

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
MAESTRÍA EN ESTUDIOS AMBIENTALES**



**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA INDICADORES
DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES,
RECURSO SUELO:
USO DEL TERRITORIO E INTENSIDAD DE USO DEL TERRITORIO**

JOSÉ ANTONIO FIÓN MORALES

**GUATEMALA
2007**

**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA INDICADORES
DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES,
RECURSO SUELO:
USO DEL TERRITORIO E INTENSIDAD DE USO DEL TERRITORIO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
MAESTRÍA EN ESTUDIOS AMBIENTALES**



**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA INDICADORES
DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES,
RECURSO SUELO:
USO DEL TERRITORIO E INTENSIDAD DE USO DEL TERRITORIO**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO POR:

JOSÉ ANTONIO FIÓN MORALES

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRÍA EN ESTUDIOS AMBIENTALES

GUATEMALA 2007

Esta es la hoja de firmas de Vo Bo

PREFACIO

Este trabajo de graduación nace de la idea de la Coordinación de la Maestría en Estudios Ambientales de la Universidad del Valle de Guatemala de continuar apoyando el proceso de elaboración del Manual de Indicadores del Ambiente y los Recursos Naturales, ésta vez por medio de un grupo de estudiantes que realizaban su trabajo de graduación como requisito para optar el título de Maestros.

Los sistemas ambientales que indica el Título III del Decreto No. 68-86 son el sistema Atmosférico, el sistema Hídrico, el sistema Lítico y Edáfico, la Contaminación por Ruido o Audial, la Contaminación Visual y los sistemas Bióticos. De cada sistema existen en el Manual de Indicadores del Ambiente y Recursos Naturales, una serie de indicadores que, basados en la metodología de medición de las condiciones del estado, presión, impactos y respuestas en cada uno de los sistemas mencionados, miden como se encuentra el ambiente en Guatemala. Se define a los indicadores como estadísticas o parámetros que proporcionan información y/o tendencias sobre las condiciones y fenómenos ambientales.

Debido a mi condición de Ingeniero Agrónomo decidí trabajar los indicadores ambientales del recurso suelo, definiendo por razones de tiempo y recursos, el estudio de dos indicadores importantes para la medición de cómo se encuentra el recurso suelo: el uso actual del territorio, un indicador del estado y la intensidad de uso, un indicador de la presión que existe sobre el mismo.

Las herramientas utilizadas para la obtención de los objetivos planteados fueron revisión de información bibliográfica y de Internet sobre indicadores del recurso suelo, entrevistas con personeros de sistemas de información geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-, del Instituto Nacional de Bosques

-INAB-, del Instituto de Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad Rafael Landívar -IARNA- URL y de la Universidad del Valle de Guatemala -UVG-, revisión de diversas metodologías de construcción de fichas técnicas de indicadores y de elaboración de mapas de uso del territorio, de capacidad de uso y de intensidad de uso, listados de equipo y usos, integración, análisis, propuesta de metodología, revisión y redacción final.

Deseo dejar constancia de mi agradecimiento a los personajes, a los personeros de las instituciones que, con mucha amabilidad y con gran espíritu de compañerismo y de conocimiento del tema, me brindaron su total apoyo para la consecución de los objetivos finales del trabajo, en el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- al Ingeniero Rudy Vásquez e Ingeniero José Miguel Duro, en el Instituto Nacional de Bosques -INAB-, Ingeniero Rodolfo Veliz del Instituto de Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad Rafael Landívar -IARNA- URL, el Ingeniero Héctor Tuy e Ingeniero Pedro Pineda y de la Universidad del Valle de Guatemala -UVG-, al Doctor Edwin Castellanos, asesor principal de esta tesis, Jorge Antonio Roldán, Luis Delgado, Angélica de Pocasangre y al compañero Víctor Valencia.

ÍNDICE

| | Página |
|---|--------|
| PREFACIO | vi |
| LISTA DE CUADROS | x |
| LISTA DE GRÁFICAS | x |
| RESUMEN | xiii |
| Capítulos | |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. ANTECEDENTES | 2 |
| III. MARCO TEÓRICO | 6 |
| IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 13 |
| V. OBJETIVOS | 14 |
| VI. METODOLOGÍA | 15 |
| VII. DESARROLLO DE LOS INDICADORES | 17 |
| 7.1 FICHA TÉCNICA DEL INDICADOR USO DEL TERRITORIO | 17 |

| | |
|---|----|
| 7.2 METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA USO DEL TERRITORIO | 18 |
| 7.3 FICHA TÉCNICA DEL INDICADOR INTENSIDAD DE USO DEL TERRITORIO | 35 |
| 7.4 METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE INTENSIDAD DE USO DEL TERRITORIO | 36 |
| 7.5 METODOLOGÍA PARA GENERAR EL MAPA DE CAPACIDAD DE USO | 39 |
| 7.6 ANÁLISIS DE VIABILIDAD | 44 |
| VIII. CONCLUSIONES | 46 |
| IX. RECOMENDACIONES | 48 |
| X. BIBLIOGRAFÍA | 49 |
| XI. ANEXOS | 52 |
| 11.1 METODOLOGÍA MAGA-USDA PARA GENERACIÓN DEL MAPA DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA | 52 |
| 11.2 FORMULARIOS PARA LEVANTAMIENTO DE DATOS | 55 |
| XII. GLOSARIO | 66 |

LISTA DE CUADROS

| Cuadro | | Página |
|--------|--|--------|
| 1 | Tablas de identificación de los tipos de imágenes por resolución hasta 10 metros. | 11 |
| 2 | Tablas de identificación de los tipos de imágenes por resolución encima de 15 metros. | 11 |
| 3 | Clases meta de uso del territorio. | 21 |
| 4 | Escenas LANDSAT 7 EMT+ | 21 |
| 5 | Equipo para verificación de campo. | 34 |
| 6 | Resumen del proceso de elaboración de un mapa de capacidad de uso de la tierra con base en el sistema adoptado por INAB. | 43 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | | Página |
|--------|---|--------|
| 1 | Cobertura de las nueve escenas LANDSAT 7 EMT+ | 20 |
| 2 | Flujograma para la elaboración del mapa de capacidad de uso de la tierra con el sistema de clasificación de USDA. | 54 |

ACRÓNIMOS

| | |
|-----------|---|
| ANACAFE | - Asociación Nacional del Café - |
| CECON | - Centro de Estudios Conservacionistas - |
| CEMA | - Centro de Estudios del Mar - |
| CEMEC | - Centro de Monitoreo y Estadísticas del CONAP - |
| CENGICAÑA | - Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar - |
| CONAP | - Consejo Nacional de Áreas Protegidas - |
| CONRED | - Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres - |
| EPIR | - Estado-Presión-Impacto-Respuesta - |
| FAO | - Fondo Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - |
| FAUSAC | - Facultad de Agronomía - USAC - |
| FLACSO | - Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (Sede Guatemala) - |
| IARNA | - Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente - |
| IGN | - Instituto Geográfico Nacional - |
| INAB | - Instituto Nacional de Bosques - |
| INE | - Instituto Nacional de Estadística - |
| INFOM | - Instituto de Fomento Municipal - |
| INSIVUMEH | - Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología - |
| MAGA | - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación - |
| MARN | - Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales - |
| MFEWS | - Sistema Mesoamericano de Alerta Temprana para Seguridad Alimentaria - |
| PROTIERRA | - Unidad Técnico Jurídica - |
| USIGHUE | - Unidad del Sistema de Información de Huehuetenango - |
| USAC | - Universidad de San Carlos de Guatemala - |
| URL | - Universidad Rafael Landívar- |
| UVG | - Universidad del Valle de Guatemala - |

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: Creador del cielo y de la tierra, de todo lo visible y lo invisible...

A mis Padres: Héctor Fión Garma
Elida Morales Táger de Fión-Garma
Son y serán siempre la luz que alumbra nuestro camino.

A mi Esposa: Ingrid Samara Cosillo Morfin de Fión
Gracias por ser la compañera de mi vida y la linda madre de mis hijos.

A mis hijas e hijo: Ing. Agr. Sonia Elizabeth Fiòn Canel
Eva María, Cynthia Marissa y José Antonio.

Como un ejemplo para sus vidas, la superación se logra con el estudio. ¡Este triunfo va por ustedes!

A mis hermanos: Erick Leonel e Irmy, como el homenaje al ejemplo que me dio de hermandad y perseverancia.
Héctor Iván, Carlos Rafael y Regis, Anita María y Rafa, Tito y Lucky.
Gracias por su total apoyo en el batallar de la vida.

A mis sobrinos: Carlita, Gringo, Vicky y Erickito, Marisol, Héctor, Chino, Teto,
María Regina, Rafita, Juan Miguel, Gabriel, Lucy, Elida, Andrea y Titito.

A mis tíos y primos: ¡Porque la Fionada Madre perdure para siempre!

A mis amigos de estudio y de trabajo:

Con aprecio a Lic. Olivia Orellana, Arq. Marleny Cardona de Retana, Ing. Antonio Hidalgo, Mauro y Marvin Molina, Arq. Gustavo Mayen, Ing. Fernando Luna, Dra. Verónica Pira, por su compañerismo.

A mis profesores:

Especialmente al Dr. Edwin Castellanos, Dra. Margaret Dix, Dr. Yury Melini, Jonathan Salgado, Ing. Edgar Pineda, Dr. Adán Pocasangre.

A mis centros del Saber:

Instituto Técnico de Agricultura, Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala y la Maestría en Estudios Ambientales de la Universidad del Valle de Guatemala.

AL PETÉN

TIERRA DEL SOL QUE QUEMA,

ÁNFORA DE PLATA,

FLOR QUE LLEVA LA PATRIA EN EL CORAZÓN

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo de graduación se enfocan en construir una ficha técnica de los indicadores ambientales del recurso suelo, específicamente uso del territorio e intensidad de uso del mismo, profundizando en la metodología que se deberá utilizar para la obtención de los indicadores y la viabilidad de implementación por parte de las instituciones involucradas en la obtención del indicador.

Los instrumentos metodológicos utilizados se plantearon con base en los tres objetivos específicos a alcanzar: desarrollo metodológico de indicadores, análisis de factibilidad de implementación de la medición del indicador y las instituciones responsables de la recolección de la información del indicador. Las herramientas utilizadas fueron revisión de información bibliográfica y de Internet sobre indicadores del recurso suelo, entrevistas con personeros de sistemas de información geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-, del Instituto Nacional de Bosques -INAB-, del Instituto de Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad Rafael Landívar -IARNA- URL, del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-PETÉN y de la Universidad del Valle de Guatemala -UVG-, revisión de diversas metodologías de construcción de fichas técnicas de indicadores y de elaboración de mapas de uso del territorio, de capacidad de uso y de intensidad de uso, listados de equipo y usos, integración, análisis, propuesta de metodología, revisión y redacción final.

Los resultados alcanzados fueron las metodologías definidas para la obtención de los indicadores, definiéndose las metodologías de elaboración de los mapas de uso del territorio y capacidad de uso, con los cuales al realizarse la sobre posición de los mapas se obtiene el mapa de intensidad de uso del territorio.

En cuanto a la identificación de las instituciones se encontró que los laboratorios de sistemas de información geográfica del MAGA, INAB, UVG y el CEMEC de CONAP–Petén, poseen la capacidad para generar los mapas, además de contarse con una serie de instituciones gubernamentales y no gubernamentales que pueden participar en el proceso de obtención de los indicadores. Sí existe la factibilidad a nivel nacional de obtenerse los dos indicadores, proponiéndose el establecimiento de sinergias entre las instituciones para no duplicar esfuerzos y generar entre todos los indicadores ambientales de uso del territorio, capacidad de uso y la intensidad de uso.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de graduación para la Maestría en Estudios Ambientales define metodologías de indicadores ambientales del recurso suelo, que midan el estado del recurso, así como la presión sobre el mismo, siendo estos indicadores el uso del territorio y el indicador denominado intensidad del uso del territorio. Estos permitirán el monitoreo que nos genere información que permita tener una medida de la efectividad de las políticas ambientales con respecto al recurso suelo en Guatemala.

En el análisis del estado del ambiente se aplica la metodología que mide del entorno natural del país, como se encuentra la presión, los impactos y las respuestas (EPIR) que se dan en un momento y en un espacio dado, esta metodología trata de lograr una vinculación lógica entre las variables representadas por los indicadores propuestos que permita orientar la evaluación del estado del ambiente.

La importancia de conocer el estado del ambiente, sus presiones, los impactos y las respuestas a que está sometido, es que permite formular y ejecutar las políticas relevantes a los sistemas ambientales, ejercer funciones normativas de control y supervisión ambiental, controlar la calidad ambiental, normar sobre Recursos Naturales no renovables, promover el aprovechamiento y manejo sostenible de recursos naturales y elaborar el informe anual ambiental del Estado.

II. ANTECEDENTES

En Guatemala el rector de la gestión ambiental en el país es el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, por lo tanto, es el responsable de formular y ejecutar las políticas relevantes a los sistemas ambientales, ejercer funciones normativas de control y supervisión ambiental, controlar la calidad ambiental, normar sobre Recursos Naturales no renovables, promover el aprovechamiento y manejo sostenible de Recursos Naturales y elaborar el informe anual ambiental del Estado.

Para ayudar a realizar estas funciones, el Artículo 21 del Reglamento Orgánico Interno del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (Acuerdo Gubernativo No. 186- 2001) estipula la creación de una unidad encargada del sistema de información ambiental que tiene dentro de sus atribuciones la definición de parámetros, variables e indicadores que permitan evaluar la situación ambiental del país. Una atribución complementaria de esta unidad es la de preparar los manuales e instructivos para que los procedimientos de recolección, actualización, mantenimiento, uso y almacenamiento de información ambiental se lleven a cabo por varias dependencias. (MARN 2003)

El manual de indicadores del ambiente y los Recursos Naturales elaborado por el Ministerio de Ambiente y los Recursos Naturales con apoyo de Universidad del Valle de Guatemala describe la metodología empleada para el análisis de la definición de los indicadores ambientales propuestos. El marco analítico que se utiliza en el manual es la matriz EPIR (Estado-Presión-Impacto-Respuesta) que procura definir y relacionar el grupo de factores que determinan las características actuales que influyen en el ambiente. El objetivo de aplicar esta metodología es lograr una vinculación lógica entre las variables representadas por los indicadores propuestos que permita orientar la evaluación del estado del ambiente, incluyendo los factores que ejercen presión sobre los Recursos Naturales y las respuestas que se producen para enfrentar los problemas ambientales.

Los indicadores ordenados en la matriz EPIR pretenden responder a cuatro preguntas básicas en cualquier escala territorial:

- 1) ¿Qué le está sucediendo al medio ambiente? (ESTADO).
- 2) ¿Por qué está sucediendo esto? (PRESIÓN).
- 3) ¿Por qué nos debe importar esto? (IMPACTO).
- 4) ¿Qué podemos hacer y qué estamos haciendo en este momento? (RESPUESTA).

Una quinta pregunta implícita en el análisis de indicadores a lo largo del tiempo se refiere a las perspectivas futuras: ¿Qué pasará si no actuamos ahora?

A continuación se definen los componentes de la matriz EPIR más ampliamente:

El estado se refiere a la condición actual del ambiente y los Recursos Naturales. Es muy importante que los tomadores de decisiones y el público, en general, conozcan la calidad del ambiente en que vivimos mediante datos cuantitativos confiables, y no simplemente mediante opiniones que varían dependiendo de intereses particulares.

Se llaman presiones a las fuerzas económicas y sociales existentes tales como el crecimiento de la población, el consumo o la pobreza. Las presiones deben ser el punto de partida de acción del tomador de decisiones ya que atacando las presiones, estamos atacando la fuente del problema. Con esto se evita dar soluciones temporales que sólo buscan mitigar parcialmente las manifestaciones del problema y no sus causas.

Se llama impacto al efecto producido por el estado del ambiente sobre aspectos tales como la calidad de vida y la salud humana, sobre el propio ambiente, sobre el ambiente construido y sobre la economía urbana local. Los indicadores de impacto son una herramienta muy útil para incrementar la voluntad política de realizar acciones de respuesta a los problemas ambientales ya que pueden mostrar efectos concretos sobre los mismos seres humanos provenientes de la degradación ambiental.

La respuesta es el componente que corresponde a las acciones colectivas o individuales que atenúan o previenen los impactos ambientales negativos, corrigen los daños ocasionados al ambiente, conservan los Recursos Naturales o contribuyen para mejorar la calidad de vida de las poblaciones humanas. En general, los indicadores pueden medir las respuestas institucionales de las entidades de gobierno o las respuestas de la sociedad en general ante un problema dado. Los indicadores que miden respuestas institucionales del gobierno pueden ser considerados indicadores de evaluación del accionar de las instituciones de gobierno involucradas.

El análisis de perspectivas futuras del ambiente es inherente al proceso de recolección y estudio de los indicadores ambientales a lo largo del tiempo. La pregunta de qué pasará si no se actúa ahora es de crucial importancia para el tomador de decisiones y la matriz EPIR le permite establecer el enlace entre las variables relevantes para proyectar las manifestaciones futuras de las condiciones y acciones actuales. Con esto se puede crear la posibilidad de una acción estratégica para modificar el rumbo de los problemas ambientales de cada localidad. (MARN 2003)

Según el Perfil Ambiental de Guatemala, (URL 2004), la información sobre el uso de la tierra pone de manifiesto la disponibilidad y el uso de los recursos espaciales del país. La sección Tierra del Perfil se centra en información sobre el uso, la degradación y otros temas relacionados con la calidad de la tierra y señala que en el ámbito local y nacional falta información sobre la tierra para preparar la planificación y el ordenamiento de su uso. Presenta un análisis que abarca una combinación de la cubierta vegetal de las tierras y la utilización de éstas para actividades humanas. El análisis de esta información permitirá evaluar cómo en el transcurso del tiempo, ha cambiado la utilización de la tierra y posiblemente, las consecuencias ambientales de su utilización.

En lo referente a la capacidad de uso de la tierra, es decir, las aptitudes de uso para fines diversos, presenta las principales clases de capacidad determinadas para el territorio nacional, utilizando para ello la Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (USDA 1961)

Para describir las condiciones de las tierras del país, se optó por utilizar este sistema en virtud del grado de conocimiento, aceptación y uso para diferentes fines en Guatemala y Latinoamérica. No obstante para este mismo fin y a nivel de micro regiones y de finca se recurre a otros métodos de clasificación tal el caso de la metodología para calificación de tierras utilizada por el Instituto Nacional de Bosques.

