cultivo	Tierras por clase de productividad (100 ha)						Clase C1-C4			Clase C1-C4			
		C1	C2	C3	C4	Total	C5	Producción (1000 mt)			Rendimientos (kg/ha)			
		> 80	60-80	40-60	20-40	C1-C4	5-20	Mín	Avg	Máx	Mín	Avg	Máx	MCI
1	Cebada	3902	5984	6009	14348	30243	16004	2390	5239	7675	790	1732	2538	1.53
2	Maíz	3755	5213	10076	20603	39648	39540	5431	10247	1461	1370	2584	3686	1.69
3	Avenas	1109	3475	8568	10364	23517	19351	1381	3248	483 1	587	1381	2054	1.38
4	Mijo	1528	4010	9776	20603	35916	31275	2160	3703	453 1	602	1031	1261	1.53
5	Arroz	95	740	1554	8574	10964	18741	1130	1899	2602	1031	1732	2373	1.94
6	Sorgo	3339	6133	8615	20665	38752	45419	3035	6312	9111	783	1629	2351	1.69
7	Trigo	2266	5175	4699	12620	24759	17359	1713	4277	6786	692	1727	2741	1.41
8	Caupí	674	647	2931	8527	12779	13277	599	1084	1527	469	849	1195	1.77
9	Garbanzo	173	3659	1609	6781	12222	35156	501	954	1341	410	781	1097	1.80

10	Cacahuete	672	2937	696	8777	13081	12800	957	1727	2441	732	1320	1870	1.68
11	Phaseolus	4262	7000	5819	12193	29274	16711	1699	3149	4501	580	1076	1539	1.72
12	Guis. de Ang.	2048	3781	1168	9159	16155	8790	927	1847	2521	574	1143	1561	1.49
13	Soya	732	906	2569	8657	12864	13621	564	1103	1593	439	857	1238	1.66
14	Yuca	884	3087	2285	7385	13641	17312	12780	14270	14862	9369	10461	10895	1.00
15	Batata	896	2253	1280	6365	10795	13670	5213	9154	12245	4829	8508	11344	1.59
16	Papa	1832	7115	4202	9917	23066	18096	10976	23949	36506	4758	10383	15827	1.81
17	Banana	0	149	635	5109	5892	5003	3957	4263	5047	6715	7234	8565	1.00
18	Palma oleag.	0	24	71	419	514	609	31	59	67	601	1143	1311	1.00
19	Caña azúcar	75	593	2024	6471	9163	11867	21470	23973	24991	23430	26162	27273	1.00
20	Café	1903	3571	3094	7217	15784	11290							
21	Algodón	53	1102	185	3911	5251	4828							
22	Piña	117	463	2069	2066	4716	144							
23	Piretro	1689	5958	7719	9186	24552	3337							
24	Sisal	535	5010	2051	9363	16958	19501							
25	Te	1646	6279	7376	8571	23871	7161							
26	Leña 1	3974	26315	22786	37923	90997	50669	36283	40185	4205	3987	4416	4621	1.00
27	Leña 2	8040	21608	19881	24639	74167	61648	69480	74856	77619	9368	10093	10465	1.00
28	Graminéal	12138	18715	13178	34039	78070	164781	38113	42737	4442	4882	5474	5690	1.00

Fuente: FAO (1993b).

El modelo global de productividad de suelos, tal y como fue aplicado en Kenia, cuantifica los potenciales de productividad de las tierras por AEC y para cada opción de la rotación de cultivos, de acuerdo con los criterios establecidos en los Pasos 4.1 y 4.2 de la siguiente forma:

- cuantificación de rendimientos secuenciales;
- incorporación de incrementos de rendimientos intercultivos;
- aplicación de limitaciones de la estabilidad de la producción y cualquier otra limitación como criterios para seleccionar las rotaciones de cultivos y producciones óptimas.

El modelo puede ser aplicado usando diferentes series de condicionantes que determinen la selección de la combinación de cultivos. La Tabla 21 sintetiza los resultados conseguidos en Kenia, para un sistema monocultivo, incluyendo secuencias de cultivos donde y cuando se presentan períodos de crecimiento adecuados. De esta forma los valores se refieren a la productividad total anual para cultivos individuales, calculados como la suma de los valores correspondientes a ZAE individuales.

Aplicación avanzada 2. Estimación del potencial de tierras cultivables de secano

La determinación de la extensión y calidad de las tierras cultivables es uno de los resultados finales en el cálculo de la productividad. La Tabla 21 relaciona la extensión de tierras cultivables con las clases de productividad, de acuerdo con el *conjunto de suposiciones B*.

Este conjunto de suposiciones se refiere al potencial de producción de cultivos en todas las tierras que no corresponden a bosques y zonas naturales, o no pertenecen a una zona regable. Ahora bien, siempre que ha sido posible o adecuado, combinaciones secuenciales de dos o tres cultivos consecutivos han sido considerados para asegurar las mejores estimaciones en zonas sub-húmedas y húmedas.

Seis clases de aptitud fueron definidas relacionando la aptitud para un cultivo determinado con el rendimiento potencial máximo. Las clases C1 a C5 se refieren a rendimientos potenciales medios de > 80%, 60-80%, 40-60%, 20-40% y 5-20% sobre el rendimiento agro-climático máximo. Es de resaltar que las zonas de clase C5 no son normalmente consideradas entre las opciones de cultivo viables, aunque se incluyen para indicar el nivel de producción de estas áreas marginales. Una sexta clase de aptitud se utiliza para clasificar las áreas que son completamente improductivas o que producen < 5 % del rendimiento máximo. Los datos correspondientes a esta sexta clase no se incluyen en la tabla de resultados.

El potencial de producción se calcula a partir de la extensión correspondiente a las clases de aptitud C1 a C4, exclusivamente. El potencial de producción medio, máximo y mínimo, así como los rendimientos se determinan de acuerdo con el modelo de DPC y sus probabilidades asociadas. Estas columnas se denominan como *AVG*, *MIN* y *MÁX* respectivamente. El uso múltiple de tierras con relación al tiempo, rotación de cultivos, se indica mediante el índice multi-cultivos (MCI).

La Tabla 21 muestra las estimaciones de tierra cultivable mediante la clase de productividad. El algoritmo utilizado para determinar las extensiones de área cultivable de secano, en un trabajo ZAE, funciona en dos fases. En primer lugar, se determina el cultivo (o combinación monocultivos) que es más apto bajo las peores condiciones climáticas, en función del modelo de DPC. A continuación, todas las combinaciones de cultivos que superan las limitaciones de estabilidad de producción (ej. los que quedan dentro de un rango tolerable de rendimiento con relación al mejor) se consideran en la selección final. Por último, entre todos los cultivos seleccionados, la combinación que maximiza la suma de extensiones de las clases C1 a C4 se considera definitiva del potencial de tierras cultivables en las diferentes celdas. Las extensiones de aptitud del primer tipo de cultivo en la combinación seleccionada (ej. el primer cultivo a desarrollar en el modelo secuencial de ellos) se consideran en los totales de tierras cultivables.

Aplicación avanzada 3. Distribución espacial de los recursos. Optimización de los usos de tierras

La optimización de los usos de tierras como único objetivo

La capacidad de soportar población, tal y como es considerada en esta publicación, se refiere al máximo potencial de los recursos edáficos y climáticos para producir alimentos energéticos y proteicas, a un determinado nivel tecnológico. Un nivel intermedio de insumos y tecnología es considerado en este caso (Fischer et al., 1996). La cuestión es simplemente cuanto alimento se puede producir en una tierra potencialmente apta bajo un tipo de uso óptimo.

Un ejemplo representativo puede ser el correspondiente al distrito Bungoma en Kenia, para el que se muestra en la Figura 10 la distribución del área cosechada tras la selección de una tierra óptima para conseguir producción máxima de alimentos. El escenario utilizado en este proceso de optimización incluía todas las tierras aptas para cultivo, además de los bosques y zonas naturales. Dado que se disponía del mapa de recursos tierra del distrito de Bungoma en forma digitalizada, fue fácil elaborar otro mapa mostrando el tipo de cereal que sería cultivado para conseguir dicho objetivo único de maximizar la producción de alimentos.

La optimización de los usos de tierras como objetivo múltiple

El ejemplo anterior mostró la aplicación de las técnicas de optimización lineal para el análisis de escenarios de uso de tierras con el único objetivo de maximizar la producción. Pero con frecuencia la especificación de un único objetivo no refleja adecuadamente las preferencias de los políticos o agricultores, que son de naturaleza diversa en muchos de los casos prácticos de optimización. La optimización multi-objetivos se ocupa del planeamiento de problemas y soluciones de una forma más real.

