

01026
34



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA



"EL PAPEL DE LA PENDIENTE DEL TERRENO, EN LA ESTIMACION PRECISA DE SUPERFICIES PARA LOS RECURSOS NATURALES: EL CASO DE LOS RECURSOS FORESTALES"

T E S I S
PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFIA
QUE PRESENTA:
JONATHAN OMAR GONZALEZ MORENO

ASESOR: M. en C. LUIS MIGUEL MORALES MANILLA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO. D.F.

AGOSTO, 2003.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis Padres:

Con todo cariño y respeto, por su apoyo y esfuerzo brindado a lo largo de mi vida, éste logro es de ustedes. Robert: Por las veces que no pude cumplir con mis responsabilidades tu siempre has estado presente resolviendo mis problemas. Yolita: Por siempre tener una cama tendida, ropa limpia que vestir, comida, amor, un motivo para perdonar, mucha paciencia y constantes normas de educación. Por ayudarme a conseguir una meta más en mi vida. GRACIAS !!!!

A mis hermanos:

RAZIEL Y LUCHITA, POR SU COMPRESIÓN Y COMPAÑÍA ESPERO SIEMPRE ESTEMOS UNIDOS Y QUE LAS SITUACIONES DIFÍCILES EN LA VIDA NOS UNAN AÚN MÁS.

A mi familia:

Por ser única A mis tíos y primos Hoy les digo.....
Cumplí !!!!!

A mis Maestros:

Con gratitud, por haber tenido la oportunidad de recibir sus conocimientos y experiencias que son base para formar a todo estudiante.

A mis Amigos:

Por su tiempo compartido, por las risas y las lágrimas, las aventuras y los viajes, pero sobre todo por su amistad y compañía a lo largo de mi formación.

AGRADECIMIENTOS:

A la UNAM, mi querida alma mater, por haberme brindado una educación profesional y haberme hecho crecer como persona.

Con especial atención al Mtro. Luis Miguel Morales Manilla, (el teacher) por su paciencia y confianza depositada en mi para la realización de este proyecto. Por facilitarme instalaciones e insumos de primer mundo. Por su valioso tiempo dedicado a la realización de este trabajo y su continuo esfuerzo por ayudar al estudiante de geografía. Por ser un ejemplo a seguir..... Gracias !!!!! .

Al Lic. Alfredo Victoria Cerón por su apoyo y confianza en mi, por considerarme su amigo mas que su alumno, por compartirme parte de su conocimiento y por ser el padre de inigualables practicas, por el tiempo compartido en Chiapas y la península de Baja California Gracias !!!!! .

Al Mtro. Gilberto Núñez por sus consejos de vida, por su confianza y por inducirme al camino de la Geomatica, aquí estamos y aquí seguiremos.

Al Dr. José Luis Palació Prieto por haberme dado la oportunidad de participar en el Instituto de geografía y por participar como miembro del sinodo.

Al Dr. Arturo García Romero por sus comentarios y observaciones que enriquecieron de gran forma este trabajo.

A mis grandes amigos de carrera Rafa, Alejandro, Mario, Mariana, Adriana, Cibely, Sandra, Fher, Pedro, Chavita todos ellos y los que faltaron.

A mis súper compañeros del laboratorio: Julio (el socio), Efraín (larry), Hugo, Miguel (Mike), Angélica, Bernardo, Ilma (Makoy), Fernando, Rene (ranas), Gonzalo. Que sin ustedes este tiempo se me hubiese hecho eterno y el trabajo pesado, por sus consejos y ayuda .

A alguien muy especial, como es la Dr. Carmen Valverde, quien fue un gran soporte durante la carrera desde el momento en que la conocí, por sus sabios consejos y por tener siempre palabras de apoyo. Por su tiempo y dedicación para escucharme siempre le estaré agradecido.

A todas aquellas personas que siempre están presentes y ayudando en este tipo de trabajos y que uno olvida mencionar y después de la impresión ya nada se puede hacer... a todos ellos. GRACIAS!!!!

INDICE :

PRESENTACIÓN

Capitulo 1: Investigación a realizar.

1.1.- Planteamiento del problema.	1
1.2.- Marco conceptual.	3
1.3.- Objetivos e hipótesis.	7
1.4.- Metodología.	8

Capitulo 2: Los Inventarios Nacionales Forestales en México.

2.1.- La importancia de los recursos forestales en México.	10
2.1.2. Función de los recursos forestales.	16
2.1.3. Criterios universales en el manejo forestal sustentable.	17
2.2.- Historia de los Inventarios Nacionales Forestales en México.	
2.2.1. Necesidad de los Inventarios Forestales.	18
2.2.2. Desarrollo técnico y evolución de los inventarios forestales.	18
2.2.3. Historia de los Inventarios Nacionales Forestales.	19
2.3.- Estadísticas derivadas de los últimos Inventarios Nacionales Forestales.	
2.3.1. Inventario Nacional Forestal Periódico 1992 -1994.	22
2.3.2. Inventario Nacional Forestal 2000.	26
2.4.- Economía y sociedad ligadas a los recursos maderables en nuestro país.	
2.4.1. Economía ligada a los recursos maderables.	30
2.4.1.1. Producción no maderable.	30
2.4.1.2. Producción maderable.	31
2.4.1.3. Balanza comercial de productos forestales.	32
2.4.2. Sociedad ligada a los recursos maderables.	
2.4.2.1. Población.	34
2.4.2.2. Tenencia.	36
2.4.2.3. Deforestación.	36
2.4.2.4. Superficie de las áreas naturales protegidas.	38

Capitulo 3: La Pendiente en el cálculo de superficies.

3.1.- La importancia de la pendiente en el cálculo de superficies.	40
3.2.- Fundamento matemático para el cálculo de superficies en planos inclinados.	42
3.2.1. Teorema de Pitágoras.	43
3.2.2. Funciones Trigonométricas.	44
3.2.3. Planos Inclinados.	45
3.3.- Cálculo de superficies a partir de un MDT y sus posibles errores.	
3.3.1. Modelos Digitales de Terreno "MDT".	49
3.3.1.1. Recolecta de datos.	49

3.3.1.2. Estructura topológica y construcción del modelo.	51
3.3.1.3. Interpolación.	53
3.3.2. Cálculo de superficies en planos inclinados de manera digital.	55
3.3.3. Posibles errores en el cálculo de superficies a partir de un " MDT ".	58
Capitulo 4: Estimación de superficies forestales considerando la pendiente del terreno. "Aplicación de un modelo".	
4.1.- Área de estudio.	66
4.2.- Aplicación de modelo para estimación de superficies de manera digital, tomando en cuenta la pendiente.	69
4.3.- Comparación de resultados (modelo vs. último Inventario Forestal).	71
Capitulo 5: Propuesta para la elaboración de un Inventario Nacional Forestal más preciso.	
5.1.- Como mejorar la precisión de las superficies derivadas del Inventario Nacional Forestal.	80
5.2.- Aplicación del modelo de investigación para la mejora del Inventario Nacional Forestal.	80
5.3.- Como mejorar el modelo propuesto.	85

Conclusiones y Recomendaciones.

GLOSARIO
BIBLIOGRAFÍA

Capítulo 1: Investigación a realizar

1.1.- Planteamiento del problema.

Como resultado final en la elaboración de cualquier Inventario Forestal realizado en este país, se establece que existe una cierta extensión de hectáreas de un cierto tipo de comunidad forestal, la cual contiene un estimado volumen de madera. La extensión del área de dicho inventario forestal fue obtenida en base a sensores remotos y cartografía preestablecida, los sensores remotos establecieron las áreas donde existía la presencia de comunidades forestales a cuantificar y se hizo una zonificación de la misma, esta zonificación se georreferenció sobre la cartografía y así entonces, esta área en el mapa se digitalizó y se calculó su extensión en has.

Para todo lo anterior, se tomo en cuenta que la extensión de la superficie total era plana, es decir, no se tomó en cuenta las condiciones abruptas del terreno, ni la rugosidad de la superficie terrestre, teniendo como resultado extensiones de superficie (obtenidas a partir de un mapa) que no coinciden con la realidad.

Se sabe que la recta sobre una superficie plana es la distancia más corta entre 2 puntos.

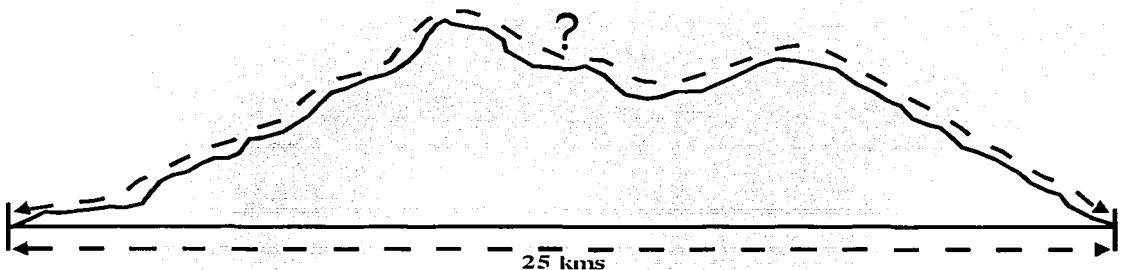


Figura 1.1- La distancia para la línea recta es de 25 Km., la distancia para la línea punteada se desconoce, pero es más precisa a la línea recta, debido a que esta se aproxima más a la realidad.

Esto sucede en un plano ó en un mapa, no así en la superficie de la tierra, en donde la distancia no siempre será a la recta. Así entonces, la pendiente será un factor determinante a considerar, para el cálculo de un espacio real de extensión, sea este casi plano, convexo, cóncavo o con cualquier otro tipo de discontinuidad, por lo tanto, se deberá de contar con un cálculo más preciso del área con la que se desee trabajar, no solo como contenedor de cierto tipo de comunidad forestal, sino como base para cualquier otro tipo de estudio en donde se deba de tomar en cuenta la extensión total de cierto espacio de superficie, como base fundamental para la cuantificación de cualquier objeto que contenga dicho espacio. Así entonces, el cálculo de superficies nos dará una extensión más cercana a la realidad del terreno, que si sólo tomáramos en cuenta la extensión del terreno como un área plana.

Por otra parte, el tipo de comunidad forestal que se esté estudiando, también será un factor importante para hacer cálculos cuantitativos de ellos. Es decir, la forma en que estos aparecen en una fotografía aérea o en una imagen de satélite, estará en función de las condiciones geográficas que existan en el área de estudio, si no se hace trabajo en campo, se puede llegar a tener errores de cuantificación de los mismos.

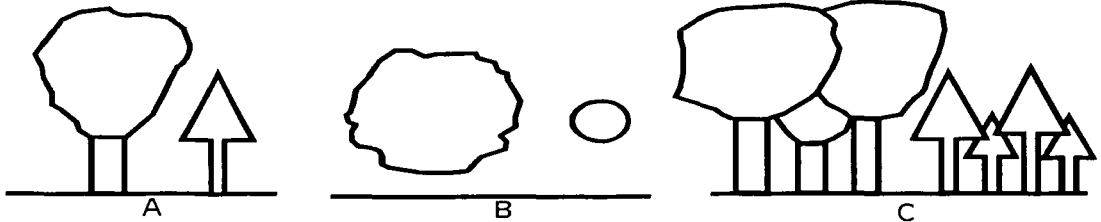


Figura 1.2.- A) Dos diferentes individuos forestales vistos desde la horizontal. B) Los dos mismos individuos vistos desde una fotografía aérea. C) Posibles errores si no se hace trabajo de campo y solo se toma en cuenta la fotografía aérea.

Además, el comportamiento de una comunidad forestal no es igual en una superficie plana que en una superficie inclinada, dependiendo de las condiciones topográficas, climáticas, orográficas, de exposición solar, profundidad de suelos, índices de humedad, normas forestales legislativas, necesidad de su tala, influencia de la sociedad, etc. que presenten las comunidades con las que se esté estudiando.

