

**UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO**  
**DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES**



DIRECCION ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

✓ **EVALUACIÓN DE APTITUD DE TIERRAS  
PARA ZONIFICAR TERRENOS FORESTALES  
EN EL ESTADO DE GUERRERO.**

**TESIS**  
**QUE COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE:**  
**MAESTRO EN CIENCIAS, EN**  
**CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA:**

**JUAN CARLOS BACA CASTILLO**



**1998**

**Chapingo, Estado de México**

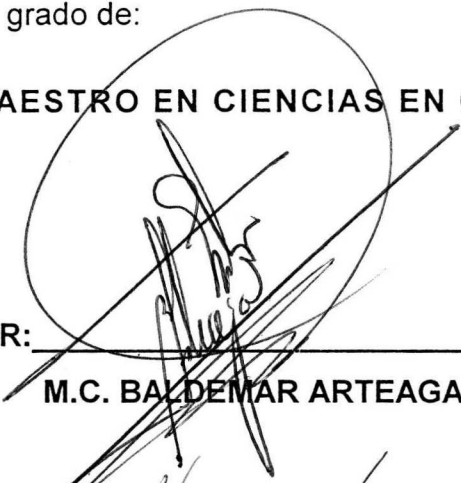
871711

**EVALUACIÓN DE APTITUD DE TIERRAS PARA ZONIFICAR  
TERRENOS FORESTALES EN EL ESTADO DE GUERRERO.**

Tesis realizada por **Juan Carlos Baca Castillo** bajo la dirección del Comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

**DIRECTOR:**

  
**M.C. BALDEGAR ARTEAGA MARTÍNEZ**

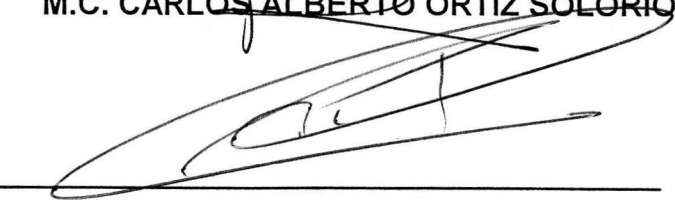
**ASESOR:**

  
**DR. VALENTINO SORANI DALBON**

**ASESOR:**

  
**M.C. CARLOS ALBERTO ORTIZ SOLORIO**

**ASESOR:**

  
**M.C. EDUARDO VARGAS PÉREZ**

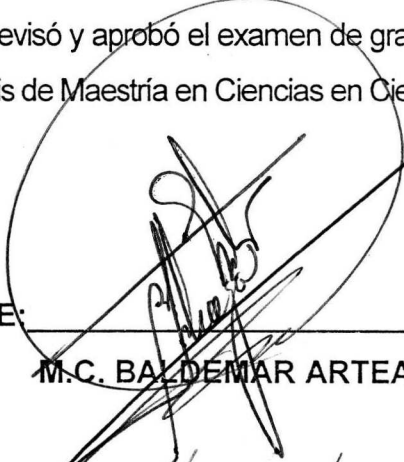
33091



**EVALUACIÓN DE APTITUD DE TIERRAS PARA ZONIFICAR  
TERRENOS FORESTALES EN EL ESTADO DE GUERRERO.**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Juan Carlos Baca Castillo** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales estuvo constituido por:

PRESIDENTE: \_\_\_\_\_

  
**M.C. BALDEMAR ARTEAGA MARTÍNEZ**

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
**DR. VALENTINO SORANI DALBON**

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
**M.C. CARLOS ALBERTO ORTIZ SOLORIO**

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
**M.C. EDUARDO VARGAS PÉREZ**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a las siguientes personas su colaboración en la realización del presente trabajo:

Al M.C. Baldemar Arteaga Martínez quien bajo su dirección y acertadas sugerencias fue posible la culminación de esta tesis.

Al Dr. Valentino Sorani por su tutela en el desarrollo de este trabajo, revisión exhaustiva de este documento y especialmente por su amistad y confianza.

Al M.C. Carlos A. Ortiz Solorio por sus valiosos comentarios e interés en el presente trabajo.

Al M.C. Eduardo Vargas Pérez por la revisión y acertadas sugerencias para mejorar el contenido del documento final.

Al M.C. Jorge A. Torres Pérez quien dirigió mis estudios de posgrado y asesoró este trabajo en sus primeras etapas.

Al Comité de Posgrado de la División de Ciencias Forestales por permitir culminar mis estudios. En particular a la Dra. Amparo Borja De La Rosa y Dr. José Luis Romo Lozano, por sus orientaciones, paciencia y apoyo incondicional.

A todas las personas del Instituto de Geografía de La UNAM que por su labor contribuyeron en la ejecución de la presente investigación. De manera especial agradezco a su director, Dr. Roman Alvarez Bejar, por facilitarme las instalaciones, equipo y programas de computo utilizados.

A Ing Sergio M. Várela Hernández, Director del Inventario Nacional Forestal por su apoyo al procurarme el material cartográfico requerido y tiempo necesario para realizar este trabajo.

## DEDICATORIA

*Con todo mi amor a Miriam,  
por apoyarme y comprenderme  
en todo momento.*

*A Deyanira y Héctor Rodrigo,  
frutos de un amor intenso y grande,  
cuya existencia complementa mi vida.*

*A mis hermanos,  
en especial por su estímulo  
para culminar este anhelo.*

## TABLA DE CONTENIDO

Cápitulo \_\_\_\_\_ Página

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE APLICACIÓN: ESTADO DE GUERRERO</b> | <b>49</b> |
| 3.1 Localización                                                 | 49        |
| 3.2 Provincias y subprovincias fisiográficas                     | 50        |
| 3.3 Clima                                                        | 51        |
| 3.4 Hidrografía                                                  | 52        |
| 3.5 Edafología                                                   | 52        |
| 3.6 Tipos de vegetación                                          | 55        |
| 3.7 Erosión                                                      | 61        |
| 3.8 Aspectos socioeconómicos                                     | 62        |
| <b>4. MATERIALES Y METODOS</b>                                   | <b>63</b> |
| 4.1 Equipo y programas de cómputo                                | 63        |
| 4.2 Procedimiento general de evaluación                          | 63        |
| 4.3 Determinación de zonas forestales                            | 64        |
| 4.4 Organización y procesamiento de la base de datos             | 67        |
| 4.4.1 Mapas para la estimación del riesgo máximo de erosión      | 68        |
| 4.4.1.1 Factor de erosividad de la lluvia.                       | 69        |
| 4.4.1.2 Factor de erosionabilidad del suelo.                     | 70        |
| 4.4.1.3 Efecto de la topografía.                                 | 72        |
| 4.4.2 Mapa de vegetación y uso de la tierra                      | 75        |
| 4.4.3 Mapa de zonas de conservación                              | 76        |
| 4.5 Estimación de zonas forestales por riesgo máximo de erosión  | 76        |
| 4.6 Comparación de la tierra con su uso                          | 79        |
| <b>5. RESULTADOS</b>                                             | <b>82</b> |
| 5.1 Mapa de riesgo máximo de erosión                             | 82        |
| 5.1.1 Erosividad de la lluvia                                    | 82        |
| 5.1.2 Erosionabilidad del suelo                                  | 83        |
| 5.1.3 Efecto de la longitud e inclinación de la pendiente        | 84        |
| 5.1.4 Superficie y pérdida de suelo por riesgo máximo erosión    | 85        |
| 5.2 Mapa de vegetación y uso de la tierra.                       | 86        |
| 5.2.1 Vegetación de protección                                   | 87        |
| 5.2.2 Vegetación arbórea                                         | 87        |

## TABLA DE CONTENIDO

| Cápitulo _____                                                  | Página     |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| 5.2.3 Otros tipos de vegetación _____                           | 87         |
| 5.2.4 Terrenos en recuperación _____                            | 88         |
| 5.2.5 Terrenos en uso no forestal _____                         | 88         |
| 5.3 Riesgo máximo de erosión por tipo de vegetación _____       | 88         |
| 5.4 Zonas forestales _____                                      | 89         |
| 5.4.1 Zonas forestales de conservación _____                    | 89         |
| 5.4.2 Zonas forestales de producción y restauración _____       | 90         |
| 5.5 Clasificación provisional de aptitud de la tierra _____     | 92         |
| <b>6. DISCUSIÓN _____</b>                                       | <b>94</b>  |
| 6.1 Mapa de riesgo máximo de erosión _____                      | 94         |
| 6.1.1 Factor de erosividad de la lluvia _____                   | 95         |
| 6.1.2 Factor erosionabilidad del suelo _____                    | 96         |
| 6.1.3 Efecto de la longitud e inclinación de la pendiente _____ | 97         |
| 6.2 Mapa de vegetación y uso de la tierra. _____                | 98         |
| 6.2.1 Vegetación de protección _____                            | 98         |
| 6.2.2 Vegetación arbórea _____                                  | 99         |
| 6.2.3 Otros tipos de vegetación _____                           | 99         |
| 6.2.4 Terrenos en recuperación _____                            | 100        |
| 6.2.5 Terrenos en uso no forestal _____                         | 100        |
| 6.3 Riesgo máximo de erosión por tipo de vegetación _____       | 101        |
| 6.4 Zonas forestales _____                                      | 102        |
| 6.4.1 Zonas de conservación. _____                              | 103        |
| 6.4.2 Zonas forestales de producción _____                      | 103        |
| 6.4.3 Zonas forestales de restauración _____                    | 105        |
| 6.5 Clasificación provisional de aptitud de la tierra _____     | 106        |
| <b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____</b>                  | <b>114</b> |
| <b>8. LITERATURA CITADA _____</b>                               | <b>116</b> |



## INDICE DE CUADROS

| Cuadro |                                                                                                             | Página |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1      | Ejemplos de decisiones de planificación de uso forestal de la tierra.                                       | 18     |
| 2      | Estimación de características de la tierra que afectan las cualidades de conservación.                      | 32     |
| 3      | Factores y fuentes de datos para estimar la erosión hídrica a nivel nacional o estatal.                     | 39     |
| 4      | Provincias y subprovincias fisiográficas localizadas en el estado de Guerrero.                              | 50     |
| 5      | Superficies y porcentajes de erosión para el estado de Guerrero.                                            | 61     |
| 6      | Mapas digitales considerados para el área de estudio.                                                       | 69     |
| 7      | Parámetros regionales para calcular el factor de erosividad de la lluvia en el estado de Guerrero.          | 69     |
| 8      | Erosividad por lluvia de 8 municipios del estado de Guerrero.                                               | 70     |
| 9      | Valores de K obtenidos por la metodología de FAO para los suelos de México.                                 | 71     |
| 10     | Valores del factor longitud e inclinación de la pendiente por clase de terreno para el estado de Guerrero.  | 74     |
| 11     | Clasificación utilizada en la cobertura de vegetación.                                                      | 75     |
| 12     | Clasificación de la erosión hídrica.                                                                        | 77     |
| 13     | Clases de zonas forestales y requerimientos de uso de la tierra.                                            | 78     |
| 14     | Clases provisionales de aptitud de la tierra por zona forestal.                                             | 81     |
| 15     | Factor erosividad por lluvia para el estado de Guerrero.                                                    | 83     |
| 16     | Valores de erosionabilidad para el estado de Guerrero en función de unidades y clases de textura del suelo. | 84     |
| 17     | Pérdida de suelo estimada para el estado de Guerrero por la combinación de los factores R y K.              | 84     |
| 18     | Valores del factor "LS" por clases de inclinación de los suelos del estado de Guerrero.                     | 85     |
| 19     | Grupos de cobertura de vegetación y uso de la tierra.                                                       | 86     |
| 20     | Clases de máximo riesgo de erosión hídrica por grupo de cobertura de vegetación.                            | 89     |
| 21     | Zonas forestales de producción y restauración.                                                              | 90     |
| 22     | Superficie estimada por zona forestal.                                                                      | 91     |
| 23     | Clases provisionales de aptitud de la tierra por zona forestal de producción y restauración.                | 93     |

## INDICE DE FIGURAS

| Figura |                                                                      | Página |
|--------|----------------------------------------------------------------------|--------|
| 1      | Esquema de procedimientos de evaluación de tierras.                  | 26     |
| 2      | Localización del estado de Guerrero.                                 | 49     |
| 3      | Esquema para la elaboración del mapa de zonas forestales.            | 67     |
| 4      | Factor erosividad por lluvia para el estado de Guerrero.             | 82     |
| 5      | Riesgo de erosión máximo para el estado de Guerrero.                 | 85     |
| 6      | Coberturas de vegetación y uso del suelo para el estado de Guerrero. | 87     |

## TABLA DE CONTENIDO

| C pulo                                                                                       | Página      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>                                                                       | <b>i</b>    |
| <b>DEDICATORIA</b>                                                                           | <b>ii</b>   |
| <b>TABLA DE CONTENIDO</b>                                                                    | <b>iii</b>  |
| <b>INDICE DE CUADROS</b>                                                                     | <b>vi</b>   |
| <b>INDICE DE FIGURAS</b>                                                                     | <b>vii</b>  |
| <b>RESUMEN</b>                                                                               | <b>viii</b> |
| <b>1. INTRODUCCI N</b>                                                                       | <b>1</b>    |
| 1.1 Justificaci n                                                                            | 1           |
| 1.2 Objetivos                                                                                | 2           |
| 1.3 Hipótesis                                                                                | 2           |
| 1.4 Supuestos                                                                                | 3           |
| <b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b>                                                             | <b>5</b>    |
| 2.1 Zonificación nacional de los terrenos forestales                                         | 5           |
| 2.1.1 Problemática de los recursos forestales                                                | 5           |
| 2.1.2 Base legal                                                                             | 7           |
| 2.1.3 Objetivo                                                                               | 9           |
| 2.1.4 Metodología de la zonificación forestal nacional                                       | 9           |
| 2.2 Características de las decisiones del uso forestal de la tierra                          | 12          |
| 2.2.1 Usos de los terrenos forestales                                                        | 12          |
| 2.2.2 Niveles de planificación para manejo forestal                                          | 16          |
| 2.3 Evaluación de tierras                                                                    | 18          |
| 2.3.1 Conceptos básicos de evaluación de tierras                                             | 20          |
| 2.3.2 Principios de evaluación de tierras                                                    | 23          |
| 2.3.3 La evaluación de tierras y su relación con otras técnicas forestales                   | 26          |
| 2.4 Manejo forestal de conservación                                                          | 29          |
| 2.4.1 Requerimientos para manejo forestal de conservación                                    | 30          |
| 2.4.2 Ventajas y restricciones de la evaluación de tierras para manejo de conservación       | 32          |
| 2.4.3 Métodos para determinar cualidades de conservación                                     | 34          |
| 2.5 Riesgo de erosión como criterio de evaluación de tierras                                 | 36          |
| 2.6 Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos para predecir riesgo de erosión | 40          |

## RESUMEN

Este trabajo consistió en desarrollar un procedimiento cuantitativo de evaluación de aptitud de tierras, mediante un sistema de información geográfico (SIG GRASS 4.0) de la zona 14 de la proyección Universal Transversal de Mercator que comprende el estado de Guerrero. El procedimiento utilizó como principal cualidad de la tierra en el efecto del riesgo de erosión hídrica que podrían tener los terrenos si carecieran de una cubierta vegetal protectora. Este riesgo de erosión máximo fue valuado con la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en función de la erosividad de la lluvia, la resistencia del suelo a ser erosionado y del efecto de los factores del relieve: inclinación y longitud de la pendiente. Se demuestra que es factible proponer zonas forestales con base en los criterios de conservación, restauración y producción definidos en la legislación forestal de la República Mexicana. Las unidades cartográficas digitales obtenidas representan clases provisionales de aptitud de la tierra de grupos de vegetación y uso de la tierra evaluadas principalmente por su máximo riesgo erosión hídrica.

**Palabras clave:** Evaluación de tierras, Zonificación de terrenos forestales, SIG, riesgo de erosión hídrica, estado de Guerrero.

## SUMMARY

This work was carried out to develop a quantified land suitability procedure through a geographical information system (GIS GRASS 4.0) of area 14 UTM coverage found in the State of Guerrero Mexico. This procedure was based land degradation risk by hydric erosion and the effect that a lack of protective vegetation as major land quality. Risk of erosion was calculated using Wischmeier's Universal Soil Loss Equation determined by rain erosivity, soil erodibility and relief effect factor, includes steepness and lenght slope. This evaluation indicates the feasibility of using forest zones, considering criteria of conservation, restoration and wood production areas defined in Mexican Forest Legislation. Digital cartographic units which represent provisional types of land suitability according to vegetation and land use groups evaluated by this erosion risk.

**Key words:** Land evaluation, forest zonification, GIS, risk of soil erosion, Guerrero State, Mexico.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Justificación**

La experiencia que se ha tenido en otros países para lograr un buen conocimiento de las características de los terrenos forestales, sugiere la aplicación necesariamente de procedimientos de evaluación de tierras, a fin de proponer alternativas de uso entre el forestal y otros. Además de poder apoyar con esta evaluación las decisiones e instrumentos de política que tome el Estado para optimizar los beneficios de las diferentes funciones del bosque.

De acuerdo con el Artículo 1º de la Ley Forestal vigente, el objetivo central de esta ley es regular fomentar la conservación, protección, restauración, aprovechamiento, manejo, cultivo y producción de los recursos forestales del país a fin propiciar el desarrollo sustentable.

De ahí que en esta ley, entre algunas de las atribuciones del Ejecutivo Federal indique la de especificar los criterios para delimitar los distintos tipos de zonas en que se dividirán los terrenos forestales y de aptitud preferentemente forestal, a fin de aplicar una zonificación como instrumento de planificación del uso de los recursos silvícolas, mediante la cual se delimitan los usos y destinos de los terrenos forestales.

Asimismo, la determinación de dichas zonas forestales con base en los criterios de conservación, restauración y producción que ordena el Reglamento publicado en 1994 de esta Ley, implica un nivel de decisión nacional para la planificación del uso de la tierra, que tiene como característica distintiva de que es necesaria para un manejo forestal con fines de conservación y para ordenar el uso de los terrenos forestales o de aptitud preferentemente forestal, donde se infiere que el objetivo primario es la conservación de la naturaleza o la restauración de la tierra degradada.

Lo anterior justifica que en este trabajo se proponga realizar un procedimiento cuantitativo de evaluación de aptitud de uso de la tierra, para un nivel de planificación nacional o estatal, donde se considere decidir cual es el uso más adecuado de los terrenos forestales y de aptitud preferentemente forestal, en el cual el riesgo de erosión hídrica con ausencia de vegetación sea el atributo principal, y los requerimientos de uso de los terrenos forestales se fundamenten en la evaluación de la severidad de efectos ambientales adversos si la tierra no estuviera bajo una cubierta vegetal natural y de que tan efectiva es esta cubierta en la protección contra estos efectos adversos. Esto conlleva a que se propongan los siguientes objetivos e hipótesis de trabajo:

## **1.2 Objetivos**

1. Aportar en un sistema simple los elementos de información geográficos que permitan determinar las zonas forestales para el estado de Guerrero, con los criterios de conservación, restauración y producción que indica el Reglamento de la Ley Forestal publicado en 1994.
2. Ensayar un procedimiento de evaluación de aptitud de tierras con fines de manejo forestal con fines de conservación en el que la principal cualidad de la tierra sea el riesgo de erosión hídrica.
3. Presentar los resultados cuantitativos de la construcción de un mapa de aptitud de la tierra fundamentado en la zonificación nacional que establece la Ley Forestal.

## **1.3 Hipótesis**

1. Es posible realizar la zonificación a un nivel de reconocimiento bajo un procedimiento cuantitativo de evaluación de aptitud de uso de la tierra con fines forestales, con la información cartográfica digital que se elaboró para el Inventario Nacional Forestal Periódico.

2. En virtud de que no es factible distinguir la evidencia de erosión con la información disponible a nivel estatal, el riesgo de erosión hídrica puede ser la cualidad principal para evaluar tipos de utilización de la tierra, esto es las zonas forestales. Fundamentalmente para delimitar zonas de productividad maderable baja, zonas de restauración en terrenos con degradación media y baja o zonas con terrenos aptos para plantaciones forestales.
3. Como en la actualidad no existe un modelo matemático ensayado y aceptado para evaluar el riesgo de erosión hídrica, es posible efectuar esta evaluación mediante la eliminación del efecto por factores humanos del modelo paramétrico conocido como Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, modificado por FAO (1980).

#### **1.4 Supuestos**

1. La información cartográfica del Inventario Nacional Forestal Periódico es resultado de un levantamiento a nivel de reconocimiento y es apropiada para los fines de zonificación nacional que estipula la Ley Forestal vigente.
2. La información empleada en la construcción del modelo es homogénea para cada unidad cartográfica de acuerdo con la escala de los mapas utilizados.
3. Los criterios de conservación, restauración y producción que definen las zonas forestales como lo indica el artículo 7º del Reglamento de la Ley publicado en 1994, están dirigidos a lograr un uso apropiado de la tierra, en particular en las áreas forestales, y se encuentran dentro del contexto de las condiciones físicas, políticas, sociales, económicas y de protección ambiental del país. Por tanto, los objetivos, limitaciones y supuestos para identificar, seleccionar y describir los tipos de utilización de la tierra ya esta predeterminada por estas zonas forestales.

4. Para definir las cualidades de los terrenos con bosques y selvas en las zonas de productividad maderable alta y media, los criterios de clasificación cobertura de copa natural y altura promedio de los árboles que señala dicho Reglamento son equiparables a los tipos y espesura de vegetación arbolada que determinó el Inventario Nacional Forestal Periódico.
5. Los mapas digitales obtenidos para cada factor de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo requieren de comprobación en diferentes condiciones de terreno, por lo que la metodología para la evaluación del riesgo de erosión es una primera aproximación. Sin embargo los valores de las variables se eligen de tal manera que la resolución de dicho modelo proporciona una indicación cuantitativa del riesgo de erosión hídrica.
6. Como las ecuaciones y estimaciones de cada uno de los factores de este modelo sólo describen los procesos aproximadamente, el resultado final se considerará simplemente como un indicador de la probable magnitud de la erosión hídrica, si en un terreno es eliminada la vegetación natural.



## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Zonificación nacional de los terrenos forestales**

La Ley Forestal vigente, especifica los criterios para delimitar los distintos tipos de zonas en que se dividirán los terrenos forestales y de aptitud preferentemente forestal, a fin de aplicar una zonificación como instrumento de planificación del uso de los recursos silvícolas.

SARH (1993a) refiere que por ello en la exposición de motivos para someter a la consideración del Honorable Congreso de la Unión la iniciativa de la Ley Forestal que se aprobó en 1992, se menciona que parte de las selvas y de los bosques deben ser preservados por razones ecológicas. También refiere que deben quedar claramente definidos los criterios para la delimitar las áreas de uso preferentemente forestal y aquellas que se puedan dedicar a otras actividades.

#### **2.1.1 Problemática de los recursos forestales**

Además en dicha exposición de motivos se presenta una evaluación del estado actual de los recursos forestales, y se puntualiza con respecto a la problemática de los recursos forestales del país lo siguiente (SARH, 1993a):

“Los bosques y selvas del país están siendo deforestados a tasas elevadas, siendo mayor el deterioro de estas últimas, pues son más frágiles y no pueden regenerarse artificialmente. La expansión de la agricultura marginal, la ganadería extensiva, la tala clandestina y los incendios forestales, son las causas directas más importantes de este deterioro. Se estima que poco más del 30% de las superficies arboladas del país han desaparecido de 1960 a la fecha y que anualmente se desforestan alrededor de 340 mil hectáreas.

La transformación acelerada de los bosques y selvas del país en campos agrícolas y potreros han dado como resultado un aumento en la degradación de los suelos por efecto de la erosión ocasionada por la lluvia. Un análisis de ésta muestra que anualmente se pierden entre 150 mil y 200 mil hectáreas de tierra arable y que en los últimos 30 años, se han perdido cinco veces más suelos que en toda la historia del país.

La deforestación también provoca la pérdida de especies animales y vegetales. Los bosques de México, tanto los tropicales como los templados, cuentan con gran cantidad de especies endémicas. La deforestación conlleva la extinción de esas especies que son el patrimonio biológico del país. La deforestación de las selvas es particularmente grave, ya que ésta es muy acelerada y su regeneración es más difícil. Además, existe suficiente evidencia científica para afirmar que si la selva se reduce a un cierto tamaño, sus posibilidades de regeneración se reducen sensiblemente.

No obstante la situación crítica que enfrenta el sector forestal, existen grandes extensiones de tierra susceptibles de reforestación. México cuenta con aproximadamente 110 millones de hectáreas de suelo con aptitud forestal que están en condiciones de ser plantadas en los próximos años. Esta superficie constituye una de las mayores áreas con potencial forestal en manos de un solo país.

Parte de las selvas y de los bosques deben ser preservados por razones ecológicas. Para ello es necesario hacer explícitos los criterios que normarán la actuación del Estado en su demarcación y administración, aprovechando experiencias internacionales exitosas. También deben quedar claramente definidos los criterios para la delimitación de las áreas de uso preferentemente forestal y de aquéllas que se pueden dedicar a otras actividades. La delimitación de usos e intensidad del aprovechamiento de acuerdo a sus características ecológicas, comerciales y sociales serán uno de los instrumentos principales de la ley que se propone en la presente iniciativa”.

### 2.1.2 Base legal

La Ley Forestal reformada mediante un decreto que se publicó el 20 de mayo de 1997 en el Diario Oficial de la Federación, en su Artículo 1º establece la política forestal y las normas y medidas que se observarán en la regulación y fomento de las actividades forestales del país y tendrá entre otros propósitos:

- Conservar, proteger y restaurar los recursos forestales y la biodiversidad de sus ecosistemas.
- Proteger las cuencas y cauces de los ríos y los sistemas de drenaje natural, así como prevenir y controlar la erosión de los suelos y procurar su restauración.
- Lograr un manejo sustentable de los recursos forestales que contribuya al desarrollo socioeconómico de los ejidatarios, comuneros y demás propietarios o poseedores de dichos recursos, con pleno respeto a la integridad funcional y a las capacidades de carga de los ecosistemas de que forman parte los recursos forestales.

En el Artículo 3º BIS de esta Ley se definen los terrenos forestales como los que están cubiertos por vegetación forestal, excluyendo aquellos situados en áreas urbanas, y los terrenos de aptitud preferentemente forestal son aquellos que no estando cubiertos por dicha vegetación, por sus condiciones de clima, suelo y topografía puedan incorporarse al uso forestal, excluyendo los situados en áreas urbanas y los que, sin sufrir degradación permanente, puedan ser utilizados en agricultura y ganadería.

Además especifica esta Ley en el Artículo 10º que con base en el inventario forestal nacional y el ordenamiento ecológico del territorio nacional, la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) llevará acabo la zonificación de los terrenos forestales y de aptitud preferentemente forestal, con el objeto de delimitar sus usos y destinos, considerando primordialmente los criterios de conservación, producción y restauración. Dicha zonificación deberá publicarse en el Diario Oficial de la Federación.

Por otra parte, en el Reglamento de la Ley Forestal (RLF) publicado en 1994 establece en su Artículo 7º la definición de los tipos de superficies que integran las zonas de conservación, producción y restauración, las cuales deberán quedar comprendidas en el inventario forestal nacional, a fin de servir de base para una adecuada planeación indicativa del uso de los recursos forestales, así como para la canalización de estímulos y apoyos.

Según este Artículo 7º “la Secretaría” (SEMARNAP) llevará a cabo la zonificación nacional de los terrenos forestales y de aptitud preferentemente forestal, con base en el inventario forestal nacional y el ordenamiento ecológico previsto en la ley de la materia, como un instrumento de apoyo para la planeación indicativa del uso de los recursos forestales, así como para la canalización de estímulos y apoyos, de conformidad con los siguientes criterios:

**I. Zonas de conservación:**

- a) Áreas naturales protegidas;
- b) Superficies localizadas por arriba de los 3,600 metros sobre el nivel del mar;
- c) Superficies con pendientes mayores al 100%, y
- d) Superficies con vegetación de manglar.

**II. Zonas de producción:**

- a) Terrenos forestales de productividad maderable alta, caracterizados por tener una cobertura de copa natural de más del 50% y una altura promedio de los árboles dominantes igual o mayor a 16 metros,
- b) Terrenos forestales de productividad maderable media, caracterizados por tener una cobertura de copa natural de entre 20% y 50% o una altura promedio de los árboles dominantes menor a 16 metros;
- c) Terrenos forestales de productividad maderable baja, caracterizados por tener una cobertura de copa natural inferior al 20%, siempre que no muestren evidencias de erosión;

- d) Terrenos con vegetación forestal de zonas áridas, aptos para el aprovechamiento de recursos no maderables, y
- e) Terrenos no degradados, adecuados para el establecimiento de plantaciones forestales.

### **III. Zonas de restauración:**

- a) Terrenos con degradación alta, caracterizados por carecer de vegetación forestal y mostrar evidencia de erosión severa, con presencia de cárcavas;
- b) Terrenos con degradación media, caracterizados por tener una cobertura de copa menor al 20% y mostrar evidencia de erosión severa, con presencia de canalillos;
- c) Terrenos con degradación baja, caracterizados por tener una cobertura de copa inferior al 20% y mostrar evidencia de erosión laminar, y
- d) Terrenos degradados que ya estén sometidos a tratamientos de recuperación, tales como forestación, reforestación o regeneración natural.

#### **2.1.3 Objetivo**

Con base en la exposición de motivos y de acuerdo con el fundamento legal descritos anteriormente, el objetivo de la zonificación nacional es delimitar el uso más adecuado de los terrenos forestales y de aptitud preferentemente forestal, de acuerdo a sus usos y destinos, a fin de orientar el manejo adecuado de los recursos forestales del país, bajo los criterios de conservación, restauración y producción que permitan una planificación indicativa dirigida a reducir la degradación de los recursos forestales, alcanzar la sustentabilidad en la producción y recuperar los terrenos de aptitud preferentemente forestal afectados por los procesos degradatorios a los que han sido sometidos (SARH, 1993a).