III. MARCO TEÓRICO

Los indicadores son estadísticas o parámetros que proporcionan información y/o tendencias sobre las condiciones y fenómenos del ambiente. Los indicadores deben proveer información que permita tener una medida de la efectividad e implementación de las políticas ambientales.

El conocimiento del estado actual del uso del territorio, se considera el punto de partida para establecer la situación ambiental del territorio nacional, en relación a la definición de proyectos de ordenamiento territorial. El indicador uso del territorio tiene relación con aspectos técnicos de optimización de uso del territorio y Recursos Naturales, aspectos socioeconómicos, de prevención de desastres y aspectos jurídicos de tenencia de la tierra, etc. (MARN 2003)

El indicador conflictos de uso de la tierra brinda conocimiento de cómo está siendo utilizado el territorio, con el fin de determinar el nivel de intervención y degradación del recurso, con este indicador se pretende a los proyectos que tiendan a restaurar los Recursos Naturales para que mejoren la eficiencia de producción y se pueda mantener el equilibrio entre naturaleza y sociedad. (COMITÉ INTERNACIONAL DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL PARA COLOMBIA 2002)

3.1 La capacidad de uso de la tierra en la evaluación del uso del territorio

Previamente a definir la capacidad de uso de la tierra como instrumento para la evaluación del uso del territorio, es importante señalar que existe una diferencia conceptual importante entre los términos "capacidad de Uso de la Tierra" y el de "Uso Potencial de la Tierra.

Tosi citado por Lücke (1986) define como término análogo a la capacidad de uso de la Tierra el de <<capacidad de Uso Mayor de la Tierra>>, el cual es definido por el citado autor de la siguiente forma:

<<Es la capacidad de uso más intensivo que una unidad de tierra puede soportar sin deterioro de su capacidad productiva pero que no se excluyen usos de una intensidad menor>>.

Esta definición contiene una consideración muy importante para la evaluación del uso del territorio, la cual se basa en el concepto de intensidad de uso y es que "no se excluyen usos de intensidad menor" a los determinados en la capacidad de uso de la tierra. Esta consideración lleva al concepto de "uso potencial de la tierra".

El uso potencial de la tierra es cuando se toma como referente a la capacidad de uso de la tierra disminuyendo su intensidad de uso al considerar factores económicos, sociales, culturales, institucionales, tecnológicos, políticos y otros.

Es importante señalar que en la evaluación del uso de la tierra es necesario diferenciar, en la categoría denominada subuso del territorio, (refiriéndose a aquellos usos actuales o presentes del territorio que están bajo la capacidad de uso) cuales subusos corresponden a una subutilización de su capacidad productiva y cuáles a un uso potencial de la tierra. En síntesis, es necesario determinar la capacidad de uso de la tierra y el uso potencial de la misma, antes de tomar la decisión de aumentar la intensidad de uso a las áreas clasificadas como "subuso". Esta consideración se retomará más adelante cuando se conceptualice "la evaluación del uso del territorio".

Otra consideración importante sobre la capacidad de uso de la tierra, es que las metodologías empleadas para determinar dicha capacidad deben verse como un instrumento para ordenar el territorio y no como el ordenamiento del territorio en sí mismo. El ordenamiento del territorio es un instrumento de planificación del desarrollo de visión holística, en donde la determinación de la capacidad de uso de la tierra es tan sólo un componente del mismo.

3.2 La evaluación del uso del territorio: intensidad de uso

La evaluación del uso del territorio constituye la base del análisis para la generación de escenarios basados en situaciones actuales, las cuales se proyectan hacia el futuro partiendo de la premisa de la "no acción" de ordenamiento territorial. Es decir, que la situación real actual en relación con el ordenamiento territorial se mantiene, lo que también implica que los procesos evolucionan considerando una serie de supuestos basados en esa premisa.

En lo que respecta al análisis de la evaluación del uso y el estado actual del territorio, se necesitan diseñar y aplicar un modelo metodológico geográfico para lograr el mapa de evaluación del uso y estado actual del territorio. Para ello se debe realizar la superposición de los mapas de uso actual y de capacidad de uso de la tierra. El proceso implica la síntesis y posterior compatibilización de las categorías de

uso actual y capacidad de uso de la tierra de ambos mapas, la superposición en el sistema de información geográfica y la generación del mapa de evaluación, basado en el concepto de intensidad de uso. Posteriormente se debe hacer una revisión del mencionado mapa para generar las estadísticas de uso correcto, sobreuso y subuso del territorio.

En la categoría de sobreuso debe analizarse qué tan severo es el sobreuso con respecto a la capacidad de uso. Es decir, si el sobreuso del territorio ocurre en determinada unidad territorial con una o más categorías de sobreuso. Por ejemplo: si la capacidad de uso del territorio es de uso forestal productivo y el uso actual es de cultivos anuales, dicho uso está constituido en intensidad de sobreuso en dos categorías de capacidad, la de pastos y la de cultivos permanentes. Los procesos de pérdida de la capacidad productiva y posterior degradación ambiental de la unidad, no sólo se puede esperar que se den en forma más rápida, sino que en mayor magnitud que un sobreuso de sólo una categoría.

La categoría de uso correcto puede ser analizada con el fin de determinar cuáles fueron los factores que determinaron que el uso del territorio estuviera de acuerdo con su capacidad. Este análisis puede ser revelador para el desarrollo de pautas y modelos de uso del territorio que sirvan de apoyo a la generación de escenarios deseables u optimistas del uso del territorio.

En cuanto a los subusos de la tierra el análisis puede dar mucha luz para separar cuáles subusos corresponden a un uso potencial de la tierra y cuáles a un uso inadecuado e ineficiente del territorio. En ambos casos la determinación de los factores que generan el subuso, también aportarán conocimientos relevantes para la generación de escenarios más precisos de ordenamiento territorial.

Se puede entonces estudiar en mayor detalle la evaluación del uso del territorio, lo que proporcionaría más elementos para caracterizar los escenarios de ordenamiento territorial, tanto optimistas como pesimistas y la generación de políticas de ordenamiento territorial basadas en mejores criterios e información.

3.3 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELARES

El principio sobre el cual se basa el procesamiento de imágenes, es la teledetección, mediante la cual cada objeto o tipo de cubierta emite un espectro electromagnético específico en función de su propia naturaleza y de las radiaciones que recibe; en tal sentido la reflectancia de un objeto o tipo de cubierta a lo largo de todo el espectro electromagnético presenta una firma espectral concreta que lo hace distinguible de los demás. Así, para obtener la signatura espectral de los diversos tipos de cobertura vegetal y uso de la tierra contenidos en la información satelar mencionada, será necesario desarrollar un fuerte trabajo de campo por medio del cual se determinen plenamente cada cobertura y uso de la tierra contenidos en las unidades de muestreo, puntos de ortorectificación y verificación. (MAGA 2001-2000)

3.3.1 Imágenes satelares y sus aplicaciones. Actualmente se tienen la oportunidad de aprovechar de imágenes satelitales para una gran variedad de aplicaciones:

- Capa base de catastro – uso GIS de municipios.
- Desarrollo y planificación urbana.
- Mapeo / planificación / administración de uso de suelos.
- Infraestructura - teléfono, alcantarillado, agua potable, electricidad, gas, etc.
- Alineamientos - carreteras, canales, tuberías, etc.
- Recursos Naturales - forestales, petróleo, minería, etc.
- Investigación ambiental - cuencas hidrológicas, planes de inundación, vegetación.
- Agricultura – “agricultura de precisión”, clasificación de cultivos, etc.
- Negocios o geografía empresarial – bienes raíces, turismo, seguimiento de vehículos, espionaje industrial.
- Respuestas rápidas a desastres naturales / emergencias.
- Asuntos militares, tales como planeación / simulación, monitoreo / mapeo de fronteras y otras áreas sensitivas.
- Y otras aplicaciones que aún están siendo definidas...

Las imágenes satelitales proveen volúmenes de información a una bajo costo. Los nuevos satélites comerciales ofrecen características como resolución (tamaño cuadrado representado por un píxel), precisión posicional (la variación entre la

posición de un objeto en la imagen y su posición verdadera) y tiempo de entrega revolucionaria, aumentando la variedad de posibles aplicaciones. Dado el corto tiempo de entrega y sus precios bajos imágenes satelitales pueden ser alternativas y/o complementos a fotografía aérea convencional.

Las imágenes satelitales que se pueden obtener actualmente en el mercado incluyen Ikonos (1m / 4 m), IRS (5 m) y Landsat 7 (15 m / 30 m).

A continuación se presentan aplicaciones de cada tipo de imagen:

IKONOS – dado los detalles espaciales disponibles y la precisión posicional, estas imágenes sirven muy bien para mapeo base, aplicaciones GPS y visualización. Son excelentes para planificación urbana, uso en sistemas GIS, infraestructura / transporte, etc. También ofrece mucha utilidad en aplicaciones de agricultura, recursos forestales, recursos naturales y usos del suelo.

IRS – ofrece mayor encubrimiento y costos muy competitivos, y dada su alta revolución son excelentes para planificación urbana, mapeo / administración de infraestructura, etc. Los datos con su cubrimiento grande e información multi-espectral, sirven para estudios regionales/ de nivel de continente, mapeo de recursos, procesos globales, etc.

LANDSAT – los datos son excelentes para aplicaciones de usos / cubrimiento del suelo e imágenes multi-espectrales, contienen mucha información y son ideales para investigaciones ambientales. Dado que Landsat TM incluye banda 7, para trabajos de clasificaciones geológicas es la selección lógica.

Radarsat/ERS/JERS – ya que Synthetic Aperture Radar funciona bajo condiciones nubladas y/o oscuras, estos tipos de imágenes pueden ser usadas en lugares donde los resultados con sistemas ópticos no serían buenos. Son ideales para monitorear características geológicas, de costas y agua abierta. Donde no es posible crear DEMs bajo interferometría (usualmente con datos ERS) o conseguir un par de datos SPOT sin nubes, se puede crear DEMs con pares estereos de datos de datos Radarsat. (<http://landinfo.com>.2005)

Cuadro 1. Tablas de identificación de los tipos de imágenes por resolución hasta 10 metros

| Resolución | 1m | 1.8 m | 2.5 m | 4m | 5m | 10 m |
|-------------------|----------------|--------------|--------------|-----------|------------------------------|-----------------------------|
| Colorido | Ikonos | | SPOT 5 | Ikonos | | SPOT PAN+XS-XI SPOT 5 |
| B & N | Ikonos Eros | Eros | SPOT 5 | Ikonos | IRS 1-C KOMPSAT SPOT 5 | SPOT PAN RADARSAT |
| Antiguo | | | | | | SPOT PAN |
| Reciente | Ikonos Eros | Eros | | Ikonos | IRS 1-C KOMPSAT | SPOT PAN RADARSAT |
| Actual | Ikonos Eros | Eros | | Ikonos | | SPOT PAN RADARSAT |

FUENTE: [http:// www.landinfo.com](http://www.landinfo.com)

Cuadro 2. Tablas de identificación de los tipos de imágenes por resolución encima de 15 metros

| Resolución | 15 m | 20 m | 25 m | 30 m | 80 m |
|-------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|
| Colorido | Landsat ETM+ | SPOT XS/XI | | Landsat TM | Landsat MSS |
| B & N | Landsat ETM+ ASTER | SPOT XS/XI RADARSAT | ERS-1 ERS-2 RADARSAT | Landsat TM RADARSAT | Landsat MSS RADARSAT |
| Antiguo | | SPOT XS/XI | ERS-1 ERS-2 | Landsat TM | Landsat MSS |
| Reciente | Landsat ETM+ ASTER | SPOT XS/XI RADARSAT | ERS-1 ERS-2 RADARSAT | Landsat TM RADARSAT | RADARSAT |
| Actual | Landsat ETM+ ASTER | SPOT XS/XI RADARSAT | ERS-1 ERS-2 RADARSAT | Landsat TM RADARSAT | RADARSAT |

FUENTE: [http:// www.landinfo.com](http://www.landinfo.com)

Dentro de la planificación del uso de la tierra una etapa importante es la determinación de la aptitud de la misma frente a un uso determinado. Un primer acercamiento a una evaluación de la aptitud de tierras es la determinación de su capacidad de uso en términos biofísicos, basado en un sistema de clasificación.

Para ello existe un extenso número de metodologías, la mayoría basadas en el principio de máxima intensidad que es posible hacer sin que una unidad (de tierra) pierda irreversiblemente su capacidad productiva. Dentro de este contexto se entiende que la vocación, en un principio está limitada por la capacidad de uso. Bajo este marco teórico, el Instituto Nacional de Bosques, INAB adoptó una metodología aplicable a tierras de Guatemala, particularmente para orientar y uniformizar el procedimiento de certificación de la vocación forestal de las tierras. (INAB 1999)

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PREGUNTAS DE LA INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuáles son los indicadores ambientales más importantes para el monitoreo del recurso suelo que se deben implementar en Guatemala y que metodologías se pueden utilizar?
2. ¿Qué instituciones en Guatemala están involucradas o podrían llevar a cabo el monitoreo de los indicadores del recurso suelo?
3. ¿Qué factibilidad existe que las instituciones implementen las metodologías identificadas para el monitoreo de indicadores del recurso suelo por las instituciones?

V. OBJETIVOS

5.1 General

Definir metodologías de los indicadores de estado: uso del territorio, y de presión: intensidad del uso, para el monitoreo con indicadores que permitan tener una medida de la efectividad de las políticas ambientales con respecto al recurso suelo en Guatemala.

5.2 Específicos

- Desarrollar las metodologías para la medición de los indicadores del recurso suelo: uso del territorio e intensidad del uso del territorio, con base en metodologías identificadas que se aplican en Guatemala.
- Identificar a las instituciones involucradas en el monitoreo de indicadores del recursos suelo.
- Evaluar la factibilidad de implementación en las instituciones que se proponga.

VI. METODOLOGÍA

Los instrumentos metodológicos se plantean con base en los tres objetivos específicos a alcanzar:

6.1 Desarrollo metodológico de indicadores

- Revisión de información bibliográfica y de Internet sobre indicadores del recurso suelo.
- Entrevistas con personeros de sistemas de información geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-, del Instituto Nacional de Bosques -INAB-, del Instituto de Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad Rafael Landívar -IARNA- URL, del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-PETÉN y de la Universidad del Valle de Guatemala -UVG-.
- Estudio de diversas metodologías de construcción de fichas técnicas de indicadores y de construcción de mapas de uso del territorio y de intensidad de uso.
- Definición de variables de construcción de la ficha.
- Propuesta metodológica de procedimientos de recopilación, actualización, uso y almacenamiento de la información.
- Integración, análisis, propuesta de metodología, revisión, redacción final.

6.1 Análisis de factibilidad de implementación de la medición del indicador

- Entrevistas con personeros de sistemas de información geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-, del Instituto Nacional de Bosques -INAB-, del Instituto de Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad Rafael Landívar -IARNA- URL, del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-PETÉN y de las Universidad del Valle de Guatemala -UVG-.
- Elaboración de listados de equipo y usos.

6.3 Instituciones responsables de la recolección de la información del indicador

- Visitas a instituciones.
- Revisión de información bibliográfica y de Internet sobre indicadores del recurso suelo.
- Entrevistas con personeros de sistemas de información geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-, del Instituto Nacional de Bosques -INAB-, del Instituto de Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad Rafael Landívar -IARNA- URL, del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-PETÉN y de la Universidad del Valle de Guatemala -UVG-.

6.4 Preguntas claves que guiaron el estudio

¿Qué se va a medir?: Uso del territorio e intensidad de uso del territorio.

¿Cómo se va a medir?: Se definirán las metodologías que se utilizan para concretar como se llega a tener un mapa de uso del territorio y otro de intensidad de uso, como productos finales de los indicadores.

¿Quién lo va a medir?: Se definirá la institución o instituciones que serán propuestas en la ficha propuesta.

¿Cuándo?: Frecuencia en tiempo (cada cuánto medir el indicador) y espacio (municipal, regional o nacional).

¿Dónde?: Es un indicador de país, sin embargo, considero proponer algo sobre que debe ser departamental o bajar a municipios.

VII. DESARROLLO DE LOS INDICADORES

7.1 Ficha técnica del indicador

| Uso del territorio nacional | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Eje temático: | Recurso suelo. |
| 2. Tipo de indicador: | Estado. |
| 3. Definición: | Determinación y cuantificación de la extensión y distribución geográfica, en un período de tiempo específico, de los distintos tipos de usos del territorio nacional. Muestra el uso del suelo en sus diferentes estados de intervención tales como las áreas boscosas, agrícolas, pecuarias, zonas específicas como manglares, zonas de inundación. |
| 4. Propósito: | Este indicador, medido a lo largo del tiempo, medirá la tendencia de transformación de un tipo de uso del territorio por otro, proveyendo información base para evaluación y adopción de políticas nacionales y regionales de conservación y mejoramiento ambiental. |
| 5. Unidad de medida: | Área en kilómetros cuadrados y porcentajes (%) del territorio nacional, para cada clase de uso definida. |
| 6. Periodicidad de medición: | Cuatro años, basado en la dinámica de cambio que tiene este indicador. |
| 7. Limitantes: | Este indicador no identifica las causas por las que un territorio se utiliza de determinada manera. Ni la calidad o condición física del suelo es cuestión de diversidad, disponibilidad de agua, densidad de la cubierta vegetal, etc. Tampoco identifica los aspectos antropológicos, socioeconómicos de poblaciones, o estado jurídico catastral. Las imágenes usualmente poseen alguna nubosidad, lo que requiere la compra de imágenes adicionales de otras fechas, para identificar el uso que esta cubierto por dichas nubes y su sombra. Esto afecta el nivel de confiabilidad de la información, además incrementa los costos y el tiempo de obtención del mapa final. |

8. Entidades involucradas: Laboratorio de información geográfica del MAGA, con apoyo de otros laboratorios de información geográfica del INAB, UVG Y CONAP.

9. Observaciones / comentarios: Es un indicador que no se ha actualizado con la periodicidad deseada (cada 4 años), porque ninguna institución ha asumido tal responsabilidad, además no se tenía el personal nacional con la capacidad técnica necesaria en teledetección y se depende de fondos externos para su realización. El conocimiento del “estado” actual del uso del territorio, se considera el punto de partida para establecer la situación ambiental del territorio nacional, este indicador tiene relación con aspectos técnicos de optimización del uso del territorio y recursos naturales, aspectos socioeconómicos, aspectos de prevención de desastres y de tenencia de la tierra, etc.