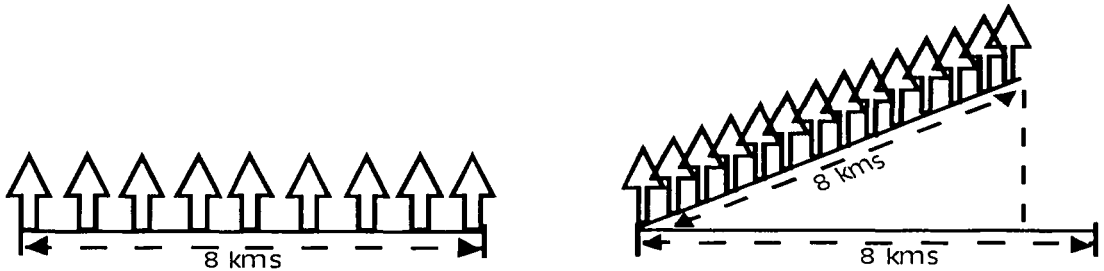


Figura 1.3.- Nótese que el comportamiento de los individuos en una misma distancia, es diferente en un plano recto que en un plano inclinado, (mayor número de individuos) esto dependerá de las condiciones geográficas existentes.

Existen otros elementos más a considerar, que pueden variar los resultados emitidos por un inventario forestal debido a la existencia del factor pendiente o condiciones geográficas; pero en este trabajo solo se tomará en cuenta a estos 2 factores anteriormente mencionados como elementos principales de alteración, dejando a un lado la existencia de otros factores que pudiesen influir en el resultado final de dichos Inventarios. Así entonces, si se conjugan estos dos factores, (la pendiente y algunas condiciones geográficas) se puede decir que existe un gran problema metodológico en el de procesamiento de la información para la elaboración de inventarios forestales, lo cual se verá reflejado en un desconocimiento de los recursos naturales con los que cuente un país.



Figura 1.4.- Representación real del terreno.

1.2.- Marco Conceptual.

México es un país que cuenta con recursos forestales, que por su ubicación geográfica posee los tres principales ecosistemas reconocidos mundialmente: bosques, selvas y desiertos. Por la extensión de su cobertura vegetal ocupa el decimotercer lugar en el contexto internacional y el cuarto por su biodiversidad.¹

Lo anterior solo se puede llegar a conocer, gracias a la elaboración de extensos y muy precisos inventarios nacionales de recursos naturales, este trabajo se enfocará al mejoramiento de los inventarios forestales, los cuales a través de la historia en nuestro país, no han contado con la suficiente veracidad y precisión, incluyendo este último, el Sistema de Información del Inventario Nacional Forestal Periódico, (SIIPER).

Los inventarios forestales y los sistemas estadísticos son el fundamento para la adopción de políticas idóneas en apoyo de la ordenación forestal sostenible. La integración de los aspectos económicos y ambientales en la planificación del sector forestal exige disponer de un gran volumen de información sobre los bosques, tanto de carácter espacial como temporal. Los diversos estudios realizados llegan siempre a la conclusión de que es necesario reunir mucha más información sobre la cantidad, calidad y utilización de los bosques. Pese a la creciente demanda de información de más calidad, están disminuyendo las inversiones, incluso para la realización de inventarios forestales básicos. Muchos países no cuentan con un inventario forestal completo y bien realizado desde el punto de vista estadístico desde los años setentas o comienzos de los años ochentas. En otros países está disminuyendo la frecuencia e intensidad de los inventarios físicos y están siendo sustituidos por la elaboración de modelos. La aparición de nuevos métodos, como la teledetección, facilita la observación de cambios de gran magnitud en la cubierta vegetal, pero la inexistencia de inventarios forestales recientes y precisos hace cada vez más difícil evaluar los cambios registrados en la calidad y función de los bosques y establecer conclusiones útiles acerca de la sustentabilidad en su utilización.

¿QUE ES UN INVENTARIO NACIONAL FORESTAL?

Es una herramienta técnica para planear la adecuada administración de los recursos forestales. El Inventario Nacional Forestal, precisa la localización y extensión de bosques, selvas y vegetación árida, así como los factores adversos que propician su deterioro y destrucción. Puede incluirse también la zonificación de las regiones forestales del país para definir el uso óptimo de los terrenos forestales en clases de: conservación, restauración y producción, según las características de la vegetación y la aptitud de los suelos forestales.²

Los inventarios forestales se pueden definir como un procedimiento operativo para recoger información cuantitativa y cualitativa sobre los recursos forestales, analizar y resumir esa información en una serie de datos estadísticos y presentarlos por medio de publicaciones que recojan la estimación (y su probable error) de los parámetros y variables forestales de interés.

Cuando se trata de inventarios forestales nacionales su misión es suministrar información, tanto para el país en conjunto como para sus principales subdivisiones administrativas, sobre los cambios en los usos de suelo y de las superficies forestales, estimar las existencias y crecimientos por formaciones o especies forestales, diagnosticar el estado de sanidad de los bosques, la situación de los suelos, la conservación de

¹ Fuente: INFU. "Importancia de los Inventarios Forestales"- Mayo de 1998.

² Fuente: SARH. "Diagnóstico y Política- Sector Forestal." Abril de 1992.

los ecosistemas naturales y el mantenimiento de la biodiversidad.

¿QUE ES UN RECURSO?

Es todo aquel elemento de la naturaleza, que el hombre puede utilizar para satisfacer una necesidad.³

¿QUE ES LA PENDIENTE?

Es una línea que forma un ángulo, con respecto a un plano horizontal.⁴

¿QUE ES UNA SUPERFICIE?

Figura geométrica definida por el conjunto de puntos del espacio cuyas coordenadas verifican una ecuación o se dan como funciones continuas de dos parámetros. (Aunque en el lenguaje corriente, los términos área y superficie se identifican, en sentido estricto, el área designa la medida de una superficie.)⁵

¿QUE ES CONDICIÓN GEOGRAFICA?

Situación en la que el medio ambiente y la construcción social, afecta o interactúa en lo individual o en su conjunto a un espacio geográfico determinado.

La información obtenida de los inventarios forestales nacionales se utiliza, en primer lugar, para planificar, tanto a medio como a largo plazo, la política forestal del país o de una región determinada, concretándose en los siguientes aspectos:

- Obtener una información actualizada y confiable sobre el sector forestal para satisfacer demandas estadísticas del país y de los organismos internacionales.
- Establecer una base de datos que sirva para la planificación de los recursos forestales a escala nacional y departamental tanto para el sector público como para el privado.
- Control en los bosques nativos de la corta anual y su relación con el nivel sostenible de producción.
- Situación del estado fitosanitario, de la capacidad productiva de los ecosistemas forestales y de la biodiversidad existente.
- Conocimiento del papel económico, social y cultural de los bosques del país.

Objetivos específicos

- Realización de una cartografía forestal actualizada y de relativo bajo costo a través de imágenes de satélite.
- Control y seguimiento de la evolución de la superficie forestada con especies de crecimiento rápido en las zonas declaradas de prioridad forestal y del resto de las formaciones forestales.
- Conocimiento del estado de conservación de los bosques nativos y de las plantaciones, de la evolución de su superficie y de las funciones que representan desde puntos de vista económico,

³ Fuente: COLL, A., 1996, "Recursos naturales para las actividades agropecuarias y forestales en México" UNAM.

⁴ y ⁵ Fuente: ZILL, G., 1988, "Cálculo con Geometría Analítica" Grupo Editorial Ibero América.

social, cultural y de mantenimiento del medio ambiente de una forma general (recurso natural, biodiversidad, captura de dióxido de carbono (CO₂), protección del suelo y del régimen hídrico etc.).

- Conocimiento de las superficies y existencias correspondientes a los terrenos forestales y a los distintos tipos de bosque.
- Establecer índices de calidad, tarifas locales de volumen y tablas de producción, adecuadas a la producción forestal.
- Estimar las producciones actuales y futuras de madera que se pueden obtener al año como garantía de permanencia de las industrias forestales y de vinculación de la mano de obra con los bosques.

Esta información sobre las producciones futuras de materia prima es una necesidad básica para que las industrias de transformación de productos forestales, puedan realizar sus estrategias de inversiones, contratación de mano de obra y comercialización, así como también para la planificación en las áreas de servicios, infraestructura, etc.

Breve historia de los Inventarios Nacionales en México.

Era el año de 1989 y el diagnóstico realizado al principio de aquella administración, señalaba que se carecía de un inventario nacional forestal actualizado. El primer inventario nacional se llevó a cabo en un período muy largo, además de que su presentación integral fue a una escala que no permitía un conocimiento preciso de la ubicación y cuantía de los recursos forestales del país. Por otro lado, la carencia de un inventario forestal periódico detallado, dificultaba el conocimiento de la tasa de deforestación o pérdida anual de bosques y selvas para dedicarse a otros usos, principalmente de tipo agropecuario.

Por lo anterior, el Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994 estableció como acciones prioritarias la protección y el aprovechamiento racional de los recursos forestales del país; y como parte fundamental para ello, el levantamiento de un nuevo Inventario Nacional Forestal. Con este Inventario, el Gobierno del Presidente de México, Lic. Carlos Salinas de Gortari, pretendía cumplir con uno de los compromisos fundamentales para modernizar el sector forestal del país, sentando las bases de lo que supuestamente sería la actividad forestal del siglo XXI.

Para subsanar la falta de información en el sector forestal, la Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre (de la SARH) efectuó en el año de 1991 un Inventario Nacional Forestal de Gran Visión. Este inventario se llevó a cabo con la aplicación de tecnología moderna, mediante el empleo de imágenes de satélite de baja resolución a partir de las cuales se elaboraron mapas de la vegetación forestal de todo el territorio nacional en escala 1:1,000,000. Con esto, se actualizó la información que en ocasiones tenía una antigüedad de más de 30 años.

Sin embargo, la planeación y utilización cuidadosa de un recurso vital para el país como son los bosques y selvas requería de información más precisa y detallada. Por eso, a partir de 1992 se inició la planeación y ejecución del Inventario Nacional Forestal Periódico. El cual tenía características sin precedentes en la historia del país, como eran: uso de imágenes de satélite de alta resolución para

elaborar mapas de todo el territorio en escala 1:250,000; levantamiento de parcelas de muestreo para tener información de campo; obtención de mapas forestales en los cuales se zonifican los terrenos forestales según su aptitud y funciones en clases de producción, conservación o restauración; almacenamiento de toda la información en archivos computarizados para su uso en diversos estudios específicos por medio de sistemas de información geográfica avanzados.

Con la conclusión de este Inventario Nacional Forestal Periódico, según la SARH, México, se ubicaba entre los pocos países del mundo que disponían de un inventario de este nivel. El estudio está diseñado para actualizarse permanentemente y efectuar comparaciones cada 10 años, al mismo tiempo que se realice el Censo Nacional de Población y Vivienda.

Aun cuando este inventario, contaba con la asesoría de altas esferas del conocimiento en elaboración de inventarios forestales, como eran: el Consejo Técnico Consultivo Nacional Forestal (Subcomité de Zonificación), Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Programa de Cooperación Científica y Técnica entre México y Finlandia, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), así como el Servicio Forestal de los Estados Unidos de América entre otros. Especialistas cada una en su área de estudio, ninguna de estas instituciones, evidenció un pequeño elemento, pero fundamental para la obtención de un resultado final, como era, el tomar en cuenta la superficie del terreno (la rugosidad de la superficie de la Tierra), todo lo que se calculó, fue en hectáreas referida a una superficie plana, dando como resultado una extensión errónea de la superficie inventariada, que además de no tomar en cuenta condiciones geográficas existentes, arrojan ambas en su conjunto, una incongruencia de los recursos forestales inventariados, con respecto a la realidad; por lo que el presente trabajo pretende, establecer algunos criterios relevantes más para la elaboración de Inventarios Nacionales Forestales más precisos, tratando de resolver los problemas metodológicos evidenciados anteriormente.

1.3.- Objetivos e Hipótesis.

Objetivo General:

Investigar el papel de la pendiente del terreno en la estimación de superficies, para la elaboración de un Inventario Nacional Forestal más preciso.

Objetivos Específicos:

1. Identificar algunos errores de cuantificación de los recursos forestales, en los inventarios nacionales forestales.
2. Proponer posibles soluciones a los errores de cuantificación de los recursos forestales (evidenciados en esta investigación), para la realización más precisa de un inventario nacional forestal.
3. Ejemplificar este proyecto de investigación, con la aplicación de un estudio de caso en una área (parte de la Sierra del Ajusco) determinada en México.
4. Aplicación de esta investigación para una superficie más grande (estatal), para su corrección, y así obtener una mejor precisión para poder ser aplicado al último Inventario Nacional Forestal.