#### **2.1.4 Metodología de la zonificación forestal nacional**

SARH (1994b) refiere que la ejecución del Inventario Nacional Forestal Periódico (INFP) incluyó un mapa de zonificación forestal de la República mexicana, realizado en un sistema de información geográfica a partir de la combinación de un mapa de riesgo

de erosión, del propio mapa de vegetación y uso del suelo del INFP, de las coberturas de las principales 73 áreas naturales protegidas del país, y del modelo digital de elevación del terreno. Los criterios de zonificación se definieron de la manera siguiente:

### **Zonas de producción:**

Superficie: 109,172,229 hectáreas. Estas zonas tienen condiciones de vegetación y suelo apropiados para la producción de madera y otros productos no maderables en forma sostenida. Se dividen en las clases siguientes:

- PMA Producción maderable alta.** Terrenos forestales con potencial de productividad maderable alta, caracterizados por tener una cobertura de copas de los árboles de más del 50% del terreno y una altura promedio de los árboles dominantes igual o mayor a 16 metros.
- PMM Producción maderable media.** Terrenos forestales con potencial de productividad maderable media, caracterizados por tener una cobertura de copa de árboles del 20% al 50% del terreno, y una altura promedio de los árboles dominantes menor a 16 metros.
- PMB Producción maderable baja.** Terrenos forestales con potencial de productividad maderable baja, caracterizados por tener una cobertura de copa de árboles menor al 20% del terreno, siempre que se estime que no existen riesgos de erosión moderada.
- PMR Producción maderable restringida.** Terrenos con bosques y selvas como los indicados en las tres clases anteriores, en los que se estima que por sus condiciones de clima, suelo y pendiente, tengan al menos riesgo de erosión moderada en caso de aprovechamiento forestal persistente y comercial.
- TAP Terrenos aptos para plantaciones forestales.** Terrenos de aptitud preferentemente forestal, no degradados, adecuados para el establecimiento de plantaciones forestales.

**PNM Producción no maderable.** Son los terrenos con vegetación de zonas áridas aptos para el aprovechamiento de recursos no maderables.

**Zonas de restauración:**

Superficie: 30,636,797 hectáreas. Son terrenos de aptitud forestal dedicados a otros usos o que están en proceso de degradación por incendios, plagas, y otros factores. Incluyen terrenos con riesgo de erosión evidente y se dividen en:

**RDA Terrenos con degradación alta.** Terrenos de aptitud forestal caracterizados por carecer de vegetación natural y mostrar evidencia de erosión, con riesgo de erosión severa.

**RDM Terrenos con degradación media.** Terrenos de aptitud forestal caracterizados por tener una cobertura de copa de los árboles menor al 20% del terreno, y mostrar evidencia de erosión, con riesgo de erosión alta.

**RDB Terrenos con degradación baja.** Terrenos de aptitud forestal caracterizados por tener una cobertura de copa de los árboles inferior al 20% y mostrar evidencia de erosión, con riesgo de erosión moderada.

**TDR Terrenos degradados en recuperación.** Terrenos degradados sometidos a tratamientos de reforestación o con regeneración natural, identificados en las imágenes de satélite.

**Zonas de conservación:**

**C** Superficie: 9,017,969 hectáreas. Son los terrenos declarados como áreas naturales protegidas (incluye las 73 áreas principales), o localizados por arriba de los 3,600 msnm o con superficies en pendientes mayores al 100%, y los que tienen vegetación de manglar o de galería.

**No forestal:**

**NF** Considera a los terrenos sin vegetación forestal, con menos del 15% de pendiente, que actualmente están en uso no forestal estabilizado.

Finalmente, SARH (1994b) estima la superficie de las zonas forestales de producción, restauración y conservación para cada una de las entidades federativas. Las zonas forestales en el estado de Guerrero cubren una superficie de 5,656,302 ha, de la cual 46,231 ha se consideraron zonas de conservación, 2,207,079 ha de restauración y 3,403,092 ha de producción.

## **2.2 Características de las decisiones del uso forestal de la tierra**

Las decisiones acerca del uso de la tierra han sido siempre parte de la sociedad. Una de las decisiones más antiguas tuvo relación con la interrogante sobre qué tierras bajo cobertura forestal podían desmontarse y convertirse a usos agrícolas. Tales decisiones se toman en áreas en donde el crecimiento de las poblaciones requiere más tierra para producción de alimentos. La demanda creciente de madera y más recientemente de leña como combustible, ha conducido a cambios en el uso de la tierra en el sentido opuesto mediante el establecimiento de plantaciones forestales (FAO, 1985).

### **2.2.1 Usos de los terrenos forestales**

FAO (1986) sugiere que para los fines generales de la administración de los recursos forestales tropicales, como es el caso de México en el que se pueden considerar como prioritarios los siguientes grupos amplios de uso de la tierra con fines forestales:

1. **Áreas críticas.** En este grupo se incluyen aquellas áreas que son objeto de deforestación o degradación, o que están amenazadas por estos procesos en una extensión y/o en una forma tales, que los resultados serán desastrosos para el medio ambiente y/o desde un punto de vista social. Las áreas críticas son:
  - a) Cuencas hidrográficas montañosas.
  - b) Áreas forestales en zonas con un déficit de leña.
  - c) Áreas forestales en zonas con déficit de tierra agrícola.
  - d) Áreas forestales erosionadas.
  - e) Bosques explotados excesivamente para producción de madera.



- f) Áreas forestales habitadas por poblaciones aborígenes, que requieren una atención gubernamental particular.
  - g) Bosques remotos de accesibilidad reciente o inminente.
  - h) Áreas forestales en islas pequeñas.
2. **Áreas protegidas.** Son las áreas que presentan un interés particular, debido a su gran variedad ecológica, a la riqueza de su fauna, a sus valores recreativos científicos y estéticos, por sus muestras únicas altamente representativas de ecosistemas naturales o contienen recursos genéticos importantes, que pueden encontrarse en peligro de destrucción o de extinción.
3. **Bosques naturales dedicados principalmente a la producción.** Este grupo comprende los bosques que se destinan a la producción de materias primas, normalmente madera, y se encuentran fuera de las necesidades de la población local. Los métodos empleados para administrar los bosques para la producción dependerán generalmente del mercadeo de los productos y del diseño y ejecución de un buen sistema de aprovechamiento y transporte para un desarrollo industrial.
4. **Bosques naturales destinados principalmente a la protección.** La selección de las áreas de protección se ajustará a las características topográficas, a la estructura del suelo, a los factores climatológicos y a la evidencia de problemas de desertificación. Su manejo debe dar prioridad a la protección del medio ambiente, pero sin descuidar las funciones de producción compatibles con estas medidas.
5. **Áreas destinadas a bosques artificiales.** La creciente demanda mundial de madera como materia prima para la industria y la creciente necesidad de madera en los países en desarrollo que se utiliza como fuente de energía, dan una mayor importancia a la función económica de numerosas áreas tropicales adecuadas para el establecimiento de bosques artificiales con especies arbóreas de crecimiento rápido.

Por otra parte en la evaluación de recursos forestales mundial propuesta por FAO para 1990, define la función del bosque como la capacidad de la tierra para soportar determinados usos, como son la conservación natural, la protección del agua y el suelo, la producción de madera, etc., por lo que determina para la función de los bosques tres importantes clases (FAO, 1989):

1. **Bosques de conservación.** Son áreas destinadas para conservación por ley u otras regulaciones, tales como parques nacionales, reservas biológicas, áreas de captación de agua, etc.
2. **Bosques de protección.** Estos bosques están generalmente localizados sobre terrenos demasiado empinados o accidentados, o sujetos a inundaciones periódicas o permanentes y por lo tanto de manejo forestal difícil, porque son físicamente improductivos. Se excluye en este concepto las áreas consideradas como bosques de conservación.
3. **Bosques de producción.** Estos bosques tienen condiciones apropiadas de terreno y del suelo para la producción de madera y de otros productos en forma sostenida. La distancia a los centros de consumo o exportación, no es tomada en cuenta, lo que quiere decir que se incluyen también en esta clase los bosques económicamente inaccesibles.

Vink (1983) reconoce cuatro diferentes clases de paisajes a distinguir para conservación de la naturaleza:

1. **Paisajes naturales.** La vegetación y la fauna son nativas del lugar y no han tenido la influencia del hombre.
2. **Paisajes relativamente naturales.** La vegetación y la fauna son siempre o predominantemente indígenas, con algunas excepciones. La vegetación ha sufrido alguna influencia humana, pero es muy similar a la vegetación natural.

3. **Paisajes seminaturales.** La vegetación y la fauna son principalmente originales, pero la estructura y las características visuales de la vegetación han sufrido una influencia humana intensiva.
4. **Paisajes culturales.** En un sentido estricto, la composición de la vegetación y la fauna ha sido cambiada esencialmente por los hombres. En muchos casos extremos, la especie dominante ha sido importada por el hombre, por ejemplo tierras cultivables o bosque de especies exóticas.

FAO (1985) al respecto menciona que la intervención humana de acuerdo con la intensidad del manejo forestal, comienza con los bosques naturales valorados por su función de conservación y manejados solamente para protección. Hay también bosques con una baja intensidad de manejo sujetos a aprovechamiento selectivo y sin ningún esfuerzo para inducir la regeneración natural. En el siguiente nivel se tienen aquellos bosques naturales productivos en los que la regeneración es casi totalmente natural. En otro nivel siguen los bosques mejorados a través de una variedad de prácticas silvícolas para obtener la regeneración de especies deseadas. La etapa terminal del manejo forestal es en plantaciones con especies forestales seleccionadas, incluye especies exóticas y genótipos mejorados de especies nativas. En esta etapa la forma del árbol es mejorada con podas y entresacas, además sí es posible, se introducen mejoras en la calidad del sitio, por ejemplo con la construcción de obras de drenaje en áreas sujetas a inundaciones periódicas.

Booth (1984) menciona que es importante a considerar el uso múltiple de los bosques en su manejo. El bosque debe ser utilizado no sólo para producción de madera, también para conservación de la naturaleza, recreación y protección de cuencas. Por ello, la evaluación de tierras con fines forestales debe considerar incluir todos estos usos.

FAO (1985) señala que: el manejo o administración de los recursos forestales está dirigido a lograr un uso óptimo de la tierra, en particular integrando las formas forestales y agrícolas de uso, frecuentemente en circunstancias naturales y socioeconómicas com-

plejas; por lo que debe fundarse en la estratificación de las zonas forestales, basada en la clasificación de la capacidad de uso de las tierras y, a continuación, proceder a la organización y ejecución de actividades de tipo práctico. Las decisiones relativas al uso de la tierra se basan en una serie de factores políticos, sociales, económicos y físicos, pero la clasificación sistemática de las tierras, fundada en sus características físicas, interpretadas en función de los objetivos de la administración, debe servir como base para la adopción de decisiones acerca de su uso final.

Mendoza (1993) puntualiza “una de las lecciones que la historia nos ha dado es que la explotación irrestricta de los recursos forestales por parte de propietarios privados suele conducir al deterioro, cuando no a la destrucción de los bosques. Este ha sido el motivo por el cual el Estado ha intervenido en diferentes momentos y países, para normar la actividad forestal en representación del interés social. La función del Estado ha sido frecuentemente asegurar la continuidad de la producción forestal y proteger a sectores sociales cuyos intereses podrían ser indirectamente afectados por las actividades de aprovechamiento forestal. En general la intervención estatal ha motivado el interés de la sociedad por la resolución racional del problema del manejo forestal. Es difícil concebir que la administración racional de los recursos forestales se diera sin la necesaria participación del Estado, porque a diferencia de otras ramas de la actividad económica, donde la participación de éste suele ser insignificante, la industria forestal tiene peculiaridades que complican el proceso de producción y que interfieren de múltiples formas con el bienestar de la sociedad en su conjunto”.

### **2.2.2 Niveles de planificación para manejo forestal**

FAO (1985) menciona con respecto a este tema que los estudios forestales consideran decisiones de manejo que se asimilan a escalas espaciales en las cuales ocurre la planificación y, pueden clasificarse como sigue:

1. **Nivel global o continental.** Se trata de estudios estratégicos realizados por agencias internacionales como una base para la formulación de pautas generales de

planificación. El proyecto FAO para la evaluación de los recursos forestales tropicales es un estudio mundial de esta naturaleza, pero no es en sí mismo una evaluación, aunque proporciona muchos datos relacionados.

2. **Nivel nacional o provincial.** Comprende países enteros, o regiones o divisiones administrativas de países grandes. Estos estudios pueden ser básicos para la toma de decisiones sobre la distribución entre los tipos mayores de uso de la tierra, por ejemplo, transformación de terrenos bajo cubierta de bosques en áreas agrícolas, instaurar parques nacionales, o para la protección de zonas de embalses. También estos estudios permiten establecer lineamientos sobre diferentes tipos de ordenación forestal, por ejemplo, qué terrenos con ciertas clases de inclinación de la pendiente podrían permanecer como bosque protector.
3. **Nivel de distrito o de proyecto.** Cubren divisiones administrativas más pequeñas, tales como distritos o municipios, grandes cuencas hidrográficas o áreas protectoras. Los objetivos de estos estudios deben incluir la localización de tierras para ser destinadas a la producción maderera y de leña, para la conservación de bosques, para la selección de las áreas más aconsejables para el establecimiento de plantaciones forestales, o para la distribución de la tierra entre producción forestal, agrícola y pastizales dentro de proyectos de desarrollo integrado.
4. **Nivel local.** Son estudios llevados a cabo para propósitos de manejo detallado, frecuentemente de un compartimiento, cuyos límites están ya determinados, por ejemplo un predio. Los cambios en el tipo de uso de la tierra, entre bosque y uso no forestal, pueden ocurrir también en esta escala, por ejemplo, la regularización y limitación de las invasiones de cultivos agrícolas en tierras forestales, o en la preparación de un plan de manejo del suelo.

Existe una interacción entre la planificación a estos diferentes niveles, las estrategias referidas a los niveles nacional y provincial proveen claramente el marco de referencia a nivel de distrito o de proyecto, y similarmente la planificación del distrito hacia niveles

locales y también el efecto inverso, cualquier decisión que se tome a nivel local, por ejemplo, expandir o reducir el área de producción forestal, tiene un impacto acumulativo sobre la problemática total. El Cuadro 1 proporciona ejemplos de combinaciones entre el tipo de decisión y el nivel de planificación.

**Cuadro 1. Ejemplos de decisiones de planificación de uso forestal de la tierra.**

| Niveles de planificación | Tipos de decisión                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                |                                           |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                          | Clases de uso de la tierra                                                                                                                                                 | Clases de uso forestal                                                                                                                         | Clases de manejo forestal                 |
| GLOBAL/<br>REGIONAL      | Estudios estratégicos de recursos forestales, suministro y demanda potenciales.                                                                                            | Estudios regionales de manejo de cuencas, estudios regionales de desarrollo de recursos forestales y promoción de la cooperación entre países. |                                           |
| NACIONAL/<br>PROVINCIAL  | Conversión de bosque a agricultura o uso no forestal a bosque. Parques Nacionales                                                                                          | Directrices nacionales sobre bosques para producción, protección, recreación y zonas protectoras de embalses.                                  | Política de manejo forestal.              |
| DISTRITO/<br>PROYECTO    | Conversión de bosque a agricultura o uso no forestal a bosque. Establecimiento de plantaciones forestales. Distribución de tierra en proyectos integrados de uso múltiple. | Asignación de terrenos forestales para producción, protección, recreación, etc.                                                                | Preparación de planes de manejo forestal. |
|                          | MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS                                                                                                                                            |                                                                                                                                                |                                           |
| LOCAL                    | Ajuste de límites de reservas forestales. Extensión de áreas de bosques veredales.                                                                                         | Necesidades locales y su incorporación a los planes de manejo forestal.                                                                        | Ejecución de planes de manejo forestal.   |

Fuente: FAO, 1985 (Cuadro 1.1 página 4).

Carpenter (1987) menciona que los métodos avanzados de planificación y manejo hacen hincapié en planear en forma integrada a nivel regional con horizontes de planeación amplios, puesto que un enfoque integrado puede superar la miopía de planificar a nivel de proyectos individuales y complementar la planificación sectorial que a menudo no toma en cuenta los impactos y requisitos de otros sectores en la misma región.

## 2.3 Evaluación de tierras

Basinski (1984) señala que en la evaluación de tierras la agricultura, la silvicultura y la conservación de la naturaleza son las tres formas principales del uso rural de la tierra. Define la evaluación de tierras como la valoración basada en la experiencia local o la predicción mediante deducción de conocimientos adquiridos en otra parte de las cuali-

dades de la tierra para un uso específico en términos de: productividad, riesgos de degradación y requerimientos de insumos y tecnología. El objeto de la evaluación de tierras es determinar las consecuencias físicas, biológicas, económicas y sociales de las posibles opciones de uso de la tierra para diferentes áreas de una región, desde un rango que va de un solo predio al país entero. Esta evaluación es una fase media de planificación indispensable para determinar el uso de la tierra o los procesos de evaluación de impacto ambiental.

Singh (1987) considera la evaluación de tierras como el proceso de valoración del rendimiento de la tierra cuando es utilizada para propósitos específicos. Involucra la ejecución e interpretación de reconocimientos y estudios fisiográficos, de suelos, de vegetación, de clima y de otros aspectos de la tierra que permitan identificar y hacer una comparación de clase promisorias de usos de la tierra en los términos de los objetivos de la evaluación.

Hamilton (1981) citado por FAO (1985) agrega al respecto que la evaluación de tierras tiene que ver con la identificación de los cambios posibles en el uso del suelo o en su manejo, de tal manera que satisfaga las necesidades locales o nacionales, y con formular estimativas de las consecuencias de usos alternativos. Dos situaciones en las cuales la evaluación de tierras es apropiada han sido descritas en los términos de responder teóricamente a ¿dónde practicar la mejor clase de uso de la tierra? y prácticamente, a ¿cómo utilizar una área de terreno en la mejor forma?. Aunque incompleta, esta descripción dirige su atención hacia el enfoque de la evaluación de las tierras, propiamente en la decisión de dónde los cambios de uso o manejo de la tierra propuestos podrían realizarse. La necesidad del cambio puede surgir de requerimientos nacionales, por ejemplo: aumentar la producción maderera, satisfacer las necesidades de la población local de leña o diagnosticar y combatir la degradación del suelo.

Por ello, Beek y Laban (1981) indican que la metodología de evaluación de tierras no significa que debe ser un manual preciso en el cual se tengan que fijar los procedimientos. Por el contrario, cada método puede y tiene que ser usado para diferentes



niveles de detalle y escalas de mapas, según sean los propósitos o el rango de alternativas de uso de la tierra en un tiempo dado. Cada aplicación de la metodología de la evaluación de tierras debe ser adaptada a esas condiciones, al propósito y nivel de detalle de los resultados esperados de la evaluación de tierras.

### **2.3.1 Conceptos básicos de evaluación de tierras**

FAO (1985) define para propósitos de evaluación de tierras los conceptos básicos y la terminología siguiente:

1. **Requerimientos de uso de la tierra.** Son las condiciones de la misma necesarias o deseables para la práctica exitosa y sostenida de un tipo de utilización de tierra.
2. **Limitaciones.** Son condiciones ambientales que afectan adversamente el potencial de la tierra para uso específico. En la mayoría de los casos, los requerimientos de uso de la tierra son limitaciones expresadas en sentido opuesto. Así, los suelos profundos son un requerimiento para el buen crecimiento de los árboles y los suelos superficiales una limitación.
3. **Tierra.** Como término se refiere a todos los aspectos del ambiente natural de una parte de la superficie terrestre, en la medida en que ellos ejerzan una influencia significativa sobre un potencial de uso por el hombre. Así, el concepto tierra cubre no solamente aspectos de geología, fisiografía y suelos, sino también, el clima, la vegetación y la fauna, incluyendo plagas y enfermedades. En donde quiera que haya rodales forestales, éstos forman parte de la tierra.
4. **Unidades de tierra.** Son áreas delimitadas de tierra con condiciones ambientales específicas, empleadas como una base de evaluación. Una unidad de tierra no se refiere a un tipo o escala particular de un área mapificada sino es un término de conveniencia para designar un área que se ha seleccionado para evaluación. Así, en una escala de reconocimiento, las unidades de tierra podrían consistir de siste-



mas de tierra o tipos de bosque, mientras que a una escala detallada, las fases de tierra o las series de suelos podrían escogerse como apropiados. Las cualidades y características de la tierra son propiedades de las unidades de la tierra.

5. **Aptitud de la tierra.** Es la adaptabilidad de un tipo dado de tierra a un tipo específico de uso. La determinación de aptitud se hace por comparación entre los requerimientos de uso y las propiedades de la tierra, acopladas a análisis ambientales, económicos y sociales. La aptitud de la tierra se refiere siempre a un tipo específico de utilización definido en forma general o descrito en detalle; no puede existir una aptitud de la tierra sin referencia al tipo de uso para el cual es apta.
6. **Clases de aptitud de tierra.** Reflejan grados de aptitud. Dentro del orden "Apta" se reconocen tres clases normalmente: altas, moderadas y marginalmente aptas, las cuales se indican por los símbolos A1, A2 Y A3 respectivamente. Dentro del orden "No apto" hay dos clases: N1 no apto en la actualidad y N2, permanentemente no apto.
7. **Cualidad de tierra.** Es un atributo que actúa en una forma específica incluyendo la aptitud de la misma para un tipo específico de uso. Muchas cualidades de la tierra se relacionan estrechamente con los requerimientos de su uso. La mayoría de las cualidades de la tierra no pueden medirse directamente; ellas necesitan ser estimadas por medio de características de la tierra.
9. **Característica de la tierra.** Es una propiedad de la misma que puede ser medida o estimada y se emplea como medio de evaluación de la aptitud de tierra. Algunas propiedades de la tierra pueden medirse o estimarse por medio de una característica sencilla de la misma. Otras propiedades de la tierra reflejan la interacción de varias características, la susceptibilidad a la erosión hídrica, por ejemplo, resulta de la interacción entre la intensidad de lluvia, la permeabilidad y la erodabilidad del suelo junto con la protección de la cubierta vegetal.



Por ello, es posible basar una evaluación en las cualidades de la tierra medidas o estimadas por medio de características de la tierra. Las ventajas son:

- La lista de control relativamente corta de cualidades de la tierra suministra un medio de asegurarse de que ninguna influencia significativa sobre la aptitud ha sido omitida.
- Una misma cualidad de tierra puede estimarse por medios diferentes de acuerdo con los datos disponibles.
- El uso de cualidades de la tierra presta atención a la característica esencial de la evaluación de la tierra en relación con su influencia sobre su potencial de uso.
- Muchas cualidades de la tierra se relacionan estrechamente con los requerimientos de su uso.

Los resultados de la evaluación de tierras dan las siguientes tres clases de información (FAO, 1985):

1. **Descripción de los tipos de utilización de la tierra.** Cubren no solamente datos básicos descriptivos, como especies forestales, sino también prácticas de manejo como son los tipos de preparación del suelo, las entresacas y las cortas de regeneración. Las descripciones de los tipos de utilización de la tierra varían en detalle de acuerdo con los propósitos del estudio. En evaluaciones para planificación estratégica a nivel nacional, estas descripciones pueden ser indicaciones breves solamente por ejemplo: "bosques naturales de maderas duras para producción", "bosques naturales para conservación de cuencas hidrográficas", "plantaciones para pulpa". En un extremo opuesto, los estudios para la planificación del manejo forestal requieren especificaciones detalladas de los métodos silvícolas que mejor se adapten a cada tipo de tierra.
2. **Mapas de aptitud.** Muestran las aptitudes definidas de las unidades de tierra, para cada uno de los tipos relevantes de utilización

3. **Estimaciones sobre las consecuencias de las aplicaciones de cada tipo relevante de utilización de la tierra a cada unidad de tierra.** Estas consecuencias incluyen insumos y salidas tanto materiales como intangibles; el impacto ambiental, positivo o negativo de los modelos alternativos de uso y manejo de la tierra; las consecuencias sociales, tanto favorables, como adversas y el análisis económico basado sobre la evaluación de los beneficios y los costos.

### **2.3.2 Principios de evaluación de tierras**

FAO (1985) determina que la evaluación de tierras no toma decisiones para el usuario, sean éste el planificador de la tierra o el gerente general forestal. Ella esboza varias alternativas de acción y presenta las consecuencias de tales alternativas para cada uno de los diferentes tipos de tierra presentes en un área específica. Estas consecuencias incluyen:

- ¿Cómo está manejada la tierra actualmente y qué sucederá si las prácticas presentes continúan sin cambio?
- ¿Cuales cambios en el uso o en el mejoramiento de las prácticas de manejo son posibles?
- ¿Que posibles efectos adversos podrían ocurrir?
- ¿Qué insumos, capital y gastos recurrentes son necesarios?
- ¿Cuales son los posibles beneficios estimados en la producción o servicios de cada cambio de uso o manejo y en cada tipo de tierra?
- ¿Cuál es el mejor manejo forestal integrado o de uso múltiple para lograr el balance deseado de insumos, producción y conservación?

Young (1984) menciona los dos rasgos distintivos de la evaluación de tierras con fines forestales con respecto a una con fines agrícolas:

“El primero es la inclusión de la cubierta arbolada como un componente de la tierra. La definición de tierra incluye su vegetación existente, en la evaluación para producción agrícola, la vegetación normalmente se supone que deberá ser eliminada, y la atención

se concentra en prever el incremento de la producción agrícola. En el caso de la silvicultura de bosques naturales, se pueden predecir indirectamente tasas de crecimiento por la evaluación de variables de clima y suelo. El efecto neto posterior en los rodales del bosque, y sus recursos forestales aprovechables son valorados por un inventario de la vegetación existente.

El segundo caso distintivo surge donde la conservación es el propósito principal del manejo forestal. Para uso agrícola o, realmente para plantaciones forestales comerciales, la existencia de un alto riesgo de la erosión es una restricción adversa al uso propuesto. En contraste, en las situaciones de áreas de captación de agua con fuerte pendiente bajo una cubierta forestal, en la que es mayor el riesgo de erodabilidad, es más adecuado mantener la cubierta protectora del bosque actual, o en el caso de terrenos con deforestación, con erosión o con otros factores de degradación, en los cuales la severidad de la degradación, y en consecuencia la necesidad de restauración llega a ser sólo el criterio de aptitud, en estas situaciones es conceptualmente distinta por la necesidad de conservar los suelos y/o restaurar la vegetación y es frecuentemente una razón para proponer en estos terrenos intervenciones agroforestales potenciales”.

Además FAO (1985) señala que cuando la restauración de tierras es un objetivo, la severidad de la erosión puede tomarse como un criterio diagnóstico de aptitud, dando a las áreas que más lo necesitan la mayor clasificación sobre esta base. Alternativamente pueden asignarse calificaciones separadas para la severidad de la erosión presente, el valor de la tierra recuperada, y el éxito previsto de reforestación en cumplimiento de tal recuperación. Además en circunstancias de manejo forestal de conservación, las clases provisionales de aptitud de la tierra pueden evaluarse directamente, asignando, medidas de relativa necesidad o beneficio a las clases de aptitud. Por ejemplo, las áreas en donde el impacto ambiental de la remoción del bosque se ha calificado como "severo" podría atribuirse a una clase de aptitud A1; áreas en donde el impacto podría ser progresivamente menos severo, en A2 Y A3, mientras que el orden de aptitud N es apropiado cuando la necesidad de una cobertura protectora para propósitos de conservación es escasa o nula.

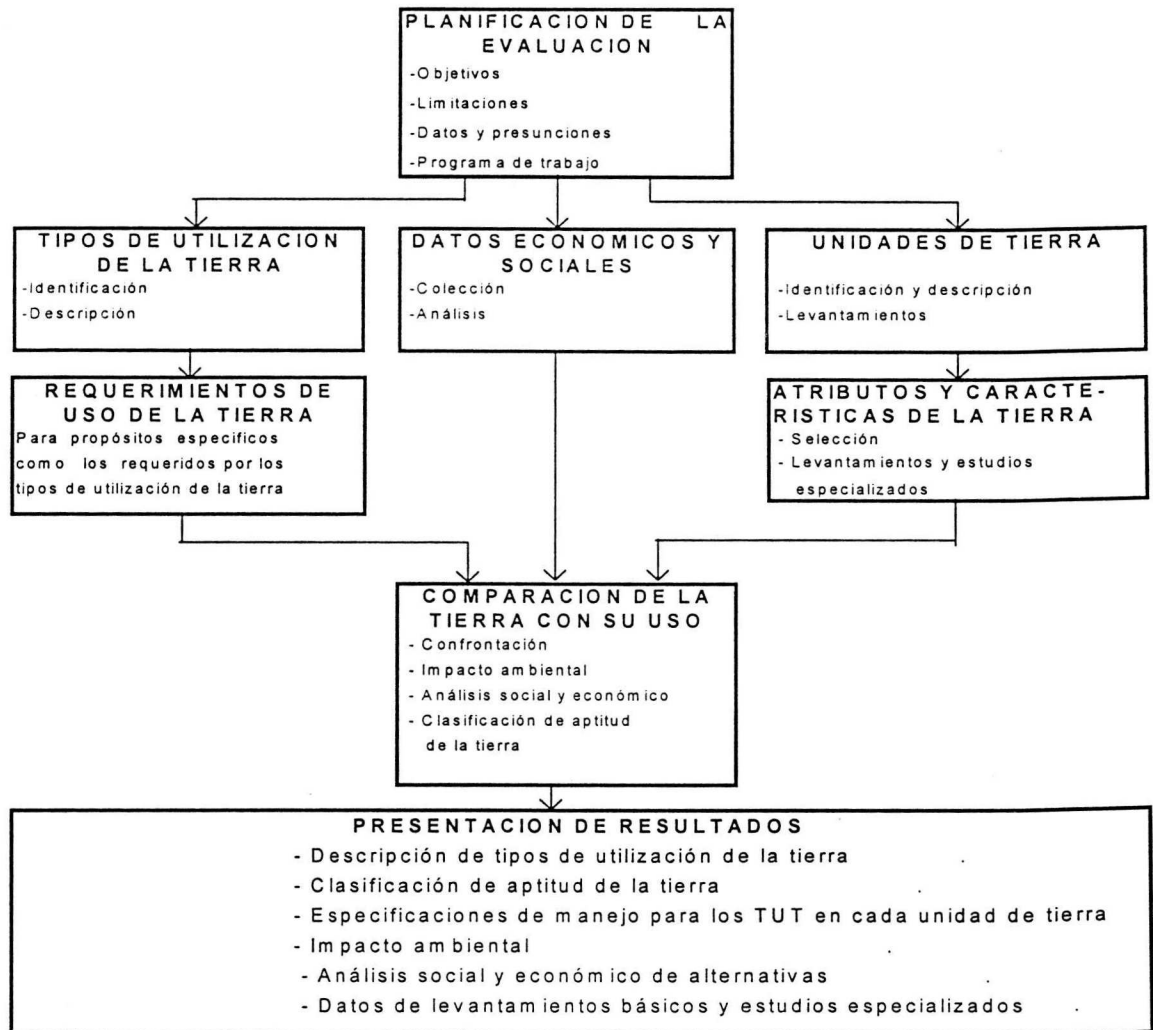
Vink (1983) agrega que una buena planificación del uso de la tierra implica donde sea necesario, tomar en cuenta la eliminación de la degradación del suelo en sus diferentes aspectos, de forma tal que se considere en las fases de evaluación de tierras para manejo forestal de conservación, por ejemplo:

- Identificación y análisis de las cualidades y limitaciones de la tierra con respecto a su degradación.
- Formulación oportuna y deseable de tipos de utilización de la tierra que continuamente incluyan varias prácticas de conservación de suelos.
- Sugerencia de clases de aptitud de la tierra para estos tipos de utilización.
- Identificación y análisis de las necesidades para mejorar las diferentes unidades de tierra, esto incluye obras permanentes y otras labores de conservación de suelos.