7.2 METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA USO DEL TERRITORIO

El mapa se elabora a partir del procesamiento, interpretación y clasificación digital de nueve imágenes satelares LANDSAT 7 ETM+, de los dos últimos años del período que se evalúe, que cubren la totalidad del territorio nacional y para lo cual se utilizará el software ERDAS Imagine®¹ (1999), o su equivalente.

El método para ejecutar el proyecto se compone de cuatro fases, las cuales son:

- **fase de gabinete preliminar**, que consiste en la obtención de la información a utilizarse en el estudio (mapas, fotografía aérea, imágenes LANDSAT y de otros satélites: SPOT, IKONOS, IRS, ASTER), planificación del trabajo de campo, capacitación para el procesamiento de las imágenes de satélite por medio del software seleccionado y capacitación para la toma de datos en campo;
- **fase de generación de información de campo combinada con la clasificación por ERDAS Imagine®**, en ésta se realiza la recopilación de datos de campo de al menos 324 unidades muestrales, puntos de verificación de información satelar visualmente dudosa determinada en gabinete, puntos de verificación en los recorridos entre unidades muestrales y puntos para ortorectificación. Los datos obtenidos se agregarán a la información generada

¹ ERDAS Imagine® es un potente software de tratamiento digital de imágenes, así como un sistema de información geográfica raster, fácilmente integrable con sistemas vectoriales como ARC/INFO.

por el procesamiento de imágenes dentro de la denominada clasificación no supervisada;

- **fase de clasificación supervisada**, que consiste en el procesamiento final de las imágenes LANDSAT con ERDAS Imagine ® y otras imágenes satelares de alta resolución, 30 metros, (SPOT-4 IRS u otras), al cual se le adiciona la información de campo obtenida por los equipos recolectores y la información generada por los grupos especialistas en los talleres de expertos; y
- **fase de verificación y edición final**, durante la cual la información generada para el mapa se verificará en campo por los autores y otras instituciones (municipalidades, universidades y otras) usuarias del producto final, el cual una vez aprobado o enmendado se procede finalmente a editar en formato electrónico e impreso.

7.2.1 Fase de gabinete preliminar.

El mapa será elaborado inicialmente a partir del procesamiento, interpretación y clasificación digital de las 9 imágenes LANDSAT mencionadas, que cubren el país y que se muestran en la Figura 1. Las imágenes se clasificarán de manera preliminar tomando como base las 7 clases meta, mostradas en el cuadro 1, correspondientes al primer nivel de la clave de clasificación a utilizarse, la ampliación de estas categorías, hasta la subdivisión del Nivel III se presentan en la Clave de identificación, mostrada en el anexo. Esta clave se constituye en el primer esfuerzo realizado por los miembros del Comité Técnico Asesor y ésta se amplía o reduce en función de los hallazgos en campo, así como los aportes que surjan de los talleres de expertos para cada categoría.

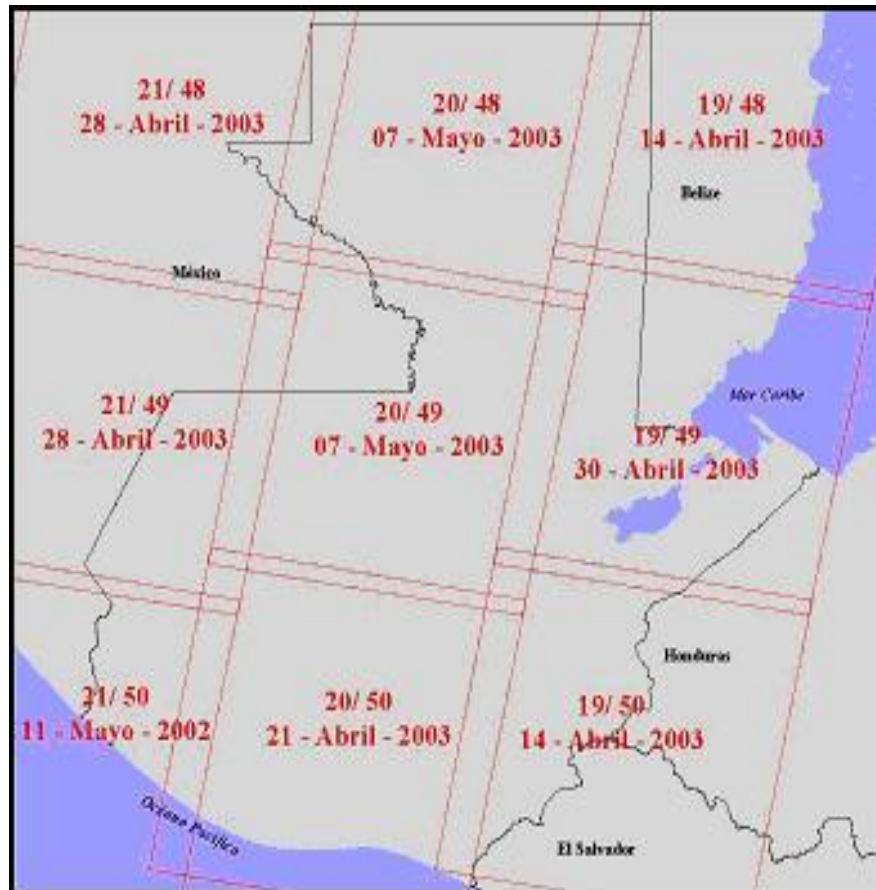


Figura 1. Cobertura de las nueve escenas LANDSAT 7 ETM+ que deben ser utilizadas²

² Según la cuadrícula de referencia de LANDSAT (Coordenadas WRS2), por trazador (path) y línea (row).

Cuadro 3. Clases meta de uso del territorio

| |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. Infraestructura2. Agricultura3. Pastos y arbustos - matorrales4. Bosques y plantaciones forestales5. Cuerpos de agua6. Humedales y zonas inundables7. Tierras áridas y mineras |
|---|

El detalle de la información presentada en la Figura 1, se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Escenas LANDSAT 7 ETM+ a usarse en el proyecto

| Número de escena |
|-------------------------|
| Path 21 row 48 |
| Path 20 row 48 |
| Path 19 row 48 |
| Path 21 row 49 |
| Path 20 row 49 |
| Path 19 row 49 |
| Path 21 row 50 |
| Path 20 row 50 |
| Path 19 row 50 |

Las imágenes presentadas, corresponden a un nivel 1G de procesamiento, es decir con corrección radiométrica y sistemática (NASA 2002). El criterio de selección de estas imágenes debe ser la ausencia de nubes y la mayor consistencia fenológica posible, que está en función de la fecha de adquisición de las escenas (en la estación seca del año).

7.2.1.1 Preprocesamiento de imágenes. Las imágenes mencionadas, serán objeto de las etapas de reprocesamiento siguientes:

7.2.1.1.1 Corrección atmosférica. Es necesario eliminar los efectos de la bruma y el humo. La eliminación de los elementos señalados, es decir la corrección atmosférica de las imágenes se realizará por medio del método desarrollado por Liang (1997), citado por Tucker *et al.* (2004), cuyo principio es partir de la clasificación de las bandas menos afectadas por aerosoles y contaminación atmosférica e ir filtrando los defectos.

7.2.1.1.2 Ortorectificación. El modelo específico de LANDSAT incluido en ERDAS Imagine®, a 30 metros de resolución espacial, debe ser usado para ortorectificar las escenas a ser usadas en el proyecto. Como referencia se usarán las imágenes correspondientes a Guatemala del proyecto *NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set* (Tucker *et al.*, 2004) y se usará el Modelo de Elevación Digital – MED-, producido por el Shuttle Radar Topographic Misión (SRTM), a la máxima resolución disponible como referencia para la corrección de relieve³.

Se deben fijar un mínimo de 250 puntos de control, que deberán ser identificables, como requisito para llevar a cabo la ortorectificación de cada imagen. Los equipos de campo deberán obtener adicionalmente puntos de control específicos, que sirvan para ortorectificación, estos puntos serán colectados con GPS. Los puntos a colectar por los equipos de campo, serán definidos de antemano sobre las imágenes de satélite, tomando en consideración los recorridos de los equipos de campo hasta las unidades de muestreo, así como la visibilidad de los mismos en las imágenes.

7.2.1.1.3 Máscara de nubes y sombras. Se deben generar máscaras de nubes usando cocientes de reflectancia en banda 3 (roja) y radiancia en banda 6 (termal); las máscaras deben ser aplicadas por cada operador individualmente, fijando umbrales manualmente por inspección visual de las imágenes. Por su parte, la sombra de nubes, debe ser generada usando un offset manual (determinado por el operador), usando la máscara de nubes. Ambas máscaras deben ser unidas en una sola capa raster y luego aplicadas a las imágenes de fecha reciente. Los sitios con

³ A la fecha se cuenta con el MED SRTM de 90 metros, estando en gestión la solicitud planteada a la Nacional Geospatial – Intelligence Agency (NGA) por el modelo de 30 m.

cobertura de nubes, deben ser rellenados con datos de las imágenes LANDSAT 5 ó su equivalente disponibles para otras fechas recientes, usando para ellos la información satelar utilizada para generar el Mapa de Cobertura Forestal de la República de Guatemala, realizado por UVG, INAB, CONAP, MAGA, FAO e IGN (2003).

7.2.1.1.4 Digitalización de polígonos urbanos. Usando digitalización en pantalla a una escala máxima de 1:25,000 de despliegue en el monitor, será producida una capa vectorial de polígonos urbanos para los segmentos de imágenes ortorectificadas. Esta capa servirá para generar una máscara de polígonos urbanos en preparación para la clasificación de los datos LANDSAT. Para esto se usarán como referencia las hojas cartográficas a escala 1:50,000 del IGN en formato digital, así como la información toponímica disponible para asignarle atributos de nombre.

7.2.1.1.5 Clasificación no supervisada inicial de las imágenes. Usando la rutina ISODATA (agrupamiento estadístico) incluida en ERDAS Imagine[®], se debe generar una clasificación no supervisada inicial con 100 clases y un umbral de convergencia mínimo de 0.98. Los resultados deben ser analizados, usando como información de contexto la capa de Bosque/No Bosque (UVG *et al.* 2003), el continuo de vegetación derivado del sensor MODIS (NDVI o Índices de Vegetación Determinados) de estación seca / estación lluviosa y la capa de polígonos urbanos, digitalizada en la fase anterior.

La información de contexto será usada, para asignar las 100 clases iniciales a las clases meta que corresponden al primer nivel de la clave de identificación mostradas en el cuadro 1:

- Infraestructura
- Agricultura
- Pastos y arbustos – matorrales
- Bosques y plantaciones forestales
- Cuerpos de agua
- Humedales y zonas inundables
- Tierras áridas y mineras

Por edición manual e interpretación visual, inicialmente se debe producir una capa preliminar con las siete clases meta mencionadas.

Posteriormente, ya dentro del proceso de clasificación supervisada de las imágenes, la capa inicial mencionada debe ser enriquecida por medio de una serie de aproximaciones sucesivas con base a información adicional a la interpretada preliminarmente en la imagen de satélite (datos de campo, sistema de expertos, imágenes de alta resolución y otras).

7.2.1.1.6 Planificación de la etapa de campo. En forma paralela a las actividades para clasificación de las imágenes LANDSAT y con base al mapa mostrado en la Figura 4, en la cual se muestra la distribución de las unidades de muestreo a levantarse en campo, se deben planificar los recorridos de campo para la obtención de informaciones en el sitio.

7.2.1.1.7 Las unidades de muestreo para toma de datos. Para organizar la obtención de información en campo, el país se divide por una cuadrícula de referencia (*grilla*) con separaciones de 10 minutos por 10 minutos (18.4 x 18.4 Km.) a escala real, con lo que se obtienen un total de 324 puntos, mismos que su vez se constituirán en las unidades de muestreo (UM), en donde se obtendrán los datos de cobertura vegetal y uso de la tierra a ser utilizados posteriormente para la clasificación supervisada de las imágenes.

Cada UM deberá ser de forma rectangular (20 m x 500 m), orientada al norte franco y se utilizará para realizar una cuantificación de las diferentes categorías de cobertura vegetal y uso de la tierra que se determinen a lo interno de las mismas. Al finalizar la UM (punto final), y sobre el mismo azimut se debe realizar una transecta de 1,500 m de longitud sobre la cual se deben geoposicionar puntos de referencia fijos a cada 250 m, o antes, en el caso de que ocurran cambios en las categorías de cobertura vegetal y uso de la tierra.

7.2.1.1.8 Localización de las unidades de muestreo en mapas. Los puntos de inicio de cada una de las 324 UM's se ubicarán sobre las hojas cartográficas a escala 1:50,000, donde se anotarán en el margen las coordenadas en sistema UTM, zona de ubicación según la proyección y el Datum.

7.2.1.1.9 Capacitación del personal técnico. Para efectos de adiestrar al personal que debe intervenir en el proyecto, mediante un criterio unificado y un patrón para el desarrollo de las acciones a implementar, durante esta fase se deben realizar eventos de capacitación tanto para el personal a cargo del procesamiento de las imágenes LANDSAT, como para los equipos a cargo de levantar la información en campo. Las capacitaciones a ser impartidas serán:

7.2.1.1.10 Capacitación para el proceso y clasificación de imágenes LANDSAT o su equivalente. A cargo del especialista en análisis de imágenes satelares del proyecto, estará dirigida al personal de las instituciones del Comité Técnico a cargo del proceso y clasificación de imágenes. La capacitación será impartida en el laboratorio SIG-MAGA, ocupando principalmente las temáticas referidas al preprocesamiento de las imágenes, clasificación no supervisada y supervisada. La capacitación será de índole teórico práctica, desarrollándose la misma en tres eventos, a realizarse en los meses de mayo, octubre y diciembre 2004.

7.2.1.1.11 Capacitación para el trabajo de campo. A cargo del especialista cartógrafo-fotoanalista, el asistente de cartógrafo y el especialista en estadística, estará dirigida a los técnicos institucionales (encargado y auxiliar) que conformarán los equipos encargados de recolectar la información de las unidades de muestreo en campo. La capacitación de orden teórica se impartirá en el laboratorio SIG-MAGA, mientras que para la parte práctica se trasladará el personal al campo a efectos de realizar relevo de información en UM de sitios cercanos a capital.

La capacitación deberá ser realizada en un evento de dos días de duración (uno de teoría y uno de práctica).

7.2.1.1.12 Planificación de las salidas para recolección de información. Durante la etapa de gabinete preliminar, se deberá planificar las salidas de campo con los equipos a cargo de esta tarea, cada equipo se deberá constituir por un mínimo de 2 técnicos institucionales, quienes se deberán apoyar en 1 brechero y 1 cadenero que se ha de contratar localmente. Las acciones a realizar en campo, datos a obtener, formularios a utilizar y otras informaciones se encuentran descritas en el documento denominado *Manual de campo para técnicos a participar en el levantamiento de unidades de muestreo*. (MAGA 2004)

Las principales actividades a realizarse por los equipos durante la planificación para recolectar información deberán ser: a) disponer de toda la información cartográfica y aerofotográfica, equipos e instrumentos, así como de 1 vehículo para cumplir con los itinerarios de salidas; b) obtención de datos de campo de al menos 10 UM por mes; c) coordinar con los técnicos del proyecto las acciones de recolecta de datos, supervisión, interacción con los analistas SIG y entrega de resultados.

7.2.2 Fase de generación de información de campo e interacción con la clasificación por ERDAS Imagine®

En esta fase, se generará información de campo importante para apoyar la clasificación supervisada de las imágenes LANDSAT.

Para desarrollar la misma, se hace necesario realizar las actividades siguientes:

7.2.2.1 Relevamiento de datos en el campo. Una vez que los equipos estén plenamente capacitados para realizar las giras de recolecta de datos en las UM's, el cartógrafo-fotoanalista les proveerá de toda la información cartográfica y aerofotográfica de las UM's donde se recolectará la información, los itinerarios de viaje y el detalle de los puntos de GPS requeridos para finalizar la ortorectificación de las imágenes.

Una descripción general de las actividades a realizar son:

7.2.2.2 Al desplazarse hacia la primera UM del itinerario correspondiente y entre cada una de las UM comprendidas dentro de la gira, se deberán relevar puntos de GPS conforme a criterio de experto. Mismos que permitan determinar categorías de uso, que se considere no entran dentro de las correspondientes a las fotointerpretaciones de las UM's y que serán útiles para efectos de la clasificación supervisada (diversos tipos de bosque, cultivos exóticos y cualquier otro patrón de uso extraordinario).

7.2.2.3 Levantamiento de puntos GPS de áreas con información dudosa, surgida a raíz de análisis visual de las imágenes, los cuales serán sugeridos por el cartógrafo-fotoanalista.

7.2.2.4 Levantamiento de puntos GPS de sitios conspicuos, requeridos para la ortorectificación de las imágenes y los cuales serán sugeridos por los analistas SIG.

7.2.2.5 Levantado de la UM de 10,000 m.² de superficie (20 m x 500 m) y orientada al norte, en la cual se realizará un acucioso registro de las coberturas vegetales y/o usos existentes. Esta información se obtendrá por medio de caminamientos, utilizando como referencia el ancho y largo de las diversas coberturas y/o usos presentes a lo interno de la UM. Cuando los polígonos de verificación sean observados a distancia, se georeferenciará el punto donde se sitúe el observador, el cual deberá tomar nota del azimut adonde se dirigió la observación así como de la cobertura o uso de donde esté situado, adicionalmente se referenciarán otros rasgos sobresalientes que no se encuentren dentro del área de la UM. Al terminar de levantar la información de la UM, se procederá a levantar y georeferenciar los usos y cobertura en una transecta de 1500 metros de largo, tomando como punto de inicio el final de la UM y el mismo alineamiento, en esta se tomarán lecturas cada 250 metros cuando el uso y/o cobertura es continuo o a menos distancia si ocurren cambios. Para realizar el trabajo de campo de las 324 unidades se estima un tiempo de seis meses, dividido en seis salidas de quince días cada una.