HIPÓTESIS:

- La precisión de un Inventario Nacional Forestal estará en función del número de variables existentes a considerar, las cuales pueden alterar el resultado final del mismo.
- El cálculo de superficie y el comportamiento de la comunidad forestal según condiciones geográficas, son elementos importantes a considerar para la cuantificación más precisa en un inventario forestal.
- Para la obtención de un cálculo preciso de una superficie, se deberá necesariamente tomar en cuenta la pendiente del terreno.
- Para algunos recursos forestales, es posible que la existencia del recurso se incremente o decrezca en función de la pendiente del terreno y con respecto a diferentes grados en su inclinación, así como de condiciones geográficas existentes.
- La creación de un modelo que resuelva la problemática anteriormente mencionada a nivel local, puede ser empleada a una escala más grande como a nivel nacional y así poder resolver el problema de precisión que presentan algunos Inventarios Forestales en nuestro país.

1.4.- Metodología.

La investigación que se plantea desarrollar es de **tipo observacional, analítico, propositivo**, en razón de que se sustenta en el estudio de un fenómeno ya ocurrido, en el cual el investigador no interviene en la manipulación y control de las variables que en él inciden (tipo observacional), se investigará sobre la existencia de dicho fenómeno, así como investigaciones de campo y la comparación de resultados sobre modelos obtenidos (tipo analítico), se desarrollará una posible solución al problema enunciado en la investigación, con su posible aplicación para la corrección final del mismo (tipo propositivo).

Asimismo, de acuerdo a la evolución del fenómeno estudiado y el número de momentos en los cuales se llevará a cabo la recolección de datos, el estudio será **transectorial o transeccional**, ya que la descripción y el análisis de los hechos se llevarán a cabo en una sola ocasión; Además de lo anterior, el estudio también será de tipo **comparativo**, ya que se relacionarán, los resultados finales del fenómeno, con los resultados finales obtenidos a partir de la investigación.

Como la investigación que se analizó desde un principio fue hecha desde un plano general (la finalización del inventario nacional forestal) para posteriormente encontrar su corrección en un plano muy particular (zona de estudio y modelo a desarrollar) se decidió utilizar el método **deductivo**.

Así entonces, de inicio se revisará toda la clase de bibliografía existente acerca de Inventarios Nacionales Forestales, sea en bibliotecas, mapotecas, hemerotecas, Internet etc. Así también, se realizarán algunas visitas a Secretarías gubernamentales donde se pueda obtenerse información relacionada a la misma; posteriormente se harán algunas visitas a investigadores de la UNAM, especialistas en el ámbito forestal, social, y económico, con la información obtenida hasta el momento, se desarrollará los dos primeros capítulos de la investigación.

Se realizará investigación en modelos matemáticos, para lo cual se consultará diversa bibliografía sobre dichos modelos, se contará con algunas asesorías matemáticas en la Facultad de Ciencias o en el Instituto de Investigaciones Matemáticas Aplicadas y Sistemas (IIMAS) de la UNAM, lo cual ayudará en gran medida para desarrollar un modelo matemático que calcule áreas de superficie, (o decidir la elección de algún modelo, si estos, ya existen) que junto con el conocimiento de Modelos Digitales de Terreno (MDT), se demostrará que al no tomar en cuenta la pendiente del terreno, se producen errores de cálculo de superficies y por lo tanto de cantidad de recursos que presentan los inventarios forestales en nuestro país, que es de lo que consta el tercer capítulo.

Se realizará investigación sobre Modelos Digitales de Terreno (MDT), Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica utilizados en la elaboración de los Inventarios Forestales, lo cual será de suma importancia para el desarrollo del modelo a aplicar. Además, junto con herramientas como GPS, Imágenes de Satélite, Modelos Digitales de Terreno (MDT), Fotografías Aéreas, Inclínómetros, Cartografía impresa o digital, y de esta manera poder demostrar que el cálculo de los recursos forestales con este modelo, es más preciso (tanto en extensión como en cuantificación) si se compara con los resultados obtenidos en el último Inventario Nacional Forestal de nuestro país, que es el cuarto capítulo de la investigación.

A partir de la aplicación del modelo de investigación al área de estudio preestablecida, a nivel local, se pretende aplicar dicho modelo a un nivel más amplio, a nivel nacional y de esta manera poder ser aplicable al Inventario Nacional Forestal de México, esto será el contenido del capítulo cinco y último de la investigación.

Por último, se obtendrán conclusiones, las cuales se lograrán deducir a lo largo de la investigación y se verificará si existe el cumplimiento de las hipótesis, se harán existen recomendaciones que puedan ayudar para estudios posteriores a esta investigación, se mencionarán.

Capítulo 2: Los Inventarios Nacionales Forestales en México.

2.1.- La importancia de los recursos forestales en México.

Los recursos forestales, posiblemente uno de los menos conocidos y comprendidos a nivel general, ha representado a través de la historia, fuentes de riquezas, de bienes y servicios, en donde el hombre ha encontrado protección, sustento y posibilidades para su crecimiento demográfico, apertura de nuevas tierras al cultivo, producción u obtención de diversos insumos o materias primas para su industria.

El desconocimiento y la falta de mecanismos de información constante, sistemática y periódica de nuestros recursos naturales, nos ha conducido a no apreciar la sutileza del deterioro paulatino. Muchos de los impactos en los recursos naturales son evidentes solo cuando trascienden en nuestros sentidos, antes parecieran no existir aún cuando sus efectos pongan en riesgo la salud y las relaciones económicas, sociales, políticas o de equilibrio entre los recursos físico y biológicos.

El sector forestal en México es un área poco estudiada y explotada, ya que por causa de diversos factores no se le ha dado la importancia que se le debería dar, los bosques además de ser importantes para el hábitat del ser humano, es un recurso económico importante, ya que de él se extraen diferentes productos que participan como materias primas o como productos finales. Eso es solo una pequeña parte de todas las maravillas naturales que tienen nuestro país, lo cual es importante para el desarrollo sustentable.

Por su situación geográfica y características de clima y relieve, México cuenta con diferentes tipos de recursos forestales.

- Bosques tropicales: en donde se encuentran maderas preciosas como: cedro rojo, caoba, ébano, palo de rosa y otras.
- Bosques mixtos
- Bosques de coníferas: También conocida como maderas blandas, que en especial sirve a la industria de la celulosa y el papel.
- Bosques espinosos o Chaparrales: En donde se explota cera de candelilla, ixtle, guayule, jojoba, nopal, sábila y más.

Del total de la superficie territorial de México, el 72% (141,7 millones de hectáreas) se encuentra dedicada a los distintos usos forestales. El país cuenta con varios ecosistemas forestales naturales, siendo los principales tipos:

1. Templado - frío (bosques).
2. Tropical húmedo - seco (selvas).
3. Árido y semiárido (zonas áridas).

1. Ecosistema templado-frío (bosques)

Dentro de este ecosistema están los tipos de vegetación cuya distribución corresponde en general a la ubicación de las serranías más importantes de México, como son: Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur, Sierra Madre Oriental, Sistema Neovolcánico, Macizo de Oaxaca, Sierra Madre de Chiapas, Sierras de Baja California, y otras.

Los tipos de vegetación más representativos del ecosistema son: bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de encino y bosque de otras coníferas.

El clima donde se desarrolla esta vegetación corresponde al templado sub húmedo o semi - seco, con temperatura media anual entre 10 y 20° C, precipitación anual de 600 a 1,000 mm, concentrada de 6 a 7 meses; y en altitudes de entre 1500 y 3000 msnm. En estas áreas se presentan heladas todos los años.

Principales especies y usos:

Por la frecuencia e importancia de su aprovechamiento y uso, las principales especies del ecosistema son:

- *Pinus arizonica*
- *P. durangensis*
- *P. pseudostrobus*
- *P. patula*
- *P. montezumae*
- *P. teocote*
- *P. tenuifolia*
- *Abies religiosa* (oyamel)
- *Cupressus lindleyi* (cedro blanco)
- *Juniperus spp.* (táscate)
- *Libocedrus spp.* (cedro)
- *Quercus spp.* (encino)
- *Alnus spp.* (aile)
- *Arbutus spp.* (madroño), y otros.

La vegetación de este ecosistema constituye el pilar de la industria forestal mexicana, ya que más del 60% de las especies de pino tienen importancia comercial y el 80% de los productos forestales del país se obtienen de los bosques de pino-encino¹.

Algunos de los productos que se extraen de la vegetación de clima templado son:

- Pino y otras coníferas: madera aserrada, triplay, productos celulósicos, resinas, etc.
- Encino: Madera aserrada, mangos de herramientas, parket, carbón y taninos.

Importancia y situación actual:

Los bosques de clima templado frío poseen una enorme capacidad de generar beneficios sociales y económicos. Tienen un gran valor para el país por ser la fuente principal de madera, por su contribución al ciclo hidrológico y por su valor estético.

¹ Fuente: SARH. "Diagnóstico y Política- Sector Forestal." Abril de 1992.

La perturbación y deforestación que se presenta en la vegetación del ecosistema templado no alcanza la gravedad e impacto que se da en el ecosistema tropical. Los factores más comunes que mayormente inciden en su deterioro son:

- Cambios en el uso del suelo por el crecimiento no planificado de los asentamientos humanos.
- Ampliación de la frontera agrícola sobre suelos con vegetación de bosques.
- Incremento de la ganadería extensiva y no estabulada, en áreas de transición.
- Explotaciones forestales no reguladas y clandestinas.
- Construcción de carreteras, tendidos eléctricos y ductos.
- Construcción y operación de obras de infraestructura diversas.

2. Ecosistema tropical (selvas)

Dentro de este ecosistema se encuentran los tipos de vegetación que se desarrollan en los climas cálido-húmedo y cálido-subhúmedo, con lluvias en verano o en todo el año, con una precipitación generalmente mayor de 1,500 mm y temperatura media anual que varía de 24° a 26 °C. Su área de distribución se enmarca en las vertientes del Golfo de México, del Océano Pacífico, Istmo de Tehuantepec, norte de Chiapas y península de Yucatán.

En el trópico seco se desarrollan variantes de este ecosistema cuya extensión es la de mayor importancia en condiciones de climas cálidos extremos y precipitación muy baja, con largos periodos de sequía.

Su área de distribución corresponde a los declives de las Sierras Madre Oriental y Occidental, Cuencas del Balsas y del Papaloapan, Istmo de Tehuantepec, Chiapas y Península de Yucatán.

Entre los tipos más importantes se encuentran: selvas altas, medianas, bajas, palmares, sabanas, manglares, popales y bosque tropical mesófilo.

Las selvas altas y medianas son sin duda el tipo de vegetación más importante de este ecosistema, tanto por su diversidad en especies de flora y fauna como por su función ambiental. La clasificación de las selvas se basa en la altura de sus componentes, así como en las características de sus especies, de mantener o tirar las hojas en alguna época del año, por ejemplo: selva alta perennifolia, selva alta o mediana subcaducifolia, y selva baja caducifolia.

Principales especies y usos:

Selvas altas y medianas: Las especies arbóreas clásicas de éstas selvas son: *Brosimum alicastrum* (ramón), *Ficus spp* (amates), *Dialium guianense* (guapaque), *Manilkara zapota* (chicozapote), *Bursera simarouba* (chaka), *Swietenia macrophylla* (caoba), *Andira galeottiana* (macayo), *Calophyllum brasiliense* (bari), *Pachira aquatica* (zapote de agua), *Bucida buceras* (pucté), *Ceiba pentandra* (ceiba), *Croton Draco* (sangregado), *Hymenaea corbaril* (guapinol), *Enterolobium cyclocarpum* (guanacastle), *Cedrela odorata* (cedro), *Licania arborea* (totoposte), *Roseodendron donell-smithii* (primavera), *Hura polyandra* (jabilla), etc.

Selvas bajas: *Piscidia piscipula* (chijol), *Lysiloma bahamensis* (dzalam), *Cordia dodecandra* (siricote), *Alvaradoa amorphoides* (camarón), *Haematoxylon brasiletto* (brasil), *Lysiloma acapulcensis* (tepeguaje), *Ceiba acuminata* (lanta), *Bursera excelsa* (copal), *Amphilpterygium Adstringens* (cuachalalate), *Bursera spp* (cuajjotes), *Impomoca spp* (cazahuates)².

Las posibilidades de aprovechamiento forestal de las selvas son ilimitadas, ya que existe una gran cantidad de especies utilizables y éstas se encuentran dispersas en gran número a lo largo de todo este tipo de ecosistema. Entre los principales usos tenemos:

• Maderables:

- ◆ Preciosas: Caoba, cedro rojo y rosa morada.
- ◆ Decorativas: Granadillo, parota, chechén.
- ◆ Blandas tropicales: Jobo, ceiba, amate.
- ◆ Duras tropicales: Guyacán, chicozapote, paque.