FIGURA 10. Área cosechada bajo máxima producción de alimentos en Bungoma

En el estudio de Kenia la principal preocupación fue el análisis de la capacidad de soportar una población potencial bajo varios escenarios de uso de tierras, considerando simultáneamente varios objetivos tales como maximizar la producción de pastos y cultivos, maximizar la autosuficiencia en producción agrícola, y minimizar los costos de producción y daños ambientales como consecuencia de la erosión de suelos. La optimización multi-objetivos se llevó a cabo a la vez que se hacía uso también de técnicas de apoyo a la decisión multi-criterios (MCDA) utilizando la metodología de decisión basada en la Aspiración/Reservación (ARDBS).

El programa de objetivos múltiples incluye los siguientes pasos:

1. maximizar la producción de alimentos (Food_val) (relación cosecha/ producción);
2. maximizar los ingresos netos (Net_rev);
3. minimizar los costos de producción;
4. maximizar el rendimiento bruto;
5. minimizar el uso cultivable (asignando el índice 1 para cultivos y 0 para pastos);
6. minimizar el área a cosechar;
7. maximizar la producción de alimentos (Food_min) (rendimiento mínimo de los peores años);
8. minimizar la erosión total (Eros_tot) (suma de todas las celdas con erosión);
9. maximizar el índice de auto-abastecimiento (SSR_v);
10. minimizar la erosión máxima (Eros_max) (mayor presencia de erosión por ha en una celda).

Los resultados del análisis realizado en el distrito de Bungoma se muestran en la Tabla 22. Las primeras 7 columnas de la tabla corresponden a los valores de los criterios obtenidos como soluciones cuando cada criterio es optimizado en sucesivas aproximaciones simples. Los elementos diagonales de la matriz representan los mejores valores para los siete criterios (ej. 1197.2, 1316.6, 96.2, 1010.5, 1164.9, 1337.8, 12.2). Por el contrario, los peores valores corresponden a los más bajos de los criterios a ser maximizados

(ej. Food_val = 742.6, Net_rev = 783.0, Food_min = 548.4, SSR_v= 1000.0) y a los más altos de los criterios a ser minimizados (ej. Arable = 165.4, Eros_tot = 3527.0, Eros_max = 227.8).

TABLA 22. Resultados de un análisis ALDS en el distrito de Bungoma

Bungoma	Food_val	Net_rev	Arable	Food_min	Eros_tot	SSR_v	Eros_max	SSR
Food_val	1197.2	1082.6	165.4	969.7	3206.9	1204.0	112.8	96
Net_rev	931.1	1316.6	126.4	717.9	2622.1	1000.0	85.4	80
Arable	742.6	789.2	96.2	548.4	1875.3	1000.0	85.4	80
Food_min	1139.3	1071.2	161.1	1010.5	3256.5	1066.7	148.4	85
Eros_tot	773.0	792.5	105.8	598.6	1164.9	1000.0	29.1	80
SSR_v	905.6	1044.5	157.3	654.3	3527.0	1337.8	227.8	107
Eros_max	746.8	783.0	121.0	574.9	1837.6	1000.0	12.2	80
MCD-A	1027.1	1075.5	127.5	913.6	2232.1	1184.7	73.8	95
MCD-B	1074.6	1007.7	150.9	857.3	2549.0	1234.5	32.5	99
MCD-C	98	1090.5	1054.7	161.4	875.7	2810.2	1229.9	30.0
MCD-D	1066.1	1038.9	161.9	846.8	3074.1	1250.8	33.9	100
MCD-E	1082.4	1041.8	163.1	865.5	2991.7	1239.9	31.3	99

Fuente: Fischer *et al.* (1996).

Las últimas cinco columnas de la Tabla 22 contienen los resultados correspondientes a un análisis interactivo multicriterio considerando cinco interacciones. Los resultados se obtienen con el programa informático a través de sucesivas pantallas que muestran gráficos de las variables de decisión pudiéndose hacer fácilmente (mediante el simple uso del "ratón" de la computadora) los cambios deseados en los valores de las variables.

Estos resultados muestran un modelo irregular de variación de las variables de decisión dentro de la secuencia MCD-B ... MCD-E. Generalmente el incremento en las tierras cultivables va acompañado de producciones más elevadas; y, a veces, el índice de auto-abastecimiento parece estar asociado a incrementos de erosión. La producción de alimentos, el retorno económico y la seguridad de alimentos en términos de garantía de la producción mínima en años malos y erosión máxima varían dentro de un margen pequeño y tiende a estabilizarse.

Dado que las soluciones contempladas producen unos índices de auto-abastecimiento por encima del 80% del límite mínimo que fue establecido para estos escenarios, la solución MCD-C aparece ser una buena opción al representar la mejor combinación relativa de valores de las variables de decisión.

Capítulo 4. Herramientas informáticas y sistemas de información geográfica

La ZAE se basa en una serie de procedimientos lógicos que permiten la estimación cuantitativa de rendimientos para cada zona o celda agro-ecológica. Esta metodología se adapta al uso de computadoras y en este sentido FAO utilizó grandes computadoras para manipular la gran cantidad de datos analizados en los estudios de escala continental (FAO, 1978). Esta metodología fue luego implementada en minicomputadoras y, más recientemente, en microcomputadoras. Las más avanzadas investigaciones ZAE incorporan un conjunto de bases de datos relacionadas con sistemas de información geográficas y con modelos computacionales, alcanzando múltiples aplicaciones para la gestión de los recursos naturales y la planificación de sus usos.

Las herramientas informáticas pueden ser agrupadas en: bases de datos, SIG, modelos y paquetes integrados.

Bases de datos

En la recopilación de inventarios de tierras y usos de tierras, los estudios de ZAE utilizan generalmente grandes cantidades de datos. Para una visualización directa de los datos y para transferirlos a modelos y sistemas de evaluación, las bases de datos resultan sumamente apropiadas. Estas bases de datos pueden ser construidas utilizando los programas informáticos comercialmente disponibles, o mediante programas específicos. Las más relevantes bases de datos desarrolladas en FAO son las siguientes:

- SDBm: base multilingüe de datos de suelos (FAO/ISRIC/CSIC, 1995)
- ECO-CROP: base de datos de requerimientos de cultivos (FAO, 1994b)
- Base de datos de usos de tierra (de Bie, van Leeuwen y Zuidema, 1995).

Ultimamente, los estudios de ZAE llevados a cabo por FAO han utilizado bases de datos incorporadas en ciertos entornos tales como el APT: *Agricultural Planning Toolkit*, que se consideran como *Paquetes Integrados* (p. 65).

Modelos

Una vez que los datos básicos han sido almacenados en la base de datos, la ZAE utiliza modelos para realizar estimaciones cuantitativas describiendo la productividad o aptitud de las tierras. Un modelo representa una simplificación de una realidad compleja, siendo su nivel de detalle consecuente con los objetivos y la precisión del estudio, la disponibilidad de datos básicos y el conocimiento disponible para establecer las reglas necesarias. Ciertos modelos mecanicistas basados en las relaciones entre variables externas y las respuestas intermedias o finales, resultan particularmente útiles en evaluación de tierras (Dumanski y Onofrei, 1989). Así como las plantas obedecen a normas fisiológicas similares, ciertos parámetros pueden explicar el desarrollo de cultivos considerados individualmente, al igual que otros procesos incluidos en el sistema de producción. Estos resultados pueden entonces ser utilizados para diferenciar sistemas de producción y unidades tierras o AECs.

Un conjunto importante de modelos son adecuados para su utilización en estudios de ZAE. Algunos de ellos, tales como CYPPAC (De Bavveye, 1988) y CYSLAMB (Tersteeg, 1994, modelo de simulación del desarrollo de cultivos utilizado en Botswana), han sido elaborados en el curso de ciertos proyectos FAO. Una actualización del modelo CYPPAC se incluye en el paquete APT. Otros muchos estudios de ZAE a nivel nacional utilizan modelos más simples, donde no se considera el balance de agua en cultivos específicos, para estimar la productividad de los suelos. A su vez, otros modelos son también utilizados para estimar las pérdidas de producción como consecuencia de la erosión, y para predecir la productividad de pastos y bosques.