7.2.2.6 Supervisión del trabajo de campo. Para el efecto se realizarán visitas y supervisiones a los equipos en campo, como una manera de corroborar la aplicación de la metodología propuesta y evaluar los principales problemas que se encuentren en el desarrollo del proceso. Las supervisiones estarán a cargo del especialista en estadística, el cartógrafo- foto analista, el coordinador de la UPGGR o a quien éste delegue, serán en forma de acompañamiento con el grupo de campo o visita a las parcelas que presenten duda.

7.2.2.7 Integración y depuración de la información obtenida en el campo. Una vez se cumpla con los recorridos programados para los equipos participantes y se obtenga la información de las UM's, se deberá proceder a vaciar la información mediante:

7.2.2.8 Generación de bases de datos: al regresar del campo los equipos procederán a generar las respectivas bases de datos de los puntos posicionados de GPS (coordenadas en UTM y los patrones de usos observados), mediante el vaciado de la información de las cuatro boletas utilizadas a un programa informático para su

almacenamiento,

7.2.2.9 Georeferenciación de la información de campo: una vez realizadas las bases de datos, las UM's se dibujarán a escala mediante software de SIG, con el objeto de obtener los datos de superficie y frecuencia de cada una de las coberturas y/o usos determinados.

7.2.2.10 Finalmente, la información ya depurada, se le entregará al personal encargado de la clasificación de las imágenes para la retroalimentación de información en la fase de clasificación supervisada.

En el anexo se presentan los formularios del 01-USOT-2004 al 06-USOT-2004 con los cuales los equipos de técnicos de participan en el levantamiento de las unidades de muestreo realizan el levantamiento de los datos de las unidades muestreadas.

7.2.3 Fase de clasificación supervisada

Esta fase se debe iniciar al tener culminada la clasificación no supervisada de las imágenes con las 7 clases meta ya mencionadas a la cual se deberán adicionar los datos de campo recolectados tanto de las 324 UM's, como de polígonos de verificación. Mediante el proceso, se deben generar muestras de entrenamiento de clasificación para la imagen en al menos 324 UM's, todas ellas georeferenciadas y con un mínimo ideal de 10 muestras por clase meta final.

Los resultados refinados obtenidos de este procedimiento deberán editarse manualmente cuando sean necesarios, usando interpretación visual de datos LANDSAT y los disponibles de alta resolución hasta obtener resultados con valores de evaluación de precisión por arriba del 80%. Este proceso deberá ser iterativo y dependiente del alcance del objetivo de precisión fijado.

Los resultados que se generen para cada nivel de la leyenda, se presentarán para ser trabajados en una serie de talleres, conducidos por el Comité Técnico Asesor y apoyados por representantes de grupos de expertos institucionales o gremiales nombrados al efecto. Los talleres propuestos son:

7.2.3.1 Talleres de expertos. Para realizar los talleres, previamente el MAGA se abocará a sus propias entidades (proyectos PROFRUTA y PLAMAR, Unidad de Normas y Regulaciones), otras instituciones y organizaciones gremiales que desarrollan actividades en torno a un aspecto productivo agrícola tales como la caficultura, la producción de azúcar, la producción ganadera, arroz, granos básicos y otras, para conformar grupos de expertos que aporten información de importancia respecto a emplazamiento de unidades productoras, superficies ocupadas y otros aspectos, que ayuden a refinar las informaciones generadas por el laboratorio SIG respecto a cobertura vegetal y usos de la tierra. Una vez se cuente con la información de cada grupo de expertos, la misma se validará por medio de talleres participativos entre el CTA y los diversos grupos conformados.

7.2.3.2 Análisis estadístico. Obtenida toda la información de campo de las 324 UM's de 10,000 m²., con la base de datos preparada por el experto en estadística del proyecto, se procederá al análisis y cruce de variables correspondientes, considerando el grado de error de muestreo prefijado de 8.96% para la máxima varianza en una distribución multinomial de proporciones de 50 categorías de uso actual de la tierra.

El error de muestreo definido se calculará con los datos de campo y se comparará con el valor de las proporciones de los usos de la tierra aportado por el mapa para calcular el valor de consistencia del mismo.

7.2.4 Fase de comprobación y edición final

Consiste en realizar una comprobación de la información generada por el mapa, para lo cual se deben seleccionar al azar un número determinado de polígonos, mismos que deberán ser corroborados "in situ", a efectos de determinar la validez del valor de consistencia del mapa en sí. La actividad deberá estar a cargo de personal que se designará por la coordinación del proyecto.

7.2.4.1 Productos finales. Los productos finales a obtenerse mediante este proyecto serán:

Mosaico nacional de cobertura vegetal y uso de la tierra: una capa raster continua, con los atributos de cobertura vegetal y uso de la tierra a una resolución espacial de

30 metros obtenida del mosaico de las 9 imágenes LANDSAT individuales usadas en el proyecto. Documento con la memoria técnica de la elaboración del mapa.

7.2.5 Organización para la ejecución del proyecto de elaboración del mapa de uso del territorio y funciones de los integrantes

Para ejecutar el proyecto de elaboración del mapa, el esquema organizativo se ha concebido de la manera siguiente:

7.2.5.1 La Unidad Ejecutora. El estudio deberá ser conducido por una Unidad Ejecutora conformada a lo interno de la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo (UPGGR) del MAGA, la cual deberá ser fortalecida con el equipo necesario, personal técnico para operación de SIG, así como varios consultores especialistas a cargo de la conducción del proyecto, estos serán: un consultor en Cartografía–Fotointerpretación, un consultor en Procesamiento de Imágenes Satelitales, un consultor en Estadística Forestal, un Jefe Técnico del Laboratorio SIG, un asistente de cartografía-fotointerpretación, cinco técnicos analistas de SIG y cinco equipos encargados de obtener la información de campo, integrados por 2 técnicos y 2 operarios de campo.

La supervisión de las funciones que desarrolle la Unidad Ejecutora, deberá estar a cargo del Coordinador de la UPGGR o a quien éste delegue, las principales funciones a desarrollar por la Unidad Ejecutora son las siguientes:

7.2.5.2 Realizar la conceptualización y el planteamiento metodológico para el desarrollo del estudio.

7.2.5.3 Planificar y calendarizar las actividades a desarrollarse para alcanzar el objetivo del estudio.

7.2.5.4 Conjuntamente con el Comité Técnico, generar la asesoría técnica requerida por el equipo técnico.

7.2.5.5 Procesar información digital (procesamiento no supervisado y supervisado de clasificación de las imágenes).

7.2.5.6 Preparar las salidas de campo conforme a los calendarios consensuados.

7.2.5.7 Levantar la información requerida en los recorridos, unidades de muestreo y parcelas anidadas, en formato analógico y digital.

7.2.5.8 Realizar informes y bases de datos de los trabajos de campo realizados.

7.2.5.9 Incorporar la información de campo al proceso de clasificación supervisada.

7.2.5.10 Realizar la edición digital final del mapa y editar la memoria del mapa.

7.2.5.11 La sede de la Unidad Ejecutora se deberá localizar en la sede de la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo del MAGA.

7.2.6 El Comité Técnico Asesor (CTA)

Para efectos de obtener asistencia técnica y cooperación, para validar la generación de la información del mapa, se deberá conformar un Comité Técnico Asesor de carácter interinstitucional, el cual podrá estar integrado por delegados de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto Nacional de Bosques (INAB), Instituto Geográfico Nacional (IGN), United States Department of Agricultura/Animal and Plant Health Inspection Service/Internacional Services (USDA-APHIS-IS), Sistema de Información Geográfico del Centro Universitario de Oriente (SIG/CUNORI), -IARNA-URL, CEMEC-CONAP-PETÉN y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA); estas instituciones cuentan con experiencia en el análisis de imágenes satelares y cartografía.

El CTA deberá ser coordinado por el delegado del MAGA, en la figura de Coordinador de la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo (UPGGR), quien conjuntamente con los demás miembros deberán realizar las siguientes funciones:

7.2.6.1 Apoyar el proceso metodológico para generar las informaciones

necesarias para el mapa.

7.2.6.2 Coordinar acciones operativas de la implementación del proceso metodológico.

7.2.6.3 Supervisar las acciones que desarrolle la Unidad Ejecutora.

7.2.6.4 Apoyar el desarrollo del trabajo de campo y de laboratorio en la medida de lo posible.

7.2.7 El Comité Asesor Ampliado (CAA)

Se deberá integrar por representantes de las instituciones que convergen en el CTA, así como otra serie de instituciones gubernamentales y no gubernamentales, como por ejemplo: Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ), Centro de Estudios Conservacionistas (CECON - USAC), Centro de Estudios del Mar (CEMA - USAC), Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA), Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), Facultad de Agronomía - USAC (FAUSAC), Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO - Sede Guatemala), Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA - URL), Instituto Nacional de Estadística (INE), Instituto de Fomento Municipal (INFOM), Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Sistema Mesoamericano de Alerta Temprana para Seguridad Alimentaria (MFEWS), Unidad del Sistema de Información de Huehuetenango (USIGHUE) y la Unidad Técnico Jurídica - PROTIERRA. La secretaría será realizada por el MAGA.

Este Comité debe tener como funciones: a) apoyar la ejecución del proyecto con aportes logísticos, técnicos e incluso políticos, b) aportar informaciones cartográficas y documentales de interés para el proyecto, y c) realizar la supervisión y evaluación de la ejecución, tanto de la Unidad Ejecutora como del Comité Técnico Asesor.

Al finalizarse la ejecución, los miembros tendrán acceso a las informaciones generadas para el mapa, sin más restricción que aportar materiales para la reproducción.

7.2.8 Seguimiento y evaluación

Se consideran 2 procesos, el primero liderado por el Comité Asesor Ampliado, el cual a través de reuniones trimestrales con el Comité Técnico Asesor y la Unidad Ejecutora, deberá evaluar los alcances obtenidos en la ejecución del proyecto.

Para el segundo proceso el Coordinador de la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo o a quien delegue, deberá realizar el seguimiento y evaluación de las actividades diarias que realice la Unidad Ejecutora, que en forma resumida serán:

7.2.8.1 Seguimiento y supervisión de los métodos utilizados para generar la información básica (análisis digital, fotointerpretación, estitución y vectorización).

7.2.8.2 Supervisión directa del método de chequeo en campo, determinación del porcentaje de error del mapa y validación de la información preliminar presentada en los talleres de caracterización de los diferentes usos de la tierra.

7.2.8.3 Supervisión de la calidad de los mapas generados y del proceso de edición final de los productos.

Por su parte y para establecer los avances del proyecto, los especialistas deberán efectuar reuniones periódicas con el personal asignado por las instituciones integrantes del Comité Técnico Asesor, a cargo de desarrollar actividades operativas de procesamiento SIG y campo, en las sedes de estas o la sede de la Unidad Ejecutora, cuando estas se encuentren en la fase de gabinete.

Los informes que se generen a partir del seguimiento y evaluación de las acciones por parte de la UPGGR, deberán presentarse al Comité Asesor Ampliado de acuerdo al calendario trimestral propuesto.

7.2.9 Materiales y equipo

Para llevar a cabo el proceso metodológico antes descrito, que generara como producto final el mapa de uso del territorio, se deberá contar con un servidor de alta capacidad y equipo de alta resolución como scanner, plotter, mesas digitalizadoras,

impresora, etc. Se necesita ARC GIS 8.0 o su equivalente y ERDAS Imagine 8.4 ó su equivalente.

Cuadro 5. Equipo misceláneo para verificación de campo

| Cantidad | Equipo misceláneo para verificación de campo |
|-----------------|---|
| 4 | GPS Garmin, mod. GPS100SRVYII y modelo PLUS-12 map |
| 2 | Oakfiel Soil-Barreno (tubo en forma de T cromado 19") |
| 2 | Clinómetro Sunto mod. PM5360PCB |
| 2 | Estereoscopio de bolsillo |
| 2 | Staff Compas, brújula de metal |
| 1 | Geoscope mod. CB-1 |
| 1 | Forcípula de metal, de 95 cm. Haglof |
| 1 | Mirror estereoscopio, Topcon mod. MS-3 |
| 2 | Cámaras digitales HP Photo Smart C200 |
| 9 | Imágenes LANDSAT TM |
| | Imágenes de alta resolución |
| | Fotografías aéreas |
| | Cuadrángulos cartográficos 1:50,000 |

7.3 Ficha técnica del indicador

| Intensidad de uso del territorio | |
|---|---|
| 1. Eje temático: | Recurso suelo. |
| 2. Tipo de Indicador: | Presión. |
| 3. Definición: | Determinación y cuantificación de la extensión y distribución geográfica, en un período de tiempo específico, de la idoneidad del uso del territorio nacional de acuerdo a su capacidad de uso. Definición de la intensidad de uso en subuso, uso adecuado y sobre uso. |
| 4. Propósito: | Este indicador, medido a lo largo del tiempo, medirá la tendencia de transformación de un tipo de uso del territorio hacia su uso óptimo, proveyendo información sobre el estado real de la aplicación de políticas de ordenamiento territorial. |
| 5. Unidad de medida: | Área en kilómetros cuadrados y porcentajes del territorio nacional. |
| 6. Periodicidad de medición: | Cuatro años, basado a la dinámica de cambio que tiene este indicador. |
| 7. Limitantes: | Este indicador no identifica las causas por las que un territorio se utiliza de acuerdo o no a su capacidad potencial de uso. Ni aspectos antropológicos, socioeconómicos de poblaciones, o estado jurídico catastral. |
| 8. Entidades involucradas: | LABORATORIO DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA DEL MAGA Y LABORATORIOS SIG DE APOYO. |
| 9. Observaciones / comentarios: | Este indicador determina el uso del territorio considerando su vocación particular en cuanto a las características físicas y químicas del suelo, su capacidad agrológica, urbana, etc. un indicador que no se ha actualizado con la periodicidad deseada (cada 4 años), porque ninguna institución ha asumido tal responsabilidad, además no había el personal nacional con la capacidad técnica necesaria en teledetección y que depende de fondos externos para su realización. |

7.3.1 Metodología general para obtención del indicador de intensidad de uso del territorio

Para la obtención del mapa de intensidad de uso del territorio como producto final del indicador, inicialmente se presenta la metodología de sobreposición de los mapas de uso del territorio y del mapa de capacidad de uso de la tierra, del cual la metodología esta desarrollada en el indicador anterior. Seguidamente se presenta la metodología con la cual se obtiene el mapa de capacidad de uso del territorio, que es la desarrollada por el INAB. Adicionalmente en anexos se presenta un resumen de la metodología propuesta por MAGA que es la metodología desarrollada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América -USDA-.

7.4 METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE INTENSIDAD DE USO DEL TERRITORIO

Para la elaboración del mapa de intensidad de uso del territorio se toma como base para el análisis los mapas de uso del territorio y el mapa de capacidad de uso.

Los pasos metodológicos seguidos para la definición del mapa de intensidad de uso del territorio son los siguientes:

7.4.1 Recopilación de los mapas de Capacidad de Uso y de Uso Actual de la tierra. Para Guatemala se han utilizado las metodologías del MAGA para el caso de Uso del Territorio y del INAB para determinar la capacidad de uso. El MAGA es quien ha desarrollado el mapa de intensidad de uso a través de la metodología de sobre posición de mapas.

7.4.2 Compatibilización de formatos, escalas y de categorías de capacidad de uso y de uso actual de la tierra mediante análisis y síntesis geográficos, definiéndose la capacidad de uso como la capacidad de uso más intensivo que una unidad de tierra puede soportar sin deterioro de su capacidad productiva pero que no se excluyen usos de una intensidad menor. Esta definición contiene una consideración muy importante para la evaluación del uso del territorio, la cual se basa en el concepto de intensidad de uso y es que "no se excluyen usos de intensidad menor" a los determinados en la capacidad de uso de la tierra.

El principio sobre el cual se basa el procesamiento de imágenes, es la teledetección, mediante la cual cada objeto o tipo de cubierta emite un espectro electromagnético específico en función de su propia naturaleza y de las radiaciones que recibe; en tal sentido la reflectancia de un objeto o tipo de cubierta a lo largo de todo el espectro electromagnético presenta una signatura espectral concreta que lo hace distinguible de los demás. Así, para obtener la firma espectral de los diversos tipos de cobertura vegetal y uso de la tierra contenidos en la información satelital mencionada, será necesario desarrollar un fuerte trabajo de campo por medio del cual se determinen plenamente cada cobertura y uso de la tierra contenidos en las unidades de muestreo, puntos de ortorectificación y verificación. (MAGA 2001-2003)

7.4.3 Comparación de los mapas compatibilizados y análisis particular de categorías sobre la base del concepto de intensidad de uso de la tierra.

El proceso implica la síntesis y posterior compatibilización de las categorías de uso actual y capacidad de uso de la tierra de ambos mapas, la superposición en el sistema de información geográfica y la generación del mapa de evaluación, basado en el concepto de intensidad de uso. Posteriormente se debe hacer una revisión del mencionado mapa para generar las estadísticas de uso correcto, sobreuso y subuso del territorio.

Es importante señalar que en la evaluación del uso de la tierra es necesario diferenciar, en la categoría denominada subuso del territorio, (refiriéndose a aquellos usos actuales o presentes del territorio que están bajo la capacidad de uso) cuales subusos corresponden a una subutilización de su capacidad productiva y cuales a un uso potencial de la tierra. En síntesis, es necesario determinar la capacidad de uso de la tierra y el uso potencial de la misma, antes de tomar la decisión de aumentar la intensidad de uso a las áreas clasificadas como "Subuso".

Otra consideración importante sobre la capacidad de uso de la tierra, es que las metodologías empleadas para determinar dicha capacidad deben verse como un instrumento para ordenar el territorio y no como el ordenamiento del territorio en sí mismo. El ordenamiento del territorio es un instrumento de planificación del desarrollo de visión holística, en donde la determinación de la capacidad de uso de la tierra es tan sólo un componente del mismo.

7.4.4 Síntesis de la comparación de categorías específicas en modalidades de uso de la tierra (uso correcto, sobreuso y subuso).

En lo que respecta al análisis de la evaluación del uso y el estado actual del territorio, se necesitan diseñar y aplicar un modelo metodológico geográfico para lograr el mapa de intensidad de uso y estado actual del territorio. Para ello se debe realizar la superposición de los mapas de uso actual y de capacidad de uso de la tierra.