• No maderables

- ◆ Chicle: *Manilkara zapota* (Chicozapote).
- ◆ Forrajeras: *Brosimum alicastrum* (Ramón).
- ◆ Especies: *Pimenta dioica* (Pimienta).
- ◆ Frutales: *Pouteria zapota* (Mamey).
- ◆ Fármacos: *Dioscorea composita* (Barbasco).

Importancia y situación actual:

La investigación sobre el uso de las especies tropicales aún es incipiente. Sin embargo, las selvas tienen un gran valor ecológico, porque ayudan a la conservación y formación de suelos, son sustento de gran cantidad de especies vegetales y animales; contribuyen a la conservación y regulación del flujo de agua hacia los ríos, lo que es muy importante, toda vez que el 60% de los escurrimientos del país, fluyen hacia el sureste.

En el pasado, grandes extensiones de la vegetación tropical resultaron severamente afectadas y disminuidas, particularmente las selvas altas y medianas perennifolias, grandes extensiones de esta fueron desmontadas para destinarlas al uso agropecuario.

Asimismo, los fenómenos meteorológicos como huracanes y ciclones, aunados a incendios, han perturbado a la vegetación tropical.

El bosque tropical mesófilo también ha sufrido afectaciones debido a que en muchos casos se eliminó parte de la vegetación original para establecer cultivos de alto valor comercial como café, plátano, cacao y otros. Además de la aplicación de ganadería extensiva y de pastoreo.

Por otra parte, se aprecia que la selva tropical subcaducifolia y caducifolia, no ha sido alterada como la selva perennifolia, debido a que en general el clima donde se desarrolla no es tan favorable para la agricultura (sequía de 5 a 7 meses en el año).

² Fuente: SARH. "Diagnóstico y Política- Sector Forestal." Abril de 1992.

El sureste de México, presenta grandes problemas de tenencia de tierra, explotación irracional y tala clandestina que por sus problemas étnicos este problema se acentúa aun más por lo cual una política de aprovechamiento de este recurso no se tiene establecida y es poco investigada.

3. Ecosistema de zonas áridas (matorral desértico)

Las zonas áridas son aquéllas cuya precipitación pluvial es menor de 350 mm al año, con una distribución muy irregular durante la época de lluvias, donde la temperatura media anual varía entre 15° y 25° C. y una época de sequía no menor de 7 meses, con cubierta vegetal generalmente menor al 70%. En las zonas semiáridas, la precipitación anual varía entre 350 a 600 mm y la cubierta vegetal es mayor del 70%³.

En general, estas áreas se distribuyen al norte del paralelo 21° 30' entre las Sierras Madre Oriental y Occidental; comprenden parte de los estados de Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí, Durango, Chihuahua, Nuevo León y Coahuila. Así mismo en los estados de Sonora se encuentra el desierto sonorense y en la Península de Baja California el desierto del mismo nombre.

En algunos estados se presentan micro regiones áridas, como Puebla, Oaxaca, México y norte de Tamaulipas. La vegetación de la zona árida incluye una gran diversidad de tipos, consecuencia de la cantidad de micro ambientes derivados de la alta oscilación térmica y escasa precipitación. Este es un grave problema producto de la desertificación.

Los tipos de vegetación más representativos del ecosistema árido y semiárido son los siguientes: mezquitales y huizachales; matorral micrófilo, cardonales y tetecheras; izotales, nopaleras y pastizales.

Principales especies y usos:

- Industriales (hule, fibras, ceras, aceites, saponinas, espumantes):
 - ◆ *Partenium argentatum* (gayule).
 - ◆ *Agave lecheguilla* (lechuguilla).
 - ◆ *Euphorbia antisiphilitica* (candelilla).
 - ◆ *Simmondsia chinensis* (jojoba).
 - ◆ *Yucca schidigera* (palmilla).
- Forrajeras:
 - ◆ *Prosopis* (mezquite).
 - ◆ *Atriplex canescens* (costilla de vaca).
 - ◆ *Potliseria angustifolia* (guayacán).
 - ◆ Gramíneas diversas, (pastos).
 - ◆ *Opuntia* spp (nopal).
- Maderables:

³ Fuente: SARH. "Diagnóstico y Política- Sector Forestal." Abril de 1992.

- ◆ *Chilopsis linearis* (Mimbre).
- ◆ *Prosopis* sp (Mezquite).
- Medicinales:
 - ◆ *Turnera difusa* (damiana).
 - ◆ *Flouencia cernua* (hojasen).
 - ◆ *Larrea tridentata* (gobernadora).
- Comestibles:
 - ◆ *Lippia spp.* (orégano).
 - ◆ *Opuntia spp.* (nopal).
 - ◆ *Coryphantha palida* (biznaga).
- De ornato:
 - ◆ *Cephalocerus senilis* (viejitos), y otras cactáceas.

Importancia y situación actual:

Más del 40% de la superficie del territorio nacional se encuentra comprendido dentro de las zonas áridas y semiáridas, donde existen un gran número de especies de flora y fauna susceptibles de ser aprovechadas para usos industriales, forrajeros, medicinales, comestibles, cinegéticos y de ornato.

Como ejemplo de esta diversidad, podemos citar la riqueza faunística, compuesta desde grandes mamíferos hasta pequeños insectos.

El número de especies reportadas para esta zona es de 238 (incluyendo reptiles, aves y mamíferos)⁴.

En cuanto a la perturbación de éstas zonas, las causas que han contribuido al deterioro de su vegetación, son:

- Sobreexplotación del recurso forestal no maderable en algunas áreas.
- Cambio del uso del suelo por apertura de áreas agrícolas y para ganadería extensiva.
- Sobre pastoreo
- Extracción sin control de especies de cactáceas ornamentales.

Las regiones más afectadas son las Sierras de Baja California Norte, Desierto de San Sebastián Vizcaíno, Sierras y Llanuras de Durango, Sierras y Llanuras Occidentales, así como las Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo.

El daño a la fauna se dá en forma directa o indirecta, en el primer caso se debe a la cacería generalmente furtiva y a través de la colecta de algunas especies; de forma indirecta podemos mencionar la destrucción del hábitat y pérdida de sus fuentes de alimentación (flora y otras especies de fauna).

⁴ Fuente: SARH. "Diagnóstico y Política- Sector Forestal." Abril de 1992.

2.1.2.- Función de los recursos forestales.

2.1.2.1.- En el ciclo hidrológico

Las funciones principales de los recursos forestales en el ciclo hidrológico son la regulación de la captación, almacenamiento, infiltración y emisión de agua. Asimismo, regulan los procesos de evaporación y transpiración. La pérdida de la vegetación puede provocar inundaciones y azolves en los cuerpos de agua. En las zonas tropicales su carencia puede llegar a ocasionar disminución de la precipitación y pérdida de humedad en la región.

2.1.2.2.- En la protección y formación de suelos

Los recursos forestales protegen y conservan los suelos por la absorción y reflexión de las radiaciones solares, de la precipitación pluvial y de la acción de los vientos. Al eliminar la cubierta forestal, la capa superior del terreno es arrastrada perdiendo su fertilidad por erosión; en el trópico este fenómeno es mayor por el lavado de nutrientes, al romperse el ciclo de reposición de los mismos.

Los recursos forestales aportan materia orgánica, contribuyen a la formación de suelos por procesos físicos y químicos, y además, modifican la estructura de los mismos mejorando las propiedades del terreno para sustentar a la vegetación.

2.1.2.3.- En relación con la fauna silvestre

La cubierta forestal constituye el hábitat de la fauna silvestre, cuya relación es compleja e indivisible, por ejemplo, muchas de las especies vegetales dependen de la fauna para su polinización, dispersión y germinación.

2.1.2.4.- En el mantenimiento de la biodiversidad

México posee una gran riqueza biológica en sus bosques, selvas y zonas áridas. Además de concentrar el 10% de la biodiversidad del mundo, los recursos forestales son un importante banco de germoplasma genético para el mejoramiento de especies.

2.1.2.5.- En la generación de alimentos y contribución a la agricultura y la ganadería

La función de la cubierta vegetal en la porción superior de las cuencas hidrográficas constituye un factor primordial para prolongar la vida útil de los embalses de agua, asegurar el riego agrícola y prevenir inundaciones de parcelas, potreros y asentamientos humanos.

La vegetación forestal asociada a las actividades agropecuarias, contribuye a crear zonas de abrigo a los campos, reducir la erosión eólica, aumentar la retención de humedad en el subsuelo, proteger el suelo y con ello contribuir a elevar la producción agrícola y ganadera. Asimismo, esta vegetación puede proporcionar forraje para el ganado, abono para el suelo, materiales para construcción y leña.

2.1.2.6.- En la producción maderable y no maderable

La vegetación forestal de los ecosistemas es fuente de producción de materia prima para la industria forestal maderable y no maderable. En cuanto a lo maderable destacan las maderas preciosas, decorativas, duras y blandas; entre los productos no maderables se encuentran las ceras, aceites, fibras, resinas, gomas, rizomas, taninos, forrajes, saponinas, esteroides, etc.

El aprovechamiento de la vegetación referida constituye también una alternativa directa de empleo, así como para el autoconsumo y contribuye con productos que satisfacen las necesidades básicas de la población rural.

Adicionalmente ofrecen un conjunto de servicios intangibles, tales como:

- Proteger a los centros de población contra diversas formas de contaminación (humos, olores, ruidos, pérdida de la belleza escénica, etc.)
- Regular las condiciones atmosféricas en las zonas urbanas y recreativas, y en general, para amortiguar el efecto invernadero.
- Mejorar el régimen térmico en los asentamientos humanos.
- Proporcionar belleza escénica en la calidad del paisaje.
- Proteger a los cultivos agrícolas contra la aridez, inundaciones, heladas, vientos fuertes y radiaciones solares.
- Dar cobijo y alimento para el ganado en potreros.

*“La degradación ambiental, el daño ecológico, y el agotamiento de los recursos naturales de los ecosistemas puede fácilmente surgir como un conflicto e inestabilidad social, por lo que asegurar la continua viabilidad de este complejo ecosistema es un factor de gran importancia para todas las naciones”.*⁵

2.1.3.- Criterios Universales en el Manejo Forestal Sustentable.

Se identifican como criterios para el manejo sustentable de los ecosistemas forestales:

- Importancia de los recursos
- Salud y vitalidad de los ecosistemas
- Conservación de la biodiversidad
- Funciones protectoras (servicios)
- Funciones productivas (bienes)
- Contribuciones en los campos sociales y económicos
- Herramientas en la gestión ambiental forestal sostenible

⁵ Dr. Bernard E. Herrera Herrera, Subdirector del Inventario Nacional Forestal, Ciclo de conferencias “El sector forestal de México, Avances y Perspectivas”. Febrero 1999.

2.2.- Historia de los Inventarios Nacionales en México.

2.2.1.- Necesidad de los Inventarios Forestales.

La necesidad de un programa de inventario forestal es evidente cuando los parámetros estimados conducen a:

- Delimitación y cuantificación real del recurso
- Acciones que solucionan problemas
- Crean fuentes de trabajo
- Son de interés social
- Son capaces de informar sobre el estado de gestión de los bosques y en especial de su carácter sostenible.
- Existe creciente interés de la sociedad por los destinos de los bosques.
- Los conceptos y la clasificación deben ser útiles a los usuarios.

“Un inventario forestal resulta con un alto grado de aplicabilidad cuando es realizado a un nivel geográfico y de decisión localizado y específico y cuando sus responsables están más próximos a los usuarios”⁶

2.2.2.- Desarrollo Técnico y Evolución de los Inventarios Forestales

Los inventarios forestales se han desarrollado a partir de los siguientes acontecimientos:

- Inventarios de carácter local con el objetivo de estimar las cosechas maderables
- Los primeros inventarios nacionales se desarrollaron por intereses comerciales y como respuesta la creación de Instituciones que los realizarán.
- La fotografía aérea y su aplicación masiva. Entre los años 50 y 60
- La computación en los años 60 y 70
- Los satélites de percepción remota en los años 70
- Los sistemas de información geográfica
- Los sistemas de posicionamiento global
- Internet

“Sin embargo cuando la tecnología ha sido considerada en forma individual sin sus razones sociales, económicas y recientemente ambientalistas, los inventarios forestales pueden llegar a ser condicionados, poniendo mayor énfasis en el uso de técnicas y de aspectos novedosos, en lugar de buscar respuestas eficaces y útiles a los problemas identificados”.⁷

⁶ Ing. Sergio Varela Hernández, Director de la Unidad del Inventario Nacional de Recursos Naturales Dirección General Forestal, SEMARNAP, Ciclo de Conferencias “El Sector Forestal de México, Avances y Perspectivas” Febrero 1999.