SIG

Los sistemas de información geográfica (SIG) han surgido como poderosas herramientas para la manipulación y análisis de grandes volúmenes de datos, estadísticos, espaciales y temporales, que son necesarios para generar, de una forma flexible, versátil e integrada, productos de información, ya sean mapas o informes, para la toma de decisiones sobre el uso de tierras. En los últimos años, FAO ha desarrollado sistemas SIG relacionados con la metodología ZAE y otros modelos similares, a fin de acercarse a la problemática 'tierras-alimentos-personas' a nivel global, nacional y sub-nacional. Hasta ahora las aplicaciones se han dirigido fundamentalmente a relacionar productos del uso de tierras con otros objetivos de desarrollo tales como producción de alimentos, auto-abastecimiento de productos, necesidades de capital o capacidad de soportar población; tomando en consideración limitaciones de fertilidad, salinidad y erosión de suelos y riesgos de degradación de tierras. Muy buenos resultados se han conseguido en el desarrollo de herramientas SIG para la planificación de la recursos naturales, su gestión y control a diferentes escalas.

El desarrollo de estas y otras aplicaciones informáticas conlleva el análisis e interpretación de gran cantidad de datos bio-físicos y socio-económicos, estadísticos, espaciales y temporales, con objeto de producir diversas clases de productos informáticos en forma de imágenes, mapas y otros informes necesarios en la toma de decisiones. Para ello son necesarias herramientas informáticas de análisis espacial que faciliten el fácil acceso a los datos y su manipulación.

El rápido desarrollo de las tecnologías de la información durante la última década ha creado una ocasión única para la elaboración de tales herramientas en la forma de sistemas de información de recursos de tierras de propósitos múltiples (LIS), que pueden ser utilizados para generar, rápida y eficientemente, diferentes tipos de información de acuerdo con las necesidades de los usuarios más diversos. Los LIS contienen bases de datos, modelos, sistemas de apoyo a la decisión e interfases con el usuario que facilitan tales operaciones.

En este contexto, un SIG es el elemento central en la configuración de un LIS, cuya utilidad deriva de su capacidad de funcionamiento dinámico en base a las siguientes características principales:

1. capacidad de computación física para manejar datos, incluyendo su superposición, integración y segregación;
2. capacidad de analizar los datos, formulando hipótesis que comprueben supuestos, definiendo relaciones potenciales y desarrollando teorías;
3. capacidad para relacionar posiciones bi-dimensionales y tri-dimensionales en la superficie terrestre, la atmósfera y la litosfera/hidrosfera/ecosfera, así como procesos cuatri-dimensionales dinámicos (espacio/tiempo), representando operaciones funcionales de

sistemas de evaluación, planificación y control de recursos naturales.

Los SIG integran bases de datos de las más diversas clases y fuentes, modelos de análisis de datos, sistemas de apoyo a la decisión, equipos y programas informáticos, y los recursos humanos en el marco institucional donde opere el sistema. La teledetección proporciona datos e imágenes de la cubierta vegetal y usos del territorio, permitiendo una rápida y eficiente monitorización de los cambios de usos que representa un elemento esencial en la evaluación de los riesgos de degradación y capacidad de uso sostenible de las tierras.

Paquetes integrados: Interfases entre bases de datos, SIG y modelos

La integración entre ZAE y SIG, junto con procedimientos y guías para expertos, permite a los estudios de ZAE ser ejecutados mucho más eficientemente, facilitando una presentación flexible de los resultados de acuerdo con las necesidades de los usuarios. El estudio de ZAE realizado por FAO en Kenia (FAO, 1993a) desarrolló un paquete integrado que puede ser fácilmente adaptado a las condiciones y circunstancias de cualquier otro lugar. A su vez, APT es un paquete que integra bases de datos y modelos, pero sus resultados tienen que ser transferidos a un SIG convencional.

El sistema integrado utilizado en el estudio de ZAE de Kenia responde a dos componentes principales:

- una base de datos de recursos tierras;
- un conjunto de modelos, fundamentalmente empíricos y heurísticos, en forma de programas de computador.

La base de datos se obtuvo mediante combinación de diversas capas de información (mapas y tablas) sobre los elementos físicos del medio rural, tales como suelo, relieve y clima. Los modelos fueron formulados, a su vez, para calcular la aptitud y productividad de las tierras, estableciendo su uso ideal (Figura 8). Diversos productos se generaron, tanto en forma gráfica como tabular. El poder de la metodología ZAE radica en esa capacidad para crear bases de datos integradas y con múltiples finalidades.

La integración entre SIG y modelos ZAE no impide que ambos componentes se desarrollen separadamente. Así, los diversos mapas generados por los SIG pueden ser utilizados para transferir a los modelos los datos básicos que necesitan, y sus resultados vuelven de nuevo a los SIG. Es decir, los SIG crean bases de datos para los modelos y viceversa, siendo los resultados de los modelos transferidos a los SIG para su posterior representación gráfica.

El paquete informático utilizado en la metodología ZAE para estudios detallados a nivel de países, consta de cinco programas para implementar los modelos ZAE y otros programas de utilidades para el manejo de la base de datos, análisis estadístico y presentación de resultados. Los programas ZAE analizan la aptitud y productividad de la tierra, incluyendo modelos de cultivos, y se integran con otros programas sobre producción de pastos y bosques y sobre aspectos relacionados con la erosión de suelos. Finalmente, se incorpora en el paquete un modelo de programación lineal para optimizar el uso de tierras a nivel de celdas y distritos.

Programación lineal para tomar decisiones diversas

Otra importante área de desarrollo ha sido la aplicación de modelos de optimización de los resultados de la metodología ZAE/SIG, a fin de analizar patrones de usos alternativos, tanto a nivel regional como de

distrito. Tales modelos seleccionan los patrones de usos que mejor satisfacen las necesidades específicas de desarrollo, como por ejemplo producción de alimentos, capacidad de soportar población o nivel de empleo, etc. Por último, se aplica un modelo de programación matemática cuando se trata de hacer una selección entre diferentes usos posibles, por ejemplo capacidad para soportar máxima población, producción de calorías y proteínas, limitaciones para cultivos mixtos y uso de fertilizantes.

Desarrollo futuro de la ZAE y los SIG

El continuado desarrollo de la metodología ZAE/SIG ha servido para extender el rango espacial o escala de su aplicación. Mientras que los conceptos básicos de ZAE son válidos a cualquier escala, los métodos específicos y herramientas de implementación difieren en consonancia con la naturaleza, complejidad y decisión a nivel nacional, distrito, finca e incluso parcela.

Las metodologías ZAE/SIG son adecuadas para cualquier aplicación donde las relaciones entre los recursos y posibles usos de las tierras tienen que ser exploradas, bien en el contexto de estimar la aptitud de los recursos para usos específicos o bien de estimar el impacto de tales usos sobre los propios recursos. Además, las formas con que estas relaciones pueden ser exploradas están mejorando constantemente. Así, están las aplicaciones del tipo de análisis de escenarios que residen en las cuestiones ¿Qué pasa si...? . Dos tipos de interrogantes surgen en estos estudios: 1) ¿qué ocurriría si se modifican una o más de las características de las tierras? (ej. por construcción de terrazas, drenaje, aplicación de fertilizantes, encalado); o 2) ¿qué ocurriría si se modifican las condiciones de uso y manejo de las tierras? (ej. cultivos resistentes a la sequía, cultivos de ciclo más corto, uso de maquinaria, reutilización de residuos). La metodología ZAE/SIG puede estimar las consecuencias de tales cambios bien en términos de capacidad de uso o riesgos de degradación, que responden a dichos supuestos de escenarios ¿Qué pasa si ...? También los costos y beneficios socioeconómicos de tales modificaciones pueden ser evaluados. En estos tipos de aplicaciones, tanto los SIG como los modelos se tienen que desarrollar en íntima relación. Los modelos son entonces implementados utilizando insumos, procedimientos y productos de los propios SIG.

FIGURA 11. Ejemplo de resultados de un estudio de ZAE/SIG

Esta metodología se encuentra en continuo desarrollo, siendo las siguientes las etapas más recientemente cubiertas:

- Modelo mejorado del análisis de datos climáticos que tiene en cuenta el efecto de las bajas temperaturas en el cálculo de la DPC.
- Modelos detallados para la estimación de la aptitud de cultivos, que:
 - toman en consideración el incremento de CO₂ y su efecto sobre la eficiencia fotosintética y economía en agua de los cultivos, en el cálculo de la biomasa a partir de la longitud del ciclo del cultivo;
 - evalúan mejor las limitaciones agro-climáticas, cuantificando el déficit de humedad del suelo en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo;
 - permiten incrementos artificiales de temperatura y precipitación para comprobar la sensibilidad de los modelos ZAE a variaciones climáticas;
 - permiten la inclusión de consideraciones sobre sostenibilidad en la formulación de

escenarios de planificación;

- integran globalmente los cálculos de evapotranspiración potencial (ETp), longitud del periodo de crecimiento (DPC), balance hídrico, biomasa y rendimiento, con los de estimación de aptitud y productividad de tierras.