Estos principios y conceptos de la evaluación de tierras, Gatahi y Da Costa (1986) los aplicaron para evaluar la aptitud de la tierra con base en la resistencia a la erosión y otras cualidades de la tierra para una parte del Distrito de Kilifi, Kenia. El concepto de cualidad de la tierra fue aplicado en la selección de un criterio de diagnóstico. La cualidad de la tierra resistencia a la erosión fue estimada con las características de la erosividad de la lluvia, la erosionabilidad del suelo y la longitud y ángulo de la pendiente. La erosionabilidad del suelo fue determinada con estimaciones de laboratorio que valoraban el contenido de carbón, índice de permeabilidad y cantidad de limo y arena.

Por otra parte, Singh (1987) presenta un resumen conciso de los pasos sucesivos de un procedimiento cuantitativo de evaluación de tierras para conducirla con especial referencia al uso forestal. Donde el objetivo es identificar un grupo de especies y predecir su crecimiento para un conjunto de unidades de tierra con características físicas, socioeconómicas y ambientales específicas. La metodología fue acorde al esquema de procedimientos en evaluación de tierras de FAO (1985) que aparece en la Figura 1.

Figura 1. Esquema de procedimientos en evaluación de tierras.



Fuente: FAO, 1985 Figura 3.1 , página 24.

### 2.3.3 La evaluación de tierras y su relación con otras técnicas forestales

Muchas técnicas establecidas en el manejo forestal pueden contribuir en los procedimientos de evaluación de tierras. Entre ellas se encuentran las siguientes (FAO, 1985):

1. **Inventario forestal.** Es un diagnóstico de los recursos forestales existentes, primordialmente de la madera existente en pie, pero en algunos inventarios también se estudian tipos de sitio; caracterizados por el tipo de pendiente, de suelo y de drenaje. Un inventario forestal forma con seguridad una buena parte de los estudios de recursos básicos en las evaluaciones de tierras para bosques naturales.

2. **Estimación del volumen forestal.** Es un diagnóstico del volumen de madera existente en el bosque natural. Esta técnica forma parte del inventario forestal y por lo tanto tiene un papel similar en la evaluación de tierras.
3. **Predicción del rendimiento forestal.** Se trata de la predicción de las tasas de crecimiento del bosque, tanto natural como el de plantaciones forestales; incluye los métodos de estimación de índices de sitio. Esta técnica contribuye al componente básico del estudio de evaluación de tierras tanto para bosques naturales como para plantaciones y es una técnica de diagnóstico de mucha mayor importancia que en el último caso.
4. **Evaluación de costos de extracción.** Esta puede formar un componente de la evaluación de insumos en los procedimientos de la evaluación de tierras.
5. **Impacto ambiental de la actividad forestal.** El impacto ambiental es una etapa requerida en los procedimientos de evaluación de tierras y pueden utilizarse métodos ya establecidos con los detalles que las circunstancias requieran.
6. **Análisis económico de proyectos forestales.** La economía de la evaluación de tierras no se extiende de ninguna manera a la totalidad del análisis de un proyecto, aunque el límite es difícil de definir. Algunas técnicas estándar de análisis económico pueden emplearse en la evaluación de tierras. Inversamente, los resultados de la evaluación económica de aptitud de la tierra son una parte importante de los materiales de análisis económico de proyectos.
7. **Clasificación para uso forestal basada en las relaciones tierra/suelo/sitio.** Esta no es una simple técnica, sino un conjunto de métodos para clasificar tanto la vegetación como los tipos de sitio basados en factores climáticos y edáficos. La diferencia entre clasificación y evaluación de tierras es que la clasificación consiste en describir y elaborar mapas de las características físicas de la tierra, sin interpretación para usos específicos.



El término clasificación de tierras ha sido utilizado en el pasado en dos sentidos distintos. Lo que aquí es llamado "clasificación descriptiva de la tierra" se refiere a levantamientos conducentes a la confección de mapas e informes sobre una región o ambiente como tal, sin referencia a su uso potencial. Ejemplos de este enfoque son los mapas de suelo, de vegetación y de tipos de bosque o clases de tierras forestales, Kilian (1981) Carpenter (1981) y FAO (1983b); citados por FAO (1985). Así un mapa que muestra unidades tales como "bosque pluvial de tierras bajas", "bosque montano", "bosque de pantano" constituye una clasificación de tierras, así como lo es también un mapa con unidades tales como "bosque de coníferas sobre colinas" o "bosque de coníferas sobre colinas bajas".

Con respecto a la clasificación de sitios forestales Kilian (1981) puntualiza que debido a la descripción de factores ecológicos y a la diferenciación de varios ecosistemas en el paisaje, por lo menos son el primer paso para los conceptos más integrados de evaluación de tierras. La meta a largo plazo debe ser un sistema universal para clasificar el ambiente independiente de la actual cubierta de la vegetación y uso de la tierra, precisamente para decidir entre alternativas, se debe satisfacer tanto como sea posible todas las múltiples necesidades de los planificadores y administradores del uso de la tierra.

Un ejemplo de lo anterior es la clasificación biofísica de la tierra, cuyo objetivo es describir y caracterizar los rasgos biológicos y físicos de la tierra y organizar el conocimiento dentro de un marco de referencia útil para el manejo de la tierra (Jurdant *et al.*, 1975, citados por Spurr y Barnes 1982). Es esencialmente un sistema para inventariar ecosistemas con propósitos de planificar el uso de la tierra. Debido a que el inventario de los ecosistemas debe realizarse a diferentes escalas e intensidades para servir a diferentes objetivos, se utiliza un sistema de clasificación con cinco niveles de tierra: región, distrito, sistema, tipo y fase. La clasificación de los accidentes geográficos y la confección de mapas provee el marco de referencia dentro del cual se describen y clasifican los datos del clima, la vegetación, los suelos y la hidrología. Un ejemplo de ello es el que se llevo a cabo en la provincia de

Ontario, Canadá, que se ubicaron en 13 regiones y cada una de ellas se dividió en distritos con base en el relieve y el tipo de lecho rocoso y material original. Se determinaron cinco clases de producción actual y potencial de las especies arbóreas de las diversas localizaciones fisiográficas. Además se obtuvo una escala de capacidad de los tipos de localización, entendiendo ésta como la posición en el espacio y las condiciones del medio ambiente asociado (Spurr y Barnes, 1982).

## **2.4 Manejo forestal de conservación**

Margules (1984) considera la conservación de la flora y fauna en una región como un uso de la tierra que compite por una porción de los recursos naturales en áreas dadas para otros usos, por ejemplo agricultura y silvicultura. Entonces solamente una cierta proporción del área de interés puede usarse para conservar estos recursos.

Por lo que el problema llega a ser identificar las áreas apropiadas y de mayor valor para este uso. Purnell (1986) hace notar al respecto, que este tipo de conservación es parte de la planificación del uso de la tierra, a veces la más importante. Además advierte que para justificar los costos de las medidas de conservación que se requieren, con toda seguridad estas medidas deberán estar insertadas plenamente en un contexto de planificación del uso y mejoramiento de la tierra.

Por otra parte Vink (1983) considera a la conservación de la naturaleza como un aspecto especial del manejo forestal de conservación o ambiental. En particular, en los países altamente industrializados la conservación de la naturaleza incluye el manejo de reservas naturales, que son necesarias para proteger contra una probable degradación y cuando sea posible, mejorar las frágiles clases de uso de la tierra en las que la vegetación y la fauna son originales principalmente, pero la estructura y las características de la vegetación han tenido una influencia humana intensiva. Por lo anterior, distingue eventualmente en el manejo ambiental un reconocimiento sistemático basado en mapas del paisaje ecológico y en una caracterización de los diferentes tipos de la utilización de la tierra para incorporar la conservación de la naturaleza como un posible com-

ponente. Este reconocimiento tendrá que tener en cuenta que muchos ecosistemas naturales son únicos y es imposible reemplazarlos una vez que se han destruido.

Con respecto al manejo forestal de conservación o ambiental FAO (1985) refiere que tiene la característica distintiva de que es necesario para la conservación, y su objetivo principal es la conservación de la naturaleza o la restauración de tierra degradada. El manejo ambiental puede subdividirse de acuerdo con sus propósitos e incluir el manejo de cuencas hidrográficas, la conservación o restauración de suelos, la conservación de la vida silvestre y de la biodiversidad, o usualmente incluir varios de estos objetivos.

#### **2.4.1 Requerimientos para manejo forestal de conservación**

FAO (1985) estipula que existe diferencia entre los requerimientos de conservación del manejo forestal para producción y la naturaleza de los requerimientos y objetivos en el manejo ambiental. En el caso de bosques de producción, el requerimiento conservacionista general es que ningún efecto adverso severo resulte del uso forestal de la tierra propuesto. Tomando el peligro a la erosión como ejemplo, entre más severa sea la erosión previsible bajo el tipo de uso de tierra propuesto, menos apropiada es la tierra para tal uso. En el manejo ambiental en contraste, el determinante principal de la aptitud de la tierra es la relativa necesidad de conservación. Para la conservación de la flora y la fauna, la aptitud depende del grado de pérdida de recursos biológicos si el bosque fuera removido. Cuando el manejo forestal de conservación es para propósitos de restauración, por ejemplo de áreas erosionadas, la aptitud depende tanto de la severidad de la degradación presente como del grado de mejoramiento probable bajo una cubierta vegetal de bosque.

Concluye este autor al respecto que: la aptitud de la tierra para manejo ambiental se determina en gran medida sobre la base de la necesidad relativa de conservación, incluyendo los efectos adversos que pudieran resultar si la cubierta forestal no fuera conservada o en el caso de restauración, no fuera establecida. Por ello, en el manejo forestal de conservación el requerimiento se refiere a la relativa necesidad, determinada

sobre la base de responder a dos cuestiones: ¿Cuán severos podrían ser los efectos ambientales adversos si la tierra no estuviera bajo una cubierta forestal protectora? y ¿qué tan efectiva es la cubierta forestal en la protección de la tierra contra aquellos efectos adversos?.

Las interrogantes anteriores pueden aplicarse para la conservación del agua o del suelo. El requerimiento es determinado sobre la base de que la forma propuesta de manejo forestal conservacionista, usualmente el que conserva la cubierta forestal existente, tendrá un efecto favorable sobre el régimen hídrico o la conservación del suelo comparado con las consecuencias adversas que resultarían de su remoción. Por ello, un manejo forestal para conservación es máximo cuando el impacto ambiental adverso en ausencia de tal conservación es él más severo. En el manejo forestal para restauración, los aspectos principales que determinan la necesidad de conservación son la adversidad de la degradación existente y el mejoramiento estimado a través de la reforestación (FAO, 1985).

Nelson (1981) estima que las cualidades de conservación son la propia resistencia de la tierra al cambio negativo cuando es usada. Generalmente las cualidades de conservación se dan como riesgos o peligros relacionados con la aplicación de una práctica de manejo de la tierra en una área específica.

Beek (1978) citado por Nelson (1981) define las cualidades de conservación como "la capacidad única de la tierra para mantener el estado ecológico y de manejo de las cualidades de la tierra (en particular por su capacidad productiva) en niveles preestablecidos".

Al respecto FAO (1985) refiere en el Cuadro 2 las características de la tierra que pueden usarse para estimar las cualidades de conservación.

**Cuadro 2. Estimación de características de la tierra que afectan las cualidades de conservación.**

| <b>Cualidades de conservación</b>                       | <b>Características de la tierra</b>                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Riesgos de erosión                                   | Pérdida de suelo estimada; ángulo de pendiente, erosividad de la lluvia, erodabilidad del suelo, intensidad de la lluvia, permeabilidad y textura del suelo, cubierta vegetal |
| 2. Rendimiento del caudal de agua                       | Registrado o estimado                                                                                                                                                         |
| 3. Respuesta prevista del gasto de agua                 | Modelos hidrológicos                                                                                                                                                          |
| 4. Tolerancia de la vegetación a la degradación         | Observada o estimada; condición presente de la vegetación: tipos de vegetación                                                                                                |
| 5. Presencia de especies valiosas de plantas y animales | Presencia, rareza                                                                                                                                                             |

Fuente: FAO, 1985 (Cuadro 7.1, página 62).

#### **2.4.2 Ventajas y restricciones de la evaluación de tierras para manejo de conservación**

Purnell (1986) distingue las ventajas y restricciones que tiene el esquema de evaluación de tierras con fines de conservación:

- La evaluación de tierras evita la confusión que tiene la clasificación de capacidad de tierras desarrollada por el Servicio de la Conservación de Suelos de los E.U.A. con respecto a la selección del uso de la tierra y la decisión de la aptitud de la tierra para ese uso, desde que propone un procedimiento para seleccionar tipos adecuados de uso de la tierra e indica no sólo su aptitud física, sino también la viabilidad económica de la tierra en cuestión.
- La evaluación de tierras, provee un modo sistemático de predecir los resultados esperados por cambios de manejo. Esto es un elemento esencial en la planificación del uso de la tierra al ir un paso más allá al examinar las opciones y además sistemáticamente proponer la mejor alternativa para los objetivos de los usuarios de la

tierra. De cualquier modo, las predicciones de resultados potenciales y soluciones óptimas son sólo productivas si hacen con recursos adicionales que en general son externos. Comúnmente esto es precisamente desventajoso a para la población con poco potencial de producción por hectárea, quienes son menos hábiles para adoptar métodos de manejo nuevos o invertir capital y trabajo en medidas de conservación. Por ello la evaluación de tierras se debe adaptar en mucho a las condiciones sociales y económicas de la localidad. Es un requisito encontrar no la solución más adecuada, pero si la más práctica para la población local, aunque esto signifique control adecuado menor de la erosión.

- El esquema comprende no sólo evaluaciones físicas, también económicas, o cuantitativas, esto es particularmente problemático donde la conservación es prioritaria. Es bastante difícil evaluar la pérdida de suelos. A un economista no le concierne la pérdida del suelo por sí misma, pero sí la consecuente pérdida de productividad y la conversión de uno a otro uso.
- El análisis financiero y económico de los costos y beneficios de la conservación de la tierra tiene muchas dificultades. Es particularmente complicado, porque en proyectos de conservación de suelos multiproductos y a menudo de plazo largo es difícil asignar valores monetarios a algunos beneficios o a los costos de evitar pérdidas por el agotamiento del suelo, donde las valoraciones son complicadas por externalidades que distorsionan los precios de la tierra con relación a su producción.
- Además el procedimiento económico para evaluar la conservación analizado solamente costos y beneficios, no es adecuado. Esto es, tratando a los recursos de la tierra únicamente como bienes comerciables, llevaría a pedir a quien desea preservar tigres que justifique su actividad por las muchas facilidades que tendrían los observadores de tigres al encontrarse mayor cantidad de estos animales. El análisis económico es útil y necesario para invertir pero no es el único criterio. La inclusión de elementos filosóficos y empíricos en la evaluación de tierras para conservación

no ha sido tratada adecuadamente todavía, por eso en este ejemplo es más adecuado utilizar a los tigres o la tierra como fines en sí mismos.

- La importancia de la protección del medio ambiente tiende a ser reconocida e incrementada por los gobiernos, que proporcionan incentivos financieros que alientan a los agricultores y a otros usuarios de tierras para hacer mayor protección al suelo y así menguar efectos adversos en la cuenca río abajo.

### 2.4.3 Métodos para determinar cualidades de conservación

Se reconocen cuatro métodos para determinar cualidades de conservación para una área (Nelson, 1981):

1. **Medición directa.**- Esta se aplica, cuándo no existe información previa, los modelos carecen de valores o las necesidades de información son únicas. El método es aplicado comúnmente en áreas experimentales donde se usan parcelas de ensayo, el conocimiento así generado puede ser extrapolado a situaciones similares en otras localidades.
2. **Extrapolación - Clasificación.**- La experiencia adquirida en una localidad se lleva a otra donde se encuentra la misma unidad taxonómica de un recurso o unidad de tierra. Uno de los propósitos de la clasificación es permitir la acumulación y extrapolación de conocimiento, incluyendo cualidades de tierra. Este método asume que hay una taxonomía establecida y que las unidades de clasificación pueden identificarse. La más conocida es una taxonomía de suelos.
3. **Interpretación de un sólo recurso natural.**- El suelo, los tipos de vegetación, las formaciones geológicas y los regímenes climáticos pueden ser interpretados independientemente para dar información de las cualidades de la tierra. Ejemplos de cualidades para conservación que se estiman de esta manera son la erosividad del suelo, el riesgo de que se cubra de maleza un terreno y el movimiento de dunas.



Este procedimiento ha sido probablemente el más extensamente usado de los cuatro, a causa de la tendencia de coleccionar datos sobre recursos individuales. El requerimiento básico de datos es para un inventario de los recursos individuales. El fundamento de este método es que un sólo recurso puede disponer de muchas de variaciones de riesgos que ocurren en un ambiente dado.

4. **Síntesis de varias características del recurso.**- Los datos de dos o más recursos se combinan para producir cualidades de la tierra. La síntesis puede tomar lugar en fases. La tarea principal en esta propuesta es desarrollar el método, modelo o relaciones combinadas de datos del recurso. La combinación de información se basa generalmente en las bien conocidas relaciones de causa - efecto que se han estudiado en parcelas experimentales de campo y en simulaciones. La síntesis de datos del recurso para formar estimaciones de cualidades de conservación tiene grandes ventajas porque un riesgo raramente es una función de una sola característica del recurso. Los factores más críticos pueden ser identificados y atendidos si es necesario. Las cualidades de conservación desarrolladas en esta propuesta deben ser más exactas y consistentes que por métodos alternativos.

Por ello con respecto a este método Nelson (1981) concluye que el modelo debe ser una ecuación acompañada de tablas apropiadas o aplicaciones de monogramas asistidos y que la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) es un ejemplo de este tipo de modelo. Además advierte que se usa básicamente para guiar el manejo de los terrenos con problemas de erosión. Cabe hacer notar que Beek (1978), revisó esta ecuación para establecer la cualidad de conservación de riesgo de erosión del suelo.

Sin embargo, Basinski (1984) tiene una opinión negativa sobre la estimación de cualidades a partir de atributos evaluados separadamente y combinados de acuerdo con alguna fórmula que puede ser muy simple o muy complicada, basada en ideas preconcebidas esencialmente derivadas de la experiencia previa y observaciones cualitativas en otras áreas. Para este autor estos métodos generalmente usan rangos arbitrarios



de los atributos característicos de la tierra relacionados con factores fácilmente observables, emplean fórmulas aditivas, multiplicativas o más complejas representando las ideas de los autores sobre la importancia relativa de los diferentes atributos de la tierra y de las interacciones entre ellos.

Los resultados obtenidos por estos métodos se expresan usualmente en forma de índices relativos. El índice de valuación (Storie, 1933 y 1944) es uno de los más conocidos sistemas para evaluar la productividad de la tierra, mientras que la EUPS (Peterson y Swan, 1979) señalan que proporciona un ejemplo clásico de evaluación de riesgos de erosión.

FAO (1980) con respecto a la evaluación de la degradación de los suelos, indica que las fórmulas paramétricas describen los procesos aproximadamente, y que el resultado final no debe considerarse exacto, sino simplemente como un resultado que proporciona una indicación cercana de la probable magnitud de la degradación. También señala que la EUPS es una ecuación que se utiliza mucho para predecir las pérdidas de suelo debidas a la erosión hídrica y para evaluar necesidades de actividades de conservación del suelo precisas para combatir esa pérdida.

Cuando se trabaja a escalas menores o iguales a 1:1,000,000 para evaluar la degradación de la tierra por la erosión, Ortiz *et al.*, 1994) recomiendan utilizar métodos paramétricos y emplear como marco geográfico a las provincias terrestres del levantamiento fisiográfico o las asociaciones de suelos obtenidas de un levantamiento de edafológico.

## **2.5 Riesgo de erosión como criterio de evaluación de tierras**

Solamente es correcto en un procedimiento de evaluación de tierras considerar la erosión como un insumo, si la erosión implica un cambio en las propiedades de la tierra y su valoración es parte de su descripción (Driessen, 1986).

Ortiz, et al. (1994) consideran el riesgo de la degradación de la tierra como la susceptibilidad a la degradación de un suelo o una predicción de los procesos de deterioro que pueden ocurrir en un terreno. Por ejemplo a menudo en los suelos forestales, por la topografía y el material parietal, presentan un riesgo severo a ser erosionados por el agua, al eliminarse la cubierta vegetal.

Puentes (1986) puntualiza que en regiones donde la erosión es la amenaza principal para la agricultura sustentable, el riesgo de degradación del suelo debe considerarse como la principal cualidad de la tierra. Por ello, se necesitan desarrollar dos requerimientos: inventarios apropiados de las características de la tierra y un procedimiento para interpretar la capacidad del uso de la tierra, con riesgo de degradación como criterio principal de evaluación.

Millington (1986) señala la importancia de evaluar el riesgo de erosión de la tierra en un ambiente de clima de trópico húmedo, donde el riesgo de erosión es muy alto por la intensidad de las lluvias y cuándo la vegetación se aclara. En la actualidad, el raleo de la vegetación se da rápidamente en muchas partes de los trópicos húmedos en respuesta a la demanda de tierras para uso agropecuario y en general para el desarrollo de infraestructura. Además en el ámbito de un estudio de reconocimiento, la evaluación del riesgo de erosión detenta dos problemas prácticos y científicos:

- 1) No obstante las numerosas técnicas que han sido propuestas como herramientas para valorar y predecir la erosión del suelo, éstas se enfocan principalmente al nivel experimental de un segmento de pendiente de un terreno o al de una parcela de cultivo. Todavía en muchos países en desarrollo, se requiere hacer evaluaciones generales para todo el país, ya que los datos del recurso suelo a menudo son poco conocidos. Entonces el problema es ¿cómo aplicar estos pequeños modelos experimentales y que puedan ser modificados para ser eficaces en las predicciones sobre grandes superficies de tierras?
- 2) Comparado con el ambiente de clima templado, es poco conocida en los trópicos húmedos la relativa importancia de los diferentes procesos de erosión. El enfoque

actual de los modelos de predicción es para los procesos de erosión laminar, y en menor grado, para los de erosión por canalillos.

Por otra parte este autor estima el riesgo máximo de erosión potencial, con un sistema de información geográfica simple que provee un mapa en escala 1:50,000 que ilustra los patrones de erosión bajo condiciones de vegetación similares, esto es considerando ausencia de vegetación. Entonces las variables de parámetros climatológicos, topográficos, de clasificación de suelos, y los que indican la eficacia del drenaje en el proceso de transporte de sedimentos, son los más importantes para esta estimación. Por consiguiente, esta ecuación predice en forma significativa el máximo riesgo de erosión cuando puede ser intensificado el uso de la tierra. Además aclara este autor: si estuvieran presentes en este modelo, las diferencias aparentes por vegetación de las regiones ecológicas podrían invalidar el objetivo de examinar el riesgo de erosión debido a la contribución de los diferentes parámetros físicos (Millington, 1986).

Purnell (1986) indica que para valorar como cualidad de la tierra el riesgo de la erosión hídrica, los lineamientos para la evaluación de tierras con fines de agricultura de temporal sugieren cinco métodos:

- 1) El cálculo de la ecuación universal de pérdida de suelo con modificaciones apropiadas.
- 2) La metodología provisional para evaluación de la degradación de los suelos.
- 3) El estimador de Pérdida de Suelos para África del sur.
- 4) Los métodos locales enfocados principalmente a valorar con respecto a la variación de la pendiente del terreno.
- 5) La observación de la erosión actual en el terreno.

Al respecto, FAO (1980) en una evaluación a escala 1:5,000,000 aplica la metodología provisional para evaluación de la degradación de los suelos, y destaca que a escalas menores casi todos los factores tendrán que simplificarse, puesto que no se dispone de los datos precisos necesarios para evaluar los diferentes factores. Menciona que si

bien en su creación esta metodología está ligada a una formula simplificada de la EUPS que utiliza valores aproximados que representan medias promediadas de áreas extensas, puede ser independiente de la escala a fin de facilitar la evaluación a diversos niveles de información. En el Cuadro 3 sugiere las fuentes de datos relativas a cada factor de acuerdo con esta metodología, para un nivel de evaluación y escala de trabajo nacional o estatal.

**Cuadro 3. Factores y fuentes de datos para estimar la erosión hídrica a nivel nacional o estatal.**

| Factor y escala                                                                                                                                                                                                                                             | Fuentes                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIMA:<br>Menor a 1:1,000,000<br>$f S p^2/P$<br>Donde: p = precipitación mensual<br>P = precipitación anual<br>1:1,000,000 a 1:100,000<br>Factor R medio anual de la EUPS                                                                                   | Pluviometría media mensual tomada de: compilaciones de datos meteorológicos como "World Climatic Tables", "Climatic data of the World", etc.<br><br>Mapas pluviométricos diarios de las estaciones meteorológicas nacionales preferiblemente con más de 20 años. |
| SUELO:<br>Menor a 1:1,000,000<br>Suelo dominante de una asociación de suelos o sistemas de tierras y textura media<br>1:1,000,000-1:100,000<br>Grandes grupos de suelos más textura, porcentaje de materia orgánica, estructura y permeabilidad             | Mapa Mundial de Suelos FAO/UNESCO, mapas de sistema de tierras, mapas nacionales de suelos o imágenes de satélites<br>Mapas nacionales de suelos, informes de reconocimientos nacionales de suelos, mapas de sistemas de tierras o imágenes de satélites         |
| TOPOGRAFÍA<br>Menor a 1:1,000,000<br>Ángulo del declive dominante<br><br>1:1,000,000-1:100,000<br>Ángulo del declive dominante                                                                                                                              | Cartas aeronáuticas mundiales, mapas topográficos, mapas de sistemas de tierras o imágenes de satélites.<br>Como lo anterior, más mapas geomorfológicos a pequeña escala                                                                                         |
| USO DE LA TIERRA:<br>Menor a 1:1,000,000<br>Tipo general de vegetación y porcentaje de cubrimiento del terreno<br>1:1,000,000 a 1:100,000<br>Tipos de cubierta de la tierra, por ejemplo, bosque tropical perennifolio, pastizales y agricultura de secano. | Imágenes de satélites, mapas nacionales de uso de suelos o datos de censos agropecuarios.<br><br>Imágenes de satélites, fotografías aéreas tomadas a gran altura, mapas nacionales de uso de suelo o datos de censos agropecuarios                               |

Fuente: FAO 1980 (Modificado del Cuadro "Los factores de degradación, las fuentes de datos y las referencias bibliográficas para diferentes escalas". Páginas: 24 – 38).

Purnell (1986) resalta que la metodología provisional para evaluación de la degradación de los suelos de FAO (1980) es solamente apta para grandes áreas y escalas pequeñas, añade que este modelo es tan bueno como los datos en que está basado y ratifica que es peligroso el uso no crítico de sus resultados si el modelo está basado en datos pobres, sin embargo sostiene que se tiene que trabajar con los datos disponibles para tomar decisiones urgentes. Lo importante de esta metodología es que es un proceso iterativo para simular opciones de resultados en varios escenarios posibles.

Ortiz *et al.* (1993) mencionan que no se debe perder de vista el hecho de que los estudios a escalas pequeñas tienen además como objetivo regionalizar el área en unidades relativamente homogéneas de similar jerarquía y grado de limitación para priorizar áreas problema.

SEDUE (1988) en los lineamientos metodológicos para realizar el Ordenamiento Ecológico del Territorio Nacional propone la utilización de la metodología provisional para evaluación de la degradación de los suelos propuesta por FAO (1980). A fin de distinguir el tipo de erosión laminar a que está sujeta un área de ordenamiento ecológico, así como determinar la cantidad potencial de suelo perdido por erosión hídrica o eólica.

## **2.6 Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos para predecir riesgo de erosión**

En la actualidad la estimación de pérdida de suelo debido a erosión laminar y en canales puede ser calculada utilizando modelos matemáticos. Entre éstos, la EUPS es el modelo más utilizado para esta predicción. Especialmente en los Estados Unidos de América (EUA), la ecuación ha sido utilizada extensivamente en terrenos agrícolas desde 1957, en sitios para construcción desde 1971, y en terrenos forestales y pastizales desde 1972. Debido a que la EUPS se desarrolló en los EUA mediante el análisis estadístico de las pérdidas de suelo por erosión en lotes experimentales, las correlaciones son muy buenas para los EUA. Sin embargo, algunas de las relaciones utili-

zadas en la EUPS no siempre se pueden extrapolar a ambientes diferentes. A continuación se describe brevemente la ecuación (Figuroa *et al.*, 1991):

La ecuación básica es:

$$A = R K L S C P \text{ ————— (1)}$$

Donde:

A es el promedio anual de pérdida de suelo (t / ha)

R es la erosividad de la lluvia (MJ mm / ha h)

K es la erosionabilidad del suelo (t ha h / MJ mm ha)

Y los factores adimensionales siguientes:

L es la longitud de la pendiente

S es el grado de la pendiente

C es el manejo de los cultivos

P es las prácticas mecánicas para control de la erosión

La EUPS es el modelo más conocido y extensamente usado de predicción de la erosión. Es un esquema empírico muy simple para predecir pérdidas promedio de suelo a largo plazo para un nivel de predio. También, se usa en una escala regional, o como un componente de un sistema de evaluación de tierras, aunque se considera como desviaciones de su propósito del original (Puentes, 1986).

Nelson (1981) señala que la EUPS es el mejor ejemplo de la necesidad de modificar un modelo diseñado primariamente para terrenos agrícolas para precisar su aplicación con fines forestales. Esto significa realizar pequeñas regulaciones en los métodos, nomenclatura, o valores de clasificación. Al respecto, menciona los antecedentes siguientes:

- El padre de esta herramienta analítica, ampliamente usada, W.H. Wischmeier, ha advertido contra la tendencia a usar indebidamente esta ecuación y aconseja ajustarla por pasos a situaciones que van más allá de su ambiente de uso normal.

- Osbord et al., (1977) encontraron que la falta de manejo de la erosión por cárcavas es una deficiencia severa y recomendó aumentar a la EUPS un factor de drenaje.
- Tryon y Miller (1973) adaptaron esta ecuación a una situación forestal en el suroeste de Missouri en los Estados Unidos usando tasas de precipitación mensual e identificando los consiguientes cambios en los porcentajes de la cubierta vegetal.
- Moldenhauer y Onstat (1977) hacen notar que la EUPS es necesaria para predicciones para cuencas completas, pequeñas o grandes, en períodos de tiempo largos, y para eventos de tormenta simples, todo menos para lo cual fue diseñada esta ecuación: plazos de tiempo cortos en campos solos.
- El problema mayor en el uso de la ecuación en los países en desarrollo es la falta de datos concluyeron Fetzer y Jung (1979) en sus ensayos en Nepal.