⁷ Dr. Bernard E. Herrera Herrera, Subdirector del Inventario Nacional Forestal, Ciclo de conferencias “El sector forestal de México, Avances y Perspectivas”. Febrero 1999.

2.2.3. Historia de los Inventarios Nacionales en México.

El primer inventario nacional forestal de México se inició en 1961, mediante un convenio de colaboración suscrito entre el Gobierno Mexicano y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). En 1965 terminó el apoyo de la FAO a México. Con el personal que se capacitó, fue posible continuar con los trabajos a nivel nacional hasta 1985, año en que se concluyó el inventario. Para su ejecución se utilizaron fotografías aéreas de las principales áreas arboladas, debido a que en esa época todavía no se desarrollaba a plenitud el uso de imágenes de satélite.

Era el año de 1989 y el diagnóstico realizado al principio de aquella administración, señalaba que se carecía de un inventario nacional forestal actualizado. El primer inventario se había llevado a cabo en un período muy largo, además de que su presentación integral fue a una escala que no permitía un conocimiento preciso de la ubicación y cuantía de los recursos forestales del país. Por otro lado, la carencia de un inventario forestal periódico detallado, dificultaba el conocimiento de la tasa de deforestación o pérdida anual de bosques y selvas para dedicarse a otros usos, principalmente de tipo agropecuario.

Por lo anterior, el Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994 estableció como acciones prioritarias la protección y el aprovechamiento racional de los recursos forestales del país; y como parte fundamental para ello, el levantamiento de un nuevo Inventario Nacional Forestal. Con este Inventario, el Gobierno del Presidente de México, Lic. Carlos Salinas de Gortari, pretendía cumplir con uno de los compromisos fundamentales para modernizar el sector forestal del país, sentando las bases de lo que supuestamente sería la actividad forestal del siglo XXI.

Para subsanar la falta de información en el sector forestal, la Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre (de la SARH) efectuó en el año de 1991 un Inventario Nacional Forestal de Gran Visión. Este inventario se llevó a cabo con la aplicación de tecnología moderna, mediante el empleo de imágenes de satélite de baja resolución a partir de las cuales se elaboraron mapas de la vegetación de todo el territorio nacional en escala 1:1,000,000. Con esto se actualizó la información que en ocasiones tenía una antigüedad de más de 30 años.

Sin embargo, la falta de una evaluación continua y periódica de los recursos forestales del país, no permitía conocer con precisión cuáles habían sido los cambios del recurso forestal, en dónde habían ocurrido y por qué causas, de manera que pudieran instrumentarse en consecuencia acciones que permitieran disminuir la degradación y deforestación en el país. Por lo que a partir de 1992, se inició la planeación y ejecución del Inventario Nacional Forestal Periódico. El cual, tenía características sin precedentes en la historia del país, como eran: uso de imágenes de satélite de alta resolución, para poder vaciar su información en mapas de todo el territorio nacional en escala 1:250,000 (Cartografía de INEGI); levantamiento de parcelas de muestreo para tener información de campo; obtención de mapas forestales en los cuales se zonifican los terrenos forestales según su aptitud y funciones en clases de producción, conservación o restauración; almacenamiento de toda la información en archivos computarizados para su uso en diversos estudios específicos por medio de sistemas de información geográfica.

Con la conclusión de este Inventario Nacional Forestal Periódico, según la SARH, México, se ubicaba entre los pocos países del mundo que disponían de un inventario de este nivel. El estudio estaba diseñado para actualizarse permanentemente y efectuar comparaciones cada 10 años, al mismo tiempo que se realizara el Censo Nacional de Población y Vivienda.

Sin embargo, a partir de fines de 1999, la Secretaría de Marina Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) decidió desarrollar la primera fase del Inventario Forestal Nacional del año 2000 bajo el argumento de representar la primera oportunidad de comparar dos inventarios periódicos, lo que permitiría revalorizar la dinámica y los efectos de nuestras acciones en los últimos años sobre los ecosistemas forestales del país; Pero el Inventario Forestal Nacional de México dejaba a un lado la propuesta de continuidad del Inventario Nacional Forestal Periódico de la SARH, debido a que por pretender ser más eficaz que el inventario anterior (SIIPER) este tendría diferentes bases metodológicas, lo que produciría, que al término del mismo, este no podría servir para ser comparado con el inventario previo.

Para tal efecto, el Instituto de Geografía de la UNAM presentó en febrero de 2000 una propuesta técnica que fue adjudicada por la SEMARNAP. La propuesta del Instituto de Geografía respondió al interés de SEMARNAP de elaborar una estrategia que rebasara los alcances de los inventarios forestales tradicionales, e incorporara una perspectiva ecológica complementaria.

Con este nuevo proyecto de inventario, se pretendió de manera similar al inventario forestal inmediato anterior, que esta investigación permitiera a muy corto plazo hacer estimaciones confiables sobre las tasas de deforestación, ya que las categorías mapeadas son compatibles con los sistemas de clasificación de mayor uso en el país, debido a que estas se sustentan sobre la base cartográfica del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

La SEMARNAP justificó la elaboración (y no continuidad al SIIPER), para el nuevo Inventario Forestal Nacional 2000 mencionando entre otras cosas la diversidad de enfoques, objetivos e insumos, que existían con respecto al Inventario Nacional Forestal Periódico (SIIPER 1992-1994), por lo que las comparaciones entre ambos inventarios se dificultaban. Por ejemplo, en algunos casos, se enfatizaba en la vegetación potencial, en otros, en la cobertura vegetal real del terreno. Esta actividad comparativa, sin embargo, es imprescindible para múltiples fines, entre los que destacan el análisis del cambio del uso del suelo y la priorización de políticas de manejo, conservación y restauración de los recursos naturales en general que maneja el INF y no así el SIIPER.

En este contexto, la SEMARNAP encargó al Instituto de Geografía de la UNAM la formulación de la primera etapa (cartografía de la cobertura vegetal) del proyecto Inventario Forestal Nacional (IFN) 2000. La propuesta fue adjudicada en marzo de 2000 y ejecutada en 8 meses por un equipo técnico de dicha institución, en estrecha relación con el INEGI y personal técnico de la Dirección Forestal de SEMARNAP.

En este trabajo se formularon los criterios para cartografiar los recursos forestales en el contexto de la vegetación de México. Este marco conceptual debía, por un lado, ser compatible con las principales experiencias previas de cartografía de la vegetación, y por otro, ser expedito, para permitir el seguimiento de la vegetación en general a corto, mediano y largo plazos.

Los programas de inventario y monitoreo deben inscribirse en el marco de los procesos de decisión y planificación, por ello los objetivos de los programas deben corresponder a las necesidades expresadas por los usuarios potenciales de la información. Llegando inicialmente a la conclusión de que, *“si la información no es necesaria para un análisis susceptible de conducir a una acción, de poco servirá obtenerla”*.⁸

⁸ Dr. Bernard E. Herrera Herrera, Subdirector del Inventario Nacional Forestal.

Cuadro 2.1: INVENTARIOS FORESTALES EN MÉXICO	
Fecha de Realización	Características del Inventario
de 1961 a 1985	El 1er. Inventario Nacional Forestal realizado mediante el uso de fotografía aérea, levantamiento de campo y cartografía escala 1:50,000.
1991	El Inventario Forestal de Gran Visión realizado para la actualización del inventario anterior, utilizando exclusivamente imágenes de satélite de baja resolución, con cartografía escala 1:1,000,000
de 1992 a 1994	El Inventario Nacional Forestal Periódico (SIPER) utilizando imágenes de satélite Landsat, con muestreo de campo y cartografía escala 1:250,000.
2000	El Inventario Forestal Nacional utilizando imágenes de satélite Landsat, muestreo de campo y cartografía escala 1:250,000, con despliegue en diferentes niveles jerárquicos. Esto permitirá resolver tres problemáticas: <i>a)</i> la tipificación de los ecosistemas a diversos niveles de resolución espacial; <i>b)</i> una organización jerárquica de la vegetación que incluya criterios definidos para cada nivel de agregación, y <i>c)</i> una representación objetiva de la dinámica de la vegetación por incluir clases en continua transformación. Para ser comparaciones con respecto al inventario anterior y su actualización cada 10 años.
Fuente: Elaboración propia	

2.3.- Estadísticas derivadas de los últimos Inventarios Nacionales Forestales.

2.3.1.- Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994.

Para este inventario se concluyó que en el territorio Mexicano, el 72 % era forestal, con un total de 141.7 millones de hectáreas. La superficie total arbolada nacional se calculó en 56.8 millones de hectáreas, la cual se integró por bosques de coníferas y hojosas que cubren 30.4 millones de hectáreas y por selvas altas, medianas y bajas en una extensión de 26.4 millones de hectáreas. La vegetación de las zonas áridas ocupa una superficie de 58.5 millones de hectáreas y las áreas integradas por vegetación hidrófila y halófila, abarcan 4.2 millones de hectáreas. Adicionalmente las áreas forestales perturbadas cubren un total de 22.2 millones de hectáreas.

Cuadro 2.2. SUPERFICIE FORESTAL POR ECOSISTEMA Y TIPOS DE VEGETACIÓN					
ECOSIS.	FORMACION	TIPO DE VEGETACIÓN	CLAVE	SUP / HA	% *
B O S Q U E S	CONIFERAS	Bosque de pino abierto	1	1,406,938	
		Bosque de pino cerrado	2	3,831,743	
		Bosque de oyamel abierto	3	35,596	
		Bosque de oyamel cerrado	4	158,121	
		Bosque de otras coníferas abierto	5	358,067	
		Bosque de otras coníferas cerrado	6	509,813	
	CONIFERAS Y LATIFOLIADAS	Bosque de pino y encino abierto	7	4,639,880	
		Bosque de pino y encino cerrado	8	6,298,084	
		Bosque fragmentado	9	3,561,695	
	LATIFOLIADAS	Bosque de encino abierto	10	5,505,994	
		Bosque de encino cerrado	11	4,012,567	
		Bosque de galería	12	52,144	
	PLANTACIONES FORESTALES			13	63,251
SUBTOTAL				30,433,893	15.47
S E L V A S	S. ALT. Y MED.	Selva alta y mediana	14	5,793,910	
	SELVAS BAJAS	Selva baja	15	10,948,862	
	OTRAS ASOCIACIONES	Bosque mesófilo de montaña cerrado	16	1,020,107	
		Bosque mesófilo de montaña abierto	17	391,772	
		Manglar	18	721,554	
		Selva de galería	19	163,809	
		Palmar	20	101,849	
		Selva fragmentada	21	6,785,674	
Sabana	22	512,524			
SUBTOTAL				26,440,061	13.44
VEGETA CION DE ZONAS ARIDAS	ARBUSTOS	Mezquitales y huizachales	23	4,092,178	
		Chaparrales	24	2,846,434	
	MATORRALES	Matorral subtropical	25	2,929,648	
		Matorral submontano	26	2,925,055	
		Matorral espinoso	27	4,399,626	
Matorral xerófilo	28	41,279,457			
SUBTOTAL				58,472,398	29.72
VEGETACIÓN HIDROFI LA Y HALO FI LA	Vegetación hidrófila		29	1,115,203	
	Vegetación halófila		30	3,048,140	
TOTAL				4,163,343	2.12
AREAS FORESTALES PERTURBADAS			31	22,235,474	11.30
TOTAL FORESTAL				141,745,169	72.05

* Proporción referida a las 196,718,300 has. del Territorio Nacional

Cuadro 2.3. VEGETACIÓN NATURAL DE MÉXICO
En millones de hectáreas.

Tipo de vegetación	Superficie	Porcentaje
Bosques templados	31,8	22,4
Selvas	23,5	16,6
Manglares	0,7	0,5
Vegetación hidrófila y halófila	4,2	3,0
Vegetación de zonas áridas	58,5	41,3
Otras asociaciones	0,8	0,6
Áreas forestales perturbadas	22,2	15,7
Superficie total forestal	141,7	100,0

Fuente: Inventario Nacional Forestal Periódico (1994).

Cuadro 2.4. VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN FORESTAL
En miles de metros cúbicos.