En la categoría de sobreuso debe analizarse que tan severo es el sobreuso con respecto a la capacidad de uso. Es decir, si el sobreuso del territorio ocurre en determinada unidad territorial con una o más categorías de sobreuso. Por ejemplo: si la capacidad de uso del territorio es de uso forestal productivo y el uso actual es de cultivos anuales, dicho uso está constituido en intensidad de sobreuso en dos categorías de capacidad, la de pastos y la de cultivos permanentes. Los procesos de pérdida de la capacidad productiva y posterior degradación ambiental de la unidad, no sólo se puede esperar que se den en forma más rápida, sino que en mayor magnitud que un sobreuso de sólo una categoría.

La categoría de uso correcto puede ser analizada con el fin de determinar cuáles fueron los factores que determinen que el uso del territorio estuviera de acuerdo con su capacidad. Este análisis puede ser revelador para el desarrollo de pautas y modelos de uso del territorio que sirvan de apoyo a la generación de escenarios deseables u optimistas del uso del territorio.

En cuanto a los subusos de la tierra el análisis puede dar mucha luz para separar cuáles subusos corresponden a un uso potencial de la tierra y cuáles a un uso inadecuado e ineficiente del territorio. En ambos casos la determinación de los factores que generan el subuso, también aportarán conocimientos relevantes para la generación de escenarios más precisos de ordenamiento territorial.

Se puede entonces estudiar en mayor detalle la evaluación del uso del territorio, lo que proporcionaría más elementos para caracterizar los escenarios de ordenamiento territorial, tanto optimistas como pesimistas y la generación de políticas de ordenamiento territorial basadas en mejores criterios e información.

7.4.5 Medición de áreas por modalidad de uso de la tierra y cálculo de estadísticas en unidades de área y porcentajes del área total. Con el mapa de intensidad es de uso ya definidas, se procede a llevar a cabo la medición de las áreas para la presentación de las estadísticas del mapa.

7.4.6 Caracterización de las modalidades de uso de la tierra.

7.4.7 Reasignación de modalidades de uso de la tierra a categorías definidas.

7.4.8 Adición de categorías particulares del escenario producto del análisis geográfico específico. Por ejemplo; adición del análisis del desarrollo urbano no contemplado en el análisis de modalidades de uso de la tierra.

7.5 METODOLOGÍA PARA GENERAR EL MAPA DE CAPACIDAD DE USO

7.5.1 Clasificación de tierras por capacidad de uso

7.5.1.1 Metodología desarrollada por el Instituto Nacional de Bosques de Guatemala -INAB-. Dentro de la planificación del uso de la tierra una etapa importante es la determinación de la aptitud de la misma frente a un uso determinado. Un primer acercamiento a una evaluación de la aptitud de tierras es la determinación de su capacidad de uso en términos biofísicos, basado en un sistema de clasificación.

Para ello existe un extenso número de metodologías, la mayoría basadas en el principio de *máxima intensidad de uso que es posible hacer sin que una unidad (de tierra) pierda irreversiblemente su capacidad productiva*. Dentro de éste contexto se entiende que la vocación, en un principio esta limitada por la capacidad de uso. Bajo este marco teórico, el Instituto Nacional de Bosques, INAB adoptó una metodología aplicable a tierras de Guatemala, particularmente para orientar y uniformizar el procedimiento de certificación de la vocación forestal de las tierras. (INAB 1999)

7.5.1.1.1 División del país en regiones naturales: Con la finalidad de considerar las variaciones geológicas, fisiográficas, climáticas y edáficas y su influencia sobre la capacidad de uso, el país fue dividido en las siete regiones naturales siguientes:

- **Tierras de la Llanura Costera del Pacífico, TLLCP**
- **Tierras Volcánicas de la Bocacosta**
- **TVB□□Tierras altas volcánicas, TAV**
- **Tierras Metamórficas**
- **□□Tierras calizas altas del norte, TCAN**
- **Tierras calizas bajas del Norte, TCBN**
- **Tierras de las llanuras de inundación del Norte, TLLIN**

7.5.2 MARCO METODOLÓGICO

7.5.2.1 Factores que determinan la capacidad de uso de la tierra. Para usos agrícolas, forestales y pecuarios, los factores más determinantes de la capacidad de uso de las tierras son *la profundidad efectiva del suelo y la pendiente del terreno*. Ambos definen categorías de capacidad de uso dentro de las regiones en que se dividió al país. Adicionalmente, la pedregosidad (superficial y/o interna) y el drenaje superficial son considerados como factores que en forma temporal o permanente modifican la capacidad de uso de la tierra.

7.5.2.2 Variables que determinan la capacidad de uso de la tierra:

7.5.2.2.1 Profundidad efectiva del suelo.

7.5.2.2.2 Pedregosidad: Cuando la pedregosidad es No Limitante, es cuando encontramos que el suelo está libre o ligeramente pedregoso o moderadamente pedregoso y cuando la pedregosidad es Limitante, es porque encontramos que el suelo está: Pedregoso, Muy Pedregoso o Extremadamente Pedregoso.

7.5.2.2.3 Drenaje: Cuando el drenaje es No Limitante, es cuando encontramos que el suelo tiene **excesivo, bueno o imperfecto** y cuando el drenaje es Limitante, es porque el drenaje en el suelo está: **pobre o nulo o cenegado**.

7.5.3 Categorías de uso y tratamiento sugerido

Las categorías de capacidad de uso presentadas, se ordenan en forma decreciente en cuanto a la intensidad de uso soportable sin poner en riesgo la estabilidad -física- del suelo, siendo como siguen:

7.5.3.1 Agricultura sin limitaciones (A). Áreas con aptitud para cultivos agrícolas sin mayores limitaciones de pendiente, profundidad, pedregosidad o drenaje. Permiten cultivos agrícolas en monocultivo o asociados en forma intensiva o extensiva y no requieren o, demandan muy pocas, prácticas intensivas de conservación de suelos. Pueden ser objeto de mecanización.

7.5.3.2 Agricultura con mejoras (Am). Áreas que presentan limitaciones de uso moderadas con respecto a la pendiente, profundidad, pedregosidad y/o drenaje. Para su cultivo se requieren prácticas de manejo y conservación de suelos así como medidas agronómicas relativamente intensas y acordes al tipo de cultivo establecido.

7.5.3.3 Agroforestería con cultivos anuales (Aa). Áreas con limitaciones de pendiente y/o profundidad efectiva, donde se permite la siembra de cultivos agrícolas asociados con árboles y/o con obras de conservación de suelos y prácticas o técnicas agronómicas de cultivo.

7.5.3.4 Sistemas silvopastoriles (Ss). Áreas con limitaciones de pendiente y/o profundidad o drenaje interno, tienen limitaciones permanentes o transitorias de pedregosidad y/o drenaje. Permiten el desarrollo de pastos naturales o cultivados y/o asociados con especies arbóreas.

7.5.3.5 Agroforestería con cultivos permanentes (Ap). Áreas con limitaciones de pendiente y profundidad, aptas para el establecimiento de sistemas de cultivos permanentes asociados con árboles (aislados, en bloques o plantaciones, ya sean especies frutales y otras con fines de producción de madera y otros productos forestales).

7.5.3.6 Tierras forestales para producción (F). Áreas con limitaciones para usos agropecuarios; de pendiente o pedregosidad, con aptitud preferente para realizar un manejo forestal sostenible, tanto del bosque nativo como de plantaciones con fines

de aprovechamiento, sin que esto signifique el deterioro de otros recursos naturales. La sustitución del bosque por otros sistemas conllevaría a la degradación productiva de los suelos.

7.5.3.7 Tierras forestales de protección (Fp). Áreas con limitaciones severas en cualquiera de los factores limitantes o modificadores; apropiadas para actividades forestales de protección o bien para conservación ambiental exclusiva. Son tierras marginales para uso agrícola o pecuario intensivo. Tienen como objetivo preservar el ambiente natural, conservar la biodiversidad, así como las fuentes de agua. Éstas áreas permiten la investigación científica y el uso ecoturístico en ciertos sitios habilitados para tales fines, sin que esto afecte negativamente el o los ecosistemas presentes en ellas. También se incluyen las áreas sujetas a inundaciones frecuentes, manglares y otros ecosistemas frágiles. Las áreas cubiertas con mangle, están sujetas a regulaciones reglamentarias especiales que determinan su uso o protección.

Esta categoría también incluye las zonas denominadas bosques de galería, las cuales son áreas ubicadas en las márgenes de los ríos, riachuelos o quebradas y en los nacimientos de agua. Tienen como función, retener sedimentos que proceden de las partes altas, la protección de cauces, espejos de agua y captación del agua de lluvia, a través de la parte aérea de la vegetación existente.

Con base en el principio en que se basa la presente metodología, una unidad de tierra clasificada dentro de una categoría de uso intensivo no excluye el hecho de que pueda ser utilizada para otra categoría menos intensiva. Lo contrario no se considera técnicamente posible, sin que se ponga en riesgo la estabilidad del recurso suelo, principalmente en nuestro país donde este recurso es muy vulnerable a procesos erosivos y deterioro general del terreno.

7.5.4 Matrices de decisión y asignación de categorías de uso. Se combinan los niveles de los factores limitantes, profundidad de suelos y pendientes, por medio de lo cual se asignan categorías de capacidad de uso de forma preliminar. Los rangos de los niveles varían según la región natural en que fue dividido el país, para lo cual se elaboraron matrices donde se combinan estos dos factores de acuerdo a los rangos de cada región natural. En dichas matrices, cuando se considera más de una categoría de uso posible, se le da prioridad a la categoría de menor intensidad de uso, de acuerdo a la tendencia del factor limitante que se esté analizando.

7.5.5 Modificación de la capacidad de uso de la tierra por los factores modificadores. La capacidad de uso de la tierra clasificada preliminarmente a través de la combinación de la pendiente del terreno y la profundidad efectiva del suelo, de acuerdo con las diferentes matrices elaboradas para cada región natural, presenta variaciones según el nivel en que se presentan los factores modificadores, pedregosidad y drenaje, para lo cual también se ha elaborado un matriz que combina cada clase de capacidad de uso de la tierra con los niveles de pedregosidad y drenaje, de acuerdo a sí son limitantes o no limitantes, esta combinación permite obtener la clasificación final de capacidad de uso de la tierra.

7.5.6 Procedimiento general para la realización de los estudios de capacidad de uso de la tierra bajo la metodología adoptada por el INAB.

Cuadro 6. Resumen del proceso de elaboración de un mapa de capacidad de uso de la tierra con base en el sistema adoptado por el INAB (INAB 1999)

| RESUMEN | | |
|--|--|--|
| Insumo (s) | Actividad | Producto |
| Fotografías aéreas. Mapa cartográfico. Mapa de registro. | Fotointerpretación, análisis Fisiográfico. | Mapa de Unidades Fisiográficas. Leyenda fisiográfica. Mapa 1. |
| Mapa cartográfico, plantillas de pendientes. | Análisis visual de curvas de nivel o digitalización (procesos de SIG). | Mapa de pendientes. Mapa 2. |
| Mapa de Unidades Fisiográficas. Mapa 1. | Chequeo de campo. Pendientes, profundidades y factores modificadores por unidad delimitada. | Mapa de Unidades de Tierra con datos de profundidad y factores limitantes. (Mapa 1 revisado y validado). Elaboración mapa de profundidades. Mapa 3. |
| Mapas 2 y 3. | Sobreposición (manual o automatizada) de ambos mapas. | Mapa de Unidades de Tierra. Mapa 4. |

| | | |
|---|--|--|
| Mapa de Unidades de Tierra. Mapa 4. | Análisis de los niveles alcanzados por cada factor principal. Utilización de matrices. | Mapa preliminar de Capacidad de Uso de la Tierra. Mapa 5. |
| Mapa definitivo de Capacidad de Uso de la Tierra. | Análisis de limitantes por factores modificadores (pueden sobreponerse áreas con limitaciones sobre el mapa preliminar de CUT). Vaciado, rectificación fotogrametría, traslado a escalas de publicación. | Mapa definitivo de Capacidad de Uso de la Tierra. |

7.6 ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LAS METODOLOGÍAS PROPUESTAS

En cuanto a la identificación de las instituciones se encontró que los laboratorios de sistemas de información geográfica del MAGA, del INAB y UVG, y el CEMEC de CONAP–Petén, poseen la capacidad para generar los mapas, además de contarse con una serie de instituciones gubernamentales y no gubernamentales que pueden participar en el proceso de obtención de los indicadores.

Las instituciones que podrían participar en la conformación de un equipo de carácter interinstitucional son: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto Nacional de Bosques (INAB), Instituto Geográfico Nacional (IGN), United States Department of Agricultura/Animal and Plant Health Inspection Service/Internacional Services (USDA-APHIS-IS), Sistema de Información Geográfico del Centro Universitario de Oriente (SIG/CUNORI), Recursos Naturales y Ambiente (IARNA- URL), Instituto Nacional de Estadística (INE), CEMEC-CONAP-Petén.

Otras instituciones gubernamentales y no gubernamentales, que podrían participar serían: Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ), Centro de Estudios Conservacionistas (CECON - USAC), Centro de Estudios del Mar (CEMA - USAC), Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar

(CENGICAÑA), Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), Facultad de Agronomía - USAC (FAUSAC), Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO - Sede Guatemala), Instituto de Agricultura, , Instituto de Fomento Municipal (INFOM), Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Sistema Mesoamericano de Alerta Temprana para Seguridad Alimentaria (MFEWS), Unidad del Sistema de Información de Huehuetenango (USIGHUE) y la Unidad Técnico Jurídica - PROTIERRA.

Si existe la factibilidad a nivel nacional de obtenerse los dos indicadores, haciéndolo más factible a través del establecimiento de sinergias entre las instituciones y generar entre todos los indicadores ambientales de uso del territorio, capacidad de uso y unidos la intensidad de uso.

VIII. CONCLUSIONES

Los indicadores ambientales más importantes para el monitoreo del recurso suelo en Guatemala son los indicadores denominados: uso del territorio que permita medir el estado del recurso y el indicador intensidad de uso del territorio que mida la presión que se ejerce sobre el recurso.

Las metodologías propuestas para la medición de los indicadores ambientales son: para el indicador uso del territorio, la metodología utilizada por el MAGA para generar el mapa de uso del territorio en el año 2001-2003 y para el mapa de intensidad de uso del territorio se propone la metodología del INAB para generar el mapa de capacidad de uso del suelo y la metodología de sobre posición de los mapas de uso del territorio para generar el mapa de intensidad de uso.

En este trabajo se propone la utilización de la metodología del INAB para la generación del mapa de capacidad de uso del territorio, como indicador ambiental, por su aplicación práctica y menos trabajosa en su proceso de medición, ya que la metodología del INAB analiza los factores de pendiente, profundidad, pedregosidad y drenaje y la de MAGA-USDA, además de los anteriores, requiere de muestreos de textura, material madre y amenaza de inundación. Se incluye en este trabajo de graduación la metodología de MAGA-USDA, que se utiliza también para generar el mapa de capacidad de uso, como una opción para obtener el mismo producto.

En lo referente a la capacidad de uso de la tierra, es decir, las aptitudes de uso para fines diversos, el Perfil Ambiental de Guatemala (IARNA-URL, 2004) presenta las principales clases de capacidad determinadas para el territorio nacional, utilizando para ello la Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1961). Para describir las condiciones de las tierras del país, se optó por utilizar este sistema en virtud del grado de conocimiento, aceptación y uso para diferentes fines en Guatemala y Latinoamérica. No obstante para este mismo fin y a nivel de micro regiones y de finca se recurre a otros métodos de clasificación tal el caso de las metodologías para calificación de tierras utilizada por el Instituto Nacional de Bosques -INAB-.

Las instituciones en Guatemala están involucradas o podrían llevar a cabo el monitoreo de los indicadores del recurso SUELO son el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación MAGA para generar el mapa del indicador uso del territorio y el Instituto Nacional de Bosques INAB para generar el mapa de capacidad de uso del territorio. Ambas instituciones deberán integrarse con las otras instituciones que tienen capacidad instalada para desarrollar sinergias que permitan obtener apoyo para la generación de los mapas y además generar el indicador de intensidad de uso.

La factibilidad que existe para que las instituciones implementen las metodologías identificadas para el monitoreo de indicadores del recurso suelo son altas ya que las instituciones involucradas MAGA, INAB, CONAP, UVG Y URL, cuentan con la capacidad instalada de equipo y materiales y el recurso humano capacitado para tal fin.

IX. RECOMENDACIONES

Creación e institucionalización del Sistema Nacional de Información, dentro del Instituto Nacional de Estadística, en el cual se incluya el Sistema de Información Ambiental y los otros sistemas de información que permitan la definición, obtención, monitoreo de los indicadores nacionales

Creación e institucionalización del Sistema Nacional de Información Ambiental en el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, que sea el rector de la generación de la información y su análisis para poder contar con los datos necesarios para elaborar el informe del estado del ambiente en Guatemala.

Las instituciones deberán presupuestar en el año en que se deba realizar las mediciones, los recursos necesarios para contar con el apoyo financiero que les permita generar los mapas de uso, capacidad de uso e intensidad de uso del territorio nacional.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO H., ALFREDO. 1985. *El Origen de los Suelos*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 54p.
2. CASTAÑEDA, L.A., TOBIAS, H. A., MEDINA, E. 1986. *Situación actual del uso y manejo del suelo en Guatemala*. En Memoria del Primer Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Guatemala. pp. 51-106
3. CARDONA BARRIENTOS, D. 1991. *Introducción a la Edafología*. Universidad Rafael Landívar, Guatemala. pp. 107-135
4. CIAT. Comisión Interamericana del Atún Tropical. 2000. *Marco Conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sostenibilidad para la toma de decisiones en América Latina y el Caribe*. Colombia.
5. Comité Internacional de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental para Colombia. 2002. Bogotá. Colombia. CRUZ, S. 1982. *Clasificación de Zonas de Vida de Guatemala a nivel de Reconocimiento*. Guatemala. INAFOR.
6. FAO-UNESCO. 1976. *Mapa Mundial de Suelos*. Volumen III: México y América Central. Paris, Francia. 104 p.
7. FONTIERRAS. Fondo Nacional de Tierras. 2001. *Memoria de labores 2001*. Guatemala.
8. INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. 1999. *Clasificación de tierras por capacidad de uso. Aplicación de una metodología para tierras de la República de Guatemala*. Manual técnico No. 2 Del Instituto Nacional de Bosques.
9. INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. 2002. *Memoria Técnica Del Mapa De Clasificación De Tierras Por Capacidad De Uso*. Disco Compacto.

10. INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. 1999. *Monitoreo de la Cobertura Forestal en Guatemala*. Mapa De Cobertura Forestal para 1999. Folleto. 8 p.
11. LEONARD, H.F. 1985. *Recursos Naturales y desarrollo económico en América Central, Un perfil Ambiental regional*. Trad. G. Budowski y Tirso Maldonado. Washington D.C Instituto Internacional para el Ambiente y el desarrollo. V.1 174p
12. LUCKE, O. 1995. *El ordenamiento territorial en Costa Rica y los compromisos políticos internacionales*. En revista Geitsmo, Documentos IX, X, y XI. Nos. 1 y 2. San José, Costa Rica
13. MAZARIEGOS, Francisco. 1974. *Los Suelos de Guatemala*. En el Informador Agrícola. DIGESA. Ministerio de Agricultura. Guatemala. pp. 10-12.
14. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACION-MAGA-. 2004. Unidad de Planificación Geográfica y de Gestión de Riesgo. *Manual de Campo para técnicos que participan en el Levantamiento de Unidades de Muestreo para la elaboración del mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra*. 11 p.
15. MAGA. 2001-2003. MAPA DE USO ACTUAL DE TERRITORIO.
16. MAGA. 2004. MAPA DE CAPACIDAD DE USO –METODOLOGIA USDA-
17. Mapa de Cobertura Forestal de la República de Guatemala, realizado por UVG, INAB, CONAP, MAGA, FAO e IGN (2003).
18. MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES-UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. 2003. *Manual de Indicadores del Ambiente y los Recursos Naturales*. 76 p.
19. MORALES M., J.O. 1983. *Manual de Conservación de Suelos*. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. Dirección General de Servicios Agrícolas. Unidad de Comunicación Social. 72 p.
20. SUAREZ DE CASTRO, F. 1982. *Conservación de Suelos*. IICA. San José, Costa Rica. 3ª. edición... p 114-232.

21. TOBÍAS, H. 1983. *Diagnóstico del recurso suelo. Informe final. Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente Dirección General de Investigación.* Universidad de San Carlos. 36p. Inédito.
22. UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR. 2004. *Perfil Ambiental De Guatemala. Guatemala.* 461 p.

Estas direcciones de páginas de Internet fueron investigadas para elaborar el presente estudio, en las fechas entre paréntesis:

- <http://www.fao.org/DOCREP/004/W4745S/w4745s09.htm> (15/10/04)
- http://www.ine.gob.mx./dgoce/xid/dgioece/i_usv (21/10/04)
- <http://www.fao.org/DOCREP/004/W4745S/W475S00.HTM> (25/10/05)
- http://www.ceidis.org/agrupa/leyes/ordenamiento_territorial.html (05/11/04)
- amfeli@unex.es (27/12/04)

XI. ANEXOS

11.1 Metodología MAGA-USDA para generación del mapa de capacidad de uso de la tierra

11.1.1 Metodología

Con el objeto de realizar la adecuación al mapa existente, el consultor realizó una propuesta metodológica para adecuar el mapa de capacidad de uso de la tierra existente, el cual fue generado por el proyecto ESPREDE a escala de 1:250,000.

Los principales aspectos metodológicos propuestos, se describen continuación:

11.1.1.1 Revisión y ajuste del mapa de pendientes, utilizando el rango de porcentajes de la clasificación de capacidad de uso de la tierra del servicio de conservación de los Estados Unidos (USDA). Esta revisión se hará sobre el mapa de pendientes generado por CATIE- ESPREDE, en una copia impresa sobre material transparente utilizando como base los cuadrángulos a escala de 1:250,000 publicados por el IGN. El mapa-borrador generado de la revisión de pendientes se escaneará y vectorizará.

11.1.1.2 Tomando como base el mapa de series de suelos, se elaborará un mapa de profundidades de suelos.

11.1.1.3 Con los elementos mencionados en a) y b), se efectuará la sobre posición para iniciar la reclasificación de la capacidad de uso (1ra. aproximación).

11.1.1.4 Siempre tomando como base el mapa de Series de Suelos se efectuará una agrupación por textura y génesis de suelos. Se sobrepondrá este con el mapa borrador generado en la 1ra. aproximación, lo que permitirá disminuir las unidades delimitadas inicialmente (2da. aproximación).

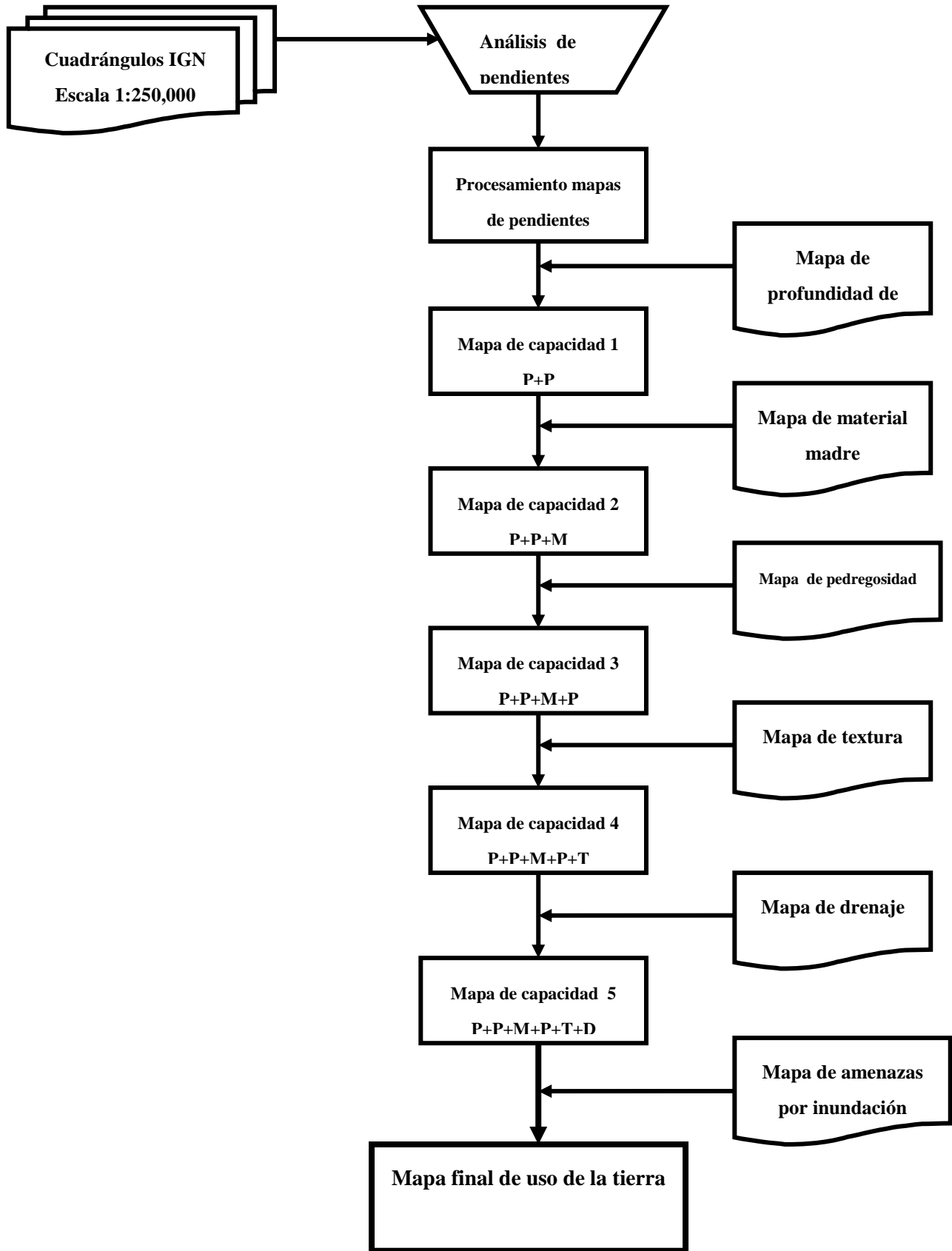
11.1.1.5 Se estudiarán los mapas de susceptibilidad a la erosión y erodabilidad (factor K), para determinar cual de estos se ajusta más a los requerimientos en la clasificación de capacidad de uso de la tierra. Una vez definido el mapa de erosión a utilizar, se sobrepondrá sobre el mapa borrador; con lo cual se continuará con la disminución de las unidades delimitadas en la 2ª. aproximación.

11.1.1.6 Se revisarán los mapas de crecidas, deslizamientos, heladas, inundaciones, balance hídrico, sequías, lahares, lava, material piroclástico, tefra y radiación solar; estudiándose la posibilidad de utilizar estos mapas para ir restringiendo las unidades delimitadas en la 2ª. aprox. del mapa.

11.1.1.7 Al mapa obtenido al sobreponer cada uno de estos elementos se le sobrepondrá el mapa de patrón de drenaje con el fin de determinar la densidad de drenaje, y habiéndose realizado esta categorización, el producto se constituirá en la *tercera aproximación*, la cual revisada y enmendada se constituirá en el producto final de la consultoría, a la cual se acompañará el documento correspondiente a la memoria técnica del levantamiento.

11.1.2 Metodología utilizada

El flujograma utilizado para la elaboración del mapa de Capacidad de Uso de la tierra, con el sistema de clasificación del USDA, se muestra en la figura 2:



FORMULARIO 03-USOT-2004
UNIDAD DE MUESTREO 10,000 m2

MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA DE GUATEMALA, MAGA, ESCALA 1:50,000

UNIDAD DE MUESTREO:

HOJA CARTOGRÁFICA:

Fecha:

Departamento:

Municipio:

Nombre del lugar:

Responsables:

Coordenadas UTM vehículo

X:

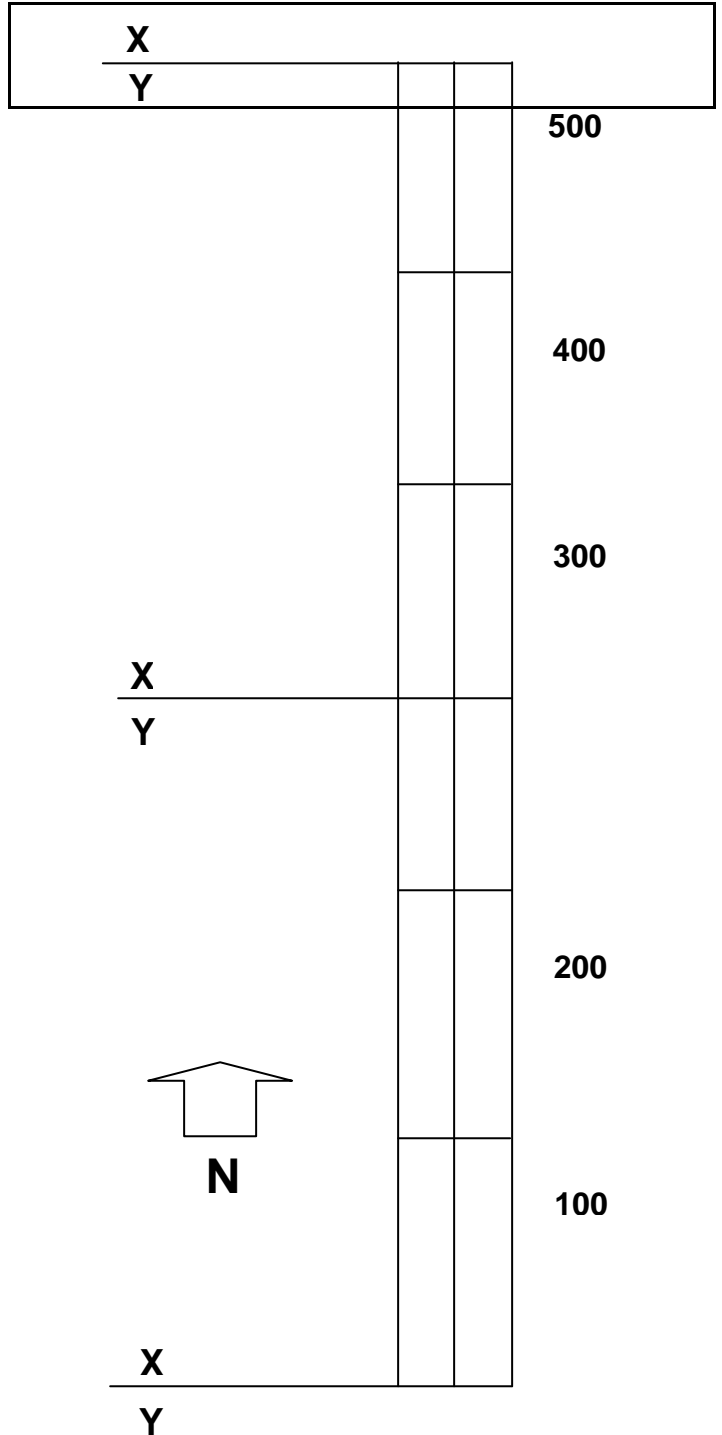
Y:

Personal de apoyo

Observaciones:

Hora de inicio:

Hora de finalización:



Inicio 0

FORMULARIO 04-USOT-2004

TRANSECTA

MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA DE GUATEMALA, ESCALA 1:50,000

FINAL UM No:

HOJA CARTOGRÁFICA:

Fecha:

Departamento:

Municipio:

Nombre del lugar:

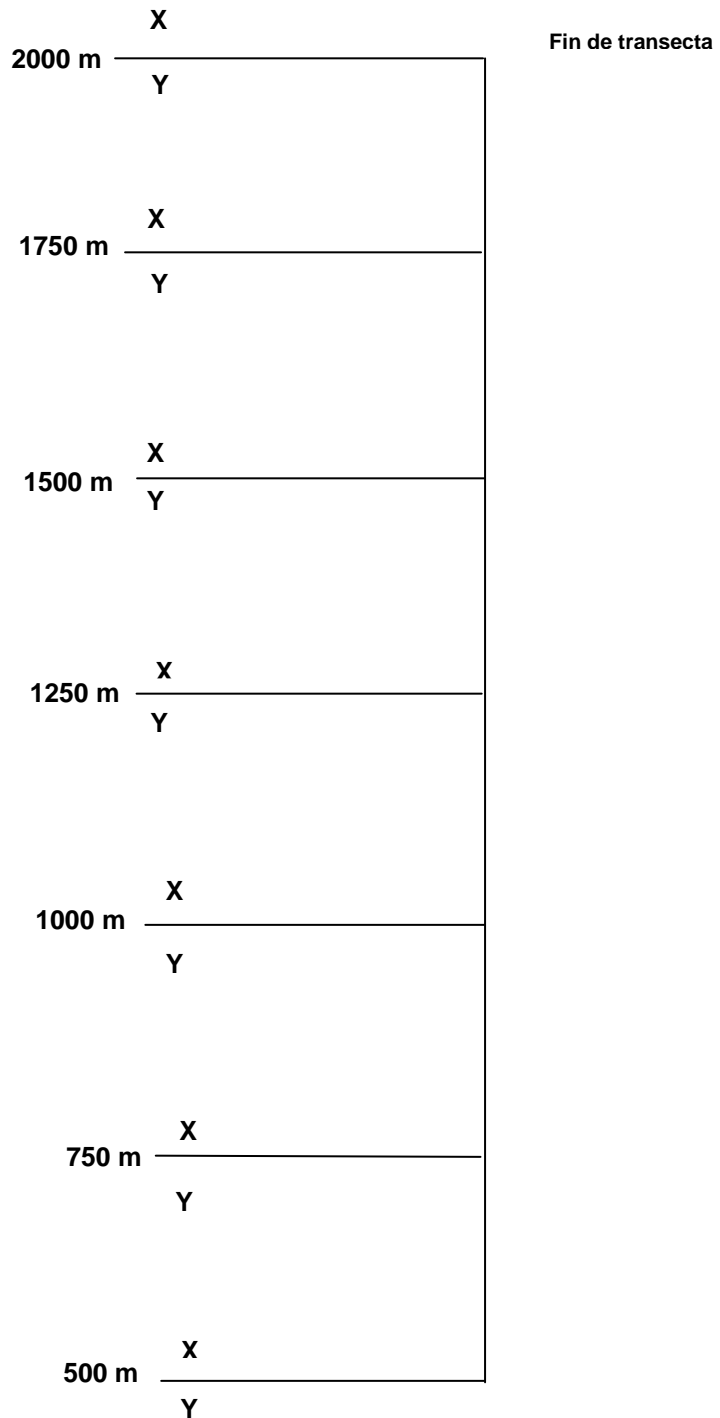
Responsables:

Personal de apoyo

Observaciones:

Hora de inicio:

Hora de finalización:



FORMULARIO 06-USOT-2004

INFORME DE EJECUCIÓN

MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA DE GUATEMALA, ESCALAL 1:50,000

| Fecha de Informe: | | | | Vo.Bo. | |
|--|-----------------|----------------|--|-----------------------------|---------------|
| Responsable | | | | | |
| Técnico Auxiliar | | | | | |
| Periodo de ejecución: del: _____ al: _____ | | | | | |
| No. Unidad de muestreo | Fecha de visita | % de ejecución | | Limitantes y/o dificultades | Observaciones |
| | | UM | | | |
| | | Transecto | | | |
| | | UM | | | |
| | | Transecto | | | |
| | | UM | | | |
| | | Transecto | | | |
| | | UM | | | |
| | | Transecto | | | |
| | | UM | | | |
| | | Transecto | | | |
| | | UM | | | |
| | | Transecto | | | |
| | | UM | | | |
| | | Transecto | | | |
| | | UM | | | |
| | | Transecto | | | |
| Puntos de verificación | Fecha de visita | % de ejecución | | Limitantes y/dificultades | Observaciones |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Nota: De ser necesario podrá ampliar sus observaciones utilizando hojas adicionales.