La última versión de la metodología integrada SIG/ZAE se presenta en la Figura 12.

Actualmente, FAO prepara una nueva herramienta mejorada, que incorpora todo estos modelos ZAE y algunas técnicas de apoyo a la decisión (MCDA) para un uso más generalizado en diferentes escenarios agro-ecológicos y socioeconómicos, a fin de servir de una ayuda eficaz a los agricultores. El paquete informático correspondiente funcionará en computadoras PC que sean de fácil adquisición en los países en desarrollo.

[FIGURA 12. Aplicación ZAE para un escenario de cambio climático](#)

[Indice](#) - [◀ Precedente](#) - [Siguiente ▶](#)

Capítulo 5. Zonificación ecológico-económica

Una aproximación ampliada

La zonificación ecológica-económica (EEZ) es una versión alternativa a la zonificación que enfatiza los factores físicos y de producción de cultivos, dentro del marco general de los estudios de ZAE, incluyendo aspectos socio-económicos y un amplio rango de usos de tierra en la definición de las zonas. En general, los estudios de EEZ tratan no solo de tierras, sino también de personas y sus organizaciones sociales. Estas personas o usuarios reales y potenciales, pueden ser individuos, comunidades o gobiernos que tienen un derecho tradicional, actual o futuro para decidir sobre el futuro de las tierras.

A través de un proceso de diálogo con los diversos usuarios involucrados en las decisiones sobre el uso de la tierra, el especialista EEZ colabora con estos grupos de personas para tomar las decisiones más acertadas para ellos mismos y para la comunidad en general.

Las objetivos fundamentales de la EEZ son las siguientes (Sombroek, 1994):

- identificar áreas donde ciertos usos específicos pueden ser introducidos mediante el desarrollo de programas, servicios, incentivos financieros, etc;
- identificar áreas con necesidades especiales o problemas, así como áreas que necesitan de protección o conservación;
- proporcionar las bases para el desarrollo de infraestructura.

¿Qué es la EEZ?

La EEZ es, en efecto, una forma de planificar el uso de tierras teniendo en cuenta todos los elementos bio-físicos, y todas las condicionantes socio-económicas. Se comparan ambos grupos de factores a través de múltiples análisis, proporcionando una herramienta apropiada para los distintos usuarios a fin de alcanzar, de forma consensuada, un uso óptimo de las tierras que será posteriormente ejecutado mediante acciones legislativas, administrativas e institucionales.

En principio, la metodología EEZ es aplicable a todas las escalas geográficas y en tierras de cualquier intensidad de uso. Sin embargo, en la práctica es más utilizada en grandes extensiones de tierras, tales como cuencas de grandes ríos y regiones fisiográficas que soportan una importante población humana. Un elemento esencial de la EEZ es su carácter dinámico, pudiendo ser repetida o ajustada en relación con los cambios socio-económicos de la región estudiada y su área de influencia, tales como las tendencias del mercado mundial.

La EEZ no tiene especial interés en usos de tierras de insumos elevados, sino que considera un amplio rango de usos que puedan satisfacer los objetivos de los más diversos usuarios. Estos objetivos pueden ser incompatibles con una mayor o menor escala y también pueden cambiar con el tiempo. La utilización de análisis de objetivos múltiples y de subsiguiente optimización permite una reordenación periódica de objetivos para seleccionar el uso óptimo (o no-uso) de un área determinada.

Los beneficios potenciales de los estudios de EEZ, al ser posteriormente ejecutados, son los siguientes:

- evitar la utilización caprichosa de las tierras en consideración, lo que puede conducir a conflictos sociales y daños irreparables en la calidad de los recursos naturales;
- mejor entender los objetivos, prioridades y requerimientos de los diferentes usuarios y, por consiguiente, facilitar un consenso eventual y reconciliar los intereses particulares sobre la implementación de los planes de uso de tierras;
- armonizar los trabajos de las instituciones nacionales que tratan aspectos relacionados con la caracterización, evaluación y planificación rural.

En resumen, la EEZ constituye una herramienta para la gestión de los recursos naturales que considera los siguientes aspectos:

- un período de tiempo de 5 a 25 años;
- un área geográfica correspondiente a paisajes o cuencas;
- múltiples beneficiarios;
- una tecnología que considera todos los elementos del medio natural, con especial atención a los impactos ambientales;
- un objetivo de equidad social intergeneracional;
- una aproximación participativa; y
- una confluencia de múltiples políticas. El procedimiento de zonificación propuesto, paso a paso

El procedimiento de zonificación propuesto, paso a paso

Procedimientos

El siguiente procedimiento, paso a paso, se propuso para un estudio de EEZ en la Región Amazonica (Sombroek, 1994):

Fase 1: Recopilación de mapas y cualquier otra información espacial, y su introducción en SIG

Fase 2: Actividades de pre-zonificación

A Delineación de unidades naturales y análisis temático de sus diferentes recursos

- * condiciones climáticas;
- * características de relieve;
- * condiciones de suelo;
- * hidrología;
- * vegetación;
- * indicadores de la biodiversidad;
- * uso actual;
- * incidencia de plagas y enfermedades;
- * reservas minerales superficiales y actividades mineras;
- * hidrología fluvial;
- * densidad de población;
- * tenencia tradicional de la tierra.

B Determinación de las cualidades y limitaciones bio-físicas de cada unidad segregada.

C Identificación de los tipos de utilización de tierras agro-ecológicamente viables y determinación de sus requerimientos bio-físicos de acuerdo con los usuarios.

D Caracterización de las condicionantes socio-económicas y perspectivas para cada zona fisiográfica o municipalidad así como para las áreas con un uso específico ya establecido.

Fase 3: Zonificación en sentido estricto

A Adecuación sistemática mediante un proceso de comparación de las cualidades bio-físicas de cada unidad natural identificada con los requerimientos de cada tipo de utilización considerado.

B Modificación de los indicadores bio-físicos establecidos de acuerdo con las condiciones socio-económicas imperantes.

Fase 4: Pos-zonificación

A Proceso de negociación del uso de tierras entre los usuarios potenciales en base al inventario y evaluación de los recursos naturales y su comparación con los usos alternativos, llegando a un consenso sobre el uso futuro de las diferentes unidades de tierras.

B Implementación de los usos territoriales acordados: pre-proyectos legislativos, decisiones políticas, ejecución legal, administrativa e institucional, demarcación de territorios, inspección y control.

En síntesis, la EEZ puede ser considerada como una aplicación avanzada de la ZAE, en la que se utiliza una base de datos ZAE ampliada y multicapa incluyendo información socio-económica.

Glosario de términos

Base de datos. Conjunto organizado e integrado de datos almacenados en computadora, con el fin de facilitar su uso para aplicaciones con múltiples finalidades.

Capacidad de soportar población. Estimación del número de personas que un determinado área puede soportar, en base al producto nutricional de los sistemas de producción de cultivos y ganadería.

Característica de tierra (LC). Propiedad de tierra que puede ser directamente medida o estimada.

Cualidad de tierra (LQ). Atributo complejo de tierra que actúa de distintas formas en cuanto a su influencia sobre la aptitud de la tierra para un uso determinado.

Dominio de gestión de recursos. Amplia zona delimitada para una gestión similar, ej. planes de desarrollo, programas de conservación de la naturaleza, etc., e identificada en base a una zonificación ecológica-económica.

Ecotipo. Variedad de cultivo adaptada a un rango particular de condiciones climáticas y de suelo.

Evaluación de tierras. Estimación del comportamiento de una tierra cuando se utiliza con una finalidad determinada.

Evapotranspiración (ET). Pérdida de agua de un área específica y para un período de tiempo determinado, como consecuencia de la evaporación de la superficie del suelo y de la transpiración de la planta.

Duración del período de crecimiento (DPC). Periodo continuo del año en donde las precipitaciones exceden a la mitad de la evapotranspiración Penman, más el periodo necesario para evapotranspirar la reserva de agua del suelo, y siempre que la temperatura media diaria exceda de 6.5 °C.

Modelo. Representación simplificada de una parte limitada de la realidad y de los elementos relacionados.

Patrón de cultivos. Secuencia anual y distribución espacial de cultivos, o de cultivos y barbechos, en un área determinada.

Sistema de manejo. Sistema integrado por los aspectos de suelo, cultivo, malas hierbas, plagas y enfermedades, capaz de transformar la energía solar, agua, nutrientes, labores y otros insumos en alimentos, piensos, combustibles o fibras. El sistema de manejo equivale a un subsistema del sistema de explotación.