Tipo	1991	1992	1993	1994	1995
Pino	6.455	6.441	5.066	4.837	...
Abeto	220	222	217	196	...
Encino	385	417	526	434	...
Maderas nobles	42	29	31	15	...
Maderas tropicales	373	379	304	273	...
Otras maderas	213	193	206	201	...
Total	7.688	7.681	6.350	5.956	5.900

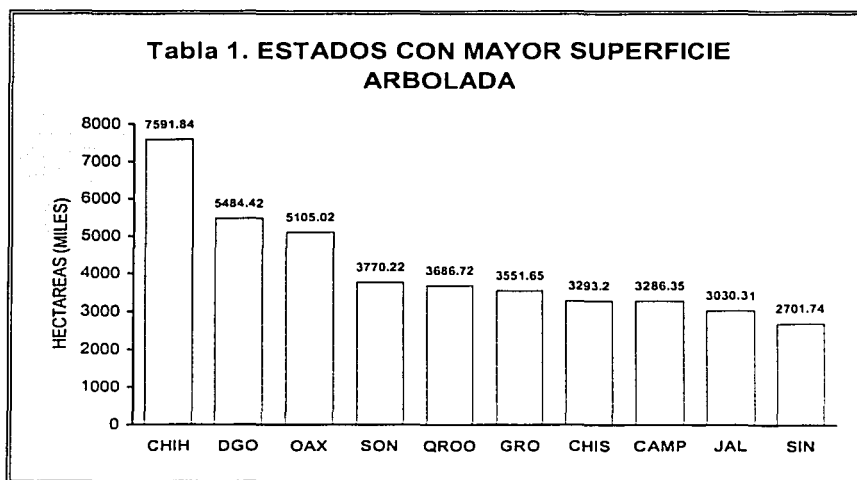
Fuente: Dirección General Forestal.

Cuadro 2.5. SUPERFICIES FORESTALES POR ENTIDAD FEDERATIVA⁹

ESTADO	BOSQUES	SELVAS	VEGETACION DE ZONAS ARIDAS	VEGETACION HIDROFILA Y HALOFILA	AREAS PERTURBADAS	TOTAL FORESTAL
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
AGUAS CALIENTES	65,447	0	80,925	0	43,190	189,562
B.CALIFORNIA	167,154	37,823	4,961,630	281,133	828,992	6,276,732
BAJA CALIF. SUR	32,697	472,914	4,317,265	480,054	795,663	6,098,593
CAMPECHE	0	3,286,346	0	178,709	1,196,728	4,661,783
COAHUILA	441,471	2,650	11,636,842	641,497	745,794	13,468,254
COLIMA	30,655	212,008	0	6,948	66,048	315,659
CHIAPAS	1,117,248	2,175,948	5,202	48,184	1,801,522	5,148,104
CHIHUAHUA	7,086,591	505,251	8,686,466	480,996	768,527	17,527,831
D.F.	50,596	2,123	318	0	12,779	65,816
DURANGO	4,989,401	495,020	2,671,571	100,815	872,094	9,128,901
GUANAJUATO	394,669	18,141	497,459	1,606	127,579	1,039,454
GUERRERO	1,945,171	1,606,482	0	9,922	1,719,541	5,281,116
HIDALGO	230,743	172,942	377,422	0	291,890	1,072,997
JALISCO	1,941,918	1,088,389	515,752	7,468	1,285,093	4,838,620
MEXICO	558,069	87,789	16,747	6,034	225,974	894,613
MICHOACAN	1,540,493	1,062,234	236,739	11,107	1,355,878	4,206,451
MORELOS	26,361	62,127	0	0	109,317	197,805
NAYARIT	784,237	487,580	0	43,744	678,385	1,993,946
QUEVO LEON	348,637	0	4,542,350	176,539	128,820	5,196,346
PAXACA	2,715,583	2,389,432	27,897	2,299	1,924,442	7,059,653
PUEBLA	460,771	307,455	302,774	0	627,722	1,698,722
QUERETARO	180,161	67,211	378,899	0	111,550	737,821

⁹ Fuente: Inventario Nacional Forestal Periódico (1994).

Q. ROO	0	3,686,715	0	157,391	888,219	4,732,325
S.L.P.	454,852	367,192	3,428,594	109,389	342,470	4,702,497
SINALOA	744,253	1,957,488	212,984	152,325	654,987	3,722,037
SONORA	2,073,052	1,697,170	9,572,630	314,148	924,946	14,581,946
TABASCO	0	276,618	0	522,827	410,001	1,209,446
TAMAULIPAS	524,307	1,060,029	3,010,184	228,466	398,239	5,221,225
TLAXCALA	51,709	0	5,049	40	28,578	85,376
VERACRUZ	478,618	1,355,721	18,221	124,818	975,752	2,953,130
YUCATAN	0	1,395,342	1,364	17,020	1,567,075	2,980,801
ZACATECAS	999,029	103,921	2,967,114	59,864	327,679	4,457,607
TOTAL	30,433,893	26,440,061	58,472,398	4,163,343	22,235,474	141,745,169



Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.- Inventario Forestal Nacional 2000.

Para este inventario se dice que se evaluaron 194 198 411 has (1 941 984 km², porción continental del territorio nacional). De esta superficie, los "Matorrales" ocupan la mayor proporción con casi un 30%; le siguen en orden descendente de superficie los "Bosques", "Cultivos", "Pastizales" y "Selvas" con superficies entre 15 y 17% del total. Las otras tres formaciones ocupan en conjunto alrededor del 5% de la superficie total del país (véase cuadro 2.6).

Los resultados obtenidos se plasmaron en los siguientes productos:

- 121 mapas de cubierta vegetal y uso del suelo, a escala 1:250 000, y 121 espacio mapas, ambos en formato digital e impresos.
- Evaluación cuantitativa de la calidad de la cartografía mediante fotografía digital detallada.
- Datos de superficies forestales y otras cubiertas a varios niveles de agregación (Tabla 2.6).
- Diccionario de datos, glosario y metadatos.
- Página en la INTERNET donde se presentan el informe, los anexos y los productos obtenidos.

Cuadro 2.6. LEYENDA JERÁRQUICA UTILIZADA EN LA CARTOGRAFÍA DEL IFN 2000-2001		
Formación	Tipo de Vegetación y Uso De Suelo	Comunidad y otras Coberturas
I Cultivos	1 Agricultura (riego y humedad)	Agricultura de riego (incluye riego eventual) Agricultura de humedad Riego suspendido Pastizal cultivado
	2 Agricultura (de temporal)	Agricultura de temporal ¹
	3 Plantación forestal	Plantación forestal
II Bosques	4 Coníferas	Bosque de táscate ^{2,3} Bosque de oyamel (incluye ayarín y cedro) ^{2,3} Bosque de pino ^{2,3} Matorral de coníferas ^{2,3}
	5 Coníferas-latifoliadas	Bosque bajo-abierto ^{2,3} Bosque de pino-encino (incluye encino-pino) ^{2,3}
	6 Latifoliadas	Bosque de encino ^{2,3}
	7 Mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña ^{2,3}
III Selvas	8 Perennifolia y subperennifolia	Selva alta y mediana perennifolia ^{2,3} Selva baja perennifolia ^{2,3} Selva alta y mediana subperennifolia ^{2,3} Selva baja subperennifolia ^{2,3}
	9 Caducifolia y subcaducifolia	Selva mediana caducifolia y subcaducifolia ^{2,3} Selva baja caducifolia y subcaducifolia ^{2,3} Matorral subtropical ^{2,3} Selva baja espinosa ^{2,3}
IV Matorral	10 Mezquital	Mezquital (incluye huizachal) ^{2,3}
	11 Matorral xerófilo	Matorral crasicale ^{4,5}

		Matorral sarcocrasicaule ^{4,5} Matorral sarcocaule ^{4,5} Matorral sarcocrasicaule de neblina ^{4,5} Matorral desértico micrófilo ^{4,5} Matorral desértico rosetófilo ^{4,5} Matorral rosetófilo costero ^{4,5} Vegetación de desiertos arenosos Matorral espinoso tamaulipeco ^{4,5} Matorral submontano ^{4,5} Chaparral ^{4,5}
V Pastizal	12 Pastizal	Pradera de alta montaña Pastizal natural (incluye pastizal-huizachal) Sabana
VI Vegetación hidrófila	13 Vegetación hidrófila	Manglar Popal-tular Vegetación de galería (incluye bosque y selva)
VII Otros tipos de vegetación	14 Otros tipos de vegetación	Palmar Vegetación halófila y gipsófila Vegetación de dunas costeras
	15 Área sin vegetación aparente	Área sin vegetación aparente
VIII Otras Coberturas	16 Asentamiento humano	Asentamiento humano
	17 Cuerpo de agua	Cuerpo de agua

¹ Incluye dos categorías: con cultivos anuales, o con cultivos permanentes y semipermanentes

² Incluye la vegetación primaria y la vegetación secundaria arbórea en una sola categoría

³ Incluye a las comunidades con vegetación secundaria arbustiva y herbácea

⁴ Se refiere a las comunidades de matorrales con vegetación primaria

⁵ Incluye la vegetación secundaria derivada de la alteración de los matorrales

Formación	Superficie	
	has	%
Cultivos	45 687 017	23.53
Bosques	32 850 691	16.92
Selvas	30 734 896	15.83
Matorral	55 451 788	28.55
Pastizal	18 847 355	9.71
Vegetación hidrófila	2 082 584	1.07
Otros tipos de vegetación	6 198 623	3.19
Otras coberturas	2 345 458	1.21
TOTAL	194 198 411	100.00

Fuente: *Inventario Forestal Nacional 2000.*

Cuadro 2.8. SUPERFICIE TOTAL Y RELATIVA DE LOS TIPOS DE VEGETACIÓN Y USOS DE SUELO INCLUIDAS EN EL IFN 2000-2001		
Tipos de Vegetación y usos de suelo	Superficie	
	has	%
Agricultura (riego y humedad)	22 824 668.53	11.75
Agricultura (de temporal)	22 839 710.01	11.76
Plantación forestal	22 638.52	0.01
Bosque de coníferas	7 486 419.38	3.86
Bosque de coníferas-latifoliadas	13 570 016.46	6.99
Bosque de latifoliadas	10 058 636.81	5.18
Bosque mesófilo de montaña	1 735 618.45	0.89
Selva perennifolia y subperennifolia	9 913 463.19	5.10
Selva caducifolia y subcaducifolia	20 821 432.57	10.72
Mezquital	2 924 511.80	1.51
Matorral xerófilo	52 527 276.00	27.05
Pastizal	18 847 354.68	9.71
Vegetación hidrófila	2 082 584.44	1.07
Otros tipos de vegetación	5 209 870.52	2.68
Área sin vegetación aparente	988 752.12	0.51
Asentamiento humano	1 245 813.06	0.64
Cuerpo de agua	1 099 644.56	0.57
TOTAL	194 198 411.0	100.00

Fuente: Inventario Forestal Nacional 2000.

Evolución de la Demanda de Información

- Originalmente los inventarios abarcaban parámetros como el área forestal, el volumen de madera en pie y su incremento.
- La información acerca de la producción, la ecología y de otros recursos en la mayor parte era de tipo cualitativo, poco confiable y difícil de interpretar.
- La información sobre maderas leñosas es aún en la actualidad casi inexistente.
- Nueva información se demanda sobre el medio ambiente en general, la deforestación, la degradación de los bosques y los servicios ambientales.

Podemos concluir que mucha de la nueva información que se demanda difícilmente podrá satisfacerse con los métodos de inventario existentes. Sin embargo también mucha de esta nueva información será posible obtenerla solo consultando otras fuentes y organizando los datos e información existente.

Cuadro 2.9. CORRESPONDENCIA ENTRE INVENTARIOS 1992-1994 Y 2000-2001. Las diferencias metodológicas y conceptuales en ambos inventarios limitan seriamente las comparaciones, por lo que estos datos comparativos deben ser tomados con cautela.	
INF 2000-2001	IFNP 1992-1994
FORMACIÓN	ECOSISTEMA
BOSQUES 32 850 691 ha (16.92%)	BOSQUES (Bosques y Bosque mesófilo) menos (Plantación forestal y Bosque de galería) 31 730 377 ha (16.1%)
SELVAS 30 734 896 ha (15.89%)	SELVAS (Selva alta y mediana y Selva baja) menos (Matorral subtropical) 19 672 420 ha (10.0%)
MATORRAL 55 451 788 ha (28.55 %)	MATORRAL (vegetación de zonas áridas menos matorral subtropical) 55 542 750 ha (28.2%)
VEGETACIÓN HIDRÓFILA (Vegetación hidrófila menos Manglar y Vegetación de galería) 1 072 933 ha (0.55%)	VEGETACIÓN HIDRÓFILA 1 115 203 ha (0.1%)
OTROS TIPOS DE VEGETACIÓN (Otros tipos de vegetación menos vegetación de dunas costeras) 6 065 133 ha (3.1%)	PALMAR Y VEGETACIÓN HALÓFILA 3 149 989 ha (1.6%)
<i>Fuente: Inventario Forestal Nacional 2000.</i>	

2.4.- Economía y sociedad ligadas a los recursos maderables en nuestro país.