Por su parte FAO (1980) puntualiza que el factor "R" de la EUPS es cuando menos difícil de calcular, porque a menudo faltan los datos necesarios detallados y de plazos prolongados. Por ello en la formación del mapa a escala 1:5,000,000 con la metodología provisional para evaluación de la degradación de los suelos, utiliza una modificación del índice de Fournier, en el que se ha establecido una correlación con el factor R.

Al respecto, Cortes (1991) señala que conforme a los resultados del trabajo de Ortiz (1982) en el que utilizó esta metodología para México, el índice de Fournier modificado por FAO implicó que la mayor parte de la República Mexicana se considerara como de erosividad moderada, situación que no coincide con los valores encontrados en su trabajo para el factor "R" de la EUPS o  $EI_{30}$ , donde el 10% se considera como de alta erosividad y el 30% es de erosividad moderada. Los autores Arias (1980), SARH (1981) y Ventura y Ríos (1989) citados por Cortes (1991) señalan que el  $EI_{30}$  es el que mejor se correlaciona con las pérdidas de suelo en México.



FAO (1980) señala que frecuentemente se prescinde por completo de la influencia humana por las prácticas de cultivo y explotación como factor en la EUPS. El principio adoptado es que la evaluación de los riesgos de erosión alcanza su máxima utilidad cuando se eliminan todos los factores relativamente inestables o no permanentes, es decir, si la vegetación natural y el uso de la explotación de la tierra actual no se les toma en cuenta porque se les supone iguales. Dicha evaluación sólo tiene un valor independiente del tiempo cuando se basa en factores relativamente estables o permanentes. Además puede servir de punto de partida para apreciar la erosión potencial que entrañan determinados usos alternativos de la tierra y que resistencia adicional puede ser necesario proporcionar para obtener un aprovechamiento continuo de la tierra sujeta estos usos alternativos.

De acuerdo con la suposición anterior, Figueroa *et al.* (1991) indican que la eliminación de los factores de cultivo y prácticas de lucha contra la erosión, "C" y "P" respectivamente, implica asignarle valores de uno a estos factores en la EUPS, lo que significa considerar en el terreno la remoción de toda la vegetación y la parte del suelo con raíces, dejando la superficie no sólo desprovista de vegetación sino también priva de los efectos residuales de la vegetación anterior, condición comparable a un terreno con barbecho continuo o a un terreno en construcción. Además hacen notar que en estos terrenos, el efecto por la longitud de la pendiente prevé una alta susceptibilidad a la erosión por canalillos, que se manifiesta en la estimación de la interacción de la longitud con la inclinación de la pendiente. En terrenos en construcción esta interacción se estima que es del doble con respecto a la sucede en campos agrícolas.

En el caso de que se utilice el factor humano antes citado, para las tierras de cultivo con lluvias muy estacionales (que comprenden las áreas sahelianas y de sabana) se usa un valor fijo de 0.8, y aquellas áreas que son más húmedas (áreas de bosque tropical) sin largas estaciones secas, se emplea el factor 0.4. En praderas, pastizales y bosques con un cubrimiento del suelo menor al 10% se considera un factor de 0.45" (FAO, 1980).



Figueroa *et al.* (1991) coinciden en cuanto al valor 0.45 referido por FAO (1980) del factor "C" para una combinación de cobertura de pastizales, agostaderos y terrenos en descanso, cuando la cobertura de vegetación aérea y en contacto con el suelo no es apreciable.

Puentes (1986) señala al respecto que únicamente utilizar tasas susceptibilidad a la erosión hídrica no es necesariamente un buen indicador en el largo plazo de daños en la productividad. Volúmenes similares de pérdida de suelo pueden ser catastróficos o pequeños según sean las características de la tierra. También cita a Larson *et al.* (1980) que desarrollaron el concepto de "vulnerabilidad" para caracterizar la erosión potencial para reducir la productividad del suelo y con base en lo anterior propone un nivel de tolerancia a la erosión en función de dos componentes: la tolerancia máxima que depende de la profundidad del suelo y un factor de ajuste que depende de la profundidad potencial de las raíces y de la profundidad efectiva del barbecho.

Por su parte FAO (1980) previene que el concepto de "degradación" significa a veces cambios ocasionados por los procesos de degradación en un suelo en relación con un estado anterior o incluso con estado ideal de ese suelo, como cuando la erosión hídrica se evalúa por comparación del espesor del horizonte orgánico de un suelo determinado con su espesor en un tipo de suelo ideal. El concepto de "degradación potencial" significa en ocasiones la degradación prevista para lo futuro en el supuesto de que las condiciones actuales no varíen. En tal caso, se trata de la continuación de la velocidad actual de degradación bajo igual uso y explotación de la tierra. En la práctica, sin embargo es difícil pronosticar el estado final de degradación, porque el uso de la tierra cambia a menudo antes de alcanzarse un equilibrio que resulta de la disminución de la velocidad de degradación con el tiempo.

En un trabajo que consistió en evaluar y cartografiar la degradación de la tierra en el Eje Neovolcánico de México, en tres áreas de prueba en escalas de trabajo de 1:2,000,000, 1:250,000 y 1:40,000, mediante la aplicación de la metodología Provisional para evaluación de la degradación de los suelos propuesta por FAO (1980), Anaya

*et al.* (1982), citados por Ortiz *et al.* (1993) señalan con respecto a la evaluación de tierras por riesgo de erosión hídrica lo siguiente:

- Al aplicar la estimación del criterio de precipitación para la zona alta se tiene un riesgo muy severo de erosión, lo cual no es representativo, por lo que se considera un indicador de poca utilidad. Ortiz *et al.* (1993) difieren de esto, porque la estimación de la precipitación sigue el procedimiento indicado por FAO (1980), con la diferencia de que se elimina el factor de la cubierta vegetal y por tal motivo para esta zona, el riesgo de erosión presenta los valores más severos.
- Para calcular el factor "R" con en  $EI_{30}$  aplicaron las ecuaciones generadas por Aguilar y Estrada (1982) para cada ecosistema y los resultados obtenidos muestran que este indicador es de buena utilidad.
- La erosionabilidad del suelo "K" es de alta precisión, se obtuvo a partir de la información de textura de suelo que proviene de levantamientos fisiográficos detallados del área realizados por Aguilar (1982).
- El factor topográfico "LS", se estimó considerando el porcentaje y la longitud media de la pendiente del terreno. Los resultados indican que este factor producen una alta precisión y fue el de mayor utilidad en la estimación del riesgo de erosión. Aunque indican estos autores que los resultados son mejores si sólo se considera el porcentaje de pendiente.
- Finalmente indican que para el factor "C", utilizaron valores obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en los cultivos de maíz y cebada, y para el área forestal se estimaron con base en datos publicados por el Departamento de Agricultura de EUA. Este indicador también resultó de alta precisión.

De acuerdo con los lineamientos metodológicos para realizar el Ordenamiento Ecológico del Territorio Nacional, Muñoz<sup>1</sup> desarrolla una técnica basada también la metodología propuesta por FAO (1980) para estimar la erosión laminar y potencial por medio de la sobreposición cartográfica automática de información de mapas en escala 1:50,000 de precipitación media anual, tipos y texturas de suelos, topografía y uso actual del suelo. Además correlaciona los resultados obtenidos de este proceso, con una clasificación del uso del suelo obtenida de la interpretación de datos de una imagen de satélite, a fin de identificar las zonas de suelos desnudos y erosionados y con ello, recomendar obras de conservación del suelo en función del tipo de erosión estimado.

La SARH (1993b) por su parte estima la erosión potencial y permisible para el Distrito Desarrollo Rural de Zitácuaro, Michoacán mediante la aplicación de una metodología basada en la EUPS, que consiste en lo siguiente:

- La erosividad de la lluvia (factor “R” de la EUPS) se estimó con los datos del Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión, (Figuerola *et al.*, 1991) en el que a cada municipio de la República Mexicana se le asignó un valor de erosividad.
- Tomando como base las cartas edafológicas escala 1:50 000 de INEGI y empleando la metodología FAO para determinar la erosionabilidad del suelo, (factor “K” de la EUPS) a cada unidad de suelo se le asignó un valor de “K” de tal manera que posteriormente se obtuvieron límites de áreas con determinado valor de erosionabilidad del suelo
- Una vez obtenidos los factores “R” y “K”, se procedió a estimar el factor “S” de la EUPS al estimar el grado de pendiente, mediante la medición de equidistancias entre curvas de nivel en cartas topográficas 1:50,000, para obtener clases de áreas con porcentaje de inclinación de la pendiente: de 0-2%, 2-5%, 5-15%, 15-25%, 25-45% y mayores de 45%.

---

<sup>1</sup> Muñoz A.L. 1993 Comunicación personal. ECO-INGENIERIA S.A.

Asimismo este autor, determinó áreas altamente erosionables, que define como aquellas que presentan una erosión potencial mayor de 8 veces la tasa de erosión permisible o de tolerancia (T) que para este Distrito de Desarrollo Rural la estimó en 20 t/ha/año, por lo que en la EUPS infiere lo siguiente:

$$A = R K L S * C P \text{-----}(2)$$

donde:

A = Pérdida de suelo, t/ha/año

R K L S = Erosión potencial

C P = Factores atenuantes de la erosión

Si: T = 20 t/ha/año y Erosión potencial = 160 t/ha/año

Entonces:

$$R K L S = 8T \text{-----}(3)$$

(donde 8T es el límite por definición de zona altamente erosionable)

despejando:

$$L S = 8T/R K \text{-----}(4)$$

Se tiene que:

Si  $8T/RK > 1$ ,  $RK < 160$  y  $LS > 1$ , se trata de una área en donde con un manejo adecuado de los factores atenuantes de la erosión "C" y "P", es relativamente fácil alcanzar una erosión de tolerancia, sobre todo en un terreno agrícola con inclinaciones de pendientes menores de 9% o longitudes de pendiente menores de 22.1 metros.

Sí  $8T/RK = 1$ ;  $RK = 160$  y  $LS = 1$ ; se considera un área en equilibrio entre los factores generadores de la erosión, siempre y cuando la inclinación y/o la longitud de la pendiente sean menores de 9% y 22.1 metros respectivamente.

Sí  $8T/RK < 1$ ;  $RK > 160$  y  $LS < 1$ ; se trata de un área altamente erosionable. En caso de que la inclinación de la pendiente sea mayor de 9% ó la longitud de la pendiente sea mayor de 22.1 metros no es recomendable usarla para fines agrícolas, pues será más

conveniente establecer pastizales o definitivamente reforestar. Lo anterior, se debe a que de ser mayores estos elementos topográficos, LS será mayor que uno incrementando aún más la erosión potencial.

Por su parte FAO (1980) define como riesgo de degradación del suelo a la disminución de la productividad actual o potencial como consecuencia de uno o más procesos de degradación, que pueden ocurrir por causa de una mala explotación, por ejemplo la supresión de la vegetación natural y su substitución por barbecho desnudo. Para el caso de la erosión hídrica incluye los procesos de degradación de erosión por salpicadura, erosión laminar, la erosión en cárcavas y movimientos de masas. Estas degradaciones se expresan en unidades que significan pérdida de suelo en toneladas por hectárea por año o en milímetros por año. Suponiendo una densidad aparente en seco del suelo de 1.5, la pérdida de 1 t/ha/año de suelo implica 0.06 mm/año de espesor del suelo o perder un 1 mm/año significa 15 t/ha/año.

FAO (1985), ilustra que un medio de calificar el riesgo de erosión consiste en estimar las pérdidas de suelo aceptables menores de 12 t/ha/año. Una pérdida de más de 50 t/ha/año por riesgo de erosión se juzga inaceptable, y ésta es la razón para clasificar un terreno que pudiera producir tal pérdida como no apropiado para ese tipo de uso.

Con respecto a un indicador de erosión permisible Figueroa *et al.* (1991) establecen que en la práctica diaria de la conservación de suelos es normal planear medidas de conservación para limitar la tasa de erosión a valores de entre 45.5 a 25 t/ha/año, equivalentes a una pérdida de suelo entre 0.2 y 1.0 mm/año.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE APLICACIÓN: ESTADO DE GUERRERO

#### 3.1 Localización

El área de estudio seleccionada es el estado de Guerrero, presenta condiciones en general no favorables para la conversión de los terrenos forestales a uso agropecuario, debido a que los factores climatológicos, de suelos y del relieve coadyuvan a que el fenómeno de la erosión hídrica aparezca si la cubierta de vegetación natural es removida. Por otra parte, esta entidad tiene aun bosques que por la cantidad y calidad de su madera son susceptibles de aprovecharse económicamente.

El estado de Guerrero tiene extensión es de 63,794 km<sup>2</sup> y se encuentra en el sur de la República Mexicana, entre los 16° 19' y 18° 53' de latitud norte y los 98° 02' y 102° 11' longitud oeste. Limita al norte con los estados de México y Morelos, al este con el de Oaxaca, al sur y sureste con el Océano Pacífico y al noreste con el estado de Puebla (Figura 2).

**Figura 2 Localización del estado de Guerrero.**



### 3.2 Provincias y subprovincias fisiográficas

En la entidad se encuentran cinco subprovincias fisiográficas: en la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur están las subprovincias: Cordillera Costera del Sur, Costas del Sur, Sierras y Valles Guerrerenses, y la Depresión del Balsas. Una pequeña proporción de la entidad se localiza en la provincia Eje Neovolcánico ubicada en la subprovincia Sur de Puebla (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Provincias y subprovincias fisiográficas localizadas en el estado de Guerrero.**

| Provincias           | Subprovincias                 | Superficie                   |               |
|----------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------|
|                      |                               | ha                           | %             |
| Sierra Madre del Sur | Cordillera Costera del Sur    | 3,144,199                    | 50.20         |
|                      | Depresión del Balsas          | 470,067                      | 7.50          |
|                      | Sierras y Valles Guerrerenses | 798,226                      | 12.70         |
|                      | Costas del Sur                | 1,848,973                    | 29.56         |
| Eje Neovolcánico     | Sur de Puebla                 | 2,680                        | 0.04          |
| <b>Total</b>         |                               | <b>6,941,465<sup>1</sup></b> | <b>100.00</b> |

<sup>1</sup> Superficie estimada de la carta de provincias fisiográficas, escala 1:1,000,000

Fuente: SARH, 1994c (página 36).

La subprovincia Cordillera Costera del Sur se localiza al centro del estado, ocupa una superficie de 3,144,199 ha que representa el 50.2%. Abarca las partes altas y medias de las cuencas hidrográficas que drenan al océano Pacífico, así como las cuencas que drenan hacia la margen izquierda del río Balsas. Esta subprovincia presenta un relieve abrupto con altitudes que varían de los 2,000 a los 3,000 metros sobre el nivel del mar (msnm), conformado por sierras con laderas escarpadas en pendientes generalmente mayores al 30%.

La subprovincia Costas del Sur se localiza al sur de la entidad, con altitudes máximas de 1,000 msnm, tiene una configuración estrecha, en su parte más ancha alcanza úni-

camente 17 km. La mayor parte de los terrenos planos se encuentran esta subprovincia, además es cortada transversalmente en varios sitios por extensiones laterales de la Sierra Madre del Sur, formando acantilados. Cubre 1,848,973 ha que representan el 29.56 % del estado.

La subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses se localiza al norte del estado, conforma un sector de la Sierra Madre del Sur que colinda con la depresión del Río Balsas y origina serranías en la que su relieve es más suave, con algunos valles y cubre el 12.7% en la entidad con una superficie de 798,226 ha.

La subprovincia Depresión del Balsas se localiza al noroeste del estado, se encuentra limitada por la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico dando lugar a una depresión que se encuentra por abajo de los 1,000 msnm, en las que se encuentran algunos valles con terrenos ondulados, ocupan una superficie de 470,067 ha que representan el 7.5% del territorio estatal.

La subprovincia Sur de Puebla se localiza al norte de la entidad que colinda con los estados de Puebla y Morelos, ocupa una superficie de 2,680 ha que representa el 0.04 % de la entidad.

### 3.3 Clima

De acuerdo a la posición geográfica que ocupa el estado de Guerrero se distinguen 3 áreas climáticas:

En la subprovincia Costa del Sur se registran temperaturas medias anuales de alrededor de 26°C, con precipitaciones totales anuales cercanas a los 2,000 milímetros. La cercanía de la sierra con la costa provoca que los vientos provenientes del mar, proporcionen bastante humedad y junto con la posición latitudinal de la entidad se favorece el establecimiento de un clima cálido subhúmedo. Conforme se asciende en la sierra, se incrementa la humedad y disminuye la temperatura, procurando un clima de tipo tem-



plado húmedo. De esta manera desde la costa hacia la cresta de la sierra, se tienen las variantes de tipos de climas siguientes: Aw0, Aw1 y Aw2 y por otro lado, al disminuir la temperatura por cambios de altitud, se transforma el clima de semicálido-subhúmedo (AC) a templado-subhúmedo (Cw2).

Al bajar a la depresión del Balsas, el clima se transforma en semicálido-húmedo y cálido-subhúmedo caracterizados por la menor proporción de humedad y temperaturas altas. En las partes más bajas, la humedad es todavía menor y las altas temperaturas originan la formación de los climas BS1 Y BS0 que son semisecos y cálidos.

### **3.4 Hidrografía**

El estado de Guerrero se ubica en 3 regiones hidrológicas denominadas Cuenca del Balsas, Costa Grande de Guerrero, Costa Chica de Guerrero. La captación total de agua es de 10,639.17 millones de m<sup>3</sup> en 23 presas.

En la vertiente que mira hacia la costa, son escasos los cañones, y las corrientes drenan a través de valles de relativa amplitud sobre todo al llegar a la costa. En estas cuencas predomina un drenaje dendrítico que genera una multitud de cañadas.

Por la vertiente que drena hacia el río Balsas, las corrientes corren por varios cañones profundos que forman una trama casi paralela, perpendicular a este río con dirección casi siempre norte.

### **3.5 Edafología**

SARH (1993c) en el estudio de impacto ambiental para el desarrollo forestal en Guerrero y Oaxaca presenta la descripción de los suelos que se encuentran en la entidad, con base en la clasificación de suelos de FAO-UNESCO (1988), modificada para aplicarse en México por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Información (INEGI). En esta descripción se menciona que el estado de Guerrero se caracteriza por tener una amplia distribución de suelos delgados o suelos con una profundidad menor de 10 cm,

en los que puede encontrar desde roca, tepetate o caliche duro. En la mayoría de los casos son suelos formados *in situ* por la alteración del material litológico y tienen una textura que varía de media a gruesa.

En las laderas de la parte central de la sierra, en donde se encuentran la mayor parte de los aprovechamientos forestales, existe una zona relativamente amplia de suelos con textura fina.

Los suelos de carácter aluvial se reducen a las pequeñas zonas de los deltas en las desembocaduras de los ríos, así como a sus cauces. En la franja costera, estos suelos son generalmente de color claro y de textura media a gruesa, con drenaje rápido, a no ser que se localicen en las partes más bajas lo que provoca que incluso acumulen sales, entre estos suelos están los feozem en terrenos planos y profundos.

Se encuentran grandes extensiones de regosoles, y los fluvisoles ocupan franjas delgadas de terreno asociados a los depósitos y acarreos de corriente de agua. Los fluvisoles eútricos son generalmente de textura arenosa y algunas veces limo-arenosa. Son suelos poco estables y sometidos constantemente al efecto de las corrientes de agua.

En la subprovincia Costa del Sur se hallan algunos regosoles y solochaks que se relacionan con la acumulación de sales y sodio y permanecen inundados durante dos o tres meses al año. En áreas muy reducidas y escasas y de relieve ondulado, aparece otro grupo de suelos más desarrollados clasificados como cambisoles. También se identificaron litosoles que son suelos delgados que se localizan sobretudo en las prolongaciones que tiene la Sierra hacia la llanura costera.

Al pie de la sierra, predominan los suelos de textura media entremezclados con afloramientos rocosos. Prácticamente es posible distinguir sobre la vertiente del Pacífico, dos grandes grupos de suelos asociados: por un lado las rendzinas, regosoles, luvisoles y feozems que se extienden desde el extremo oeste hasta la parte media y coinci-

den con las áreas de aprovechamiento forestal, y por el otro en el extremo opuesto de la sierra aparecen en forma dominante los acrisoles, cambisoles y feozem.

Entre estas dos grandes áreas, se han desarrollado acrisoles con acumulación de hierro que califica para ser denominado plíntico. Los feozems háplicos, se encuentran particularmente en el fondo de valles amplios y al pie de las laderas de la montaña, tanto en la vertiente del Océano Pacífico como en la depresión del río Balsas, poseen un horizonte superior rico en materia orgánica y de color pardo oscuro, son generalmente profundos y de textura migajón arcillo - arenoso a migajón - limoso.

Otros grupos de suelo que se encuentran en la Sierra son los luvisoles crómicos y los acrisoles, tanto órticos como húmicos que son arcillosos en todo su perfil y tienen colores rojizos. Por lo general, se les asocia con zonas de mayor precipitación como son las partes altas y húmedas de las laderas o en áreas de protegidas de la elevada evaporación como son los cañones o valles intermontanos, por el excedente de humedad, son suelos muy lavados con bajo contenido en bases. Sobre la parte de mayor altitud de la sierra conocida como el "Filo Mayor" aparece como suelo dominante el litosol, caracterizado por tener menos de 10 cm de profundidad y con frecuencia con afloramientos rocosos.

También en la parte alta de la subprovincia Cordillera Costera Sur, se establece una asociación de suelos poco desarrollados y de baja cohesión representados por los regosoles y litosoles de textura media. En el descenso de la cordillera hacia el río Balsas, los suelos predominantes son los regosoles asociados con litosoles, cambisoles y feozems. En algunas áreas de la Sierra hacia el noroeste aparecen los Acrisoles, mientras que hacia la zona noreste de la sierra se encuentran los luvisoles.

En la parte abierta de la subprovincia Depresión del Río Balsas, se pueden localizar cambisoles, feozems, regosoles y fluvisoles caracterizados por sus altas concentraciones de carbonato de calcio. Además en las partes bajas y en las laderas se pueden encontrar luvisoles.

Los vertisoles pélicos que son muy arcillosos y de carácter masivo que se agrietan durante la época de sequía. Ocupan las partes bajas y algunos lomeríos sobre todo en la Depresión del río Balsas, están constituidos sobretodo por arcilla expansible que se hincha durante las lluvias, provocándose un microrelieve. Además, son suelos con drenaje interno deficiente que hace se vuelvan muy barrocos cuando están húmedos.

### 3.6 Tipos de vegetación

Con base en lo estipulado en la memoria del INFP para el estado de Guerrero, a continuación se describen brevemente los tipos de vegetación y las existencias volumétricas de madera promedio por hectárea para (SARH, 1994c):

1. **Bosques de pino.** El bosque de pino abierto es aquel cuya cobertura de copa oscila entre 10 y 40%. Las coberturas mayores al 40% constituyen el bosque de pino cerrado. Estos bosques se caracterizan por la presencia del género *Pinus spp.* en la cubierta arbórea en un porcentaje mayor del 80%. Se localizan en una superficie de 85,918 ha principalmente en las regiones montañosas del estado, en climas donde la temperatura media anual fluctúa entre 12 a 18o C y en altitudes entre 900 y 3,000 m sobre el nivel del mar. Las especies de Pinos de mayor valor económico por su aprovechamiento con fines maderables en el estado son: *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite*, *P. chiapensis*, *P. herrerae*, *P. michoacana*, *P. oocarpa*, *P. pringlei*, *P. Teocote* y *P. douglasiana*.
2. **Bosque de oyamel.** Se encuentra formando masas puras y mezcladas con *Pinus spp.* y *Quercus spp.*, a una altitud que fluctúa entre 2,400 y 3,600 msnm, en climas ligeramente húmedos sin estaciones frías y calientes bien diferenciadas, con una temperatura entre 7o y 15o C y precipitación media anual de 1,000 mm. Se distribuye en una superficie de 10,578 ha, forma de manchones sobre niveles profundos en las zonas del "Filo Mayor" y "Toro Muerto" de la serranía de Costa Grande. En el estado se han identificado 2 especies de oyameles: *Abies religiosa* y *A. guatemalensis*.

3. **Bosque de otras coníferas.** Este grupo vegetativo considera los bosques de la especie *Juniperus flaccida*. Cubre pequeñas áreas en la serranía que se encuentra en el norte de la entidad, entre las ciudades de Taxco, Ixcateopan y Tetipac, en una superficie de 7,962 ha.
4. **Bosque de pino-encino.** Comprende las comunidades mezcladas de los géneros *Pinus sp* y *Quercus sp* en proporción diversa, siendo difícil separar un componente de otro debido a la heterogeneidad con que se presenta. Se distribuye en una superficie de 992,468 ha en las principales serranías del estado con un clima de una temperatura media anual que varía entre 10 y 20°C y de una precipitación media anual entre 600 y 1,200 mm, en terrenos cuyas altitudes sobre el nivel del mar varían de 500 a 2,400 m. Las combinaciones de las especies, tanto de pino como de encino, varían de acuerdo al suelo y altitud de la región. Las especies más importantes de este tipo de bosque son: *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. michoacana*, *P. oocarpa*, *P. pringlei*, *P. teocote*, *Quercus macrophylla*, *Q. acutifolia*, *Q. castanea*, *Q. Glaucoides* y *Q. laurina*.
5. **Bosque fragmentado.** Son bosques de clima templado que se encuentran en una superficie de 311,603 ha y que están afectados por actividades agropecuarias al grado de quedar solo manchones de la vegetación arbórea original distribuidos homogéneamente sobre el terreno.
6. **Bosque de encino.** Esta asociación vegetal se localiza en una superficie de 536,642 ha en las zonas montañosas del estado. Junto con los pinares constituyen la mayor cubierta vegetal de las áreas de clima templado frío y semihúmedo. Se distribuye, en altitudes sobre el nivel del mar que van desde 500 hasta 2,400 m. Las principales especies de encino son: *Quercus candicans*, *Q. acutifolia*, *Q. castanea*, *Q. glaucoides* y *Q. laurina*.
7. **Selva mediana.** Se presentan en una superficie de 71,815 ha como comunidades vegetales arbóreas densas y de composición compleja, consideradas como

un tipo de vegetación exuberante de climas tropicales. El estrato superior mide por lo general más de 20 m. Con frecuencia se presentan individuos de más de 25 m de alto. Los otros dos o tres estratos arbóreos ocupan los espacios correspondientes a alturas de 5 a 20 m. Por lo común no todos los componentes son estrictamente perennifolios, pues algunos pierden sus hojas durante una corta temporada en la parte seca del año, que a menudo coincide con la época de la floración del árbol. A pesar de ello y debido sobre todo a la falta de coincidencia del período de caída de las hojas entre las diferentes especies, el bosque nunca pierde totalmente su verdor. Tienen como componentes a las especies de *Swetenia pamnamensis*, *Simaruba glauca*, *Cedrela odorata*, *Guarea glabra*, *Hura polyandra*, *Spondias mombin*, *Brosimum alicastrum*, *Coccoloba barvaden-sis*, *Nectandra ambigens*.

8. **Selva baja.** Se caracteriza porque sus componentes arbóreos varían en alturas frecuentemente entre 8 y 12 m. Casi todas sus especies pierden sus hojas por períodos largos durante el año. Se incluyen en esta clase las selvas bajas perennifolias, subperennifolias, subcaducifolias, caducifolias y selvas bajas espinosas. Constituye el límite vegetacional térmico e hídrico de los tipos de vegetación de zonas cálidas húmedas. Se presentan en una superficie de 681,818 ha en regiones con temperaturas anuales promedio superiores a 20o C, y precipitaciones anuales de 1,200 mm como máximo, siendo generalmente de 800 mm, con una temperatura seca que puede durar de 7-8 meses. Se ubican en alturas desde el nivel del mar a 1,700 m. Sus principales especies arbóreas son: *Acacia farnesiana*, *Backebergia militaris*, *Bursera spp.* *Cercidium spp.*, *Haematoxylon brasiletto*, *Liconia arborens*, *Ziziphus amole*.
9. **Bosque mesófilo de montaña.** Este tipo de vegetación incluye comunidades vegetales clasificadas como “bosque caducifolio”, “selva nublada” y “selva mediana” en áreas de transición entre encinares y selva mediana. Se localiza en una superficie de 159,814 ha en las laderas de montaña en donde se forman neblinas durante casi todo el año en regiones de relieve accidentado, en sitios

- protegidos del viento y la insolación. La altitud sobre el nivel del mar en que se desarrolla con más frecuencia es de los 1,100 a 1,500 m. Las principales especies son: *Meliosma dentata*, *Oeropenax jaliscana*, *O. xalapensis*, *Simplocos prionofila*, *Bocconia arborea*, *Quercus spp.* y *Fraxinus sp.*
10. **Manglar.** Comunidades vegetales densas frecuentemente arbustivas o bien arborescentes de 3 a 5 m de altura, pudiendo alcanzar hasta 15 m. Habitan en orillas bajas y fangosas de las costas, son características de esteros y desembocaduras de ríos, cubren una superficie de 6,499 ha. Sus componentes son *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro), *Launclaria racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo).
  11. **Palmar.** Se localiza en una superficie de 27,307 ha, son una asociación de plantas monopódicas comúnmente que crecen formando vegetación de galería en las regiones semiáridas del estado. Algunos de los palmares más conocidos son los formados por *Orbignya guacuyule*, *Acrocomia spp.*
  12. **Selva fragmentada.** Vegetación arbórea de clima cálido - húmedo, representada por selvas parcialmente desmontadas en una superficie de 659,229 ha. En estas áreas permanecen acahuals conformados por comunidades vegetales secundarias, donde la dinámica de población se encuentra en vías de recuperación hacia el tipo de vegetación clímax.
  13. **Vegetación hidrófila.** Se constituyen por comunidades vegetales que viven en lugares pantanosos e inundables de aguas dulces o salobres poco profundas, cubren una superficie de 9,992 ha. Incluye los tipos de vegetación popal y tular. Las especies más frecuentes son en Popales: *Thalia geniculata*, *Calathea spp.*, *Heliconia spp.*, y en Tulares: *Typha spp.*, *Scirpus spp.*, *Cladium jamaicense*, *Phragmites communis*, *Arundo donax* y *Cyperus spp.*



14. **Áreas forestales perturbadas.** Superficie de 1,719,541 ha con terrenos que han sido deforestados con fines tales como agricultura, ganadería, en los que sólo se encuentran relictos de la vegetación natural.
15. **Agricultura de riego.** Se refiere a las tierras dedicadas a la agricultura en las cuales se dispone de agua para irrigación por lo menos una vez durante el ciclo agrícola, mediante riego de punteo, auxilio o completo.
16. **Agricultura de temporal.** Este concepto comprende todas las tierras abiertas a la agricultura, tanto en regiones de relieve uniforme, como irregular, que se encuentran en explotación actual, en descanso o abandono, condicionadas desde luego a la precipitación pluvial. Incluye las clases agricultura nómada, de humedad y de riego suspendido. Este uso del suelo constituye la actividad económica más importante del medio rural.
17. **Plantaciones agrícolas.** Terrenos cultivados con especies como cocotero, palma aceitera, cafetales, cítricos, etc.
18. **Pastizales.** En esta clase se consideran las áreas que sustentan una cobertura de gramíneas que puede ser natural, inducida o cultivada, cuyo destino principal es el uso pecuario. Existen grandes extensiones distribuidas en todo el estado. Incluye los pastizales natural, halófilo, inducido, cultivado, de alta montaña y las condiciones sabanoides.
19. **Vegetación de dunas costeras.** Comunidad vegetal que se establece en dunas localizadas a lo largo de las costas. Algunas de las especies que pueden presentarse son el *Oipomoea pes-caprae*, *Abronia marítima*, *Chrysobalanus icaco*, *Opuntia dillenii*, *Cocoloba spp.*, *Bromelia pinguin*, y otras arbustivas o arbóreas que pueden proceder de la vegetación continua. Cabe hacer notar que estas áreas en general tienden a ser ocupadas por plantaciones de cocoteros.