FORMULARIO DE VERIFICACIÓN DE CAMPO PARA IMÁGENES DE SATÉLITE

Proyecto: **Mapa de Cobertura Forestal 2,00**___

Correlativo
No.

| |
|--|
| |
|--|

| | | |
|------------------------------------|---------------|------------|
| Fecha: (mes en letras) (dd/mmm/aa) | | Hora: |
| País: Guatemala | Departamento: | Municipio: |

| | | | |
|--|----------------|------------------------|--|
| Nombre del colector que hace la muestra: | | | |
| Tipo de muestra | Clasificación | Verificación | |
| Tipo de observación | Preestablecido | Alternativo | |
| Coordenadas (grad. min. seg.): | Latitud | Longitud | |
| Archivo donde se guardó la información: | | Exactitud de posición: | |

Descripción topográfica del área (marque con una X)

| | | | |
|------------------------------|------------------|-----------|-------------|
| Plano | Ondulado | Inclinado | Pendiente % |
| Azimut de pendiente (grados) | Elevación (msnm) | | |

Tipos de cobertura de la tierra (marque solo una categoría con X)

| | | | Quemado | No quemado | |
|---------|----------|-------------|-------------|------------|--|
| NATURAL | | Latifoliado | | | |
| | | Conifero | | | |
| | | Mixto | | | |
| | | Humedal | | | |
| | | Arbustal | | | |
| | | Bajo | | | |
| | | Pasto | | | |
| | Plantado | Latifoliado | | | |
| | | Conifero | | | |
| | Bosque | Secundario | Avanzado | | |
| | | | Joven | | |
| | | No bosque | Café u otro | Con sombra | |

| | | | | | |
|---|--|--------------------|-----------------------|--|----|
| | | cultivo permanente | Sin sombra | | |
| | | Agricultura | Hortaliza | | |
| | | | Anual | | |
| | | | Tierra en preparación | | |
| | | | Pastos | | |
| | | Sin vegetación | Urbano | | |
| | | | Estéril (arena, roca) | | |
| Esta inunda el sitio al momento de la muestra | | | Si | | No |

Especies vegetales dominantes

| | | |
|-----------------------------------|-----------|---------|
| Nombre (científico si es posible) | Cultivado | Natural |
| | | |

Estructura del Bosque (si es el caso)

| | | | | | | |
|-------------------|--|------|--|-------------------|-------------------|--------------|
| Denso | | | | Alto (>20 m) | Medio (10 y 20 m) | Bajo (<20 m) |
| Cierre de la copa | | Ralo | | Altura de la copa | | |

DAP Promedio de los árboles (centímetros), si los hay

| | | | | |
|-------------------|---------------|---------------|--------------|---------|
| < de 10 | Entre 11 - 20 | Entre 21 - 30 | Entre 31- 50 | > de 50 |
| Área basal (m/ha) | Coníferas | | Latifoliadas | |

¿Influyen los cambios estacionales en el uso y cobertura de la tierra?

Por ejemplo, ¿Botan las hojas significativamente los árboles?, ¿Se cosecha el cultivo ?, ¿Poda de sombra en los cafetales?, etc.

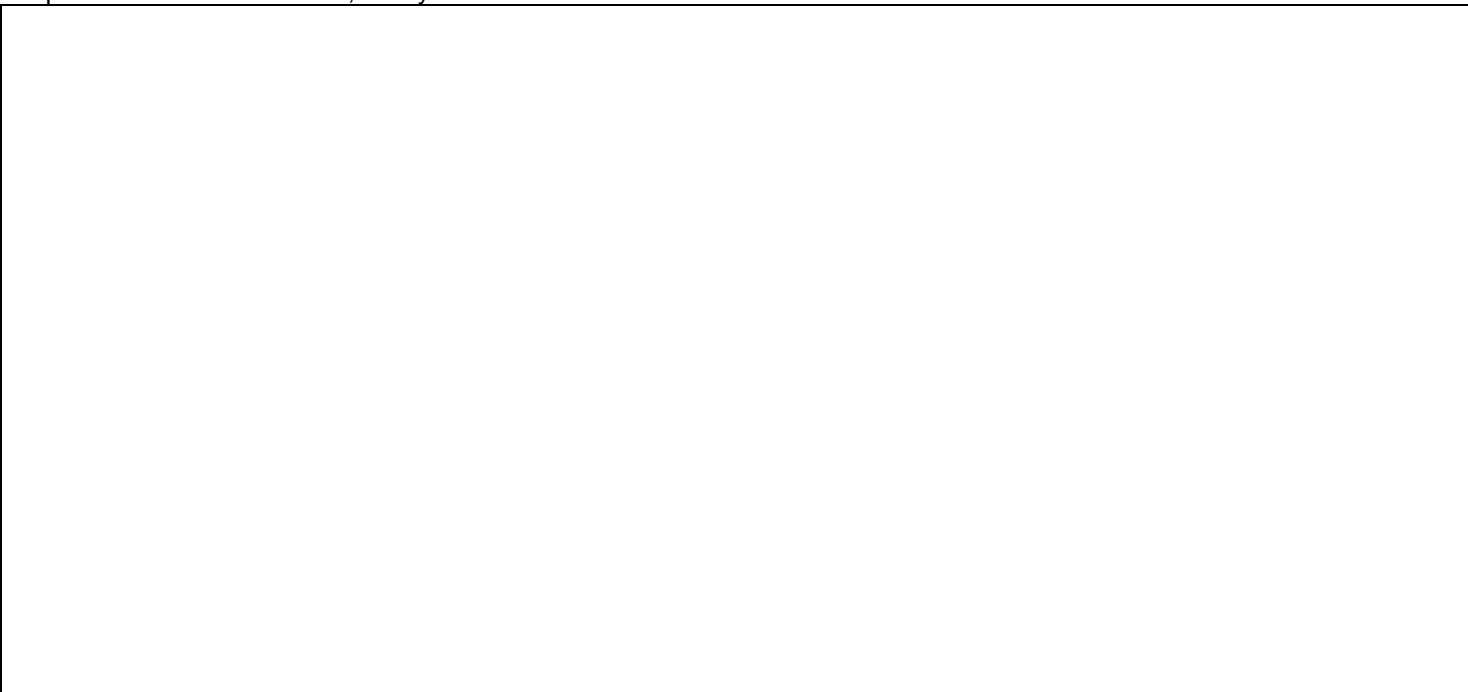
| | | | | | |
|----------------------------------|----|----|------------|-----------------|--|
| | | | | | |
| | | | | | |
| Foto tomada | SÍ | NO | # de rollo | # de Fotografía | |
| Azimut de la fotografía (grados) | | | | | |

(Opcional) OBSERVACIONES SOBRE LA HISTORIA DEL USO DEL SUELO

Fecha aproximada en que se incurrieron en cambios en uso de la tierra y edad estimada de la vegetación observada

| |
|--|
| |
|--|

DIBUJO (Vista aérea). Indique el lugar donde se tomó el punto GPS, la dirección Norte y los accidentes naturales de importancia de su alrededor, incluyendo las distancias.



Si en su recorrido identifica alguna intersección que considere importante (río, puente, etc.) favor anotarlo abajo

| Lugar intersección | Coordenadas geográficas Latitud (N) (grad min. seg.) | Coordenadas geográficas Longitud (W) (grad min. seg.) | Nombre del archivo en el GPS |
|--------------------|---|--|---------------------------------|
| | | | |
| | | | |

| | | | |
|---|-------------------------|------------------|---------------|
| FORMULARIO PARA ESTUDIOS DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA | | No. DE SOLICITUD | |
| | | FECHA: | |
| I. DESCRIPCIÓN DE LA FINCA | | | |
| 1.1 | Nombre: | | |
| 1.2 | Municipio: | 1.3 | Departamento: |
| 1.4 | Propietario: | | |
| 1.5 | Representante legal | | |
| 1.6 | Superficie (ha): | | |
| 1.7 | Acceso; | | |
| 1.8 | Colindancias: | | |
| 1.9 | Localización geográfica | | |

| | |
|---------------------------|--|
| II. OBJETIVOS DEL ESTUDIO | (Relacionados con registro forestal, incentivos forestales, cambio de uso, manejo forestal, concesión, etc.) |
|---------------------------|--|

Clasificar las tierras por capacidad de uso, para determinar las áreas factibles de ser aceptadas por el programa de Incentivos Forestales del INAB

| | |
|------------------|--|
| III. METODOLOGÍA | (Descripción resumida de etapas de gabinete y campo según metodología de clasificación adoptada por el INAB) |
|------------------|--|

- a) Gabinete: Separación de unidades por técnicas aerofotográficas y con criterios fisiográficos; se elaboro el mapa de pendientes y mapa de fisiográfica, este ultimo constituyo el mapa de unidades de muestreo.
 - b) Campo: Chequeo de unidades de mapeo, chequeo de pendientes, muestreo de la profundidad efectiva del suelo en cortes y con barrenamientos, chequeo de la pedregosidad y el drenaje.
 - c) 2a. Fase de gabinete: Elaboración del mapa de profundidades del suelo, corrección de la fisiográfica, sobre posición de mapas, clasificación de uso, cuantificación de áreas, dibujo y rotulado.
-

IV. ANÁLISIS DE FACTORES Y NIVELES

| Unidad de capacidad | Pendiente del terreno (%) | Profundidad del suelo | Factores modificadores | | Capacidad de uso | Uso | Extensión | |
|---------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|---------|------------------|-----|-----------|--|
| | | | Pedregosidad | Drenaje | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

(Si fuera necesario mayor espacio utilice una hoja adicional)

V. OBSERVACIONES GENERALES

Aquí puede consignar información adicional que considere útil para los fines del estudio o bien sobre la aplicación práctica de la metodología

XII. GLOSARIO DE TÉRMINOS USADOS EN EL TRABAJO CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Con este pequeño glosario propongo un conjunto de definiciones breves y sintéticas de conceptos que, aunque bien conocidos, a veces se han descrito de formas muy diferentes.

También he querido actualizar algunos conceptos clásicos (como la de *mapa*) ya que la definición tradicional no se ha adaptado a los medios y métodos que manejamos actualmente.

Notas:

1. Las palabras no españolas se escriben en cursiva.
2. Los significados que aquí se atribuyen se deben interpretar en el contexto apropiado (sistemas de información geográfica); en otros campos del conocimiento la cuestión puede ser muy distinta (por ejemplo, no pretendáis convencer a un matemático de que *topología* es lo que aquí se dice).

AZIMUT - **ángulo formado entre una línea y un meridiano** normalmente nos referimos con este término a la orientación geográfica; en este caso, la primera línea sería la proyección sobre el plano XY del vector perpendicular al terreno en el punto problema.

ALBEDO - **fracción de la radiación incidente que es reflejada por una superficie** puede variar entre los límites teóricos de 0 (no reflexión, absorción total) y 1 (reflexión total); el albedo de la Tierra en su conjunto es aproximadamente 0.3.

ALGORITMO - **secuencia explícita y finita de operaciones que conduce a la solución de un problema** aplicado a los SIG suele tratarse de un conjunto de operaciones de álgebra de mapas y/o sobre bases de datos que permiten obtener un resultado mediante combinación de información espacial y alfanumérica.

VALIDACIÓN DE UN ALGORITMO: proceso de verificación mediante el cual se asegura (a) que el algoritmo está libre de errores sintácticos y de escritura y (b) que

genera resultados correctos para cualquier combinación coherente de valores de las variables de entrada. No siempre es posible realizar una validación algorítmica completa.

ALTIMETRÍA - medida de la altitud o elevación la altitud se mide sobre una superficie de referencia (datum); la medida de profundidades bajo el agua se denomina **batimetría**.

ANILLO - estructura formada por un conjunto ordenado de líneas que se cierra sobre sí mismo sin cruces ni solapamientos. Un anillo define una superficie poligonal y puede estar formado por una única **línea** o por varias unidas secuencialmente; en cualquier caso, los nodos iniciales y finales de un anillo coinciden y queda definida la propiedad topológica de **interioridad** (dentro/fuera).

ATRIBUTO - propiedad o característica de una clase de elementos en una base de datos por ejemplo, la superficie, la población, la renta media... pueden ser atributos de la clase municipios en una base de datos.

BANDA - rango de frecuencias del espectro electromagnético por ejemplo, la banda 1 del sensor TM se define en el rango 0.45-0.52 mm.

BASE DE DATOS - conjunto de datos estructurado para permitir su almacenamiento, consulta y actualización en un sistema informático. Las **bases de datos relacionales** son un caso concreto en el que la información se organiza en *relaciones* (llamadas más frecuentemente "tablas") que son conjuntos de *tuplas* ("registros") cada una de las cuales integra información de un elemento en un conjunto de *campos* (uno por atributo del elemento); si dos tablas comparten un campo con valores dentro del mismo dominio, puede aplicarse una operación de unión mediante la cual las tuplas se enlazan en función de los valores del campo de enlace.

BINARIO - sistema de numeración basado en dos dígitos, 0 y 1 los sistemas de numeración pueden crearse sobre una base (número de dígitos básicos) arbitraria; el sistema binario (base 2) usa solamente dos dígitos:

Binario 0 1 10 11 100 101 110 111 1000 1001...

Decimal 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9...

BIT - dígito en el sistema binario de numeración, proviene de la contracción de *binaria digita*; al tratarse de un dígito en el sistema binario sólo puede tener dos valores: 0 y 1.

BYTE - conjunto de 8 bits en el sistema binario de numeración, un puede almacenar un número entero entre 0 (00000000) y 256 (2⁸ : 11111111); el término es equivalente a **octeto** (ocasionalmente se habla de *bate* para un número diferente de bits).

CARTOGRAFÍA - conjunto de técnicas utilizadas para la construcción de mapas.

CELDA - elemento básico de información en una estructura raster matricial representa el valor medio de un área rectangular superpuesta al terreno (es un concepto análogo al de *píxel* en una imagen digital).

CENIT - con origen en el centro de la Tierra, lugar al que apunta el vector normal a la superficie terrestre en un punto de observación el punto de observación se supone sobre la superficie de la Tierra.

LUZ CENITAL - luz incidente verticalmente con origen en el cenit.

CENTROIDE - punto interior a un polígono más próximo a su centro geométrico el centro geométrico de un polígono puede ser exterior si el polígono no es convexo; en ese caso, el centroide se “mueve” al lugar más próximo posible que cumpla la condición de interioridad.

CLASIFICACIÓN - proceso de agrupamiento de un conjunto de elementos en clases en el sentido estadístico, una clasificación pretende agrupar los elementos en clases internamente homogéneas pero diferenciables entre ellas por los valores de una o varias variables.

COMPRESIÓN - técnica de reducción del número de bits necesario para almacenar o transmitir una información concreta, existen técnicas de compresión sin pérdida de la información original (por ejemplo, GIF en la compresión de imágenes

digitales) o con pérdida controlada de información (por ejemplo, JPG en el mismo caso).

COORDENADA - **cantidad usada para definir una posición en un sistema de referencia**, las coordenadas pueden ser lineales (cartesianas) o angulares (esféricas), según el sistema de referencia.

COTA - **altitud asociada a un punto**, habitualmente, un mapa de elevaciones está formado por curvas de nivel o isohipsas y por puntos acotados.

CUENCA HIDROLÓGICA - **conjunto de puntos del terreno cuyas líneas de flujo convergen en un sumidero**; el sumidero suele hacerse coincidir con un punto singular: una desembocadura o una confluencia de ríos.

CUENCA VISUAL - **conjunto de puntos del terreno que son visibles desde un punto de vista o foco** (ver concepto de **intervisibilidad** entre dos puntos).

DATO - **hecho verificable sobre la realidad**; un dato puede ser una medida, una ecuación o cualquier tipo de información que pueda ser verificada (en caso contrario se trataría de una creencia).

DATUM - **sistema geométrico de referencia empleado para expresar numéricamente la posición geodésica de un punto sobre el terreno** cada datum se define en función de un elipsoide y por un punto en el que el elipsoide y la Tierra son tangentes; en España, el datum usa el elipsoide Hayford (o Internacional 1924) y el punto de tangencia es Potsdam (Alemania).

DECLINACIÓN SOLAR - **distancia angular entre el vector que apunta al Sol y su proyección sobre el plano del Ecuador**, en el sistema de referencia terrestre, la declinación varía aproximadamente en el rango $\pm 23.5^\circ$; los momentos del máximo y mínimo ángulo se denominan solsticios.

DETERMINISTA - **se aplica al modelo, proceso o simulación cuyos resultados no dependen de ningún factor con valores aleatorios**, se opone al concepto de modelo o proceso **estocástico**, donde se introducen factores cuyo valor depende de

funciones aleatorias; estos factores suelen utilizarse para simular la incertidumbre de los datos.

DIGITALIZAR - operación de codificar la información en cifras. La digitalización se aplica habitualmente a la codificación de la información gráfica (mapas y planos convencionales) pero puede ser aplicada con propiedad a todo tipo de información para la construcción de bases de datos digitales.

DISOLUCIÓN (GEOMÉTRICA) - proceso de unión de dos o más polígonos mediante la eliminación de los lados comunes. La disolución suele realizarse para generalizar información temática, uniendo los polígonos vecinos que comparten valores iguales para alguno de sus atributos.

DOMINIO - en una base de datos se aplica al conjunto de valores posibles de un atributo, por ejemplo, el conjunto de valores posibles de códigos municipales en España es el dominio del atributo “código municipal”.

ELIPSOIDE - descripción simplificada de la forma y dimensiones de la tierra: los elipsoides se definen en función de un radio ecuatorial y de un radio polar.

EMPÍRICO - dato o información extraídos de la observación o medida directa de la realidad.

EMULACIÓN - imitación de un proceso real mediante un modelo

ENTORNO - conjunto de valores de los factores influyentes bajo los cuales se realiza una simulación; es un concepto equivalente a “escenario” y representa bajo qué condiciones se ejecuta la simulación de un proceso; en este contexto, la **experimentación** es la realización de simulaciones bajo condiciones de entorno controladas.

EQUINOCCIO - momentos en los que la declinación solar es de 0°. Los equinoccios ocurren hacia el 21 de marzo y 21 de septiembre y son los únicos momentos en que el día y la noche duran 12 h y en los que el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste exactamente.

ERROR - **diferencia entre el valor medido o estimado y el valor real**, en un modelo, el error representa la desviación entre lo predicho por el modelo y la realidad; el error es una estimación de la calidad de la información de un mapa y suele distinguirse del concepto de **precisión**, que hace referencia a la calidad del método de medida utilizado. Para saber más: Accuracy Standards for Positioning (Geomatics Canada, Geodetic Survey Division)

ESCÁNER - **sensor óptico acoplado a un dispositivo de barrido para la digitalización de documentos**, con un escáner se recorre un documento mediante un sensor óptico que mide la reflectancia general (tonos de gris) o la de cada color primario (RGB) para formar una imagen digital procedente del inglés *scanner*, el neologismo ha sido aceptado por la RAE aunque con una definición compleja y poco afortunada.