2.4.1- Economía ligada a los recursos maderables.

De la superficie forestal del país, 7 millones de hectáreas se encuentran bajo manejo, de las cuales en el 51% se aplican técnicas silvícolas modernas que pueden incrementar la productividad de 1 a 3 m³ por hectárea por año.

En México la producción maderable ha presentado una tendencia decreciente por factores externos al sector, sin embargo se prevé su estabilización y repunte, derivado del nuevo contexto jurídico que propicia inversiones en este sector.

La producción no maderable, que se destina en su mayoría a la exportación, se ha mantenido estable con un promedio anual de 73,000 toneladas.

Los impactos socioeconómicos de la actividad forestal se manifiestan en el campo con una derrama económica de \$ 970 millones, generando un promedio de 82 mil empleos en la silvicultura y 208 mil empleos en la fase industrial. La industria forestal contribuye con el 7.4% del PIB manufacturero.

Dentro de las acciones para el fomento y el desarrollo de la producción forestal resaltan, la promulgación de la nueva Ley Forestal y su Reglamento, el establecimiento y operación del Registro Nacional Forestal y la integración del Consejo Técnico Consultivo Nacional Forestal.

En materia de plantaciones comerciales están en operación 15 proyectos que abarcan una superficie aproximada de un millón de hectáreas, ubicados en los estados de: Campeche, Chiapas, Chihuahua, Jalisco, México, Puebla, Quintana Roo, Tabasco y Veracruz.

En las zonas del trópico húmedo se acentúa la pérdida de cubierta forestal la cual ha tenido como principales causas la expansión de la frontera agropecuaria, los asentamientos humanos irregulares y en parte, la explotación petrolera.

En las zonas templadas la sobreexplotación de los recursos forestales, el sobre pastoreo y la inducción de incendios son las principales causas que han afectado a la vegetación natural, así como el recurso maderable propiciando la erosión de los suelos.

En las zonas áridas, la falta de rotación del ganado y el sobre pastoreo, especialmente del ganado caprino, son las causas de la pérdida de cubierta forestal. Cabe mencionar también que los problemas de tenencia de la tierra y el crecimiento de los centros urbanos, eliminan áreas boscosas, alterando los ecosistemas.

2.4.1.1. - Producción No Maderable.

Los productos no maderables se obtienen mediante procesos de recolección y en algunas zonas marginales constituyen la única fuente de ingresos para la mayoría de la población; la mayor parte de estos productos incluyen: resinas, gomas, ceras, rizomas y otros productos, que no sean de tierra de monte. La producción no maderable desde 1986-1999 ha tenido crecimientos

discretos, y poco a poco va perdiendo importancia ya que hay sustitutos directos derivados del petróleo, lo cual ha afectado gravemente a este sector. La producción mas alta se tiene en el año de 1988 con una producción de 106 546 toneladas, y la mas baja en 1995 con 41484 toneladas de producción (ver cuadro 9.).

Esta producción procede de los estados de Michoacán, Tamaulipas, Zacatecas, Baja California, Coahuila, Veracruz, San Luis Potosí y Nayarit. La producción de este tipo de productos ha sufrido un importante descenso: mientras que en 1990 la producción no maderable alcanzó las 194.700 toneladas, en 1994 apenas superó las 108.000 y en 1995 las 104.300; para 1996, sólo se alcanzaron las 68.300 toneladas. Del total de la producción, la mayor parte corresponde a la tierra de monte, registrándose en 1995 algo más de 62.800 toneladas.

Si tomamos como referencia el promedio anual 1989-1994 (73.000 toneladas), el porcentaje más alto corresponde a la resina de pino, producto que se encuentra en declive ya que los derivados del petróleo han pasado a ser los sustitutos de estos productos.

Los productos que se consideran dentro de la producción no maderable son: ceras, aceites, fibras, resinas, gomas, rizomas, taninos, forrajes, saponinas, esteroides y otros productos, de estos no se incluyen los que son tierra de monte.

2.4.1.2.- Producción Maderable.

De 1990 a 1999, la producción maderera ha tenido un crecimiento lento, y en especial este sector resiente los altibajos de la economía, ya que como vemos en el cuadro 9, de 1990-1992 tuvo un crecimiento discreto pero las cosas cambian para 1993-95 donde se tuvo una caída en la producción y se mantuvo así hasta 1996 donde vemos la recuperación de esta área.

Las entidades federativas que más participan con producción maderable son: Durango, Chihuahua, Michoacán, Jalisco, Oaxaca y Puebla.

México dispone de un bajo nivel de aprovechamiento de los bosques y de las selvas, ya que de los 21 millones de hectáreas con potencial comercial apto sólo se encuentran aprovechadas algo más de la cuarta parte.

La producción forestal, tras una importante caída a finales de los años ochenta, se ha estabilizado manteniéndose en aproximadamente 6,3 millones de metros cúbicos (rollos) en los años noventa, aunque su potencial productivo estaba estimado en 30,5 millones; en el mes de octubre de 1996 ésta ascendía a más de 5,3 millones de metros cúbicos. Para 1998, la producción maderable creció hasta 8 330 982 millones de metros cúbicos de madera en rollo.

Esta situación es debida a los bajos niveles de eficiencia y de productividad, lo que conlleva una reducida presencia en el producto interno bruto nacional. A las dificultades existentes para incrementar la competitividad, ya que no se dispone de la infraestructura y de los apoyos necesarios, se suman la falta de mercados diversificados y el grave deterioro que causan los incendios, las plagas y las talas masivas ilegales.

La participación que tiene el sector forestal en el PIB es mínima, para el año de 1988 la relación del PIB forestal contra el PIB total era de 0.0006 %; para 1992 era de 0.0723% y para 1996 era de 0.0071% lo cual es realmente insignificante (ver cuadro 9.).

Por estados, el 81% de la producción forestal se localizó en cinco entidades federativas: Durango (31%), Chihuahua (21%), Michoacán (17%), Oaxaca (7%) y Jalisco (6%). La mayor producción forestal corresponde a las coníferas (especies de pino principalmente) con el 88% del total, seguida de las latifoliadas (sobre todo la encina), con el 8% y de las maderas preciosas y comunes tropicales con un 4%.

Todas estas cifras, no obstante, representan una importante reducción con relación a los años precedentes ya que, por ejemplo, en 1987 la producción se situaba en torno a 10 millones de metros cúbicos.

Cuadro 2.10. PRODUCCIÓN FORESTAL MADERABLE Y NO MADERABLE

Producto	1992	1993	1994	1995 (1)	1996 (2)
Maderable (miles de m ³)	7.681	6.360	5.956	6.302	5.370
Escuadria	5.420	4.590	4.397	4.657	3.830
Celulosa	1.586	1.185	1.017	1.190	1.089
Chapa y triplay	64	29	35	72	68
Postes, pilotes y morrillos	87	105	107	116	105
Combustibles (3)	444	396	362	241	251
Durmientes	80	45	38	26	27
No maderable (miles de ton.)	148,6	143,4	108,3	104,3	68,3
Resinas	...	...	...	21,6	15,6
Fibras	...	...	...	4,0	2,1
Gomas	...	...	...	0,2	0,0
Ceras	...	...	...	1,3	1,7
Rizomas	...	...	...	0,2	0,2
Otros (4)	...	...	...	14,2	16,9
Tierra de monte	...	...	...	68,8	31,8

(1) Al mes de diciembre.

(2) Al mes de octubre.

(3) Incluye la leña y el carbón.

(4) Incluye los productos como hojas, hongos, palmas, etc.

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

2.4.1.3. Balanza Comercial de Productos Forestales

La balanza comercial de productos forestales creció 46.9% durante 1997 con respecto a la década de los ochenta. Los productos que más han contribuido a formar esta balanza comercial favorable son la madera aserrada, seguidos por los tableros de madera, puertas y ventanas, y marcos para cuadros, los cuales han sido bien recibidos en el extranjero. Sin embargo para los últimos años 98-2000, las exportaciones han crecido más que las importaciones con tasas de crecimiento de 4.41% para 1998, 0.46% para 1999 y 1.05% para el año 2000.

Tradicionalmente este sector ha registrado balanzas comerciales negativas en México, sin embargo, a partir de 1995 cuando las exportaciones de los productos forestales comenzaron a cobrar dinamismo arrojó cifras positivas. El informe hace evidente que es necesario no sólo darle dinamismo a productos tales como la leña, chapa y triplay, así como al papel y la celulosa, productos que aún tienen una balanza comercial negativa.

En cuanto a México, su situación actual a nivel internacional indica que importa productos forestales para cubrir sus necesidades interiores, especialmente los rubros de tableros, celulosa, papel y cartón, en algunos casos, estas importaciones suponen casi la totalidad del consumo interno. En el año 1993, el consumo forestal para la producción de tableros fue de 408.000 toneladas y las compras exteriores alcanzaron las 398.000 toneladas. Igualmente, para la producción de celulosa se importaron, en el mismo año, 619.000 toneladas, mientras que el consumo se cifró en 963.000 toneladas. El rubro menos deficitario resultó el de papel y cartón, en el que las importaciones representaron sólo el 22,8% del consumo total aparente.

Según datos de la FAO (1998), organismo de las naciones unidas encargado del sector agricultura y alimentación, la producción que registra la zona comercial del Tratado de Libre Comercio es de 583.1 millones de metros cúbicos de madera en rollo industrial, cifra de la cual Estados Unidos participa con el 69%, Canadá con 29.7% y México apenas con el 1.3 por ciento.

En cuanto a las exportaciones que suman 30,456 millones de dólares, México participa con 1.5%, Estados Unidos con 86.7% y Canadá con 11.8 por ciento. Los recursos forestales que tiene Estados Unidos son cuatro veces más que las que tiene México, y Canadá tres veces más. En 1997 las importaciones de productos forestales, sin considerar celulosa y papel alcanzaron la cifra de 146 millones de dólares.

Cuadro 2.11. CONSUMO DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS FORESTALES MADERABLES
En miles de toneladas.

Concepto	1990	1991	1992	1993
Tableros				
Producción	58	60	64	29
Importación	167	321	364	398
Exportación	212	135	52	19
Consumo aparente	13	246	376	408
Celulosa				
Producción	772	705	560	344
Importación	376	378	437	619
Exportación	23	1	0	0
Consumo aparente	1.125	1.082	997	963
Papel y cartón				
Producción	2.871	2.896	2.825	2.763
Importación	322	515	608	782
Exportación	168	120	156	120
Consumo aparente	3.025	3.291	3.277	3.425

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y Cámara Nacional de la Industria Forestal.

2.4.2- Sociedad ligada a los recursos maderables.

2.4.2.1.- Población

Según el censo de población de 1990, el país tiene un 28% de población rural. Esta población aún es un factor importante que presiona a los recursos forestales ocasionando la deforestación y la degradación. Sin embargo, cabe hacer notar que se muestra ya una tendencia a disminuir el porcentaje de población rural, por lo cual también la tasa de la deforestación tiende a disminuir en el futuro.

Por otra parte, se puede observar que los estados que tienen mayor densidad de población rural en habitantes por kilómetro cuadrado, son los que han tenido un impacto más fuerte en sus recursos forestales, como es el caso del Estado de México (71 hab. / Km²), Tlaxcala (44 hab. /km²), Hidalgo (50 hab. / Km²), Puebla (43 hab. / Km²) y Guanajuato (47 hab. / Km²).

Por otra parte, estados con una baja densidad de población rural como Baja California Sur (1 hab/km²), Baja California (2 hab/km²), Chihuahua (2 hab/km²) y Durango (5 hab/km²), han tenido una afectación muy baja en sus recursos forestales en calidad y cantidad.

Cuadro 2.12 POBLACIÓN POR ENTIDAD FEDERATIVA.