Período de crecimiento (PC). Periodo del año en el que las condiciones de humedad y temperatura son favorables para el desarrollo de los cultivos. (Ver Cuadro 2 para definición y tipos de períodos de crecimiento y sus componentes).

Régimen térmico. Cantidad de calor disponible durante el período de crecimiento. Puede ser definido bien en términos de temperatura o de grados día.

Relación equivalente de tierra (LER). Relación entre el área necesaria de un solo cultivo con la correspondiente a cultivos mixtos, a un mismo nivel de manejo, para producir el mismo rendimiento. La LER es la suma de las fracciones de los rendimientos de los cultivos mixtos con relación a los rendimientos de un solo cultivo.

Rendimiento agronómico potencial. Rendimiento máximo que puede ser alcanzado por un cultivo determinado en un área específica, teniendo en cuenta las limitaciones biofísicas preferentemente de clima y suelo.

Rendimiento potencial. Rendimiento máximo que puede ser alcanzado por una variedad de un cultivo determinado en un área específica, en función de la radiación y temperatura.

Requerimiento edáfico. Necesidad específica de un cultivo en cuanto a una característica de suelo determinada.

Requerimiento fenológico. Requerimiento de un cultivo en cuanto a condiciones ambientales necesarias para su desarrollo, consideradas dentro del ciclo de desarrollo de dicho cultivo.

Sistema de explotación. Unidad de decisión, incluyendo la finca con sus correspondientes modelos de cultivo y ganadería, que produce cultivos y pastos ya sean para consumo interno o venta.

Sistema de información geográfica (SIG). Sistema informáticos para capturar, almacenar, comprobar, integrar, manejar, analizar y presentar datos espacialmente georeferenciados.

Sistema de producción. Conjunto particular de actividades (sistema de manejo) desarrolladas para producir una serie definida de productos o beneficios.

Tierra. Un área específica de la superficie de la Tierra. En el contexto de la evaluación de tierras, la tierra incluye propiedades de la superficie, del suelo y clima, así como de cualquier planta o animal residente en ella.

Tipo de utilización de tierras (LUT). Un uso de tierra definido en términos de uno o varios cultivos, los insumos necesarios para producir estos cultivos y las condicionantes socio-económicas que rodean la producción.

Tipo de suelos. Unidad específica de suelo con un definido rango de características. Puede corresponder a la más baja categoría de un sistema de clasificación taxonómica, incluyendo especificaciones de fase.

Unidad cartográfica de suelos. Área de tierras delineada sobre un mapa. Puede incluir un solo tipo de suelos o diversos tipos que se presentan como una asociación.

Unidad agro-ecológica (AEC). Área o lugar que posee una única combinación de características del terreno, suelo y clima. La AEC es la unidad básica del análisis biofísico en los estudios de ZAE.

Uso sostenible de tierras. Uso de tierras que no degrada progresivamente su capacidad productiva para un fin determinado.

Usuario. Individuo, comunidad, gobierno o ONG que tiene derecho, tradicional, actual o futuro' para tomar decisiones sobre una tierra.

Zona agro-ecológica. Unidad cartográfica de tierras, definida en términos de clima, relieve, suelo y

cubierta vegetal, teniendo un rango determinado de potencialidades y limitaciones para su uso.

Zonificación agro-ecológica (ZAE). División de un área geográfica en unidades más pequeñas con similares características en cuanto a la aptitud para ciertos cultivos, al potencial de producción y al impacto ambiental de su utilización.

Zonificación ecológico-económica (EEZ). Tipo de zonificación que integra características físicas de la tierra con factores socio-económicos y un amplio rango de usos de tierras.

[Indice](#) - [◀ Precedente](#) - [Siguiente ▶](#)

Bibliografía usada y recomendada

- Antoine, J. 1994.** Linking geographical information systems (GIS) and FAO's agro-ecological zone (AEZ) models for land resource appraisal. pp. 35- 52. In: *Proceedings of the regional workshop on Agro-Ecological Zones methodology and Applications*. Bangkok, Thailand 17-23 November 1991. World Soil Resources Report 75. Rome.
- Antoine, J., van Waveren, E., de la Rosa, D., Mayol, F. y Moreno, J.A. 1994.** FAO-ISRIC-CSIC Soil Database, Multilingual Version. FAO, Rome.
- Beek, K.J., Burrough, P.A. y McCormack, D.E. (eds.). 1987.** Quantitative land evaluation procedures. ITC Publication 6. Enschede, The Netherlands, ITC.
- Brammer, H., Antoine, J., Kassam, A.H., y van Velthuisen, H.T. 1988.** Land resources appraisal of Bangladesh for agricultural development. Technical Reports Nos. 17, FAO/UNDP Project BGD/81/035, "Agricultural Development Advice". Dhaka, Bangladesh.
- Brinkman, R. 1987.** Agro-ecological characterization, classification and mapping. Different approaches by the International Agricultural Research Centres. In: *Agricultural environments: characterization, classification and mapping*. A.H. Bunting (ed.). pp. 31-42. Wallingford, UK, CAB International.
- Burrough, P.A. 1986.** Principles of geographical information systems for land resources assessment. Monographs on Soil and Resources Survey N° 12. Oxford, UK, Clarendon. 193 p.
- De Baveye, J. 1988.** CYPPAC: A climatic yield potential prediction modal for annual crops. RUG, Ghent.
- de Bie, C.A., van Leeuwen, J.A. y Zuidema, P.A. 1995.** The Land Use Database. Version 1.03 for MS-DOS. ITC/FAO/WAU. Enschede/Rome/Wageningen.
- De la Rosa, D., Mayol, F., Moreno, J.A., Cromptvoets, J. y Rosales, A. 1995.** MicroLEIS 4.1. Software + Documentation. CSIC Pub., Sevilla.
- De Pauw, E. 1987.** Potential evapotranspiration map of Ethiopia. 1:2000000 scale. FAO/Ministry of Agriculture, Addis Ababa.
- De Wit, P.V. y Nachtergaele, F.O. 1990.** Explanatory Note on the Soil Map of the Republic of Botswana. Project FAO:AG BOT/85/011. Field Document 30. Ministry of Agriculture, Gaborone.
- Dumanski, J. y Onofrei, C. 1989.** Techniques of crop yield assessment for agricultural land evaluation. *Soil Use and Management* 5(1) :9-16.
- Elwell, H.A. y Stocking, M.A. 1982.** Developing a simple yet practical method of soil-loss estimation. *Trop. Agric. (Trinidad)* 59 :43-48.
- FAO. 1974.** FAO-Unesco Soil Map of the World. Vol 1. Legend. Paris, Unesco.

- FAO. 1976.** A framework for land evaluation. FAO Soils Bulletin 32, Rome, FAO.
- FAO. 1977.** Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. Rome, FAO.
- FAO. 1978.** Report on the Agro-Ecological Zones Project. Vol. 1. Methodology and Results for Africa. Rome, FAO.
- FAO. 1979.** Yield response to water. J. Doorenbos and A.H. Kassam. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. Rome, FAO.
- FAO. 1980.** Report on the Second FAO/UNFPA Expert Consultation on Land Resources for Populations of the Future. Rome, FAO.
- FAO. 1981.** Informe del Proyecto de Zonas Agro-Ecológicas. Vol 3, Metodología y resultados para América del Sur y Central. Roma, Italia.
- FAO. 1983.** Guidelines: land evaluation for rainfed agricultura. FAO Soils Bulletin 52. Rome, FAO.
- FAO. 1984a.** Land evaluation for forestry. FAO Forestry Paper 48. Rome, FAO.
- FAO. 1984b.** Agroclimatological data for Africa, Vols 1 and 2. FAO Plant Production and Protection Series 22. Rome, FAO.
- FAO. 1985.** Guidelines: land evaluation for irrigated agricultura. FAO Soils Bulletin 55. Rome, FAO.
- FAO. 1987.** Agroclimatological data for Asia, Vols 1 and 2. FAO Plant Production and Protection Series 23. Rome, FAO.
- FAO. 1988.** Geographic Information Systems in-FAO. Rome, Italy.
- FAO. 1990a.** APT User Guide. Agricultural Planning Toolkit. Rome, FAO.
- FAO. 1990b.** Revised Legend for the Soil Map of the World. World Soil Resources Report 60. Rome.
- FAO. 1991.** Guidelines: land evaluation for extensive grazing. FAO Soils Bulletin 58. Rome, FAO.
- FAO. 1993a.** Agro-ecological assessment for national planning: the example of Kenya. FAO Soils Bulletin N° 67. Rome, Italy. Also nine technical annexes issued as World Soil Resources Reports 71/1-71/9.
- FAO. 1993b.** Guidelines for-Land-Use Planning. FAO Development Series 1. Rome, Italy
- FAO. 1993c.** Computerized Systems of Land Resources Appraisal for Agricultural Development. World Soil Resources Report 72. Rome, Italy.
- FAO. 1994a.** AEZ in Asia. Proceedings of the regional workshop on Agro-Ecological Zones Methodology and Applications. Bangkok, Thailand, 17-23 November 1991. World Soil Resources Report 75. Rome, FAO.
- FAO. 1994b.** ECOCROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Version 1.0. AGLS. Rome, FAO.
- Fischer, G. W. y Antoine, J. 1 994.** Agro-Ecological Land Resources Assessment for Agricultural

Development Planning. A case study of Kenya. Making Land Use choices for district planning. User Manual. FAO and BASA. Rome.