20. **Cuerpos de agua.** Se refiere a los mayores depósitos de aguas interiores como son lagos, lagunas, presas y bordos posibles de detectar en las imágenes de satélite.
21. **Zonas urbanas.** Se refiere a las principales ciudades y localidades urbanas, tanto de las zonas habitacionales como las industriales y de recreo. Cabe hacer notar que únicamente se tomó en cuenta las ciudades que en los mapas topográficos 1:250,000 de INEGI se indican como de más de 40,000 habitantes.

Por otra parte, las existencias volumétricas maderables para los bosques de coníferas son en promedio de  $68.12 \text{ m}^3$  por. Para la clase de vegetación de bosques cerrados de coníferas y latifoliadas con coberturas de copas mayor de 50% el volumen que presenta es de  $124.38 \text{ m}^3$  por hectárea. Corresponde un volumen por hectárea de  $152.44 \text{ m}^3$  a los bosques cerrados constituidos principalmente por especies del género *Quercus spp.* Los bosques abiertos son asociaciones vegetales con una cobertura de copas menor al 50%, los volúmenes por hectárea que se encontraron para estas clases fueron los siguientes: bosques de coníferas  $37.03 \text{ m}^3$ , bosques de coníferas y latifoliadas  $79.7 \text{ m}^3$  y en los bosques de latifoliadas  $61.56 \text{ m}^3$ .

Con relación a los bosques fragmentados de clima templado y frío, el volumen estimado fue de  $18.67 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Lo anterior indica que los bosques cerrados, abiertos y fragmentados de clima templado y frío poseen un potencial de volumen considerable, a pesar de la degradación paulatina que a través del tiempo han venido sufriendo; bajo un manejo adecuado, son fuente importante de productos maderables para diversos fines. En cuanto a los ecosistemas de clima tropical el volumen por hectárea que aportaron los trabajos de muestreo de campo, fue para las selvas altas y medianas de  $44.35 \text{ m}^3$  y para las selvas bajas se obtuvo un volumen de  $36.16 \text{ m}^3$  por ha.

### 3.7 Erosión

En las áreas montañosas del estado de Guerrero, por la pendiente, el tipo de suelo y cuando están desprovistas de vegetación, las lluvias torrenciales provocan una erosión acelerada de los suelos.

Como antecedente de estudios que han evaluado el nivel de afectación de la erosión, se tienen los realizados por la Dirección General de Conservación de Suelo y Agua en 1972 y el de Estrada y Ortiz (1982), que consideran que el 90% de la entidad tiene erosión de ligera a moderada (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Superficies y porcentaje de erosión para el estado de Guerrero.**

| Tipo de erosión | Superficie      |        |
|-----------------|-----------------|--------|
|                 | km <sup>2</sup> | %      |
| LIGERA          | 37,088.25       | 53.43  |
| MODERADA        | 25,433.53       | 36.64  |
| ALTA            | 3,921.93        | 5.65   |
| SEVERA          | 2,970.94        | 4.28   |
| TOTAL ESTADO    | 69,414.65       | 100.00 |

Fuente: Estrada y Ortiz, 1982 (tomado del cuadro 1, página 4).

Por otra parte SARH (1994 b) en la memoria nacional del INFP en el cuadro 10 del apéndice, reporta una superficie por riesgo de erosión hídrica para el estado de Guerrero, que es alta en 4,206,100 ha, media en 1,478,700 ha y baja en 18,491 ha.

El trabajo de Martínez y Fernández (1983) citado por Figueroa *et al.* (1991) refiere que las regiones hidrológicas del país que presentaban las máximas degradaciones debidas a la relación entre la producción media de sedimentos y área de drenaje son la Costa Chica y Costa Grande del estado de Guerrero, solo superadas por la región de la

Costa de Jalisco. Regiones que se asocian a clima tropical seco con alta precipitación y temperatura, condiciones que hacen a los ecosistemas más vulnerables a los procesos de erosión sedimentación. En el tercer grupo de importancia por esta clase de degradación se ubicó la región hidrológica del Río Balsas, que gran parte de ella se localiza en estado de Guerrero y se asocia a vegetaciones del tipo clima semiseco a tropical.

### **3.8 Aspectos socioeconómicos**

De acuerdo con el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, (INEGI, 1990), la población del estado de Guerrero es de 2,620,637 habitantes. De ellos el 51.08% son mujeres y el 48.92% hombres. La densidad de población es de 41 habitantes por kilómetro cuadrado. La tasa de crecimiento en el período de 1970-1990 fue del 2.5%.

El 52.3% de la población es considerada urbana y el 47.7% rural. En contraste, solamente el 1.8% de las localidades son consideradas urbanas y el 98.2% rurales.

La población económicamente activa (PEA) del estado es de 611,755 personas, de las cuales el 38.4% está ocupada en las actividades primarias, el 18% en actividades secundarias y el 44% en actividades terciarias.

## **4. MATERIALES Y METODOS**

### **4.1 Equipo y programas de cómputo**

El equipo de cómputo usado consistió de una estación de trabajo SUN con plataforma UNIX con memoria del disco duro de 10 Gbytes y lector de disco óptico, además se utilizó una tableta digitalizadora para asignar nuevos atributos a las unidades cartográficas de los mapas digitales.

Los programas de cómputo Arc/Info y GRASS 4.0 fueron empleados para aplicarlos como sistema de información geográfica para la consulta y procesamiento de los mapas digitales disponibles.

### **4.2 Procedimiento general de evaluación**

En este trabajo se consideró factible realizar la zonificación con la información disponible del INFP y el nivel de precisión requerido, mediante un procedimiento de evaluación de aptitud tierras con fines de manejo forestal de conservación, en el cual el riesgo de erosión hídrica con ausencia de vegetación fue el principal criterio a tomar en cuenta y sustituye estimar la presencia o no de erosión de los criterios que determinan las zonas forestales del artículo 7º del Reglamento de la Ley Forestal.

Los principios y conceptos descritos en el esquema de evaluación de tierras con fines forestales de FAO (1985) fueron seguidos como base de planeación de este procedimiento. De acuerdo con el esquema de la Figura 1, en principio en este trabajo se adquirió información para el requerimiento riesgo de erosión de los tipos de utilización de la tierra y de la cualidad resistencia a la erosión de las unidades de tierra. Subsecuentemente, se hace la comparación de la tierra con su uso, donde los requerimientos fueron comparados con las cualidades de cada unidad de tierra. La comparación proporcionó solo una aptitud de uso de la tierra en términos de riesgo máximo de erosión.

De acuerdo con los fines de zonificación nacional estipulados en la legislación forestal, no se consideró necesario realizar el análisis social y económico para este nivel planificación. Por ello las clases provisionales de aptitud de la tierra por zona forestal fueron estimadas con la aplicación de un modelo riesgo de erosión, comparando los valores obtenidos por zona forestal.

Finalmente la evaluación concluye con la presentación de resultados que considera además estimaciones sobre las consecuencias de la aplicación de cada uso de la tierra.

### **4.3 Determinación de zonas forestales**

Es evidente que la aptitud de la tierra con fines forestales no puede ser valuada, sin una clara definición de las clases de uso o destino de los terrenos forestales y de aptitud preferentemente forestal, que en la terminología del esquema de FAO (1985) se reconocen como tipos de utilización de la tierra (TUT). Por ello los criterios que determinan todas las zonas forestales en principio parten de sí el terreno es forestal o de aptitud preferentemente forestal, la diferencia se debe a la presencia de vegetación nativa. El siguiente nivel de clasificación de las zonas forestales, son los criterios de conservación, producción y restauración que separan los terrenos forestales por su función o destino. El RLF aclara en estos criterios, que en el caso de las zonas de producción y restauración en terrenos con cobertura de copa natural de los árboles menor al 20% es necesario estimar la presencia o no de erosión. Por tanto, este atributo de la tierra determina las zonas de restauración de terrenos con degradación media, las zonas de restauración de terrenos con degradación baja o las zonas de terrenos de productividad maderable baja.

De acuerdo con las características: tipo de vegetación y riesgo máximo de erosión hídrica se definieron los tipos de uso de la tierra con base en las zonas forestales siguientes:

I. **Zonas de conservación:**

- a) Superficie de áreas naturales protegidas (**ANP**).
- b) Superficies localizadas por arriba de los 3,600 m sobre el nivel del mar (**SA**).
- c) Superficies con pendientes mayores al 100% (**SC**).
- d) Superficies con vegetación de protección (**VP**): manglares, y la vegetación de galería, hidrófila, halófila, de desiertos arenosos y de dunas costeras.

II. **Zonas de producción:**

- a) Terrenos forestales de productividad maderable alta (**PMA**), caracterizados por tener vegetación arbolada con una cobertura de copa natural de más del 40% y altura promedio de los árboles dominantes igual o mayor a 16 m.
- b) Terrenos forestales de productividad maderable media (**PMM**), caracterizados por tener vegetación arbolada con una cobertura de copa natural de entre 10 y 40% o una altura promedio de los árboles dominantes menor a 16 m.
- c) Terrenos forestales de productividad maderable baja (**PMB**), caracterizados por tener vegetación arbolada fragmentada, sin evidencias de riesgo máximo de erosión, equivalente a una pérdida de suelo menor de 25 t/ha/año.
- d) Terrenos con vegetación forestal apta para el aprovechamiento de recursos no maderables (**ARNM**), es la vegetación de zonas áridas cuya definición corresponde a la indicado en Artículo 2º fracción XXXV del RLF y fueron incluidos los palmares, mezquites, huizachales y vegetación de sabana.
- e) Terrenos no degradados (**TND**), sin vegetación forestal, con un riesgo máximo de erosión permisible menor a una pérdida de suelo de 25 t/ha/año, adecuados para el establecimiento de plantaciones forestales.

III. **Zonas de restauración:**

- a) Terrenos con degradación alta (**TDA**), caracterizados por carecer de vegetación forestal y tener cuando menos un riesgo máximo de erosión permisible mayor a una pérdida de suelo de 200 t/ha/año.
- b) Terrenos con degradación media (**TDM**), caracterizados por tener vegetación arbolada fragmentada y tener cuando menos un riesgo máximo de erosión permisible mayor a una a pérdida de suelo de 50 t/ha/año.

- c) Terrenos con degradación baja (**TDB**), caracterizados por tener vegetación arbolada fragmentada y tener cuando menos un riesgo máximo de erosión permisible mayor a una a pérdida de suelo de 25 t/ha/año.
- d) Terrenos degradados que ya estén sometidos a tratamientos de recuperación (**TDR**), que el INFP identifica como plantaciones forestales.

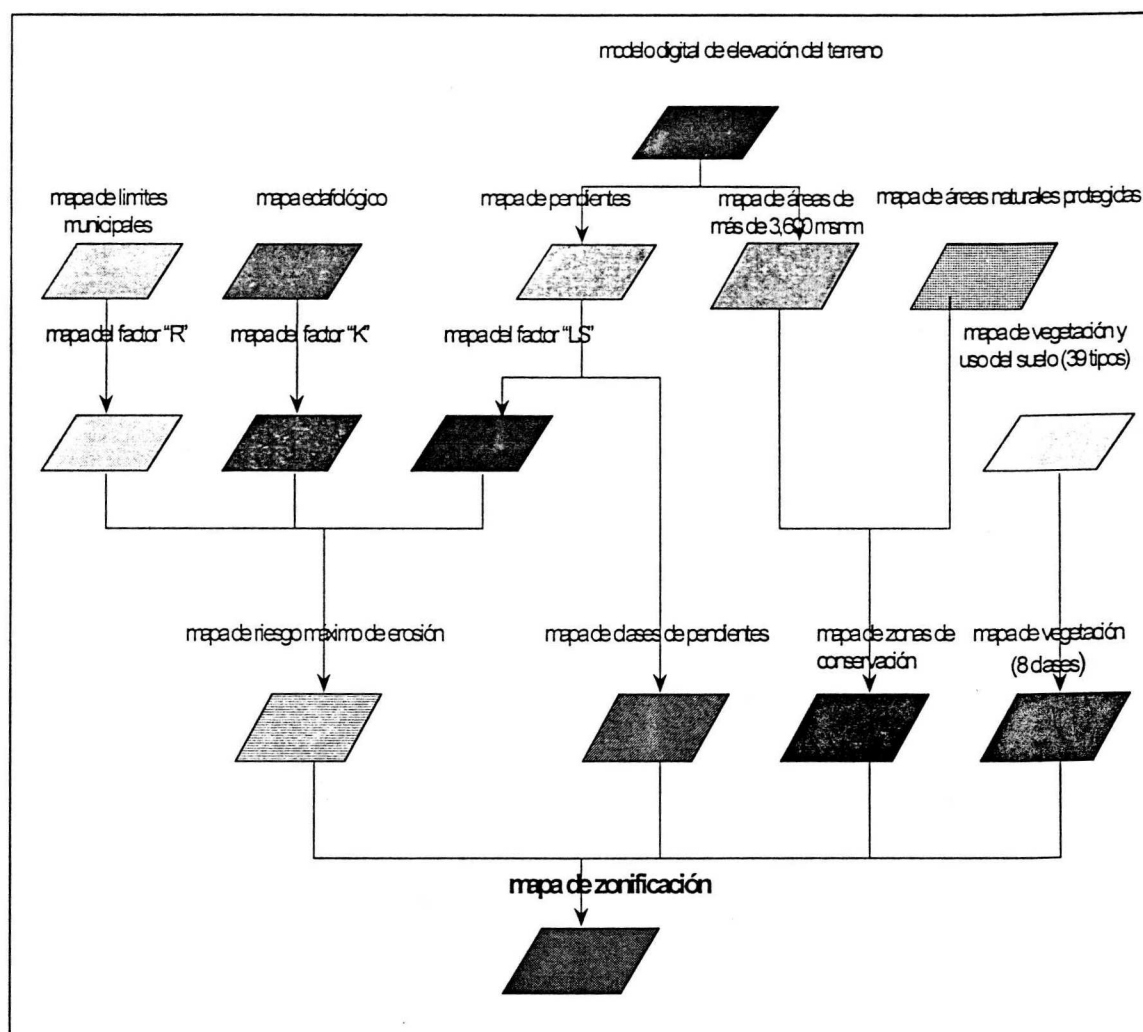
De acuerdo con FAO (1985) el paso más crítico del proceso de evaluación es la determinación de los requerimientos de uso, que deben ser valorados en términos de las cualidades de conservación estimadas por medio de las características de la tierra. Una vez hecho esto, se distinguieron las clases de aptitud para los tipos de utilización de la tierra, que en este caso son las zonas forestales antes señaladas.

Las características de la tierra que se usaron para estimar la cualidad de conservación pérdida de suelo o susceptibilidad a la erosión fueron la intensidad de la erosividad de la lluvia y la erosionabilidad del terreno, medida por la permeabilidad y textura del suelo y por el ángulo y longitud de la pendiente. Ello implicó un método para estimar cualidades de conservación denominado síntesis de varias características de los recursos naturales y la EUPS es una aplicación de este tipo de modelo que pretende calificar los tipos de utilización de la tierra sobre la base de índices de capacidad de uso, donde las unidades de evaluación sean áreas cartográficas clasificadas que representan tipos de vegetación y usos de la tierra con tasas de riesgo máximo de erosión.

La ejecución de este método involucró como herramienta básica de análisis, aplicar un sistema de información geográfica a partir en primera instancia de la cartografía del INFP disponible para el área de estudio, a fin de determinar la cobertura de riesgo máximo de erosión hídrica mediante el procedimiento propuesto por FAO (1980) sin tomar en cuenta los factores humanos.

Las zonas forestales fueron resultado de la combinación de las coberturas de vegetación, clases de pendiente, áreas de conservación y el mapa de riesgo máximo de erosión (Figura 3).

**Figura 3. Esquema para la elaboración del mapa de zonas forestales.**



#### 4.4 Organización y procesamiento de la base de datos

En este estudio se recurrió a la base de datos contenida en los mapas digitales que se encuentran en el sistema de información geográfica Arc/Info utilizado para llevar a cabo la zonificación nacional del INFP. La base de datos fue estructurada y ajustada a la Proyección Universal de Mercator de acuerdo con las cartas topográficas escala 1:250,000 de la República Mexicana que tiene el INEGI.



Cabe hacer notar que con el propósito de presentar datos de cobertura por tipo de vegetación y zonas forestales por entidad federativa para el INPF, fue sobrepuesta una división política del país sin corrección geográfica, por lo cual la suma de las superficies reportadas para cada estado no coincide con la superficie oficial<sup>2</sup> (SARH, 1994b).

En virtud de que en las zonas 13 y 14 de la proyección Universal Transversal de Mercator se localiza el estado de Guerrero, integrar en mapas específicos para esta entidad la información digital antes citada, requiere de una labor de aplicación de sistemas de información geográfica que no estaba contemplada en los objetivos de este estudio. Por lo que se seleccionaron únicamente las coberturas de los mapas de la zona 14, que comprende la mayor parte, de la superficie del estado de Guerrero, aproximadamente el 90%. Solamente no abarca el área que se encuentra después del meridiano 102° al suroeste de la entidad, y limita con el estado de Michoacán y con el Océano Pacífico en la desembocadura del Río Balsas.

En la información cartográfica digital que aparece en el Cuadro 6 se delimitó el área de estudio de acuerdo con el mapa de municipios del estado de Guerrero. Además esta información digital se ordenó a una sola escala de trabajo y la superficie que delimitaban las poligonales vectoriales se transformaron a un mapa con datos ordenados en celdas o “píxeles” o también conocidos como mapas de cobertura matricial (“raster” en inglés) y se le incorporaron atributos nuevos que más adelante son descritos.

#### **4.4.1 Mapas para la estimación del riesgo máximo de erosión**

Con las fuentes de información referidas en Cuadro 6 y mediante la asignación de otros atributos a las unidades cartográficas de cada uno de ellos, se elaboraron los mapas erosividad por lluvia, de erosionabilidad del suelo y del factor de longitud e inclinación de la pendiente, a fin de estimar la pérdida de suelo en toneladas por hectárea por año de acuerdo con la EUPS.

---

<sup>2</sup> Para mayor información de las características de estos mapas se sugiere consultar: Sorani *et al.* 1997

**Cuadro 6. Mapas digitales considerados para el área de estudio.**

| <b>Factor</b>                 | <b>Fuente</b>                                           | <b>Escala</b> |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------|
| Precipitación pluvial         | INEGI, mapa de precipitación media anual                | 1:1000,000    |
| Delimitación municipal        | INEGI-UNAM, mapa de límites municipales                 | 1:1000,000    |
| Unidades de suelo y textura   | INEGI, mapa de edafología                               | 1:1000,000    |
| Pendiente del terreno         | INEGI, modelo digital de elevación del terreno          | 1:250,000     |
| vegetación y uso de la tierra | SARH - UNAM, mapa forestal del INFP                     | 1:250,000     |
| Áreas naturales protegidas    | SARH-UNAM, mapas de áreas naturales protegidas del INFP | 1:250,000     |

#### 4.4.1.1 Factor de erosividad de la lluvia.

Se define como el producto de la energía cinética total de la lluvia (**E**) por la intensidad máxima en 30 minutos ( $I_{30}$ ), es el  $EI_{30}$  propuesto por Wischmeier (1959). Mide el efecto en que la erosión por salpicamiento y la turbulencia de flujos se combinan con el escurrimiento para remover del terreno las partículas separadas del suelo. Este proceso es conocido como erosión laminar (Figueroa *et al.*, 1991).

Cortés (1991) dividió un mapa de isoerosividad de la República Mexicana en 14 regiones, en las cuales determinó ecuaciones para estimar el factor de erosividad de la lluvia en función de la precipitación total anual. Las regiones que cubren el estado de Guerrero son la V, VIII y la X. Las ecuaciones y sus respectivos parámetros que permitieron estimar el valor del factor **R** o  $EI_{30}$  se aprecian en el Cuadro 7 y son del tipo:

$$y = ax + bx^2 \text{ ————— (5)}$$

Donde:

y = es el factor **R** o  $EI_{30}$  anual medido en: MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>

a, b = son los parámetros regionales indicados en el Cuadro 7

x = es la precipitación total anual en milímetros.

**Cuadro 7. Parámetros regionales para calcular la erosividad de la lluvia en el estado de Guerrero.**

| <b>Región</b> | <b>a</b> | <b>b</b>  | <b>R<sup>2</sup></b> |
|---------------|----------|-----------|----------------------|
| V             | 3.4880   | - 0.00019 | 0.94                 |
| VIII          | 1.9967   | 0.00327   | 0.98                 |
| X             | 6.8938   | 0.00044   | 0.95                 |

Figueroa *et al.* (1991), estimaron los valores por grupo climático del factor de erosividad “R” para cada uno de los municipios de la República Mexicana. En ocho municipios del estado de Guerrero reportan un rango de valores del factor R de diferentes climas. Con el fin de obtener un valor único, se estimó del mapa del INEGI escala 1:1,000,000 la media ponderada de este factor, a partir de la superficie del área que cubren las diversas clases de precipitación total anual promedio de cada uno de estos municipios. En el Cuadro 8 se aprecian los valores de “R” estimados con los parámetros de la ecuaciones regionales VIII y X.

**Cuadro 8. Erosividad por lluvia de 8 municipios del estado de Guerrero.**

| Municipio         | Región | Erosividad por lluvia ( r ) |
|-------------------|--------|-----------------------------|
| Azoyu             | X      | 8,557                       |
| Chilpancingo      | VIII   | 8,932                       |
| Metlatonoc        | VIII   | 17,880                      |
| Mochitlán         | VIII   | 8,759                       |
| Quechultenango    | VIII   | 8,773                       |
| San Luis Acatlán  | X      | 12,587                      |
| Tlacoapa          | VIII   | 13,792                      |
| Zapotitlán Tablas | VIII   | 11,665                      |

De esta manera los valores estimados por Figueroa *et al.* (1991) se aplicaron como atributo de erosividad de la lluvia en un mapa digital matricial de los municipios del estado de Guerrero localizados en el área de estudio.

#### **4.4.1.2 Factor de erosionabilidad del suelo.**

Figueroa *et al.* (1991) calcularon la erosionabilidad del suelo usando la metodología propuesta por FAO (1980), basada en atribuir un factor de erosionabilidad a cada unidad de suelo de la clasificación FAO-UNESCO, y tomando en cuenta los tres grupos texturales indicados en el mapa edafológico escala 1:1,000,000 de INEGI. Los valores del factor K obtenidos por esta metodología, presentaron en el área de estudio un rango de 0.0045 a 0.0840 t ha h / MJ mm ha. En el Cuadro 9 se muestra como se agruparon en seis clases estos valores.

**Cuadro 9. Valores del factor K para los suelos de México obtenidos por la metodología de FAO.**

| Clase | Intervalo       |
|-------|-----------------|
| I     | 0.0045 - 0.0177 |
| II    | 0.0178 - 0.0310 |
| III   | 0.0311 - 0.0443 |
| IV    | 0.0444 - 0.0576 |
| V     | 0.0577 - 0.0709 |
| VI    | 0.0710 - 0.0840 |

Cabe hacer notar, que en dicho mapa sus unidades cartográficas son asociaciones de varias unidades de suelos. La degradación del suelo por erosión puede afectar más o menos a cada unidad de suelo de la asociación. Por lo que hubo de elegir entre representar en el mapa únicamente la erosionabilidad del suelo dominante, determinar el proceso más intenso existente en la asociación o estimar un valor promedio de degradación del suelo por erosión de todas unidades de suelo de la asociación. En este trabajo se seleccionó la última opción, primero el valor de "K" se obtuvo para cada una de las unidades que forman las asociaciones que representan clases de suelos y finalmente se procedió a estimar el valor promedio del factor K, de acuerdo a la distribución porcentual siguiente: 60%, 20% y 20%, en el caso de que en la unidad cartográfica se encontraran tres unidades de suelo asociadas, y 80% y 20% para dos unidades de suelo asociadas.

Estos valores, en el mapa digital vectorial se utilizaron como atributo de los polígonos de las asociaciones de suelo identificadas como atributo y con el SIG GRASS 4.0 estos atributos de dicho mapa se transformaron a un mapa digital matricial con valores únicos del factor "K" para cada asociación.

Además con el propósito de evaluar la resistencia de los suelos del área de estudio, se combinaron en un mapa digital matricial los valores obtenidos de los factores "R" y "K" de la EUPS.

#### 4.4.1.3 Efecto de la topografía.

El efecto de la topografía en la erosión se representa por el factor LS. La erosión aumenta conforme la longitud del terreno en el sentido de la pendiente aumenta (factor L) y la inclinación de la superficie se hace mayor (factor S). La longitud de la pendiente se define como la distancia desde el punto de origen del flujo superficial a cualquier de los siguientes puntos: donde la pendiente decrece de tal manera que empieza a existir sedimentación o al punto en el cual el agua de escorrentía entra a un canal bien definido que puede ser parte de una red de drenaje, una terraza o una zanja de desviación. El factor L se define con la ecuación siguiente (Figuerola *et al.*, 1991):

$$L = (\lambda / 22.1)^m \text{-----} (6)$$

Donde:

$\lambda$  = longitud de la pendiente en metros

$m$  = Este valor esta influenciado por interacciones de la pendiente, inclinación y longitud, también por las propiedades del suelo, el tipo de vegetación y las prácticas de conservación.

El valor del exponente  $m$  varía dependiendo de la relación entre erosión entre canalillos (debida al impacto de las gotas de lluvia) y en los canalillos (causada por el flujo superficial) de acuerdo a la relación reportada por Foster *et al.* (1977), y que es:

$$m = \beta / (1 + \beta) \text{-----} (7)$$

Donde:

$$\beta = [\text{seno } \theta / 0.896] / [3.0 * (\text{seno } \theta)^{0.8} + 0.56]$$

$\theta$  = es el ángulo de la pendiente expresado en radianes

Al respecto FAO (1980) señala que el factor longitud e inclinación de la pendiente no se puede usar en evaluaciones de la erosión hídrica cuando se dispone de mapas de escala pequeña, debido a su variación dentro de las unidades cartográficas, y al hecho de que la erosión no es función lineal de la pendiente. Por lo cual propone en estos niveles de escala de trabajo aplicar solamente el ángulo del declive dominante.

De acuerdo con lo anterior el factor L debería de ser igual a uno e implica en estas ecuaciones que la longitud de la pendiente sea igual a 22.1 m y que no exista interacción entre la longitud y la inclinación de la pendiente.

Sin embargo al estimar la pendiente con el modelo digital de elevación del terreno, en este trabajo se consideró la longitud de la pendiente igual a 90 m, equivalente a la proyección horizontal de la pendiente en segmentos de tres segundos de arco de latitud y longitud. De tal manera que se consideraron parcelas de terreno con proyección horizontal de 90 por 90 m e independientes entre una y otra. Esto es que el factor L de la EUPS entre parcelas vecinas no se sumo. Además se aplicó un factor de corrección que dividió los valores para cada grado de inclinación de la pendiente de dicho factor por una constante igual a 2.554, que es el valor del factor L en un terreno con una pendiente del 9% de inclinación y 90 metros de longitud.

En virtud de que la pérdida de suelo aumenta más rápidamente con la inclinación de la pendiente que con la longitud, el factor S se evalúa utilizando la relación de McCool *et al.* 1989 citados por (Figueroa, *et al.* (1991):

Para inclinaciones de pendiente menores del 9%

$$S = 13.8 \operatorname{sen} \theta + 0.03 \text{-----} (8)$$

Para inclinaciones de la pendiente mayores o iguales a 9%

$$S = 16.8 \operatorname{sen} \theta - 0.5 \text{-----} (9)$$

Donde:

S = factor de inclinación de la pendiente

$\theta$  = ángulo de la pendiente en radianes

Para aplicar estas ecuaciones, se requirió convertir los valores de porcentaje de pendiente a radianes y grados, con lo se obtuvieron los valores del factor LS de 0 a 89 grados de inclinación de la pendiente. Con ello al mapa de pendientes obtenido se agrupó en clases del factor LS. Las áreas con pendientes mayores del 100% se les estimó un valor de factor LS promedio de acuerdo al área que representaban (Cuadro 10).