ESTÁNDAR - **propiedad que garantiza la uniformidad en los métodos de capturar, representar, almacenar y documentar la información**. La estandarización es, hoy por hoy, un objetivo ya que no existen normas universalmente aceptadas para casi ningún tipo de información

FILTRO - **matriz de coeficientes aplicados en un proceso de convolución sobre una estructura raster**, por ejemplo, los coeficientes usados para generar la curvatura general a partir de un MDE son:

$$\begin{matrix} -1 & 0 & -1 \\ 0 & 4 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \end{matrix}$$

FOTOGRAMETRÍA - **conjunto de técnicas implicadas en la obtención de datos métricos a partir de fotografías**. La fotogrametría es la forma más usual de generar modelos digitales de elevaciones, usando pares estereoscópicos y apoyos sobre el terreno.

GENERALIZACIÓN - **simplificación realizada al representar un objeto real mediante un modelo**, se aplica también al proceso de eliminación selectiva de vértices en una forma geométrica para simplificarla.

GEOREFERENCIAR - **asignar coordenadas geográficas a un objeto o estructura** el concepto aplicado a una imagen digital implica un conjunto de operaciones geométricas que permiten asignar a cada *píxel* de la imagen un par de coordenadas (x,y) en un sistema de proyección.

GPS - **acrónimo de *global positioning system*, o sistema de localización global** hace referencia a un sistema mediante el cual es posible estimar las coordenadas actuales de una estación en tierra mediante la recepción simultánea de señales emitidas por varios satélites (llamados en conjunto *constelación GPS*)

Nota: “posicionamiento” es un barbarismo por lo que debe evitarse su uso.

Para saber más sobre el uso de GPS en los sistemas de información geográfica: GPS Positions for GIS: getting them right the first time.

IMAGEN DIGITAL - **representación gráfica de un objeto mediante una matriz regular que recoge valores de reflectancia.** Los valores de reflectancia suelen medirse mediante sensores sensibles a ciertos rangos de longitudes de onda de la luz; ejemplos de estos sensores son los transportados por plataformas aéreas (aviones o satélites) o los integrados en un escáner para la digitalización de documentos impresos.

IMAGEN MULTIESPECTRAL - **estructura de datos formada por varias imágenes digitales correspondientes a diferentes rangos de frecuencias,** es decir, una imagen multiespectral no es una imagen sino un conjunto de ellas, con las mismas propiedades geométricas, y cada una de las cuales recoge la reflectancia en un diferente rango de longitudes de onda del espectro electromagnético

IMPEDANCIA - **variable que expresa el coste o resistencia al movimiento en un lugar y sentido determinado.** Se emplea en problemas como la determinación del camino óptimo en análisis de redes (trayectoria de mínimo coste).

INCERTIDUMBRE - **falta de certeza en un resultado derivada del error en los datos y en los procesos.** La incertidumbre va asociada a un valor de probabilidad de que la medida sea correcta; por ejemplo, es improbable que una celda donde se estima una pendiente de 12° tenga precisamente ese valor: cualquier otro valor es posible con una probabilidad determinada.

INTERPOLACIÓN - **estimación del valor de una variable en un punto a partir de otros datos próximos.** Se entiende que el punto problema está dentro del rango de variación de los datos disponibles; en caso contrario se habla de **extrapolación**. La interpolación puede hacerse en un espacio de 1, 2 o más dimensiones.

INTERPOLACIÓN BILINEAR: en una estructura matricial, interpolación en función inversa de la distancia a los cuatro vecinos más próximos.

INTERSECCIÓN - **operación de combinación de dos mapas en la cual se conservan las zonas incluidas en el dominio espacial común a los dos mapas.**

INTERVISIBILIDAD - **propiedad de dos puntos en los que el vector que los une no está interrumpido por la superficie topográfica.** El punto origen del vector se denomina **foco o punto de vista**; el vector entre el foco y el punto objetivo se denomina **línea visual**.

ISOPLETA - **curva que une puntos de igual valor.** En altimetría, isopleta es equivalente a **curva de nivel** o **isohipsa**.

LEYENDA - **listado ordenado y estructurado de las relaciones símbolo/valor para las variables representadas en un mapa.** La leyenda debe permitir interpretar los significados de los recursos gráficos usados en el mapa, tanto para las variables cuantitativas (por ejemplo, altitud) como nominales (p. ej., vegetación).

LÍNEA - **conjunto ordenado de vectores encadenados.** En el modelo de datos vectorial la línea se usa para representar objetos geográficos como carreteras, tendidos eléctricos, etc. En una estructura topológica, las líneas tienen un sentido y están definidos los lados izquierdo y derecho.

LÍNEA DE FLUJO - **línea que traza la trayectoria que seguiría la escorrentía superficial sobre el terreno.** Una línea de flujo pasa de celda a celda siguiendo la máxima pendiente local.

LÍNEA DE RUPTURA - **línea que rompe la continuidad de la superficie topográfica.** Se utilizan en la construcción de modelos digitales de elevaciones en zonas como bordes de acantilados, líneas de cresta y otras formas abruptas.

MATRIZ - estructura de datos formada por elementos (celdas) dispuestos regularmente en filas y columnas. La matriz es la estructura más usada para la construcción de modelos digitales del terreno e imágenes digitales; en este último caso, cada elemento de una matriz se denomina píxel; se habla de 'matriz regular' cuando filas y columnas están separadas por la misma distancia.

MAPA - modelo gráfico de la superficie terrestre donde se representan objetos espaciales y sus propiedades métricas, topológicas y atributivas. Un mapa puede ser analógico (impreso sobre papel, por ejemplo) o digital (codificado en cifras, almacenado en un ordenador y presentado en una pantalla) existen mapas métricos, diseñados para representar distancias, superficies o ángulos y mapa topológicos, diseñados para representar vecindad, inclusión, conectividad y orden en el contexto de los SIG, un mapa es la presentación de cualquier estructura de datos usada para reflejar cartográficamente una variable espacial (nominal o cuantitativa) independientemente del modelo de datos utilizado (vectorial o raster).

METADATOS - información sobre las características de un conjunto de datos típicamente, los metadatos incluyen información anexa al cuerpo de datos principal (por ejemplo, un modelo digital de elevaciones) sobre extensión geográfica, estadísticas, autoría, metodología, calidad de la información, etc.

MODELO - representación simplificada de un objeto o proceso en la que se representan algunas de sus propiedades. Un modelo reproduce solamente algunas propiedades del objeto o sistema original que queda, por tanto, representado por otro objeto o sistema de menor complejidad; los modelos se construyen para conocer o predecir propiedades del objeto real.

MODELO ANALÍTICO: modelo construido mediante ecuaciones resolubles.

MODELO DINÁMICO: modelo en el cual las propiedades de sus componentes cambian; se aplica normalmente a modelos de procesos y se opone al concepto de modelo digital de elevaciones.

MODELO ICÓNICO: modelo construido como una copia morfológica del objeto real; por ejemplo, una maqueta.

MODELO DE COLOR: **esquema utilizado para definir los colores sin ambigüedad**

RGB: modelo de color en el que los colores se definen según la cantidad utilizada de los colores rojo (*red*), verde (*green*) y azul (*blue*).

CMYK: modelo de color en el que los colores se definen según la cantidad utilizada de los colores cian (*cyan*), magenta (*magenta*), amarillo (*yellow*) y negro (*black*)

MODELO DE DATOS - **esquema conceptual utilizado para representar la realidad mediante un modelo.** un modelo de datos intenta solucionar el problema de cómo dar el paso realidad modelo, es decir, cómo representar la realidad de forma adecuada y eficiente; un mismo modelo de datos puede luego expresarse en diferentes estructuras de datos, la forma física en la que se organiza la información en una base de datos por ejemplo: las siglas GIF, JPG, BMP definen estructuras de datos distintas aunque todas ellas se encuadran en un modelo de datos *raster*; las estructuras de datos difieren en la forma de codificar y almacenar la información aún dentro del mismo esquema conceptual.

MODELO DIGITAL DEL TERRENO - **estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa;** se trata, por tanto, de un modelo digital que representa una propiedad cuantitativa topográfica (por ejemplo, elevación, pendiente) o no (temperatura de la superficie del terreno, reflectancia...).

NODO - **vértice inicial o final de una línea;** se aplica por extensión a las entidades puntuales que están interconectadas en una **estructura en red**. El orden de los nodos (inicia → final) permite asignar a la línea un **sentido** y dejar definidos los conceptos topológicos de **izquierda/derecha**.

ORTOFOTO - **fotografía aérea modificada geoméricamente para ajustarla a un sistema de proyección geográfica;** en una ortofoto(grafía) se han eliminado las distorsiones debidas a la perspectiva, al movimiento de la cámara y al relieve de forma que posee las mismas propiedades métricas que un mapa.

ORTOGONAL - **perpendicular.** Se aplica también a variables que son mutuamente independientes en el sentido estadístico (no correlacionadas).

PANCROMÁTICO - **sensor sensible a un amplio rango de frecuencias en el**

espectro visible. Se opone a 'ortocromático', término aplicado en fotografía a los materiales insensibles a la luz de longitud de onda más larga (rojo).

PAR ESTEREOSCÓPICO - **conjunto de dos imágenes del mismo lugar tomadas desde diferentes puntos de vista.** Las imágenes pueden ser analógicas o digitales; los pares estereoscópicos se utilizan en fotogrametría para restituir el relieve.

PELIGROSIDAD - **probabilidad de ocurrencia en un ámbito temporal y espacial determinado de un fenómeno natural potencialmente dañino** suele utilizarse como sinónimo el término amenaza.

PENDIENTE - **ángulo entre la línea normal a la superficie del terreno y la vertical** la pendiente o inclinación del terreno es la derivada primera de la altitud y puede estimarse directamente a partir del modelo digital de elevaciones mediante **filtros.**

PIXEL - **cada elemento discreto en los que se divide una imagen digital** tecnicismo de origen inglés que procede de la contracción de *picture element*.

PLATAFORMA - **genéricamente, cualquier medio de transporte que lleva un sensor o instrumento de medida.**

POLÍGONO - **figura geométrica plana formada por, al menos, un anillo externo** un polígono puede tener anillo(s) interno(s) en cuyo caso se habla de un polígono compuesto en vez de un polígono simple (sin "agujeros")

POLÍGONO DE THIESSEN - **método de división del plano en polígonos que utiliza como criterio la distancia mínima a un conjunto de puntos previo,** dado un conjunto de n puntos origen, la división del plano genera un polígono alrededor de cada uno de ellos; cada polígono representa el lugar geométrico de los puntos del plano más cercanos al punto interior original; una línea frontera entre dos polígonos representa el lugar geométrico de los puntos del plano equidistantes a los puntos origen respectivos es sinónimo de polígonos de Voronoi y de teselación de Dirichlet.

PRESICIÓN - **calidad del proceso de medida de una magnitud,** el método GPS es muy preciso, pero las medidas utilizadas sin corrección están afectadas por un error importante derivado de una degradación inducida en la señal de los satélites.

PROYECCIÓN - conjunto de transformaciones métricas definidas para representar la superficie de la Tierra sobre un plano. Existe un gran número de proyecciones, cada una de las cuales posee propiedades diferentes en cuanto a las métricas del objeto real y de su representación plana; por ejemplo, en una proyección conforme se conservan los ángulos (los paralelos y meridianos se cortan en ángulo recto) y en una equivalente se conservan las superficies.

RASTER - modelo de datos en el que la realidad se representa mediante teselas elementales que forman un mosaico regular. Cada tesela del mosaico es una unidad de superficie que recoge el valor medio de la variable representada (altitud, reflectancia...); las teselas pueden ser cuadradas (celdas) o no (triangulares, hexagonales...) un modelo de datos *raster* está basado en localizaciones.

RED - modelo de datos formado por nodos y conexiones entre ellos, tanto los nodos como las conexiones pueden tener atributos propios como, por ejemplo, longitud, resistencia, sinuosidad... El análisis de redes agrupa un conjunto de técnicas implicadas en la resolución de cuestiones que pueden ser modelizadas mediante una red, por ejemplo, determinación del camino de mínimo coste entre dos puntos.

RÉPLICA - representación exacta de un objeto sin pérdida de información, los modelos no son réplicas ya que se definen como una representación simplificada del objeto real: toda modelización implica una pérdida de información.

RIESGO - pérdidas esperadas de los elementos vulnerables ante la ocurrencia de un fenómeno determinado; el riesgo suele valorarse en unidades monetarias (ver vulnerabilidad).

RIESGO ESPECÍFICO: grado de pérdidas esperadas como consecuencia de un fenómeno determinado; es igual a la peligrosidad por la vulnerabilidad.

SIGNATURA - valores característicos de una clase en un proceso de clasificación; la signatura recoge los valores de un conjunto de variables que caracterizan y permiten identificar los elementos de una clase; se aplica en los procesos de clasificación supervisada como criterio para asignar cada elemento a una clase determinada se habla de **signatura espectral** cuando las variables utilizadas son valores de reflectancia en una imagen multiespectral.

SISTEMA DE GESTIÓN DE BASES DE DATOS - sistema informático diseñado para la creación, modificación, corrección, actualización y consulta de bases de datos.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA - sistema de gestión de bases de datos (SGBD) con herramientas específicas para el manejo de información espacial y sus propiedades; los tipos de propiedades que un SIG debe poder analizar tanto independiente como conjuntamente son tres: **métricas, topológicas y atributivas.**

SISTEMA DE COORDENADAS - marco de referencia espacial que permite la definición de localizaciones mediante coordenadas, éstas pueden ser lineales (sistemas cartesianos, con ejes ortogonales) o esféricas (donde se utilizan como coordenadas el acimut y elevación angular).

SISTEMA EXPERTO - conjunto de base de datos y sistema de decisión basado en reglas que genera la respuesta de mayor probabilidad ante un conjunto dado de datos de entrada, por ejemplo, dados un conjunto de medidas de propiedades anatómicas de una planta, el sistema genera un resultado con la(s) especie(s) más probable(s) **momentos en los que la declinación solar es de +23° o -23°** los solsticios ocurren hacia el 21 de junio y 21 de diciembre; el solsticio de verano se corresponde con el día más largo del año y el solsticio de invierno con el más corto.

SOMBREADO - proceso de asignación de un valor de reflectancia a cada punto de un mapa para simular el relieve, con el sombreado se hace más interpretable el relieve simulando el aspecto que tendría el terreno ante una fuente de luz; el procedimiento más sencillo es asignar un valor de reflectancia proporcional al ángulo de incidencia del vector luminoso sobre el terreno.

SQL - acrónimo de *structured query language*, un lenguaje estándar de gestión de bases de datos. SQL se ha convertido en un estándar por lo que es posible acceder a bases de datos de procedencia diversa mediante consultas en este lenguaje.

TABLA DE CORRESPONDENCIA - tabla donde se establece un relación de correspondencia entre rangos de un atributo y valores equivalentes, por ejemplo:

pendiente = 0° □□nula; 1-5° □□baja; 5-10° □□media; mayor que 10° □□alta; suele utilizarse la expresión inglesa *lookup table*.

TELEDETECCIÓN - **proceso de captura de información a distancia, sin contacto entre el aparato de medida y el objeto.** Se aplica habitualmente en un sentido más restringido a las imágenes o datos captados mediante sensores transportados por aviones o satélites; es común la extensión del concepto al análisis y la interpretación de la información, y no sólo a su captura.

TESELA - **cada unidad elemental del modelo de datos *raster*,** puede considerarse sinónimo de celda, aunque esta última denominación suele reservarse para las teselas rectangulares.

TIN - **estructura vectorial usada para construir modelos digitales del terreno.** TIN son las siglas de *triangulated irregular network*; se trata de una estructura de datos que representa el relieve mediante una red irregular de triángulos adosada al terreno, sin solapamientos y donde cada vértice se define por sus coordenadas espaciales (x, y, z).

TOPOGRAFÍA - **descripción de las formas del terreno,** es frecuente, aunque erróneo, considerar sinónimos topografía y altimetría.

TOPOLOGÍA - **referencia a las propiedades no métricas de un mapa** en el contexto de los SIG, topología hace referencia a las propiedades de **vecindad o adyacencia, inclusión, conectividad y orden**, es decir, propiedades no métricas y que permanecen invariables ante cambios morfológicos, de escala o de proyección se dice que una estructura de datos es 'topológica' cuando incluye **información explícita** sobre estas propiedades; en este caso, es posible realizar análisis y consultas "topológicas" sin necesidad de acudir a las tablas de coordenadas.

TRANSFORMACIÓN - **proceso de conversión de coordenadas desde un sistema cartesiano a otro,** típicamente, la digitalización de un mapa implica una transformación desde las coordenadas-tablero a las coordenadas usadas en un sistema de proyección transformación afín: aquella donde se usan ecuaciones de primer grado que permiten exclusivamente rotaciones, traslaciones y cambios de escala; en esta transformación se conserva la propiedad de paralelismo.

VALIDACIÓN - **proceso de comprobación de que datos y métodos responden a un estándar**, por ejemplo, la comprobación de que los códigos municipales de una base de datos se corresponden son coherentes con la codificación de referencia (por ejemplo, del Instituto Nacional de Estadística).

VVC (Verificación, Validación y Certificación): proceso por el que se garantiza la corrección (ausencia de errores), consistencia interna (ausencia de contradicciones) y exactitud (ajuste a un estándar) de una base de datos para un objetivo determinado.

VECTOR - **entidad geométrica definida por una magnitud y un sentido**. Un vector está formado por un par de puntos ordenados; el orden define el sentido del vector y la distancia entre origen y final su magnitud; si la magnitud es nula, el vector se reduce a un punto y el sentido queda indefinido.

VECTORIAL - **modelo de datos en el que la realidad se representa mediante vectores o estructuras de vectores**. Una estructura vectorial puede ser compleja: una cadena de vectores forma un arco; una cadena de arcos forma un anillo; uno o varios anillos definen un polígono se trata de un modelo de datos basado en objetos (geométricos) frente al modelo *raster*, basado en localizaciones.

VECTORIZAR - **transformación de una estructura raster en una vectorial**; suele aplicarse a la operación de “rescatar” líneas a partir de documentos escaneados (mapas o planos).

VULNERABILIDAD - **el porcentaje de pérdida de un elemento como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud determinada**. La vulnerabilidad se expresa en un rango 0 (ningún daño) a 1 (pérdida completa); es un concepto que se aplica en análisis de riesgo.