Fischer, G.W., Makonski, H. y Antoine, J. 1996. Multiple Criteria Land Use Analysis. BASA Working Paper WP-96-006. Laxenburg, Austria.

Higgins, G.M. y Kassam, A.H. 1981. Relating potential productivity to soil base. [FAO] Land and Water Development Division Technical Newsletter, 9 (July 1981).

Higgins, G.M., Kassam, A.H., Nalken, L., Fischer, G. y Shah, M.M. 1982. Potential population supporting capacities of lands in the developing world. Technical Report of Project INT/75/P13, "Land resources for populations of the future", undertaken by FAO/IIASA for UNFPA.

Higgins, G.M., Kassam, A.H., van Velthuisen, H.T. y Purnell, M.F. 1987. Methods used by FAO to estimate environmental resources, potential outputs of crops and population-supporting capacities in the developing nations. In A.H. Bunding, ed. *Agricultural Environments: characterization, classification and mapping*, p. 171-184. Wallingford, UK, CAB International.

IIASA. 1980. Beware of pitfalls. A short guide to avoiding common errors in system analysis. Executive Report 2. Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis. 23 pp.

Karim, Z. 1994. Cropping system based fertilizer recommendations by agroecological zones in Bangladesh. In: *Proceedings of the Regional Workshop on Agro-Ecological Zones Methodology and Applications*. Bangkok, Thailand, 17-23 November 1991. World Soil Resources Report 75. Rome, FAO. pp. 53-75.

Kassam, A.H. 1977. Net biomass production and yield of crops. Present and Potential Land Use by Agro-ecological Zones Project. AGLS, Rome, FAO.

Kassam, A.H. 1980. Multiple cropping and rainfed crop productivity in Africa. pp. 123-195 In: FAO 1980, q.v.

Kassam, A.H., Kowal, J.M. y Sarraf, S. 1977. Climatic adaptability of crops. Consultants' Report. Agro-ecological zones project. FAO-AGL, Rome.

Kassam, A.H., van Velthuisen, H.T., Higgins, G.M., Christoforides, A., Voortman, R.L. y Spiers, B. 1982. Assessment of land resources for rainfed crop production in Mozambique. Field Documents Nos 32-37, FAO/UNDP Project MOZ/75/011, 'Land and Water Use Planning'. Maputo, Mozambique.

Landon, J.R. (ed.). 1991. Booker tropical soil manual. Harlow, UK, Longman.

Mitchell, J.B. 1984. Kenya Population Supporting Capacities Studies: Soil Erosion and Soil Conservation. Consultant's Report. Rome, FAO.

Radcliffe, D.J. 1981. The growing period in Angonia, Province of Tete, Mozambique. An ecological basis for crop selection. Project FAO:AG MOZ/75/011. Field Document 25. Ministry of Agriculture, Maputo.

Radcliffe, D.J. 1989. Manual on reconnaissance physical land evaluation in Ethiopia. Field Document 35. Project ETH/87/006. FAO/Ministry of Agriculture, Addis Ababa.

Radcliffe, D.J. 1993. Land Evaluation: Counting the Risks. Proc. *Workshop on Land Evaluation for Land Use planning, Gaborone 24-28 February, 1992.* SADCC Land and Water Management Research Programme, Gaborone.

Radcliffe, D.J., Tersteeg, J.L., y De Wit, P.V. 1992. Map of Land Suitability for Rainfed Crop Production. Explanatory note and legend. Project TCP/BOT/0053. Field Document 3. Ministry of Agriculture, Gaborone.

Schalk, B. 1990. METEO. A meteorological database for agricultural use. Project FAO:AG BOT/85/011. Field Document 22. Ministry of Agriculture, Gaborone.

Sombroek W.G. 1994. Introduction to the philosophy, concepts and methods of ecological-economic zoning. Manaus Workshop on Ecological-Economic-Zoning in the Amazon Region 25-29 April 1994. Rome, FAO.

Sombroek, W.G. y Antoine, J. 1994. The use of Geographic Information Systems (GIS) in Land Resource Appraisal. *Outlook on Agriculture* 23. No. 4. pp 249-255.

Stocking, M. 1984. Erosion and Soil Productivity: A Review. Consultant's Working Paper N° 1. Rome, FAO.

Sys, C. 1985. Land Evaluation. Vols 1, 2 and 3. ITC, State University of Ghent. Belgium.

Tersteeg, J.L. 1994. CYSLAMB: Crop yield simulation and land assessment model for Botswana. Version 1.2. Project FAO:AG BOT/91/001. Ministry of Agriculture, Gaborone.

van Keuken, H., Berkhout, J.A.A., van Diepen, C.A., van Heemst, H.D.J., Janssen, B.H., Rappoldt, C. y Wolf, J. 1987. Quantitative land evaluation for agroecological characterization. In A.H. Bunting, ed. *Agricultural Environments: characterization, classification and mapping.* CAB International, Wallingford, UK.

Van Wambeke, J. 1991. Estudio Agroecologico de la Region II de Nicaragua. Consultants' Report GCPF/NIC/015/NOR. Rome, FAO.

Van Wambeke, J. y Bruggeman, H.Y. 1991. Land Degradation Assessment of Kaduna State - Methodology and Results. TCP/NIR/8951 Technical Report N ° 2. Rome, FAO.

Zheng Zhenyuan. 1994. Progress of research on land use potential in China. In: *Proceedings of the Regional Workshop on Agro-Ecological Zones Aethodology and Applications.* Bangkok, Thailand, 17-23 November 1991. World Soil Resources Report 75. Rome. FAO. pp. 79-104.

Cuadernos técnicos de la FAO

BOLETINES DE SUELOS DE LA FAO

1. Soils of the arid zonas of Chile, 1965 (I*)
2. A survey of soils laboratorios in sixty-four FAO member countries, 1965 (I*)
3. Guide on general and specialized equipment for soils laboratorios, 1966 (I*)
4. Guide to sixty soll and water conservation practicas, 1966 (i*)
5. La selección de suelos para cultivo del cacao, 1967 (E* F* I*)
6. Interpretación de fotos aéreas y su importancia en el levantamiento de suelos, 1968 (C* E* F* I*)
7. A practical manual of soil microbiology laboratory methods, 1967 (I*)
8. Soil survey interpretation and its use, 1967 (I*)
9. La preparación de informes sobre levantamiento de suelos, 1970 (E* F* I*)
10. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y de aguas, 1970 (E F I)
11. Guia tipo para las investigaciones sobre fertilidad de los suelos en terrenos de agricultores, 1971 (E* F I)
12. The response of wheat to fertilizers, 1971 (I*)
13. Land degradation, 1971 (C* I*)
14. Improving soil fertility in Africa, 1971 (F* I*)
15. Legislative principles of soil conservation, 1971 (I*)
16. Effects of intensive fertilizar use on the human environment, 1972 (I*)
17. Los oligoelementos en los suelos y en la agricultura, 1972 (E* F I)
18. Interpretación de los análisis de suelos al formular recomendaciones sobre fertilizantes, 1980 (E* I)
19. La interpretación de los levantamientos de suelos para las obras de ingeniería, 1974 (E* F* I*)
20. Legislacion sobre fertilizantes, 1973 (E* I)
21. Calcareous solis, 1973 (F* I*)
22. Approaches to land classification, 1974 (I*)
23. Management properties of ferraisols, 1974 (I*)
24. La agricultura migratoria y la conservación de suelos en Africa, 1974 (E F I*)
25. Sandy soils, 1975 (I*)
26. Planning and organization of fertilizar development in Africa, 1975 (I*)
27. Materias orgánicas fertilizantes, 1975 (E* F* I*)
28. S.I. Units and nomenclatura in soll science, 1975 (I*)
29. Land evaluation in Europe, 1975 (I*)
30. Conservacion de suelos para los países en desarrollo, 1976 (Ar C* E* F* I*)
31. Prognosis of salinity and alkalinity, 1976 (I*)
32. Esquema para la evaluación de tierras, 1976 (C* E* F* I*)
33. Soil conservation and management in developing countries, 1977 (F I)
34. Assessing soil degradation, 1977 (I*)
35. Organic materials and soil productivity, 1977 (C* I)
36. Organic recycling in Asia, 1978 (C* I*)