**Cuadro 10. Valores del factor longitud e inclinación de la pendiente por clase de terreno para el estado de Guerrero.**

| Pendiente % | factor LS | Superficie ha | Pendiente % | factor LS | Superficie ha | Pendiente %  | factor LS | Superficie ha    |
|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|---------------|--------------|-----------|------------------|
| 0           | 0.01      | 97            | 35          | 6.12      | 89,511        | 70           | 11.59     | 8,916            |
| 1           | 0.09      | 138,939       | 36          | 6.30      | 88,224        | 71           | 11.72     | 8,793            |
| 2           | 0.21      | 277,708       | 37          | 6.49      | 84,736        | 72           | 11.84     | 8,587            |
| 3           | 0.34      | 218,512       | 38          | 6.67      | 84,910        | 73           | 11.96     | 8,858            |
| 4           | 0.48      | 186,518       | 39          | 6.85      | 73,360        | 74           | 12.08     | 8,099            |
| 5           | 0.63      | 178,401       | 40          | 7.03      | 66,464        | 75           | 12.20     | 6,764            |
| 6           | 0.78      | 170,802       | 41          | 7.21      | 56,115        | 76           | 12.32     | 6,247            |
| 7           | 0.94      | 164,987       | 42          | 7.38      | 53,134        | 77           | 12.43     | 7,191            |
| 8           | 1.10      | 159,206       | 43          | 7.56      | 58,691        | 78           | 12.54     | 5,994            |
| 9           | 1.00      | 151,336       | 44          | 7.73      | 63,919        | 79           | 12.65     | 4,727            |
| 10          | 1.20      | 144,807       | 45          | 7.90      | 55,944        | 80           | 12.76     | 4,106            |
| 11          | 1.39      | 140,603       | 46          | 8.07      | 55,769        | 81           | 12.87     | 2,760            |
| 12          | 1.58      | 136,936       | 47          | 8.24      | 43,550        | 82           | 12.98     | 2,991            |
| 13          | 1.78      | 133,171       | 48          | 8.40      | 36,891        | 83           | 13.08     | 3,873            |
| 14          | 1.98      | 130,935       | 49          | 8.57      | 35,826        | 84           | 13.19     | 4,496            |
| 15          | 2.18      | 128,962       | 50          | 8.73      | 40,072        | 85           | 13.29     | 2,574            |
| 16          | 2.38      | 127,994       | 51          | 8.89      | 45,539        | 86           | 13.39     | 2,634            |
| 17          | 2.58      | 126,536       | 52          | 9.05      | 38,984        | 87           | 13.49     | 2,416            |
| 18          | 2.78      | 128,448       | 53          | 9.21      | 53,641        | 88           | 13.59     | 2,710            |
| 19          | 2.98      | 126,311       | 54          | 9.36      | 39,543        | 89           | 13.68     | 1,951            |
| 20          | 3.19      | 121,839       | 55          | 9.51      | 29,232        | 90           | 13.78     | 1,526            |
| 21          | 3.39      | 122,751       | 56          | 9.67      | 24,320        | 91           | 13.87     | 1,022            |
| 22          | 3.59      | 121,703       | 57          | 9.82      | 62,236        | 92           | 13.96     | 1,125            |
| 23          | 3.79      | 120,828       | 58          | 9.96      | 25,495        | 93           | 14.05     | 1,277            |
| 24          | 3.99      | 116,050       | 59          | 10.11     | 22,341        | 94           | 14.14     | 1,128            |
| 25          | 4.19      | 110,497       | 60          | 10.25     | 21,398        | 95           | 14.23     | 758              |
| 26          | 4.38      | 110,230       | 61          | 10.40     | 19,566        | 96           | 14.32     | 809              |
| 27          | 4.58      | 111,711       | 62          | 10.54     | 19,814        | 97           | 14.40     | 986              |
| 28          | 4.78      | 112,204       | 63          | 10.67     | 19,654        | 98           | 14.49     | 994              |
| 29          | 4.97      | 113,312       | 64          | 10.81     | 14,676        | 99           | 14.57     | 1,047            |
| 30          | 5.17      | 100,987       | 65          | 10.95     | 15,518        | 100          | 14.65     | 950              |
| 31          | 5.36      | 101,688       | 66          | 11.08     | 13,080        | 101 a        |           |                  |
| 32          | 5.55      | 104,472       | 67          | 11.21     | 9,984         | 176          | 15.91     | 10,015           |
| 33          | 5.74      | 94,330        | 68          | 11.34     | 9,836         | 177 a        |           |                  |
| 34          | 5.93      | 87,850        | 69          | 11.47     | 9,931         | 963          | 20.82     | 956              |
|             |           |               |             |           |               | <b>TOTAL</b> | <b>:</b>  | <b>6,230,848</b> |



#### 4.4.2 Mapa de vegetación y uso de la tierra

Los 39 tipos de vegetación y uso del suelo del mapa forestal del INFP se agruparon en ocho clases de acuerdo a los requerimientos de las zonas forestales (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Clasificación utilizada en el mapa de vegetación y uso de la tierra.**

| Grupos de cobertura                        | Tipo de vegetación                   |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Vegetación de protección                | 1 Manglares                          |
|                                            | 2 Vegetación de galería              |
|                                            | 3 Vegetación hidrófila               |
|                                            | 4 Vegetación halófila                |
|                                            | 5 Vegetación de desiertos arenosos   |
|                                            | 6 Vegetación de dunas costeras       |
| 2. Vegetación de cobertura de copa cerrada | 7 Bosque de pino cerrado             |
|                                            | 8 Bosque de oyamel cerrado           |
|                                            | 9 Bosque de otras coníferas cerrado  |
|                                            | 10 Bosque de pino y encino cerrado   |
|                                            | 11 Bosque mesófilo cerrado           |
|                                            | 12 Bosque de encino cerrado          |
|                                            | 13 Selvas altas y medianas           |
| 3. Vegetación de cobertura de copa abierta | 14 Bosque de pino abierto            |
|                                            | 15 Bosque de oyamel abierto          |
|                                            | 16 Bosque de otras coníferas abierto |
|                                            | 17 Bosque de pino y encino abierto   |
|                                            | 18 Bosque mesófilo abierto           |
|                                            | 19 Bosque de encino abierto          |
|                                            | 20 Selvas bajas                      |
| 4. Vegetación arbolada fragmentada         | 21 Bosques fragmentados              |
|                                            | 22 Selvas fragmentadas               |
| 5. Otros tipos de vegetación               | 23 Matorral subtropical              |
|                                            | 24 Matorral submontano               |
|                                            | 25 Matorral xerófilo                 |
|                                            | 26 Matorral espinoso tamaúlipeco     |
|                                            | 27 Mezquiales y huizachales          |
|                                            | 28 Chaparrales                       |
|                                            | 29 Palmar                            |
|                                            | 30 Sabana                            |
| 6. Terrenos en recuperación                | 31 Plantaciones forestales           |
| 7. Terrenos uso actual agropecuario        | 32 Áreas forestales perturbadas      |
|                                            | 33 Plantaciones agrícolas            |
|                                            | 34 Agricultura de riego              |
|                                            | 35 Agricultura de temporal           |
|                                            | 36 Pastizal                          |
| 8. Otras áreas no forestales               | 37 Zonas urbanas                     |
|                                            | 38 Cuerpos de agua                   |
|                                            | 39 Áreas desprovistas de vegetación  |



#### 4.4.3 Mapa de zonas de conservación

Este mapa incluyó coberturas de polígonos de tres tipos:

1. **Áreas naturales protegidas.**- Se constituyó de las superficies de los parques nacionales "El Veladero" con 3,160 ha y "Grutas de Cacahuamilpa" con 1,600 ha.
2. **Superficies con pendientes mayores al 100%.**- Obtenidas a partir de la estimación de pendientes para segmentos de tres segundos de arco, aproximadamente cada 90 m, del modelo digital de elevación del terreno.
3. **Superficies con vegetación de conservación.**- Corresponden al grupo de cobertura de vegetación de protección indicado del Cuadro 10.

#### 4.5 Estimación de zonas forestales por riesgo máximo de erosión

Con las modificaciones antes descritas que son adecuadas para una evaluación a nivel de regional, y de acuerdo con lo representando en la Figura 3, los mapas de erosividad por lluvia, de erosionabilidad del suelo y de los factores de longitud e inclinación de la pendiente se combinaron mediante un lenguaje algebraico de mapeo para obtener el mapa digital de riesgo máximo de erosión a una escala de trabajo de 1:1,000,000 que representa áreas con valores de medias promediadas de pérdida de suelo anual por hectárea. Con lo cual se aplicó la modificación propuesta por FAO (1980) de la EUPS, de prescindir de la influencia de las prácticas de cultivo y explotación como factor, a fin de estimar la situación correspondiente si la cubierta forestal protectora fuera removida.

Por esta razón la cualidad de la tierra riesgo máximo de erosión estimada en este trabajo, prevé los efectos de la degradación de la tierra por pérdida de suelo debida a la erosión hídrica que se presenta por la conversión de áreas bajo cubierta forestal a uso agrícola. En la evaluación el riesgo de erosión alcanzó su máximo, es decir la vegetación natural y el uso de la tierra actuales no se les tomó en cuenta porque se les supo-

ne iguales. Además se eliminaron todos los factores relativamente inestables o no permanentes y se logró un valor independiente del tiempo. Como en la metodología de FAO (1980) no se distinguió esta posibilidad para estimar los parámetros de erosionabilidad de los suelos, los factores humanos se consideraron constantes con un valor de 0.4, que corresponde a una superficie sin cubrimiento de vegetación natural en áreas de clima húmedo sin largas estaciones secas o equivale a una combinación de cobertura de pastizales, agostaderos y terrenos en descanso, cuando la cobertura de vegetación aérea y en contacto con el suelo no es apreciable.

Para definir en que medida es satisfecha la condición de riesgo de erosión se requirió agrupar en clases de valores críticos la pérdida de suelo estimada. Cabe recordar que de acuerdo con FAO (1985) un medio de calificar el riesgo de erosión consiste en aceptar que las pérdidas de suelo sean menores a 12 t/ha/año y que una pérdida de suelo de más de 50 t/ha/año es inaceptable. Al respecto Figueroa *et al.* (1991) señalan que un indicador de erosión permisible es limitar la tasa de erosión a valores entre 45.5 a 25 t/ha/año. SARH (1993b) determinó áreas altamente erosionables, que son aquellas que presentan una erosión potencial mayor de 8 veces la tasa de erosión permisible y la estimó en 20 t/ha/año para el Distrito de Desarrollo Rural de Zitácuaro. Estrada y Ortiz (1982) de acuerdo con FAO (1980), utilizaron para hacer un plano de erosión hídrica del suelo en México las clases de degradación de los suelos que se aprecian en el Cuadro 12.

**Cuadro 12. Clasificación de la erosión hídrica.**

| Clase de erosión | Pérdida de suelo |               |
|------------------|------------------|---------------|
|                  | t / ha / año     | mm / año      |
| ninguna a ligera | Menor de 10      | menor de 0.6  |
| Moderada         | 10 a 50          | 0.6 a 3.3     |
| alta             | 50 a 200         | 3.3 a 13.3    |
| muy alta         | Mayor de 200     | mayor de 13.3 |

Fuente: FAO (1980), página 5.

Por ello en este trabajo, se utilizaron estas clases de pérdida de suelo por erosión hídrica para valorar los grupos de vegetación y uso de la tierra, incorporando el concepto de tasa de erosión permisible o de tolerancia, que se determinó de 25 t/ha/año de pérdida de suelo. Por lo tanto la clase de 10 a 50 t/ha/año se dividió en dos: una que va 10 a 25 que se calificó como erosión permisible, y la otra de 25 a 50 se precisó como moderada. Cabe hacer notar que la tasa de erosión permisible de 25 t/ha/año es un parámetro crítico en esta evaluación, porque determina si un terreno debe estar en una zona de restauración o de producción. Por otra parte la definición de algunas zonas forestales no involucró una clasificación por riesgo máximo de erosión como así se puede apreciar en el Cuadro 13.

**Cuadro 13. Clases de zonas forestales y requerimientos de uso de la tierra.**

| Zonas forestales    | Requerimientos de uso de la tierra      |                                                          |
|---------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                     | Grupos de cobertura de vegetación       | Riesgo máximo de erosión (pérdida de suelo) t / ha / año |
| <b>CONSERVACION</b> |                                         |                                                          |
| ANP                 | Todas                                   | ninguna                                                  |
| SA                  | Todas                                   | ninguna                                                  |
| SC                  | Todas                                   | ninguna                                                  |
| VP                  | Vegetación de protección                | ninguna                                                  |
| <b>PRODUCCIÓN</b>   |                                         |                                                          |
| ARNM                | Otros tipos de vegetación               | ninguna                                                  |
| PMA                 | Vegetación de cobertura de copa cerrada | ninguna                                                  |
| PMM                 | Vegetación de cobertura de copa abierta | ninguna                                                  |
| PMB                 | Vegetación arbolada fragmentada         | menor de 25                                              |
| TND                 | Terrenos uso actual agropecuario        | menor de 25                                              |
| <b>RESTAURACIÓN</b> |                                         |                                                          |
| TDA                 | Terrenos uso actual agropecuario        | mayor de 200                                             |
| TDM                 | Vegetación arbolada fragmentada         | mayor de 50                                              |
| TDB                 | Vegetación arbolada fragmentada         | mayor de 25                                              |
| TDR                 | Terrenos en recuperación                | ninguna                                                  |

Subsecuentemente, se hizo la comparación de la tierra con su uso, donde estos requerimientos fueron confrontados con las cualidades de cada unidad de tierra obtenidas mediante la combinación del mapa digital de riesgo máximo de erosión con el mapa de grupos de vegetación.

#### **4.6 Comparación de la tierra con su uso**

En la zonificación realizada para el INFP, en los terrenos de zonas de productividad maderable alta y media en que el riesgo de erosión fue evidente, implicó una nueva clase de zona forestal denominada de producción maderable restringida (SARH, 1994). Situación que en este estudio también se presentaría si la determinación de las zonas forestales no se ajustara solamente a lo indicado en el Cuadro 13 y se evaluara toda la superficie por riesgo máximo de erosión.

Sin embargo, con objeto de lograr una aptitud de la tierra para un nivel de planificación nacional o estatal, en el cual el riesgo de erosión hídrica con ausencia de vegetación sea el atributo principal para decidir cual es el uso más adecuado de los terrenos forestales y de aptitud preferentemente forestal. Además para tomar en cuenta que la severidad de la erosión es un criterio de diagnóstico de aptitud, cuando los requerimientos de conservación son siempre una condición necesaria si se pretende utilizar la tierra con fines productivos y si la restauración de tierras es un objetivo.

Por otra parte en el mapa de zonificación nacional para el INFP aparece la clase "no forestal" que considera a los terrenos sin vegetación forestal, con menos del 15% de pendiente y que actualmente están en uso no forestal estabilizado. Sin embargo, en el Artículo 3º BIS de la Ley Forestal reformada se definen los terrenos de aptitud preferentemente forestal como aquellos que no estando cubiertos por dicha vegetación, por sus condiciones de clima, suelo y topografía puedan incorporarse al uso forestal, excluyendo los situados en áreas urbanas y los que, sin sufrir degradación permanente, puedan ser utilizados en agricultura y ganadería.

Esto significa actualmente que los terrenos sin vegetación natural pueden de incorporarse al uso forestal y no importa que la pendiente del terreno sea menor al 15%, como lo consideraba en la definición de terreno de aptitud preferentemente forestal el Reglamento de la Ley en la materia.

Para valorar la degradación permanente de un terreno por la erosión hídrica, se clasificaron los tipos de utilización de la tierra por la clase de pendiente terreno. Por ello en este trabajo tomando en cuenta las tres clases de inclinación propuestas por FAO (1980), se clasificaron las unidades de tierra en cuatro grupos:

- 1) Terrenos con relieve plano o suavemente ondulado, con declives dominantes comprendidos entre el 0 y el 8% de pendiente.
- 2) Terrenos con pendiente fuertemente ondulada o en colinas, con angulo de la pendiente del 9 al 30%.
- 3) Terrenos fuertemente socavados o montañosos con declives superiores al 30% de pendiente.
- 4) Areas con más del 100% de pendiente, que por los criterios de zonificación, deben ser consideradas zonas de conservación.

Por lo anterior en este estudio, la comparación de los requerimientos de uso de la tierra con las cualidades de la tierra, cobertura de vegetación y riesgo máximo de erosión, involucró cambios en los requerimientos de uso de la tierra y en la clasificación de las unidades de tierra.

De esta manera en el Cuadro 14 se aprecia una evaluación directa con respecto al riesgo máximo de erosión, en la cual se asignó su relativa necesidad o beneficio a las clases de aptitud de la tierra para definir zonas forestales con los criterios de siguientes:

- 1) En virtud de que las zonas forestales de conservación deben de mantener la vegetación natural y en su caso invariablemente realizar prácticas de conservación y restauración de suelos, el riesgo máximo de erosión no se tomo en cuenta.

- 2) En los terrenos que se pretende que estén en uso productivo, consistió la calificación de aptitud en aceptar una pérdida de suelo anual menor a 25 toneladas por hectárea y cualquier terreno que pudiera producir más de 200 t/ha/año se juzgó como no apto para ese tipo de uso. Tomando estos valores como límites entre apto y no apto, un rango de 50 a 200 t/ha/año se consideró marginalmente apto, en el cual se deben de incorporar prácticas de conservación de suelo y un rango de 25 a 50 t/ha/año como moderadamente apropiado.
- 3) En el caso de que la utilización del terreno sea para restauración, se determinó un orden de aptitud alto donde el riesgo máximo de erosión es mayor a una pérdida de suelo de 200 t/ha/año, entre 50 y 200 como moderadamente apto, de 50 a 25 marginalmente apto y menor de 25 t/ha/año no apto.

**Cuadro 14. Clases provisionales de aptitud de la tierra por zona forestal.**

| Zonas forestales | Clases provisionales de aptitud por riesgo máximo de erosión (pérdida de suelo)<br>t / ha / año |                |                |              |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|--------------|
|                  | Alta<br>A1                                                                                      | Moderada<br>A2 | Marginal<br>A3 | No apta<br>N |
| Conservación     | ninguna                                                                                         | Ninguna        | ninguna        | ninguna      |
| Producción       | menor de 25                                                                                     | de 25 a 50     | de 50 a 200    | mayor de 200 |
| Restauración     | mayor de 200                                                                                    | de 200 a 50    | de 50 a 25     | menor de 25  |

Finalmente, se elaboró un mapa provisional de aptitud de tierra con base en la combinación de atributos de las unidades cartográficas de los mapas de grupos de vegetación, de riesgo máximo de erosión y del mapa de las clases de declive dominante antes señaladas, con lo cual se muestra una distribución de las diversas clases de aptitud de tierras para la zonificación del área de estudio.

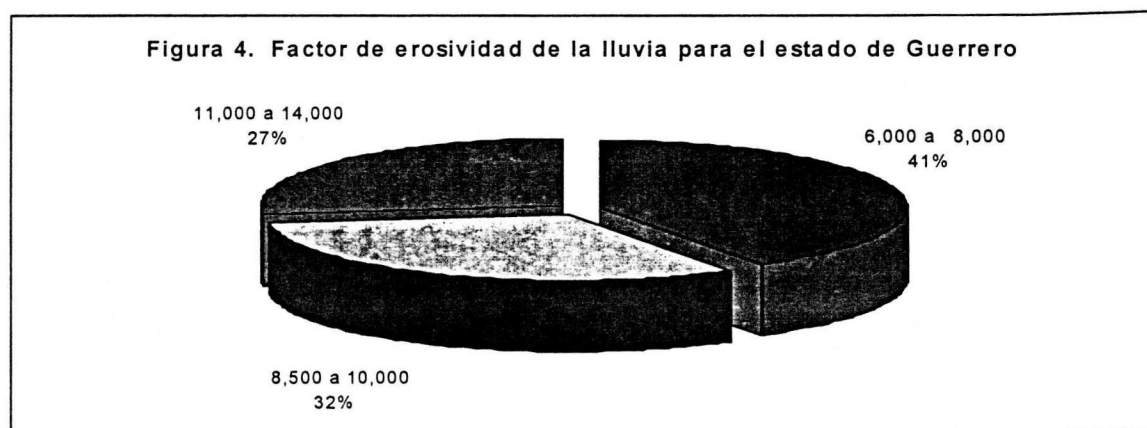
## 5. RESULTADOS

### 5.1 Mapa de riesgo máximo de erosión

Cabe hacer notar que los resultados obtenidos en los diferentes mapas de los factores que se consideran para aplicar la EUPS y estimar el máximo riesgo de erosión son valores aproximados que representan medias promediadas de áreas extensas. Al combinarse esta cobertura en un lenguaje algebraico de mapeo, se generaron mapas digitales matriciales, que representan áreas de terreno con valores promediados por cada "pixel", los resultados de cada mapa se describen a continuación.

#### 5.1.1 Erosividad de la lluvia

El mapa digital matricial obtenido para el factor de erosividad de la lluvia incluyó valores para el  $EI_{30}$  que van desde 6,000 a 20,000 MJ mm/ha h año. En la Figura 4 se aprecia el porcentaje de cubrimiento en el área de estudio de las clases de 6,000 a 8,000, de 8,500 a 10,000 y las mayores de 10,000 de los valores del  $EI_{30}$ .



El riesgo de erosividad por lluvia es mayor a 10,000 MJ mm/ha h año en una superficie de 1,677,539 ha que incorpora a 21 municipios. Los restantes municipios se encuentran en el 63% de la superficie en un rango de 6,000 a 10,000 MJ mm/ha h año (Cuadro 15).

**Cuadro 15. Factor de la erosividad por la lluvia para el estado de Guerrero.**

| <b>Factor "R"</b>     | <b>Superficie</b> |
|-----------------------|-------------------|
| <b>MJ mm / ha / h</b> | <b>ha</b>         |
| 6,000                 | 40,080            |
| 6,500                 | 40,549            |
| 7,000                 | 502,788           |
| 7,500                 | 457,480           |
| 8,000                 | 1,522,985         |
| <b>Subtotal:</b>      | <b>2,563,881</b>  |
| 8,500                 | 704,599           |
| 9,000                 | 940,651           |
| 10,000                | 344,179           |
| <b>Subtotal:</b>      | <b>1,989,428</b>  |
| 11,000                | 228,235           |
| 12,000                | 174,874           |
| 12,500                | 205,001           |
| 13,000                | 147,754           |
| 14,000                | 104,825           |
| 15,000                | 276,760           |
| 16,000                | 29,053            |
| 17,000                | 155,684           |
| 18,000                | 299,508           |
| 20,000                | 55,845            |
| <b>Subtotal:</b>      | <b>1,677,539</b>  |
| <b>Total:</b>         | <b>6,230,848</b>  |

Cabe hacer notar, que los límites municipales utilizados no son exactos. El INEGI los empleó únicamente para ubicar geográficamente las ciudades y pueblos a fin de llevar a cabo los censos nacionales de población y vivienda de 1990 y por ello no tienen validez cartográfica. Por lo tanto el área estimada en los mapas digitales no coincide con la superficie reconocida oficialmente de cada municipio.

### **5.1.2 Erosionabilidad del suelo**

De acuerdo con las unidades de suelo y clases de textura identificadas en el área de estudio los valores obtenidos de erosionabilidad del suelo, factor K, variaron de 0.04680 hasta 0.00845, divididos en cuatro clases (Cuadro 16).



**Cuadro 16. Valores de erosionabilidad para el estado de Guerrero en función de unidades y clases de textura del suelo.**

| <b>Clases<br/>del factor K</b> | <b>Valores de erosionabilidad del suelo<br/>t ha h / ha MJ mm</b> | <b>Superficie<br/>ha</b> | <b>%</b> |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------|
| Clase I                        | De 0.00845 a 0.01300                                              | 1,173,930                | 18.8     |
| Clase II                       | De 0.01950 a 0.02925                                              | 2,733,460                | 43.9     |
| Clase III                      | De 0.03120 a 0.04420                                              | 2,215,760                | 35.5     |
| Clase IV                       | De 0.04680                                                        | 71,713                   | 1.2      |
| Sin valor <sup>1</sup>         |                                                                   | 24,328                   | 0.4      |
| Error                          |                                                                   | 11,657                   | 0.2      |
| Total:                         |                                                                   | 6,230,848                | 100.0    |

Nota:<sup>1</sup> En el mapa de suelos estas áreas son cuerpos de agua.

Resultado de la combinación de los factores "R" y "K" de la EUPS, resalta que en el 68.6% del área de estudio se observaron valores de pérdida de suelo anual de 202 a 780 t/ha (Cuadro 17).

**Cuadro 17. Pérdida de suelo estimada para el estado de Guerrero por la combinación de los factores R y K.**

| <b>Pérdida de suelo (Factor R K)<br/>t/ha/año</b> | <b>S u p e r f i c i e<br/>ha</b> | <b>%</b> |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------|----------|
| Error                                             | 12,504                            | 0.2      |
| Sin clase                                         | 24,328                            | 0.4      |
| 66 a 198                                          | 1,922,135                         | 30.8     |
| 202 a 364                                         | 3,383,231                         | 54.3     |
| 368 a 780                                         | 888,651                           | 14.3     |
| Total:                                            | 6,230,848                         | 100.0    |

### 5.1.3 Efecto de la longitud e inclinación de la pendiente

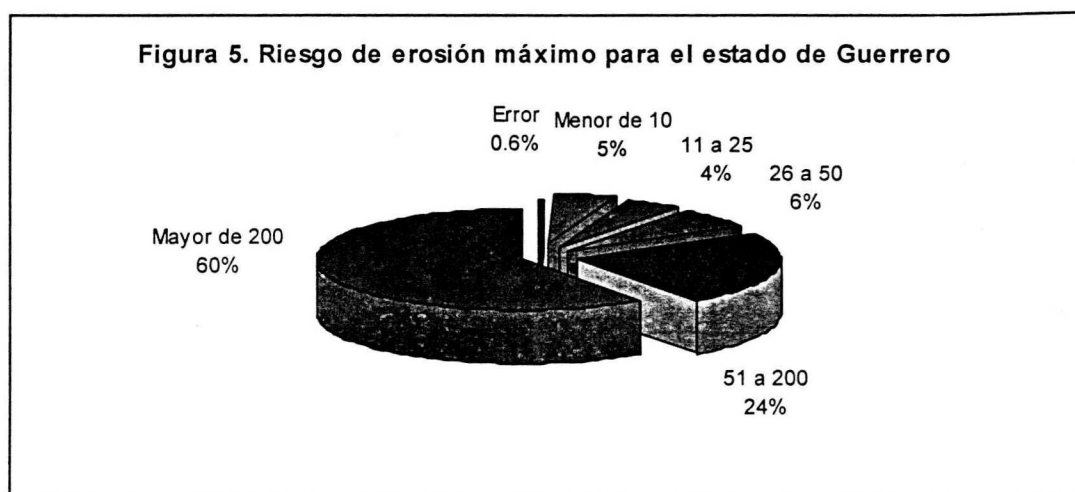
Del mapa de clases de inclinación de la pendiente se integraron cuatro grupos y se obtuvieron los valores promedio de "LS", ponderando por la superficie que cubre de cada uno de estos grupos, a fin de utilizarlos compararlos con las clases de inclinación del Mapa Mundial de Suelos (FAO, 1980) (Cuadro 18).

**Cuadro 18. Valores del factor LS por clases de inclinación de los terrenos del estado de Guerrero.**

| Clase de inclinación | Declive dominante | Valoración FAO | "LS" estimado | Superficie ha | %     |
|----------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| A                    | 0 a 8%            | 0.35           | 0.53          | 1,495,170     | 24.0  |
| b                    | 8 a 30%           | 3.50           | 2.97          | 2,738,750     | 43.9  |
| c                    | 30 a 100%         | 11.00          | 7.89          | 1,986,557     | 31.9  |
| d                    | > de 100%         | sin valor      | 15.91         | 10,971        | 0.2   |
|                      |                   | Total área     | de estudio:   | 6,230,848     | 100.0 |

#### 5.1.4 Superficie y pérdida de suelo por riesgo máximo erosión

Se observó en los resultados del mapa de máximo riesgo de erosión para el área de estudio, que solamente en el 9% de la superficie la pérdida de suelo estimada fue menor de 25 t/ha/año. La erosión moderada representó 6%. Hay un riesgo de erosión alto, entre 50 y 200 t/ha/año en un 24% de la superficie. La clase de erosión más frecuente fue la mayor a 200 t/ha/año de pérdida de suelo y se localiza en una superficie de 3,726,556 ha que representa un 60% del área de estudio (Figura 5).



## 5.2 Mapa de vegetación y uso de la tierra.

Con el mapa de forestal del INFP correspondiente al área de estudio se integró un mapa digital conformado de siete grupos que representan unidades de tierra que favorecen un posible uso del suelo (Cuadro 19).

**Cuadro 19. Grupos de cobertura de vegetación y uso de la tierra.**

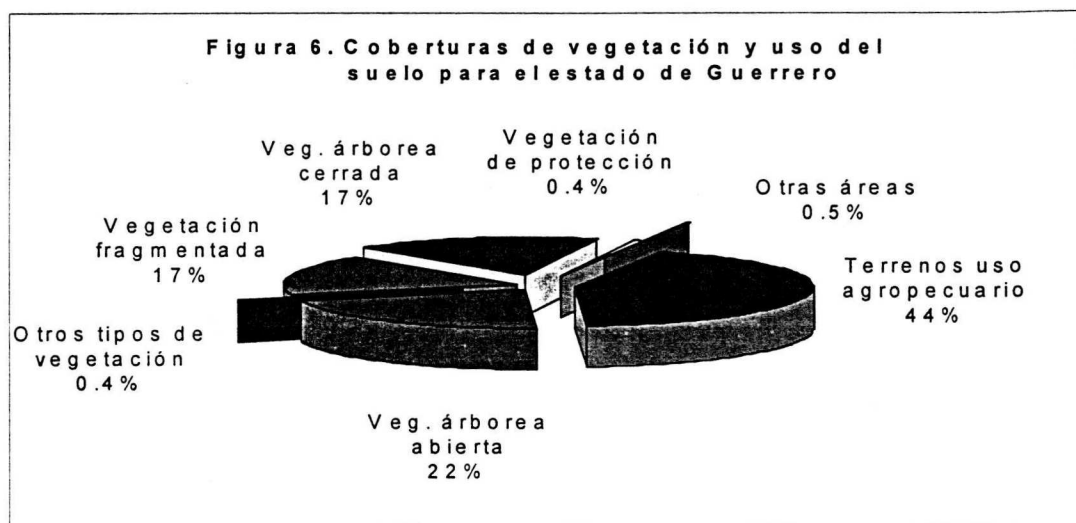
| Grupos de cobertura                              | Tipo de vegetación                  | Superficie ha    |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| 1. Vegetación de protección                      | Manglares                           | 6,499            |
|                                                  | Vegetación hidrófila                | 9,922            |
|                                                  | Vegetación de dunas costeras        | 7,527            |
|                                                  | <b>Total:</b>                       | <b>23,948</b>    |
| 2. Vegetación de cobertura de copa cerrada       | Bosques de pino cerrado             | 33,825           |
|                                                  | Bosques de otras coníferas cerrado  | 7,489            |
|                                                  | Bosques de pino y encino cerrado    | 683,642          |
|                                                  | Bosques mesófilo de montaña cerrado | 125,362          |
|                                                  | Bosques de encino cerrado           | 145,669          |
|                                                  | Selvas altas y medianas             | 59,689           |
|                                                  | <b>Total:</b>                       | <b>1,055,676</b> |
| 3. Vegetación de cobertura de copa abierta       | Bosques de pino abierto             | 26,660           |
|                                                  | Bosques de oyamel abierto           | 7,852            |
|                                                  | Bosques de otras coníferas abierto  | 473              |
|                                                  | Bosques de pino y encino abierto    | 295,828          |
|                                                  | Bosques mesófilo de montaña abierto | 19,247           |
|                                                  | Bosques de encino abierto           | 325,121          |
|                                                  | Selvas bajas                        | 646,858          |
|                                                  | <b>Total:</b>                       | <b>1,322,039</b> |
| 4. Vegetación arbolada fragmentada               | Bosques fragmentados                | 412,058          |
|                                                  | Selvas fragmentadas                 | 673,801          |
|                                                  | <b>Total:</b>                       | <b>1,085,859</b> |
| 5. Otros tipos de vegetación                     | Palmar                              | 27,307           |
|                                                  | <b>Total:</b>                       | <b>27,307</b>    |
| 7. Terrenos en uso actual agropecuario           | Áreas forestales perturbadas        | 1,754,401        |
|                                                  | Agricultura de riego                | 33,053           |
|                                                  | Agricultura de temporal             | 564,778          |
|                                                  | Pastizal                            | 333,925          |
|                                                  | <b>Total:</b>                       | <b>2,686,157</b> |
| 8. Otras áreas no forestales                     | Áreas desprovistas de vegetación    | 61               |
|                                                  | Cuerpos de agua                     | 27,583           |
|                                                  | Zonas urbanas                       | 2,121            |
|                                                  | <b>Total:</b>                       | <b>29,765</b>    |
| Error por sobreposición de límites de polígonos: |                                     | 97               |
| Superficie total del área de estudio:            |                                     | <b>6,230,848</b> |

### 5.2.1 Vegetación de protección

El INFP estimó para el estado de Guerrero 6,499 ha de manglares. Cabe hacer notar que este estudio también incluyó en este grupo 9,922 ha de vegetación hidrófila y 7,523 ha de vegetación de dunas costeras. Por lo que en la Figura 6 se aprecia que la vegetación de protección representa el 0.4% del área de estudio.