37. Improved use of plant nutrients, 1978 (C* I)
- 38/1. Soil and plant testing and analysis, 1980 (I*)
- 38/2. Los análisis de suelos y de plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes, 1984 (E* I*)
39. Salt-affected soils and their management, 1988 (Ar I)
40. China: reciclaje de desechos orgánicos en la agricultura, 1977 (E F* I)
41. China: propagación de la azolla y tecnología del biogás a pequeña escala, 1981 (E F I*)
42. Soil survey investigations for irrigation, 1979 (C* F I)
43. Organic recycling in Africa, 1980 (I)
44. Desarrollo de cuencas hidrográficas y conservación de suelos y aguas, 1986 (C* E* F I)
45. Organic materials and soil productivity in the Near East, 1982 (I)
46. Blue-green algae for rice production - a manual for its promotion, 1981 (I)
47. Le recyclage des résidus agricoles organiques en Afrique, 1982 (F)
48. Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study, 1982 (I)
49. La fijación del nitrógeno en la explotación de los suelos, 1985 (C* E* F I)
50. Manténgamos viva la tierra: causas y remedios de la erosión del suelo; 1983 (E F I)
51. El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina, 1983 (E*)
52. Directivas: evaluación de tierras para la agricultura en seco, 1985 (C* E* F I)
53. Sistemas mejorados de producción como alternativa a la agricultura migratoria, 1986 (E F I)
54. Sistemas de labranza para la conservación del suelo y del agua, 1988 (C E* F I)
55. Evaluación de tierras para la agricultura en regadío: directivas, 1990 (C E F I)
56. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales, 1991 (E F I)
57. Soil and water conservation in semi-arid areas, 1987 (C F I)
58. Guidelines: land evaluation for extensive grazing, 1991 (I)
59. Nature and management of tropical peat soils, 1988 (I)
60. Conservación de suelos para los pequeños agricultores en las zonas tropicales húmedas, 1990 (E I)
61. La precipitación radiactiva sobre los suelos, los cultivos y los alimentos, 1993 (E F I)
62. Management of gypsiferous soils, 1990 (Ar** I)
63. Micronutrient assessment at the country level: an international study, 1990 (I)
64. Estudio sobre las razones del éxito o fracaso de los proyectos de conservación de suelos, 1993 (E F I)
65. Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soil and plants of thirty countries, 1992 (I)
66. Manual de sistemas de labranza para América Latina, 1992 (E)
67. Agro-ecological assessments for national planning: the example of Kenya, 1993 (F I)
68. Field measurement of soil erosion and runoff, 1993 (F I)
69. Soil tillage in Africa: needs and challenges, 1993 (I)
70. Land husbandry: components and strategy, 1996 (F I)
71. Tillage systems in the tropics: management options and sustainability implications, 1995 (I)
72. Sustainable dryland cropping in relation to soil productivity, 1995 (I)
73. Zonificación agro-ecológica: guía general, 1997 (E I)

Disponibilidad: febrero de 1997

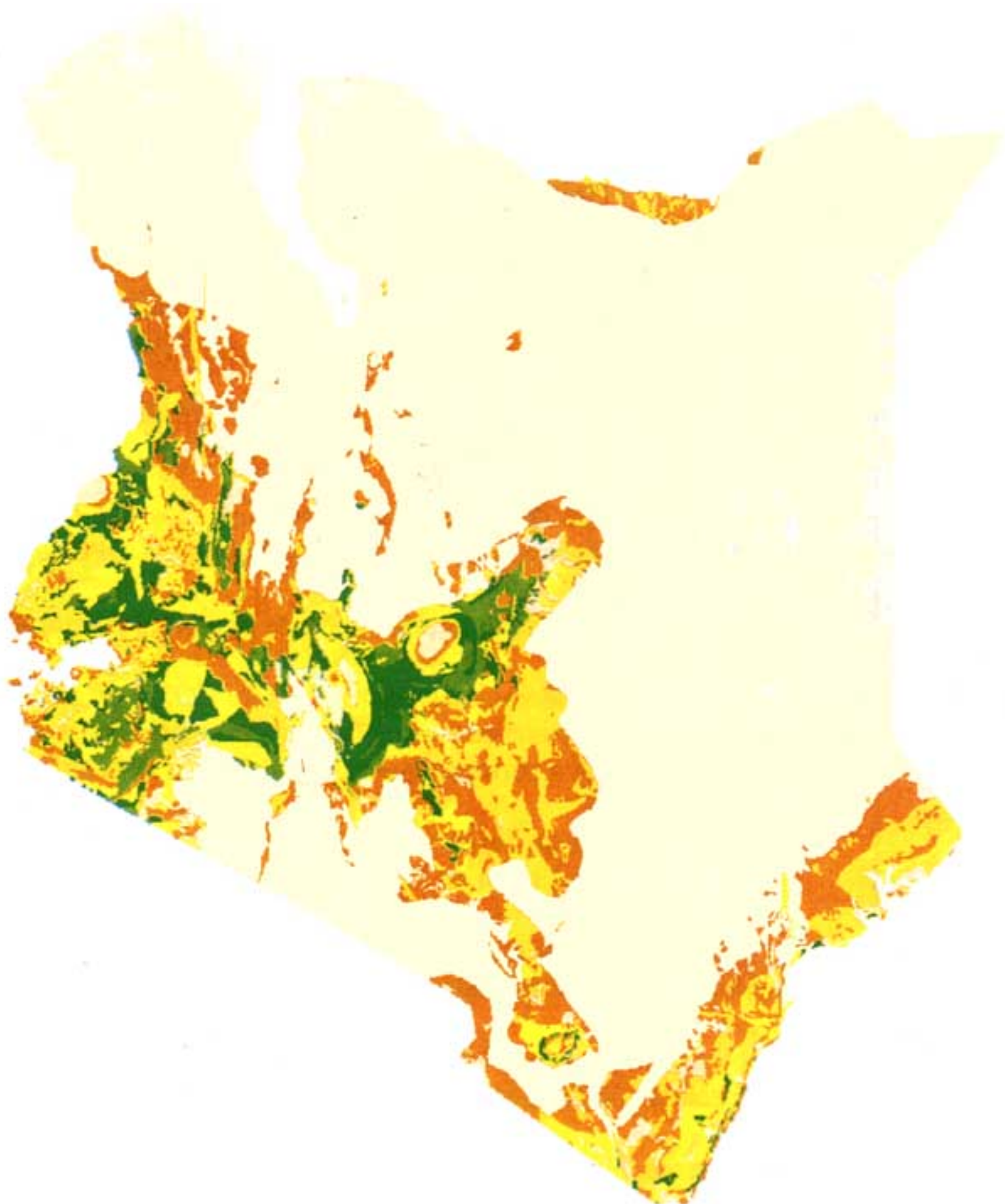
Ar - Árabe
 C - Chino
 E - Español

F - Francés
I - Inglés
P - Portugués
Multil - Multilingüe
* Agotado
** En preparacion

Los cuadernos técnicos de la FAO pueden obtenerse en los puntos de venta autorizados de la FAO, o directamente en la Sección de Distribución y Ventas, FAO, Vialle delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

Este Boletín de Suelos contiene una serie de guías sobre el uso de la metodología de zonificación agroecológica (ZAE) de la FAO. Esta guía general tiene la intención de ayudar a especialistas de recursos de tierras, planificadores, gerentes y otros usuarios que desean implementar estudios de ZAE a nivel regional, nacional y sub-nacional. El Boletín explica los conceptos y métodos ZAE, las actividades y los instrumentos involucrados en estudios de ZAE. La presente publicación es una guía para llevar a cabo un estudio paulatino ZAE, incluyendo aplicaciones elementares y avanzadas, y extrayendo ejemplos de la experiencia de la FAO en diversos países.

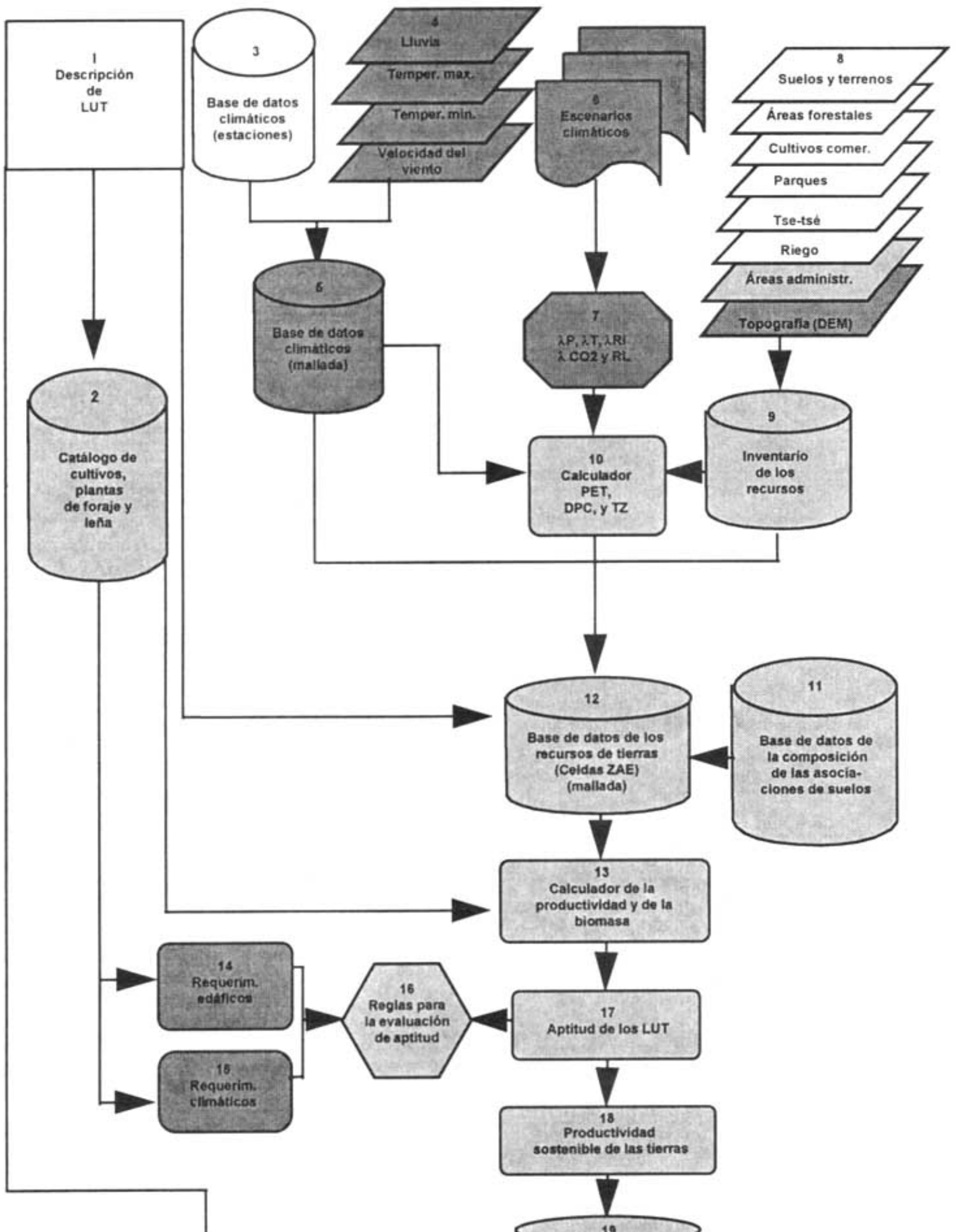
[Indice](#) - [Precedente](#)

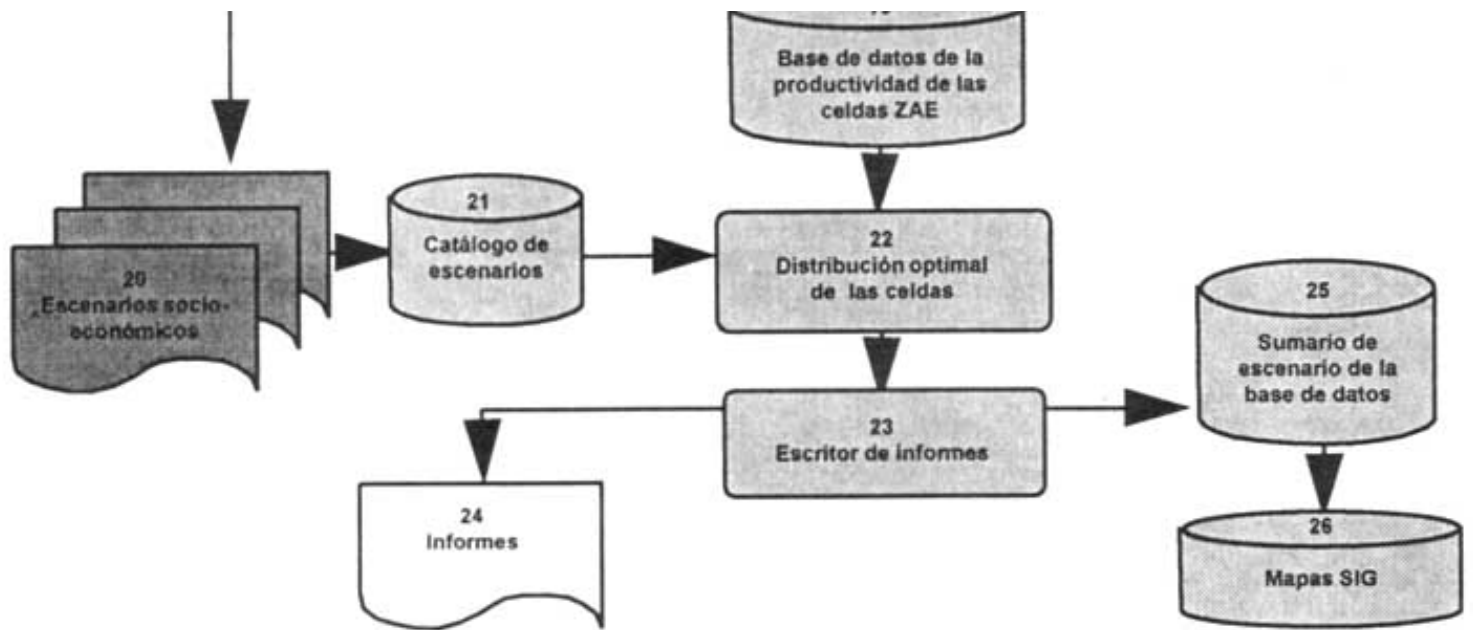


KENIA: Aptitud por cultivos de temporal

— 80 — muy alta

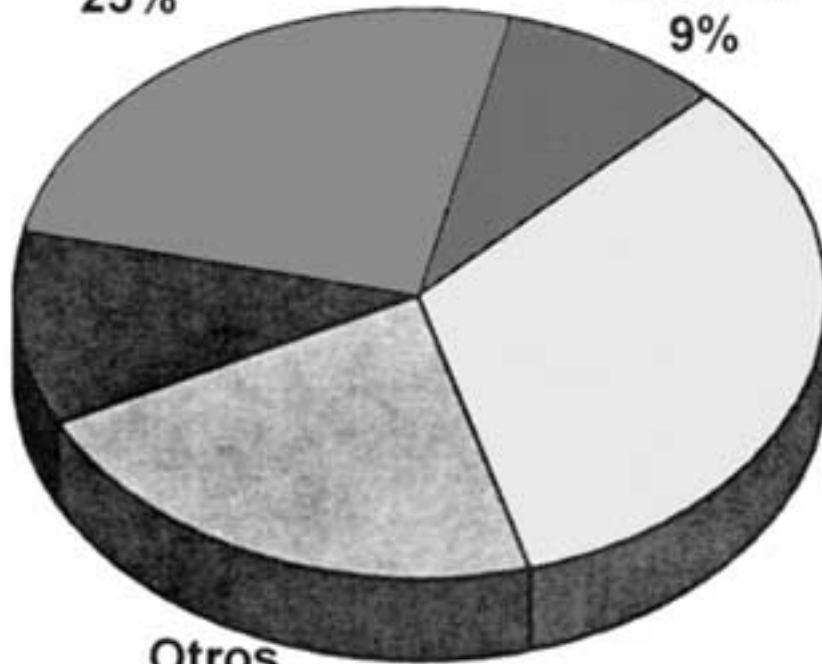
	> 80%	= muy alta
	60-80%	= alta
	40-60%	= moderadamente alta
	20-40%	= baja
	1-20%	= marginal
	0%	= no aptitud





Patatas
25%

**Otros
cultivos**
9%



Yuca
11%

Maiz
33%

**Otros
Cereales**
22%