### 5.2.2 Vegetación arbórea

Como se aprecia en la Figura 6, el grupo de vegetación arbórea se constituye por una parte, de bosques continuos donde el grupo de cobertura de copa cerrada representó el 17% y el de cobertura de copa abierta el 22%. Otra parte son las áreas fragmentadas, que se integran de bosques y selvas en superficies compactas pequeñas mezcladas con terrenos en uso agropecuario y se localizan en una superficie de 1,085,870 ha.



### 5.2.3 Otros tipos de vegetación

En el área de estudio que corresponde a la zona semiárida, en las cartas de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000 de INEGI se identifica vegetación de palmar, que en la cartografía digital del INFP se estimó en 27,307 ha, por ello se clasificó en el grupo de vegetación apta para aprovechamiento de recursos no maderables.

#### **5.2.4 Terrenos en recuperación**

De acuerdo con los resultados de la cartografía del INFP, en la zona de estudio no se identificaron áreas que se encuentren en recuperación debido a la forestación, reforestación o regeneración natural. Esto es que en la interpretación de las imágenes de satélite no se distinguió vegetación forestal en terrenos que en el mapa de uso de suelo y vegetación de INEGI se reportaron usos del suelo agropecuarios.

#### **5.2.5 Terrenos en uso no forestal**

Hay que destacar que el 43% del área se identificó en el grupo de usos no forestales. Sin embargo de las 2,686,128 ha reportadas bajo este concepto, 1,754,273 ha se identificaron como áreas perturbadas, esto es que representan el 65% de este grupo y cubren un 28% del total del área de estudio.

En cuanto a las áreas desprovistas de vegetación se consideran como no forestales de acuerdo con FAO (1989). En el área de estudio, por la pequeña superficie que cubre se infirió que se trata de un afloramiento de material pétreo.

### **5.3 Riesgo máximo de erosión por tipo de vegetación**

Para calificar el riesgo máximo de erosión por medio de la pérdida de suelo prevista por grupos de vegetación elaborados para que representen un posible uso forestal de la tierra, se combinó el mapa de riesgo máximo de erosión y el mapa de grupos de vegetación y uso de la tierra antes descritos. Las clases de riesgo máximo de erosión hídrica por tipo de cobertura vegetal o uso de la tierra prevé los efectos de pérdida de suelo anual en teladas por hectárea, por la decisión de desmontar los terrenos bajo cubierta de vegetación natural y sustituirla por cultivos agrícolas (Cuadro 20).

**Cuadro 20. Clases de riesgo máximo de erosión hídrica por grupo de cobertura de vegetación.**

| Grupos de vegetación                    | Clases de máximo riesgo de erosión hídrica<br>Pérdida de suelo por t/ha/año |         |         |           |           | Áreas con pendiente<br>> 100% | Error  | Superficie total<br>ha |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------|---------|-----------|-----------|-------------------------------|--------|------------------------|
|                                         | < de 10                                                                     | 11 a 25 | 26 a 50 | 51 a 200  | > de 200  |                               |        |                        |
| Error                                   |                                                                             |         |         |           |           |                               | 97     | 97                     |
| Vegetación de protección                | 14,705                                                                      | 2,743   | 1,528   | 198       | 9         |                               | 4,764  | 23,948                 |
| Vegetación de cobertura de copa cerrada | 5,715                                                                       | 9,330   | 19,377  | 147,566   | 869,582   | 3,869                         | 238    | 1,055,676              |
| Vegetación de cobertura de copa abierta | 21,587                                                                      | 25,282  | 45,102  | 293,144   | 933,105   | 2,965                         | 854    | 1,322,039              |
| Vegetación arbolada fragmentada         | 38,245                                                                      | 53,113  | 41,378  | 268,629   | 680,341   | 1,618                         | 2,534  | 1,085,859              |
| Otros tipos de vegetación               | 373                                                                         | 1,018   | 1,252   | 10,578    | 13,985    | 92                            | 10     | 27,307                 |
| Terrenos en uso actual agropecuario     | 224,777                                                                     | 172,590 | 292,864 | 749,143   | 1,229,534 | 2,425                         | 14,825 | 2,686,157              |
| Otras áreas                             | 6,533                                                                       | 670     | 791     | 2,841     | 2,424     | 2                             | 16,503 | 29,765                 |
| Total área de estudio                   | 311,933                                                                     | 264,747 | 402,292 | 1,472,100 | 3,728,980 | 10,971                        | 39,826 | 6,230,848              |
|                                         | 5%                                                                          | 4%      | 6%      | 24%       | 60%       | 0.2%                          | 0.6%   | 100%                   |

## 5.4 Zonas forestales

Con la confrontación de las cualidades de la tierra: tipo de cobertura de vegetación y riesgo máximo de erosión, con los requerimientos del Cuadro 13 se obtuvieron las zonas forestales de producción y restauración. El mapa de zonas de conservación incluyó tres tipos de coberturas y no fue tomado en cuenta el riesgo máximo de erosión.

### 5.4.1 Zonas forestales de conservación

Las zonas de conservación comprenden una superficie de 39,679 ha, que se diferencian en 4,760 ha de parques nacionales, 10,971 ha con pendientes mayores al 100% y 23,948 ha con vegetación de protección.

Las 4,760 ha de los parques nacionales se consideraron como áreas perturbadas en la cartografía forestal del INFP. Esta superficie cubre el 0.08% del total del área de estudio y en la obtención del mapa de riesgo máximo de erosión fue tomada en cuenta.

Los terrenos con pendientes mayores al 100% estimados con el modelo digital de elevación de terreno suman 10,971 ha y representan un cubrimiento del 0.18% del área de estudio.

#### 5.4.2 Zonas forestales de producción y restauración

Las zonas forestales de restauración, los terrenos aptos para plantaciones forestales y las zonas de terrenos de productividad maderable se determinaron con la combinación de la cobertura de clases de máximo riesgo de erosión y las coberturas que identifican los bosques y selvas fragmentados, y las coberturas de los terrenos que tuvieron vegetación forestal o que actualmente están en uso agropecuario (Cuadro 21).

**Cuadro 21. Zonas forestales de producción y restauración.**

| Zonas forestales                                    | Grupos de vegetación            |            |                  |            |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------|------------|------------------|------------|
|                                                     | Vegetación forestal fragmentada |            | Uso agropecuario |            |
|                                                     | ha                              | %          | ha               | %          |
| <b>Producción</b>                                   |                                 |            |                  |            |
| Terrenos forestales de productividad maderable baja | 91,358                          | 8          |                  |            |
| Terrenos adecuados para plantaciones forestales     |                                 |            | 397,367          | 15         |
| <b>Restauración</b>                                 |                                 |            |                  |            |
| Terrenos con degradación alta                       |                                 | 88         | 1,229,534        | 46         |
| Terrenos con degradación media                      | 948,970                         |            |                  |            |
| Terrenos con degradación baja                       | 41,378                          | 4          |                  |            |
| <b>No forestal</b>                                  |                                 |            |                  |            |
| Otros terrenos no forestales con riesgo de erosión  |                                 |            | 1,042,007        | 39         |
| <b>Total:</b>                                       | <b>1,081,706</b>                | <b>100</b> | <b>2,668,907</b> | <b>100</b> |

Los criterios del RLF para definir los terrenos con vegetación forestal de zonas áridas aptos para el aprovechamiento de recursos forestales no maderables y los terrenos de

productividad maderable alta o media se basan en el tipo de vegetación y en las características de cobertura de copa natural y la altura promedio de los árboles. Por ello fueron únicamente los grupos de vegetación considerados como requerimientos para definir estos tipos de posible uso forestal y no fue necesario caracterizarlos por valores de pérdida de suelo por riesgo máximo de erosión. En el Cuadro 22 se muestra la superficie ocupada por las diferentes zonas forestales.

**Cuadro 22. Superficie estimada para cada zona forestal.**

| Zonas forestales                                     | Superficie |      |
|------------------------------------------------------|------------|------|
|                                                      | ha         | %    |
| Parques nacionales                                   | 4,760      | 0.1  |
| Áreas arriba de 3,600 msnm                           | 0          | 0    |
| Superficie de pendiente > a 100%                     | 10,971     | 0.2  |
| Vegetación de protección                             | 23,948     | 0.5  |
| Conservación:                                        | 39,679     | 0.8  |
| Áreas para aprovechamiento de recursos no maderables | 27,307     | 0.5  |
| Terrenos productividad maderable alta                | 1,055,676  | 20.5 |
| Terrenos productividad maderable media               | 1,322,039  | 25.7 |
| Terrenos productividad maderable baja                | 91,358     | 1.8  |
| Adecuados para plantaciones forestales               | 397,367    | 7.7  |
| Producción:                                          | 2,893,747  | 56.2 |
| Terrenos con degradación alta                        | 1,229,534  | 23.9 |
| Terrenos con degradación media                       | 948,970    | 18.4 |
| Terrenos con degradación baja                        | 41,378     | 0.8  |
| Terrenos en recuperación                             | 0          | 0    |
| Restauración:                                        | 2,219,882  | 43.1 |
| Total zonas forestales:                              | 5,533,308  | 100  |



## **5.5 Clasificación provisional de aptitud de la tierra**

La clasificación provisional de aptitud de la tierra obtenida por el procedimiento de combinar los atributos de los mapas de vegetación, riesgo de erosión y clases de pendiente. Se basa en la comparación de los requerimientos de estipulados para cada zona forestal con las cualidades de los terrenos identificadas en los mapas que sirvieron como base de datos de este trabajo.

Con la evaluación directa con respecto al riesgo máximo de erosión, en la cual se asignó su relativa necesidad o beneficio a las clases de aptitud de la tierra para definir zonas forestales, se obtuvo un mapa provisional de aptitud de tierra en que aparecen las unidades cartográficas identificadas por colores diferentes y los atributos de cada unidad debidamente identificados por el SIG GRASS 4.0.

El resultado final se consideró simplemente como un indicador de una probable zonificación, a la que es necesario su corroboración en campo, por ello este mapa se considera provisional.

Las clases provisionales de aptitud de la tierra para los criterios de zonas forestales de producción fueron estimadas a partir del riesgo máximo de erosión, que corresponde a una limitante de uso de cada clase de terreno por tipo de declive y grupo de vegetación y uso de la tierra. Por otra parte, las zonas de restauración indican un requerimiento de labores de conservación de suelos para evitar la potencial de degradación de los terrenos por pérdida de suelo debida a la erosión hídrica (Cuadro 23).

**Cuadro 23. Clases provisionales de aptitud de la tierra para zonas forestales de producción y restauración.**

| Zonas forestales<br><br>Clases de terreno<br>por tipo de pendiente | Clases provisionales de aptitud<br>por riesgo máximo de erosión |                |                |              | Grupo de<br>vegetación<br>Superficie |             |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------|----------------|--------------|--------------------------------------|-------------|
|                                                                    | Alta<br>A1                                                      | Moderada<br>A2 | Marginal<br>A3 | No apta<br>N | Error                                | Total<br>ha |
| <b>TERRENOS DE PRODUCTIVIDAD MADERABLE ALTA</b>                    |                                                                 |                |                |              |                                      |             |
| de 0 a 8%                                                          | 15,045                                                          | 17,194         | 34,472         | 2,166        |                                      | 68,877      |
| de 9 a 30%                                                         | 0                                                               | 2,183          | 112,228        | 325,032      |                                      | 439,443     |
| de 31 a 100%                                                       | 0                                                               | 0              | 866            | 542,384      |                                      | 543,250     |
| > de 100%                                                          |                                                                 |                |                | 3,869        |                                      | 3,869       |
| Vegetación de cobertura de copa cerrada                            |                                                                 |                |                |              | 238                                  | 1,055,676   |
| <b>TERRENOS DE PRODUCTIVIDAD MADERABLE MEDIA</b>                   |                                                                 |                |                |              |                                      |             |
| de 0 a 8                                                           | 46,868                                                          | 39,965         | 69,375         | 831          |                                      | 157,039     |
| de 9 a 30                                                          | 0                                                               | 5,137          | 220,130        | 400,878      |                                      | 626,145     |
| de 31 a 100                                                        |                                                                 | 0              | 3,639          | 531,396      |                                      | 535,035     |
| > de 100                                                           |                                                                 |                |                | 2,965        |                                      | 2,965       |
| Vegetación de cobertura de copa abierta                            |                                                                 |                |                |              | 854                                  | 1,322,039   |
| <b>TERRENOS DE PRODUCTIVIDAD MADERABLE BAJA</b>                    |                                                                 |                |                |              |                                      |             |
| de 0 a 8                                                           | 91,358                                                          | 37,402         | 100,501        | 5,765        |                                      | 235,026     |
| de 9 a 30                                                          | 0                                                               | 3,976          | 164,853        | 332,313      |                                      | 501,142     |
| de 31 a 100                                                        | 0                                                               | 0              | 3,276          | 342,263      |                                      | 345,539     |
| > de 100                                                           |                                                                 |                |                | 1,618        |                                      | 1,618       |
| Vegetación arbolada fragmentada                                    |                                                                 |                |                |              | 2,534                                | 1,085,859   |
| <b>TERRENOS PARA APROVECHAR RECURSOS NO MADERABLES</b>             |                                                                 |                |                |              |                                      |             |
| de 0 a 8                                                           | 1,391                                                           | 1,152          | 1,487          | 23           |                                      | 4,053       |
| de 9 a 30                                                          | 0                                                               | 100            | 9,049          | 7,527        |                                      | 16,676      |
| de 31 a 100                                                        | 0                                                               | 0              | 41             | 6,434        |                                      | 6,475       |
| > de 100                                                           |                                                                 |                |                | 92           |                                      | 92          |
| Otros tipos de vegetación                                          |                                                                 |                |                |              | 10                                   | 27,307      |
| <b>TERRENOS CON DEGRADACION MEDIA Y BAJA</b>                       |                                                                 |                |                |              |                                      |             |
| de 0 a 8                                                           | 5,765                                                           | 100,501        | 37,402         | 91,358       |                                      | 235,026     |
| de 9 a 30                                                          | 332,313                                                         | 164,853        | 3,976          | 0            |                                      | 501,142     |
| de 31 a 100                                                        | 342,263                                                         | 3,276          | 0              | 0            |                                      | 345,539     |
| > de 100                                                           | 1,618                                                           | 0              | 0              | 0            |                                      | 1,618       |
| Vegetación arbolada fragmentada                                    |                                                                 |                |                |              | 2,534                                | 1,085,659   |
| <b>TERRENOS CON DEGRADACION ALTA</b>                               |                                                                 |                |                |              |                                      |             |
| de 0 a 8                                                           | 11,829                                                          | 277,875        | 283,142        | 397,367      |                                      | 970,213     |
| de 9 a 30                                                          | 668,904                                                         | 467,769        | 9,722          | 0            |                                      | 1,146,395   |
| de 31 a 100                                                        | 548,801                                                         | 3,499          | 0              | 0            |                                      | 552,300     |
| > de 100                                                           | 2,425                                                           | 0              | 0              | 0            |                                      | 2,425       |
| Terrenos en uso actual agropecuario                                |                                                                 |                |                |              | 14,825                               | 2,686,157   |

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1 Mapa de riesgo máximo de erosión

Como se refirió anteriormente, con la combinación de los mapas de erosividad por lluvia, de erosionabilidad del suelo y de los factores de longitud e inclinación de la pendiente, se obtuvo el mapa digital de riesgo máximo de erosión a una escala de trabajo de 1:1,000,000. Un análisis de los resultados para cada uno de los factores de la EUPS utilizados para integrar dicho mapa, se muestran a continuación.

En el mapa de riesgo máximo de erosión se observó un riesgo severo, destacando que en el 60% del área de estudio la clase de erosión más frecuente fue la mayor a 200 t/ha/año de pérdida de suelo.

Este resultado coincide en términos generales con lo encontrado por SARH (1994b), que indica un riesgo de erosión hídrica alto para 4,206,100 ha que representan el 73% de la superficie total del estado de Guerrero.

Estrada y Ortiz (1982) que evaluaron el nivel de afectación por erosión hídrica del país con la metodología propuesta por FAO (1980), consideran que el 90% de la superficie del estado de Guerrero presenta erosión clasificada de ligera a moderada. Por su parte la Dirección General de Conservación de Suelo y el Agua, SARH (1972) también reporta resultados similares, aunque con valores de clasificación diferentes.

Sin embargo, en el estado de Guerrero esperar tasas de erosión hídrica bajas o moderadas, no corresponde a lo observado en el terreno cuando es escasa o eliminada la vegetación natural, como lo afirman los resultados del trabajo realizado por Martínez y Fernández (1983) citado por Figueroa *et al.* (1991), en el cual se estimó la variación espacial de la erosión del país a través del cálculo de la relación entre la producción media de sedimentos y el área de drenaje de las diferentes regiones hidrológicas del país. Los resultados obtenidos de este trabajo, destacan que las tres regiones hidrológicas

en las se localiza el estado de Guerrero son las que tienen las mayores degradaciones debidas a los procesos de erosión sedimentación.

SARH (1994b) y el este estudio presentan valores de erosión más severos que los trabajos antes citados, porque aplicaron la metodología provisional para evaluación de la degradación de los suelos, con la modificación de considerar el índice de erosividad de la lluvia ( $EI_{30}$ ) propuesto por Wischmeier (1959) y mantener constante el parámetro en la EUPS del riesgo de erosión debido a factores humanos. El principio adoptado es que la evaluación de los riesgos alcanza su máxima utilidad cuando se eliminan todos los factores relativamente inestables o no permanentes, es decir, si la vegetación natural y el uso de la explotación de la tierra actual no se les toma en cuenta porque se les supone iguales (FAO, 1980).

#### **6.1.1 Factor de erosividad de la lluvia**

La importancia del factor erosividad de la lluvia lo destaca Figueroa *et al.* (1991) al señalar que la variación de los factores que controlan la variación espacial de la erosión depende de la escala. En lo referente a la erosión hídrica del suelo, el clima domina la escala macro, pero a escalas menores la vegetación y los suelos se vuelven más importantes. De ahí en que la estimación del riesgo máximo de erosión en este estudio, el factor dominante sea el factor de erosividad de la lluvia.

El factor "R" de la EUPS es cuando menos difícil de calcular, porque a menudo faltan los datos necesarios detallados y de plazos prolongados. Por ello el índice de los factores climáticos de la metodología provisional para evaluación de la degradación de los suelos es una modificación del índice de Fournier (FAO, 1980). Al respecto, Cortés (1991) señala que conforme a los resultados del trabajo de Estrada y Ortiz (1982) en el que utilizaron esta metodología para México. El índice de Fournier modificado por FAO implicó que la mayor parte de la República Mexicana se consideraría como de erosividad moderada, situación que no coincide con los valores encontrados en su trabajo para el factor "R" de la EUPS o  $EI_{30}$ , donde el 10% se considera como de alta erosividad y

el 30% es de erosividad moderada. Además otros trabajos citados por este autor señalan que el  $EI_{30}$  es el que mejor se correlaciona con las pérdidas de suelo en México.

Por ello y con el propósito de mejorar la evaluación del riesgo de erosión se utilizó el índice de erosividad de la lluvia ( $EI_{30}$ ) propuesto por Wischmeier (1959) y los datos para cada municipio estimados por Figueroa *et al.* (1991). Se trata de una modificación de la metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos de FAO (1980) y obviamente de la propia EUPS y sirve como ejemplo de aplicación con fines forestales de un modelo diseñado primariamente para terrenos agrícolas.

### **6.1.2 Factor erosionabilidad del suelo**

El término erosionabilidad del suelo, sugerido por Cook (1936), citado por Figueroa *et al.* (1991), se usa generalmente para indicar la susceptibilidad de un suelo a ser erosionado. El efecto de la erosividad de la lluvia, además de ser disminuido por la vegetación o las prácticas de manejo de la tierra, es también reducido por la resistencia que ofrece el mismo suelo por sus condiciones físicas y químicas propias.

De acuerdo con la estimación en este trabajo de los valores del factor de erosionabilidad del suelo que variaron de 0.0468 hasta 0.00845, la resistencia que ofrece el suelo es alta al encontrarse en las tres primeras clases definidas por Figueroa *et al.* (1991).

Con la combinación de los factores R y K se corrobora que, a pesar de que la erosividad de la lluvia promedio anual es alta o muy alta, mayor a 6,000 MJ mm/ha h, los factores que ofrecen resistencia a la erosión hídrica son de mayor importancia para explicar la pérdida de suelo por este proceso de degradación de la tierra.

La combinación de los factores R y K multiplicada por valores iguales o mayores a uno debidos a la longitud e inclinación de la pendiente (factores "L" y "S"), implica que la pérdida de suelo por erosión hídrica no disminuya en el 76% de la superficie del área de estudio. De acuerdo con los resultados de la combinación de "R" y "K" cuyos valo-

res fueron de 66 a 780 t/ha/año, el riesgo máximo de erosión sería inaceptable para toda esta superficie, si los suelos estuvieran sin vegetación por más de dos años, con cultivo continuo y con surcado en el sentido de la pendiente (FAO, 1985) y (Figueroa, *et al.*, 1991). SARH (1993b). sugiere al respecto que los cultivos agrícolas no serían recomendables en estas clases de terrenos, por lo que sería conveniente mantener la vegetación natural y en caso de que se haya perdido, establecer pastizales o restaurarla con reforestación, para evitar la degradación de los suelos.

### **6.1.3 Efecto de la longitud e inclinación de la pendiente**

El método de FAO (1980) señala que para estimar la erosión hídrica a escalas menores de 1:1,000,000, el factor de la pendiente del declive no se puede usar, debido a su variación dentro de las unidades cartográficas, y al hecho de que de la erosión no es función lineal de la pendiente. Por ello recomiendan Estrada y Ortiz (1982). que se usen las tres clases de inclinación del mapa de suelos FAO. Sin embargo, en este trabajo se tomó en cuenta el factor de longitud e inclinación de la pendiente "LS", por la oportunidad que se tuvo de utilizar la matriz del modelo digital de elevación del terreno de INEGI y los modelos de ecuaciones descritos por Figueroa *et al.* (1991) para estimar dichos factores.

La aplicación de esta matriz por la escala que representan sus datos (1:250,000), significa que se podría definir el nivel de este trabajo como de detalle. Sin embargo otras fuentes de información corresponden a escalas de evaluación estatal o nacional, de acuerdo con FAO (1980) y por esta razón, este estudio se considera a nivel de reconocimiento.

Como se puede apreciar en el Cuadro 18, los valores promedio del efecto de la topografía estimados para las clases de inclinación del mapa mundial de suelos FAO/UNESCO muestran diferencias significativas a los valores propuestos por FAO (1980), que son para una estimación a escala pequeña, menor a 1:1,000,000 y la longitud de la pendiente no es tomada en cuenta. Por consiguiente, utilizar los valores

propuestos por FAO (1980) para estimar el factor LS para el área de estudio, sobrestimaría el efecto de la pendiente en el riesgo de erosión.

## **6.2 Mapa de vegetación y uso de la tierra.**

El tipo de vegetación presente en el área de estudio fue esencial para determinar las clases de zonas forestales, fundamentalmente las que se refieren a las zonas de conservación, con el grupo de vegetación denominado en este estudio como vegetación de protección y al de las zonas de producción apta para el aprovechamiento de recursos forestales no maderables. En las zonas de productividad maderable alta y media, de acuerdo con los criterios determinados en el RLF, la clasificación de estas zonas toma en cuenta solamente la cobertura de copa natural y la altura de los árboles. Por lo cual la determinación de los grupos de vegetación se hizo para equiparar estos criterios con tipos de vegetación específicos.

### **6.2.1 Vegetación de protección**

FAO (1986) refiere que los bosques destinados a la protección son seleccionados por sus características ecológicas y se hacen con objeto de dar prioridad a la protección al medio ambiente, sin descuidar las funciones de producción que pueden resultar compatibles y beneficiar a la población local.

En el país con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, se pretende regular el uso de los tipos de vegetación que puedan ser hábitat de especies de flora y fauna raras, en peligro de extinción, sujetas a protección especial o de difícil regeneración. Para ello esta Ley propone realizar estudios de ordenamiento ecológico que entre otros aspectos definen los terrenos que deben de conservar su vegetación.

Por lo anterior en este estudio se consideró como vegetación de protección además de los manglares a otros tipos de vegetación, como fue el caso de la vegetación hidrófila y la de dunas costeras, puesto que cumplen con funciones de protección a la fauna silvestre, a las corrientes de agua o a los terrenos susceptibles de erosionarse. Cabe hacer



notar que en general a estos tipos de vegetación no es factible darles otro uso y su conservación es imprescindible como hábitat de especies de flora y fauna.

### **6.2.2 Vegetación arbórea**

A nivel de planificación nacional o estatal se considera que en todos los tipos de vegetación arbórea existen recursos forestales maderables factibles de ser aprovechados. Por esta razón la intensidad de aprovechamiento de estos recursos, no es tomada en cuenta en los criterios de zonificación referidos en el RLF, que depende de factores socioeconómicos de infraestructura y del impacto ambiental que cause su manejo.

Cabe hacer notar que la cobertura de copa y la altura promedio del arbolado están implícitas en estos grupos de vegetación, puesto que la separación entre bosques de cobertura de copa abierta y cerrada se estimó sobre la base del porcentaje de cubrimiento que tenían sobre el terreno sus copas, si fue menor de 40% se consideraron como abiertos. En el caso de las selvas su separación se basa en la altura promedio de los árboles dominantes; esto es, selva baja se considera aquella que tiene una altura menor de 16 metros.

De conformidad con la información dasométrica del INFP, a menudo los bosques que tienen una cobertura de copa cerrada son más productivos que los de cobertura de copa abierta. Los bosques y selvas fragmentados, por la pequeña superficie que tienen sus áreas cubiertas con vegetación natural y en general porque se encuentran en zonas de alta competencia con otros usos de la tierra, se consideran con menor potencial productivo y menor rentabilidad económica (SARH, 1994b).

### **6.2.3 Otros tipos de vegetación**

En el área de estudio que corresponde a la zona semiárida del estado de Guerrero, en las cartas de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000 de INEGI aparece identificada vegetación de palmar, que en la cartografía digital del INFP se estimó en 27,307 ha.



Por consiguiente, ésta se clasificó en el grupo que corresponde a la vegetación apta para aprovechamiento de recursos no maderables.

#### **6.2.4 Terrenos en recuperación**

De acuerdo con los resultados de la cartografía del INFP, en la zona de estudio no se identificaron áreas que se encuentren en recuperación debido a la forestación, reforestación o regeneración natural. En realidad no se distinguió vegetación forestal recientemente establecida en terrenos que en el pasado estaban en otro uso del suelo.

#### **6.2.5 Terrenos en uso no forestal**

Además de los terrenos en uso actual agropecuario, se incluyó en este grupo los terrenos con áreas perturbadas, que se caracterizan por la ausencia de vegetación forestal, la cual fue destruida por factores humanos principalmente: desmontes con fines agrícolas o pastoreo excesivo. Además en la comparación del mapa de vegetación y uso del suelo de INEGI con las imágenes de satélite no fue posible distinguir la presencia de vegetación forestal en estas áreas (SARH, 1994b).

Cabe hacer notar que la interpretación de las áreas perturbadas fue muy difícil utilizando sólo la imagen de satélite que se procesó *exprofeso* para elaborar toda la cartografía del INFP. Por ello se requirió del auxilio de otras fuentes de información, datos de campo o de un conocimiento previo del área. En algunos casos por las condiciones de uso del terreno, la vegetación se encuentra en vías de recuperación conformando comunidades vegetales secundarias, denominadas en el RLF como acahuales; y que por conocimiento previo del área se clasificó como perturbada, aunque en la imagen de satélite se confunda con terrenos cubiertos por vegetación arbórea primaria. Esto se aprecia fundamentalmente en las áreas que actualmente se practica la agricultura mi-

gratoria o de "tlacololes". Otra fuente posible de error pudo ser que estas áreas se clasifiquen como selvas o bosques fragmentados<sup>3</sup>

En cuanto a las áreas desprovistas de vegetación se consideran como no forestales de acuerdo con FAO (1989), por ello se agruparon junto con los cuerpos de agua y zonas urbanas. En el área de estudio, por la pequeña superficie que cubren, 61 ha, se infirió que se trata de afloramientos de materiales pétreos en las zonas costeras.

### **6.3 Riesgo máximo de erosión por tipo de vegetación**

La eliminación de los factores de cultivo y prácticas de lucha contra la erosión, implica asignarle valores de uno a estos factores en la EUPS. Lo que significa considerar en el terreno la remoción de toda la vegetación y la parte del suelo con raíces, dejando la superficie no sólo desprovista de vegetación sino también privar de los efectos residuales de la vegetación anterior, condición comparable a un terreno en construcción o sin vegetación natural y con barbecho continuo en terrenos en pendientes con inclinación del 9% y longitud de 22.13 m (Figuerola *et al.*, 1991).

La combinación del mapa de grupos de vegetación con el mapa de riesgo máximo de erosión, en el que los factores humanos se consideraron constantes con un valor de 0.4, podría ser utilizado para estimar la erosión hídrica actual. Obviamente la superficie con erosión permisible aumentaría, pues es mayor solamente el valor de 0.8 de la metodología propuesta por FAO (1980), que corresponde a superficies con tierras de cultivo con lluvias muy estacionales, situación que no se presenta en el área de estudio.

No se estimó la erosión actual en virtud de que no fue un objetivo de este estudio. Sin embargo si se aplicarán a los tipos de vegetación los valores propuestos por FAO (1980), por ejemplo de 0.2 para bosques fragmentados, de 0.1 para bosques abiertos y de 0.01 para bosques cerrados, la pérdida de suelo reportada en Cuadro 20, para los terrenos cubiertos por estos grupos de vegetación disminuye a la mitad en los bosques

---

<sup>3</sup>1 Para mayor detalle del procedimiento de clasificación e interpretación de esta cartografía ver (Sorani *et al.* 1993).

fragmentados, una cuarta parte en los abiertos y en el grupo de bosques y selvas de cobertura de copa cerrada disminuye 40 veces.

En el caso de los terrenos en uso actual agropecuario y de los terrenos de vegetación arbolada fragmentada que tienen mezclada áreas bajo cultivo agrícola o pastizales en el 60% de su superficie, los valores de pérdida de suelo por erosión hídrica podrían utilizarse para el área de estudio considerando una escala de trabajo de 1:1,000,000. Sin embargo, por la metodología seguida en la elaboración del mapa forestal de INFP, las áreas interpretadas en las imágenes de satélite y reportadas en estos conceptos necesitan comprobación de campo, por tanto puede modificarse este mapa, que permite evaluarlas.

#### **6.4 Zonas forestales**

En este estudio sirven como antecedente las zonas forestales que estimó el INFP para el estado de Guerrero. La zonificación comprende una superficie de 5,656,302 ha con 46,231 ha de zonas forestales de conservación, 2,207,079 ha de zonas forestales de restauración y 3,403,092 ha de zonas forestales de producción (SARH, 1994b). Estos resultados son similares en lo general a los que aparecen en el Cuadro 22, la diferencia principal se debe a que el área de estudio no corresponde en su totalidad al estado de Guerrero. Cabe recordar que este estudio solo cubre el 90% de la entidad.

Además en el INFP los datos para cada entidad federativa se obtuvieron al combinar el mapa forestal y el de zonificación, con la cobertura de límites estatales de la República Mexicana que tiene el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México el cual procede del mapa topográfico escala 1:1,000,000 de INEGI. Los límites utilizados en este trabajo fueron los correspondientes a los municipios del estado de Guerrero encontrados en el área de estudio. Las diferencias implicaron que las áreas limítrofes con los estados de México y Puebla no correspondieran, en las cuales la vegetación perturbada o en uso agropecuario es la predominante.

Las diferencias de fondo de este estudio con la zonificación realizada para el INFP, se deben a la forma de estimar de algunas clases de zonas forestales, lo cual a continuación se precisa.

#### **6.4.1 Zonas de conservación.**

Cabe hacer notar que las diferencias con la zonificación del INFP se deben a que en este inventario la clasificación de la vegetación de protección consideró a los tipos de vegetación: manglares, vegetación hidrófila y palmar.

Hay que destacar que la superficie de zonas de conservación en otras partes del país se debe fundamentalmente a las áreas naturales protegidas existentes, Guerrero en la practica es un estado carente de estas áreas Su parque nacional "Grutas de Cacahuamilpa" cumple con una función recreativa y "El Veladero" es actualmente zona de amortiguamiento del crecimiento de la ciudad de Acapulco. En ambos su vegetación está seriamente degradada.

#### **6.4.2 Zonas forestales de producción**

En la zonificación que se realizó para el INFP, las áreas de producción maderable que por sus condiciones de clima, suelo, pendiente y sin tomar en cuenta el tipo de cobertura vegetal existente, presentaban al menos riesgo de erosión moderada, se les definió como de "producción maderable restringida". Con ello se resolvió que la mayor parte de las áreas bajo aprovechamiento maderable del país se encontraban en esta categoría. Además, no hay que olvidar que estas coberturas de vegetación se identificaron en mapas en escala de 1:250,000. Por lo tanto, dentro de ellas existen terrenos sin vegetación natural que no se pudieron diferenciar y por ello la erosión hídrica es evidente.

Por otra parte SARH (1994b) en la memoria nacional del INFP en el capítulo de usos de la información señala lo siguiente:

1. La combinación de la información de la carta de zonificación con la de vegetación y de uso del suelo, así como con otro tipo de información de infraestructura y pendientes, permitirá estructurar programas generales, adecuados para cada una de estas zonas.
2. Será posible valorar el potencial de producción maderable y no maderable del país, localizar y presupuestar la infraestructura necesaria. De igual manera, en el caso de las zonas de restauración y de conservación.

Sin embargo cabe hacer notar, que las zonas de productividad maderable alta y media corresponden exactamente a los tipos de bosques y selvas del mapa de vegetación y uso del suelo del INFP. La ventaja que tiene el mapa forestal del INFP es que describe el tipo de vegetación a mayor de detalle: "bosque de pino cerrado", bosque de oyamel abierto", "selvas altas", etc. Esta información para quien realice planes regionales, estatales o nacionales, le es más útil que consultar y evaluar las referidas coberturas de zonas de producción. Esto significa que los criterios para definir zonas de producción maderable establecidos en el RLF no cumplen con el objetivo de la zonificación que pretende orientar un manejo adecuado y reducir la degradación de los recursos forestales, porque para ello se requiere de información de otras cualidades de la vegetación no solamente la cobertura de copa o la altura media del arbolado. La descripción de los tipos de vegetación dan una mejor idea de las condiciones de manejo a que debe ser sometida la vegetación forestal.

Lo anterior se refuerza con lo que refiere FAO (1985) en un ejemplo de evaluación para producción de madera a partir de bosques naturales, donde el tipo principal de fuente de información es un inventario forestal, el cual da estimativos detallados de la madera aprovechable por unidad de área y por especie. Si se asume por simplicidad que el volumen total de madera aprovechable puede tomarse como factor de diagnóstico, por ejemplo en una región húmeda un volumen de más de 150 m<sup>3</sup>/ha podría ser altamente satisfactorio, mientras que mediante un análisis económico aproximado, cualquier vo-

lumen menor a 40 m<sup>3</sup>/ha sería antieconómico para extraer y por lo tanto se califica como no apto.

De hecho los resultados del INFP proporcionan esta información, para cada tipo de vegetación y subprovincia fisiográfica y esta dentro de una base de datos geográficamente referenciada, por lo que en un mapa de zonificación sería factible incorporarla.

Por consiguiente, la clasificación del uso o la función de los bosques para producción debe fundamentarse más en aspectos económicos y sociales que permitan un desarrollo sustentable de las regiones donde se encuentran los recursos forestales maderables.

### **6.4.3 Zonas forestales de restauración**

Los criterios de zonificación definidos en el RLF consideran tres clases de degradación por erosión: alta, media y baja. Con la metodología desarrollada en este trabajo, la clase de degradación baja es un tanto fingida para tratar de cumplir con lo indicado en dicho reglamento. Simplemente con definir el riesgo de erosión permisible mínimo para considerar un terreno con vegetación forestal fragmentada como degradado es suficiente, porque en caso de que se determine una pérdida de suelo anual mínima o nula, estos terrenos se podrán clasificar como de producción maderable baja de acuerdo con los criterios antes referidos.

Las zonas de restauración indican aquellas áreas que no poseen vegetación arbolada o ésta es limitada a pequeñas áreas y presentan diversos niveles de degradación, en las cuales se pueden realizar acciones de forestación y reforestación con fines de protección a otros recursos, o con fines de uso agroforestal.

A su vez, la clasificación realizada permite jerarquizar aquellos terrenos que tienen altos o medios niveles de degradación, y por tanto estos terrenos resultan prioritarios para las acciones de conservación de suelos. También para una restauración efectiva, se puede tener una idea aproximada de los terrenos con potencial para integrar progra-

mas de atención a áreas críticas, que tengan como componente fundamental las causas que ocasionaron los desmontes y cambio de uso del suelo.

### **6.5 Clasificación provisional de aptitud de la tierra**

El papel del Estado debe orientarse a crear mecanismos adecuados para conciliar los intereses públicos y privados, y a vigilar que el aprovechamiento de bosques y selvas ocurra de manera tal que no sólo disminuya su potencial productivo, sino que aumente con el tiempo (SARH, 1993a). Por consiguiente para la canalización de los estímulos y apoyos por parte del Estado previstos en la ley de la materia, se justifica que la zonificación nacional sea un instrumento de apoyo para la planeación indicativa del uso de los recursos forestales.

La zonificación nacional tiene que contestar en que condiciones se debe dejar la cubierta forestal y cuales terrenos se podrían desmontar para convertirse a uso agrícola. También sirve para definir la función del bosque de acuerdo a su capacidad para soportar determinados usos, frecuentemente en circunstancias naturales y socioeconómicas complejas. En ambos casos se requiere de la estratificación de las zonas forestales basada en proveer de información necesaria para la selección de la mejor clase de uso en cada unidad de tierra. En la terminología de la evaluación esta etapa se llama clasificación física de la aptitud de la tierra. Se fundamenta con lo que menciona al respecto FAO (1985): "Las decisiones relativas al uso de la tierra se basan en una serie de factores políticos, sociales, económicos y físicos. Pero la clasificación sistemática de las tierras, esta fundada de hecho en sus características físicas, interpretadas en función de los objetivos de la administración y debe servir como base para la adopción de decisiones acerca de su uso final. La diferencia entre clasificación y evaluación de tierras es que la clasificación consiste en describir y elaborar mapas de las características físicas de la tierra, sin interpretación para usos específicos".

Como se refirió anteriormente, el mapa de vegetación y uso del suelo del INFP proporciona una clasificación que puede ser utilizada para definir zonas de producción fores-



tal, al disponer información más precisa que el mapa de zonificación. Sin embargo en este caso, no permite hacer evaluaciones comparativas, por ejemplo para definir donde se puede llevar a cabo actividades de producción maderable, sin que la pérdida de suelo por erosión hídrica haga inapropiado el aprovechamiento forestal. Un segundo caso distintivo surge donde la conservación es el propósito principal del manejo forestal y la severidad de la erosión puede tomarse como un criterio diagnóstico de aptitud (Young, 1984) y (FAO, 1985).

Como respuesta a lo anterior, en este estudio se propusieron clases de aptitud de la tierra para las zonas forestales de producción y restauración del Cuadro 23 donde el riesgo máximo de erosión fue considerado como la principal cualidad de la tierra. De acuerdo a la clase de pendiente, esta cualidad tiene mayor significado en los terrenos en los que factible desde un punto de vista físico utilizarlos con fines forestales o agropecuarios. La presencia de una cubierta vegetal protectora es significativa a medida que la inclinación y longitud de la pendiente aumenta.

Al respecto Figueroa *et al.* (1991) estipulan que la eficiencia de la cobertura vegetal para reducir la erosión depende de la altura y continuidad de la cubierta aérea, de la densidad de la cobertura en el suelo y de la densidad de raíces. Además de interceptar la lluvia, la cobertura vegetal disipa la energía del agua de escurrimiento, produce rugosidad para el flujo y por lo mismo reduce su velocidad. La cobertura vegetal reduce la erosión siempre y cuando cubra una porción grande de superficie del suelo. Los bosques son los más efectivos, aunque un pastizal muy denso puede tener la misma eficiencia. Los cultivos agrícolas varían en su efecto en función de su etapa de crecimiento y de la cantidad de suelo desnudo expuesto. Para que haya una protección adecuada se debe tener por lo menos un 70% de cobertura vegetal superficial y una protección razonable se puede tener con un 40%.

Como se ha dicho la inclinación y longitud de la pendiente incrementan la velocidad y el volumen de escurrimiento superficial del agua, por ello el riesgo de erosión aumenta en forma exponencial a medida que la inclinación de la pendiente es mayor. Para ejemplificar esto, si tomamos los valores estipulados por FAO (1980) para las clases de pen-



diente, el riesgo de erosión aumenta diez veces al pasar de terrenos con pendientes menores al 8% a declives dominantes con pendientes entre 9 y 30% y si la inclinación de la pendiente es aun mayor, este autor considera aproximadamente un aumento tres veces superior al precedente.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede sugerir para el área de estudio que los terrenos con pendientes mayores al 30% y con vegetación natural deben continuar en uso forestal, con fines de conservación y protección al suelo. Una cubierta forestal con cobertura de copa cerrada por ejemplo, disminuye los valores de pérdida de suelo estipulada en el Cuadro 23 hasta 40 veces, con lo que la erosión presente se evalúa como imperceptible. Además en esta situación las prácticas de los cambios de uso del suelo o las silvícolas que dejan descubierto los terrenos por periodos muy largos deben ser muy restringidas con condiciones de manejo que mitiguen la pérdida de suelo por erosión hídrica y el Estado debe de estimular y apoyar con subsidios la recuperación de las áreas que se encuentran sin vegetación natural.

En terrenos con pendientes menores al 30%, el riesgo máximo de erosión puede ser aceptable o moderado, esto significa que en estas áreas es factible utilizarlas para cultivos agrícolas. La conveniencia o no de llevar a cabo un cambio de uso del suelo debe obedecer más a consideraciones económicas sociales y de impacto ambiental negativo a otros recursos.

El modelo ensayado es la base para definir lineamientos sobre diferentes tipos de manejo forestal que determinen que terrenos con ciertas clases de pendientes podrían permanecer como bosque protector o cuales dedicarse a la producción maderable de acuerdo con el riesgo de erosión estimado. Además la combinación de los atributos de la vegetación, las características de la pendiente y el riesgo máximo de erosión sugieren lineamientos de política de producción, restauración y conservación apropiados para clases de uso forestal por región o entidad federativa. El procedimiento cuantitativo de evaluación de aptitud de uso de la tierra estudiado identifica y localiza áreas con di-

ferentes capacidades de uso de la tierra y de acuerdo con FAO (1985) su nivel de planificación es nacional o provincial.

Sin embargo, evidentemente se encontraron diversas limitaciones en el sistema probado, que requieren ajustes complementarios. Algunos de estos deben ser sobre el modelo en sí mismo. Se advierte de la necesidad de llevar a cabo investigación adicional para validar el uso de la EUPS en México y en particular para condiciones forestales. Un aspecto muy importante es el establecimiento de niveles de tolerancia de pérdida de suelo por erosión hídrica, que tome en cuenta diversos aspectos, incluidos el impacto que causa en la calidad del agua, en la pérdida de productividad de la tierra y en los costos de recuperar o conservar los recursos suelo y agua en un terreno y en una región determinada.

Figuerola *et al.* (1991) señala que si los conceptos de calidad del agua, daños económicos y aspectos políticos, van a ser incluidos en el control de la erosión, es conveniente designar límites tolerables para cada uno de ellos. Se tendría entonces así, límites de pérdida de suelo tolerables para cada uno de estos aspectos. Por otra parte se especifica que la severidad de la erosión varía en el tiempo y el espacio. La producción de sedimentos que resulta de un evento climático individual depende de la topografía local, las condiciones de suelo y uso del terreno, de tal manera que estos factores producen variaciones regionales en la erosión.

Algunas otras limitaciones derivan de la base de información utilizada. El mapa de vegetación y uso del suelo del INFP, requiere incorporarle ajustes debidos a una comprobación de campo. La estimación de la pendiente con base en el modelo digital de elevación del terreno, no fue probada. En cuanto a la estimación de la erosividad de la lluvia y erosionabilidad del suelo pueden tener errores por estar basados en unidades cartográficas de escala pequeña (1:1,000,000) y la variabilidad espacial dentro de cada unidad es una restricción importante, puesto que obviamente no son homogéneas las unidades y esto es una dificultad para cualquier clase de evaluación.

Una alternativa que no fue ensayada en este estudio fue la de partir de la clasificación de tierras que propone el Sistema de Ordenamiento Ecológico del Territorio Nacional (SIORDECO), que a un nivel de planificación nacional o estatal considera como unidad de clasificación las provincias y subprovincias fisiográficas, en escalas de trabajo de 1:250,000 a 1:1,000,000. Spurr y Barnes (1982) definen este nivel como Distrito de Tierra, que se caracteriza por tener un patrón distintivo de aspectos geomorfológicos, del relieve y de la vegetación asociada. Además estos autores afirman que tales clasificaciones son mucho menos precisas que otros métodos de estimación de productividad del sitio, sin embargo aportan un primer paso importante para un manejo forestal extensivo, para estimar la productividad de madera de un sitio y su capacidad de soportar cierto tipo de especies. Cabe hacer notar que la mayor parte de los trabajos desarrollados en Canadá se basan en las clases de tierra denominadas como sistemas terrestres que requieren mayor detalle de la información y mapas de trabajo en escalas de 1:100,000 a 1:250,000.

Por ello se sugiere que en estudios con objetivos similares al presente y que sean de mayor detalle, se utilice la clasificación fisiográfica que propone el SIORDECO. Esto es factible con el aporte de sistemas de información geográfica, el modelo digital de elevación del terreno, la información cartográfica del INFP y la utilización de imágenes de satélite recientes. Además esta clasificación aporta los beneficios que refiere Jones citado por Arteaga (1983): "La clasificación de la productividad del sitio a partir de las características fisiográficas sirve para varios propósitos. A través de la creación de estas unidades se pretende agrupar áreas relativamente homogéneas en cuanto a la capacidad para producir madera y dinámica sucesional y consecuentemente que éstas sirvan de base para evaluar la productividad y para la prescripción silvícola. Los tipos de sitios basados en la fisiografía del terreno también han servido de base para determinar la capacidad de uso del suelo tales como agricultura, fauna silvestre, recreación y producción de madera".

Lo anterior está relacionado estrechamente con lo determinado en el Artículo 23 BIS del Decreto por el que se Reforma la Ley Forestal (SEMARNAP, 1997), en el que se

proponen la promoción de unidades de manejo forestal en las distintas regiones o cuencas hidrográficas. Esto es que las autoridades gubernamentales responsables de instrumentar dichas unidades, tomen en cuenta los sistemas terrestres del SIORDECO y propongan una evaluación de tierras con las consideraciones económicas sociales y de impacto a otros recursos para determinar zonas de productividad maderable homogéneas.

La etapa posterior del proceso de confrontación o cruce de la evaluación de tierras que conduce a una clasificación provisional de aptitud, como la que se llevo a cabo en este estudio, es el análisis de las consecuencias esperadas de los sistemas alternativos de los usos de la tierra considerando tres aspectos: impacto ambiental, rentabilidad económica y las consecuencias sociales de cada cambio alternativo en el uso o manejo de la tierra (FAO, (1985). Al respecto cabe reiterar lo indicado en las ventajas y restricciones de la evaluación de tierras para manejo de conservación:

El análisis financiero y económico en la conservación de la tierra tiene muchas dificultades. Valorar los beneficios es difícil porque los proyectos de conservación de suelos son bienes y servicios intangibles y a menudo de plazo muy largo. Además se requiere adoptar no la solución más adecuada, pero si la más práctica para la población local, aunque esto signifique un control menos adecuado de la erosión. Sin embargo, la contribución más importante de la evaluación de tierras es la valoración de clases de aptitudes para uso forestal en diferentes condiciones ambientales. Para un propósito ambicioso de la evaluación, la comparación de formas alternativas de uso necesitarán disponer de un mayor grado de interacción con investigaciones económicas y sociales, a fin de encontrar tecnologías de aprovechamiento, conservación y restauración que respondan a los problemas y necesidades de la población local (Pumell, 1986).

Además agrega FAO (1985) que el grado de análisis económico depende primeramente de si la evaluación pretende aportar lineamientos de política solamente, en cuyo caso el análisis puede ser llevado en términos globales. Por ello en una evaluación de tierras para manejo forestal con fines de conservación a nivel nacional o estatal, las

valoraciones económicas cuantitativas no son necesarias, porque su utilidad a este nivel es para una planificación indicativa mediante el establecimiento de lineamientos de política dirigida a reducir la degradación de los recursos forestales y para recuperar los terrenos de aptitud preferentemente forestal afectados por procesos de degradación.

La evaluación de tierras a nivel local (municipio o predio) para propósitos de manejo de los recursos forestales implica, necesariamente de un análisis económico de los costos y beneficios de las diversas prácticas que se determine hacer de acuerdo a otras cualidades de conservación que también deben ser tomadas en cuenta, además deben de incluir un presupuesto para realizar las prácticas de conservación y restauración de los terrenos.

Con el objetivo de la zonificación nacional de delimitar el uso más adecuado de los terrenos forestales y de aptitud preferentemente forestal de acuerdo a sus usos y destinos, la Ley Forestal considera la regulación de las acciones de producción, protección y restauración, a fin de orientar la administración adecuada de los recursos forestales del país mediante la aprobación de programas de manejo forestal a nivel predial. En la exposición de motivos de la iniciativa de la Ley Forestal en vigor es expuesto de la manera siguiente (SARH, 1993a):

“Un programa de manejo forestal debe quedar ligado y condicionado a sistemas de conservación de vegetación, suelos y agua, para asegurar que su aprovechamiento no reduzca el potencial de producción vegetal y animal de las zonas afectadas. Por ello los programas de manejo podrán variar de una zona a otra de acuerdo a sus características y propósitos. Los programas de manejo de los recursos forestales deben ser el instrumento que emplee el gobierno para controlar el aprovechamiento forestal. Los requisitos que debe incluir dicho programa dependen del tipo de recurso, del tamaño del predio, de la zona donde se encuentra y de los mismos objetivos de manejo que se proponga el propietario o poseedor del terreno. Para aprobarlos se tomará en cuenta la observancia de las normas en materia ecológica, los sistemas silvícolas que aseguren un aprovechamiento sustentable de los recursos, el

compromiso de forestación o reforestación, los sistemas de control de erosión de suelos y de manejo y conservación del agua y de los programas de prevención y en su caso de control de plagas e incendios forestales”.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las fuentes de información cartográfica digital deben ser de resolución y procedimientos de elaboración similares. Para la elaboración de este estudio, se requirió invertir una gran cantidad de trabajo y tiempo en transformar coberturas vectoriales a matriciales y en transformar los mapas de escala 1:1,000,000 a la proyección universal transversal de Mercator.
2. La información del factor "R" de erosividad por lluvia a nivel municipal es adecuada para trabajos de objetivos similares a los de este estudio. Para escalas de trabajo mayores en un nivel Distrito, municipio o predio puede ser mejorada con la aportación de datos de mayor cantidad de estaciones meteorológicas.
3. La estimación de la erosión permisible y la determinación del factor cobertura vegetal en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en terrenos forestales debe ser temas de investigación interdisciplinaria. Los valores utilizados en este trabajo son resultado de estudios hechos con objetivos muy diferentes. Para la zonificación nacional se propone que se deben determinar tasas de tolerancia a la erosión hídrica por cuenca hidrográfica.
4. El efecto de la inclinación y longitud de la pendiente fue importante en el área de estudio, por el efecto multiplicativo que tiene en la pérdida de suelo por erosión hídrica. Con el apoyo del modelo digital de terreno se pueden definir clases más precisas de terrenos, que tomen en cuenta el tipo de fisiografía y la pendiente.
5. Los esfuerzos de conservación para el estado de Guerrero deben estar dirigidos a aquellas regiones donde el número de especies endémicas sea elevado o este amenazada la biodiversidad. En la entidad debe de tener prioridad la creación de áreas naturales protegidas, fundamentalmente en las selvas, para que los recursos públicos destinados a labores de conservación se dirijan preponderantemente a ellas.



6. Como un criterio adicional de calificación de zonas producción a este nivel de evaluación, el volumen total aprovechable debe tomarse como atributo de unidades cartográficas que representen tipos de vegetación en una base de datos referenciada geográficamente.
7. Los actuales criterios de zonificación son deficientes. Como parte de la Reforma al Reglamento de la Ley Forestal que se autorizará próximamente, se sugiere definir los usos de los terrenos forestales de acuerdo a una clasificación internacional con mayor reconocimiento, como es el de grupos amplios de uso de la tierra para fines forestales (FAO, 1986).
8. Adicionalmente de definir zonas forestales el procedimiento cuantitativo de evaluación de aptitud de uso de la tierra en un nivel de planificación nacional o estatal, identifica y localiza áreas con diferentes capacidades de uso de los terrenos. Con la combinación de los atributos de la vegetación, las características de la pendiente y el riesgo máximo de erosión, sugiere un rango amplio de usos de la tierra apropiados para regiones forestales, e implica un apoyo para determinar lineamientos de política de producción, restauración y conservación acordes para cada entidad federativa.
9. En casos de que se pretenda determinar clases de productividad maderable, éstas deben ser a partir de áreas con características fisiográficas similares, a fin de disponer de un marco de referencia para una evaluación de tierras más detallada a nivel de distrito, región forestal o municipio y que sirva para evaluar las prescripciones silvícolas y de protección a otros recursos.
10. Adicionalmente en un esquema de evaluación de tierras a nivel de detalle, en programas de manejo forestal, debe comprender necesariamente no sólo evaluaciones físicas cuantitativas como la propuesta en este trabajo, también el análisis del impacto ambiental causado y las consecuencias económicas y sociales de las posibles opciones de uso de la tierra.



## 8. LITERATURA CITADA

- Arteaga M., B. 1985. Índice de sitio para *Pinus patula* Schl et Cham., en la región Chignahuapan - Zacatlán, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa Forestal, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. p 34.
- Bansinski, J. J. y K. D. Cocks. 1984. Environmental planning and management. Proceedings of a Commonwealth Science Council. Workshop at the CSIRO Division of Water and Land resources, Canberra Australia. 7 - 14 may 1984.
- Bansinski, J. J. 1984. Land evaluation some general considerations. In Basinski, J. J. and K. D. Cocks (1984) q.v. pp. 59-65.
- Beek, K. J. y P. Laban. 1981. Land evaluation a system approach. In Laban, P. (1981). q.v. pp. 298-323.
- Beek, K. J.; P. A. Burrough y D. E. McCormack. 1986. Proceedings of the international workshop on Quantified Land Evaluation Procedures. Held in Washington D.C. 27 April - 2 May 1986. I.T.C. Publication Number 6. Enschede, Netherlands.
- Booth, T. H. 1984. Resource Evaluation Forestry. In Basinski, J. J. and 'K. D. Cocks (1984). q.v. pp. 59-65.
- Carperter, R. A. 1981. Assessing tropical forest lands: their suitability for sustainable uses. Dublin Irish Republic, Ticooly International Publishing Ltd. (1981). Natural Resources and Environmental Series vol. 3. p. 9.
- Cortés T., H. G. 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 68 p.
- Driessen, P. M. 1986. Erosion hazards and conservation needs as a function of land characteristics and qualities. In Siderius, W. (1986) q.v. pp. 32-39.
- Estrada W., J. y C. A. Ortiz S. 1982. Plano de erosión hídrica del suelo en México. Geografía Agrícola. Vol. 3. Méx. pp. 23-27.
- FAO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. UNESCO PNUMA. Roma. 86 p.
- FAO. 1985. Evaluación de tierras con fines forestales. Estudio FAO Montes 55. Roma, Italia. 157 p.
- FAO. 1986. Ordenación forestal de los trópicos para uso múltiple. Estudio FAO Montes 48. Roma, Italia. 106 p.
- FAO. 1989. Forest Resources Assessment 1990. Guidelines for Assessment. FAO Rome, Italy. p. 11.

- FAO/UNESCO. 1974-1977. Mapa mundial de suelos. Volumen I Leyenda VII Asia meridional y mapas. UNESCO.
- Figueroa S., B.; A. Amante O.; H. G. Cortés T.; E. Osuna C.; J. M. Rodríguez O. y F. J. Morales F. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. Colegio de Postgraduados, Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas. C.P. Méx. 150 p.
- Gatahi, M. M., y V. Da Costa. 1986. Land suitability evaluation based on resistance to erosion and other land qualities in part of Kilifi District. In Siderius W. (1986) q.v. pp. 251-262.
- Kilian, W. 1981. Site classification Systems used in forestry. In Laban, P. (1981) q.v. pp. 134-151.
- Laban, P. (ed.). 1981. Proceedings of the workshop on land evaluation for forestry. ILRI Publication 28. Wageningen. 355 p.
- Margules, C. R. 1984. Conservation evaluation. In Basinski, J. J. and K. D. Cocks (1984) q.v. p. 89.
- Mendoza B., M. A. 1993. Conceptos básicos de manejo forestal. UTEHA, Méx. p. 27.
- Millington, A. C. 1986. Reconnaissance scale soil erosion mapping using a simple geographic information system in the humid tropics. In Siderius, W. (1986) q.v. pp. 64-81.
- Nelson, D. O. 1981. Land qualities and conservation. In Laban, P. (1981) q.v. p. 276.
- Ortiz S., M.; M. Anaya G. y J. Estrada W. 1993. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. CONAZA, CP y UACH. Méx. p. 111.
- Puentes, R. 1986. Risk of land degradation as main criterion for land evaluation. In Beek K. J., P. A. Burrough y D. E. McCormack (1986) q.v. pp. 53-56.
- Purnell, M. F. 1986. Application of the FAO framework for land evaluation for conservation and land-use planning in sloping areas; potentials and constraints. In Siderius, W. (1986) q.v. pp. 17-31.
- SARH. 1972. Estimación de las superficies erosionadas del país. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Dirección General de Conservación del Suelo y Agua. SARH. Méx. s.p.
- SARH. 1993a. Ley Forestal. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Dirección General Jurídica. SARH. Méx. 64. p.
- SARH. 1993b. Estudio de la erosión potencial y permisible, para el Distrito de Desarrollo Rural de Zitacuaro, Michoacán. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Agricultura. SARH. Méx. pp. 50-62.

- SARH. 1993c. Estudio de impacto ambiental para el desarrollo forestal en Guerrero y Oaxaca. Informe Final, Tomo B: Descripción Física. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal. SARH. Méx. pp. 61-167.
- SARH. 1994a. Reglamento de la Ley Forestal. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Dirección General Jurídica, SARH. Méx. 59 p.
- SARH. 1994b. Memoria Nacional del Inventario Nacional Forestal Periódico. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal. SARH. Méx. p 110.
- SARH. 1994c. Inventario Nacional Forestal Periódico. Memoria del estado de Guerrero. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal. SARH. Méx. p. 82.
- SEDUE. 1988. Manual de Ordenamiento Ecológico del Territorio Nacional. Anexo 8. Índice de erosión laminar. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. SEDUE. Méx. pp. 176-253.
- SEMARNAP. 1997. DECRETO por el que se reforma la Ley Forestal. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación del 20 de mayo de 1997. México, D.F. pp. 32-47.
- Siderius, W. (ed.). 1986. Proceedings of the International Workshop, of Land Evaluation for Land - Use Planning and Conservation in Sloping Areas. Enschede, The Netherlands. 17 - 21 December, 1984. I.L.R.I. Publication 40.
- Singh, K. D. 1987. Quantified land evaluation procedure in forestry. In Beek, K. J., P. A. Burrough y D. E. McCormack (1986) q.v. pp. 16-19.
- Sorani, V.; R. Alvarez B.; J. C. Baca C. y S. Varela H. 1993. The forest inventory of Mexico, Phase 1: Classification with TM imagery 25th International Symposium, Graz, Austria, April 1993.
- Sorani, V. y R. Alvarez B. 1995. Hybrid Maps: Updating Mexico's Forest Cartography using Landsat TM Imagery and Land Use Information. Geocarto International. Accepted for publication.
- Sorani, V.; R. Alvarez; G. Cuevas; A. Cortes y J. C. Baca. 1997. Digital Forest Zonification of Mexico. Geocarto International. Accepted for publication.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología Forestal. Traducción de Carlos L. Raigorodsky Z. AGT EDITOR. Méx. pp. 333-334.
- Vink A., P. A. 1983. Landscape Ecology and Land Use. Ed. Longman. London. pp. 234-235.
- Young, A. 1984. Land evaluation for agroforestry: the tasks ahead. ICRAF Working Paper 22, Nairobi. pp. 10-11.