ESTADO	SUPERFICIE TOTAL - HA-	SUPERFICIE FORESTAL ARBOLADA - HA-	COBERTU RA FORESTAL -Ha-	POB. TOTAL	POB. RURAL	DEN. DE POB. RURAL HAB / KM ²
AGUAS CALIENTES	524,135	65,447	189,562	719,659	168,962	32
BAJA CALIFORNIA	7,286,174	169,981	6,434,707	1,660,855	151,061	2
B. C. SUR	7,079,739	430,756	6,372,619	317,764	69,099	1
CAMPECHE	5,070,083	2,896,414	4,661,783	535,185	160,405	3
COAHUILA	15,229,075	430,304	13,539,426	1,972,340	275,019	2
COLIMA	492,666	238,317	317,787	428,510	71,476	15
CHIAPAS	7,204,539	3,182,533	5,151,004	3,210,496	1,913,754	27
CHIHUAHUA	24,929,250	7,552,559	18,377,695	2,441,873	552,107	2
D. F.	154,056	49,516	65,814	8,235,744	21,901	14
DURANGO	12,274,728	5,479,350	9,151,781	1,349,378	574,961	5
GUANAJUATO	3,092,731	411,173	1,039,456	3,982,593	1,457,060	47

GUERRERO	6,264,145	3,517,918	5,288,809	2,620,637	1,251,101	20
HIDALGO	2,066,830	403,683	1,072,996	1,888,366	1,042,648	50
JALISCO	7,819,089	3,022,197	4,839,562	5,302,689	962,257	12
MEXICO	2,142,150	635,310	894,613	9,815,795	1,530,588	71
MICHOACAN	5,784,088	2,589,690	4,206,451	3,548,199	1,361,845	24
MORELOS	493,052	88,481	197,806	1,195,059	171,831	35
NA YARIT	2,675,188	1,171,804	1,994,463	824,643	312,912	12
NUEVO LEON	6,471,878	344,373	5,196,347	3,098,736	248,079	4
OAXACA	8,982,241	5,001,841	7,065,126	3,019,560	1,828,257	20
PUEBLA	3,427,156	749,468	1,698,723	4,126,101	1,473,322	43
QUERETARO	1,157,645	253,297	743,748	1,051,235	423,396	37
QUINTANA ROO	4,862,276	3,657,614	4,735,175	493,277	128,903	3
S.L.P.	6,362,515	818,953	4,702,499	2,003,187	898,164	14
SINALOA	5,832,000	2,591,526	3,721,264	2,204,054	791,607	14
SONORA	16,975,128	3,722,701	14,749,105	1,823,606	380,539	2
TABASCO	2,496,523	188,203	1,209,447	1,501,744	756,026	30
TAMAULIPAS	7,825,391	1,562,109	5,235,245	2,249,581	425,877	5
TLAXCALA	405,617	51,509	85,175	761,277	178,926	44
VERACRUZ	7,341,619	1,313,928	2,544,020	6,228,239	2,726,513	37
YUCATAN	3,838,226	1,301,291	2,981,442	1,362,940	291,322	8
ZACATECAS	7,373,815	1,102,950	4,457,607	1,276,323	690,006	9
TOTAL	193,933,748	54,995,196	142,921,257	81,249,645	23,289,924	

2.4.2.2.- Tenencia.

De la superficie total forestal del país calculada en 141.7 millones de hectáreas el 73% corresponde a ejidos y comunidades agrarias, mientras que el resto, 27%, lo constituyen la propiedad privada y la nacional. Los bosques y selvas comerciales se distribuyen en 15.6 millones de hectáreas en los terrenos ejidales y comunales. Destacan por su mayor extensión los Estados de: Chihuahua, Durango, Campeche, Quintana Roo, Oaxaca, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Nayarit y Michoacán.

TIPO DE TENENCIA	Superficie	%
Social	80	
Privada	15	
Nacional	5	
Total	100	

2.4.2.3.- Deforestación.

La deforestación es la conversión de los terrenos arbolados de bosques o selvas naturales a otros usos; los factores que la ocasionan pueden ser los desmontes, cambios de uso del suelo, incendios, plagas, tala ilegal y otros.

La deforestación mundial estimada para la década de 1980 a 1990 fue calculada por los Organismos Internacionales en alrededor de 15 millones de hectáreas por año, lo que significa un ritmo de pérdida de la cobertura natural arbolada del 0.8 por ciento anual. El 83 por ciento de la deforestación mundial se da en las selvas tropicales.

Los procedimientos para estimar la deforestación a nivel nacional son de dos tipos:

- Métodos directos: Consisten en la comparación de estudios o inventarios forestales sucesivos con imágenes de satélite o fotografías aéreas.
- Métodos indirectos: Combinan la información directa e indirecta a través de parámetros estimados, aplicando modelos o técnicas matemáticas de predicción.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹⁰ Fuente: SARH. "Situación y perspectiva del Subsector Forestal" Abril de 1998.

En México, la cifra oficial de la deforestación promedio anual de la Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre se obtuvo con información disponible y utilizando métodos directos e indirectos, con los cuales se ha ubicado hasta ahora, una tasa de deforestación anual para la década de 1980 a 1990 de 370 mil / has / año.

No obstante, la cifra de 370 mil/has/año deforestadas en la década antepasada, aunque se considera sobrestimada, se ha decidido mantenerla como punto de referencia, en tanto no se disponga de evaluaciones de la deforestación por métodos directos a través de estudios sucesivos de las mismas áreas, con el mismo nivel de precisión, la misma metodología, que permitan hacer estimaciones o inferencias más precisas.

Las cifras de deforestación correspondientes a los años de 1991 y 1992 se estimaron en 298 y 270 mil hectáreas, respectivamente, fueron calculadas tomando como base la cifra de 1990 ajustada con los factores que provocan la deforestación.

Para 1993 se estimó una deforestación de 242 mil ha, combinando información de las Delegaciones de la SARH con la tendencia de la superficie afectada por desmontes ilegales y el área de deforestación.

Conviene aclarar que las cifras del Primer Inventario Nacional Forestal 1991 de gran visión, así como las cifras del Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994 y el Inventario Forestal Nacional 2000 no son factibles de comparar para obtener cifras sobre deforestación por las siguientes razones:

- a) El Primer Inventario realizó la cuantificación muy detallada con fotografías aéreas de algunas áreas arboladas con potencial comercial maderable, pero solo en el 52% del área total estudiada de las zonas arboladas del país.
- b) El 48% restante de la superficie estudiada por el Primer Inventario Nacional Forestal, se cuantificó con las primeras imágenes de satélite que se obtuvieron históricamente, a escala de 1:3,000,000. Se efectuó una interpretación visual muy gruesa apoyada con algunos reconocimientos aéreos y terrestres. Esto le dá a ésta parte del estudio una precisión muy baja. Lo anterior pudo ocasionar errores de interpretación que arrojaron cifras para unos tipos de vegetación arriba o abajo de lo que en realidad se tenía en esa época.
- c) El Inventario Nacional Forestal Periódico por su parte, utilizó imágenes TM del satélite Landsat con una resolución de 30 x 30 metros, que además fueron interpretadas utilizando cartografía del INEGI como apoyo, así como una combinación de interpretación visual y digital a través de computadoras y con el soporte de información de campo obtenida a través de parcelas de muestreo realizado en el terreno. La precisión de éste estudio se puede considerar como muy buena para el nivel de estudio.

Con las consideraciones anteriores no sería válida una comparación estricta entre ambos inventarios. Lo que sí se puede obtener es una idea de las tendencias que ha tenido el recurso en el periodo transcurrido.

La obtención de las cifras sobre deforestación en forma más precisa utilizando los datos del Inventario Forestal Nacional se logrará con los siguientes estudios a realizar:

- a) Evaluación de las tasas de deforestación pasadas, a través de la comparación total o parcial de imágenes de satélite similares a la del Inventario Forestal Nacional, con una antigüedad anterior a 1990, utilizando la misma metodología y clases de interpretación.
- b) Comparación de los resultados del Inventario Forestal Nacional, con la interpretación de imágenes de satélite posteriores a 2005 y de preferencia con los datos del Inventario Nacional Forestal Periódico a realizar en el año 2010.

Cuadro 2.14. TASA DE DEFORESTACIÓN, POR TIPO DE VEGETACIÓN ARBÓREA En miles de hectáreas anuales.			
Tipo de vegetación	Deforestación		Causas principales
	Superficie	%	
Coníferas	108	0,64	Incendios, pastoreo, tala ilegal
Latifoliadas	59	0,67	Incendios, agricultura, tala ilegal
Selva alta	195	2,00	Infraestructuras, pastoreo, incendios
Selva baja	306	1,90	Agricultura, tala ilegal, incendios.
Total	668	1,29	

Fuente: Inventario Forestal Nacional 2000..

2.4.2.4. Superficies de las Áreas Naturales Protegidas.

De acuerdo al artículo 46 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente, se consideran áreas naturales protegidas las siguientes:

- Reservas de la biosfera.
- Reservas especiales de la biosfera.
- Parques nacionales.
- Monumentos naturales.
- Parques marinos nacionales.
- Áreas de protección de recursos naturales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Áreas de protección de flora y fauna.
- Parques urbanos.
- Zonas sujetas a conservación ecológica.

El artículo 76 de esta misma Ley considera del interés de la Federación a las áreas naturales protegidas que constituyen en conjunto el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, integrada actualmente por 16 reservas de la biosfera, 13 reservas especiales de la biosfera, 2 parques nacionales marinos, 4 áreas de protección de flora y fauna; y 56 parques nacionales. Por otra parte, la SARH identifica para todo el país 218 áreas de protección de recursos naturales.

Cuadro 2.15. AREAS NATURALES PROTEGIDAS, SEGÚN SECRETARIAS GUBERNAMENTALES

AREAS NATURALES PROTEGIDAS	SUPERFICIE (Has)	NUMERO DE AREAS
Áreas Naturales Protegidas Bajo la Administración de SEDESOL:		
Reservas de la Biosfera	7,240,925	16
Reservas Especiales de la Biosfera	550,236	13
Monumentos Naturales	13,023	3
Parque Marino Nacional	386,006	2
Áreas de Protección de Flora y Fauna	908,554	4
Subtotal	9,098,744	38
Áreas Naturales Protegidas Bajo la Administración de la SARH:		
Parques Nacionales	664,958	56
Áreas de Protección de Recursos Naturales	60,547,674	218
o Reservas Forestales	72,932	6
o Reservas Forestales Nacionales	1,269,374	10
o Zonas Protectoras Forestales	7,771,794	58
o Zonas de Restauración y Propagación Forestal	13,404	5
o Zonas de Protección Relacionadas a Cuerpos de Agua	51,420,170	139
SUBTOTAL	61,212,632	274
TOTAL AREAS NATURALES PROTEGIDAS	70,311,376	312

Fuente: Dirección General Forestal.

Capítulo 3 : La Pendiente en el cálculo de Superficies.

3.1.- La importancia de la pendiente en el cálculo de Superficies.

Las Montañas y las tierras elevadas comprenden la quinta parte de la superficie terrestre y son directa o indirectamente importantes para más de la mitad de la población mundial. Constituyen el hogar de una décima parte de la población mundial, y les brinda recursos como: alimento, madera y minerales, son núcleos para la creación de agua, nutrientes y energía para poblaciones aun distantes a las mismas (montañas). proveen medios ambientes y paisajes para la recreación y la visita de turismo, además son base de refugio y centros de biodiversidad de muchísimas comunidades y especies, esto en su conjunto, constituye una parte espiritual de nuestro planeta'.

Los recursos naturales, tanto renovables como los no renovables que contienen los sistemas montañosos y las tierras planas son un capital importante para cualquier nación. Debido a ello, en muchos países se realizan inventarios exhaustivos para cartografiar y derivar mediciones de superficies y volúmenes que indiquen el estado de dichos recursos. Sobre las bases de estas mediciones, es que se toman decisiones y se establecen políticas de preservación y uso sostenible del recurso. Estas políticas repercuten a su vez a nivel local, regional, nacional e incluso global ya que la administración adecuada de los recursos con los que cuente un país, requiere del conocimiento preciso de su localización, cuantía y de la dinámica de sus cambios. El desconocimiento de esto puede traer sin duda alguna, efectos nocivos para toda una población, por lo tanto, el contar con inventarios de recursos veraces y más precisos, se convierte en una necesidad primaria de gran utilidad para cualquier nación.

Tradicionalmente para la creación de dichos inventarios, las mediciones son realizadas directamente sobre los mapas en donde se encuentra representado un cierto tipo de recurso (en este caso es el forestal), después, ya sea por métodos analógicos o digitales, se miden las superficies a partir de los polígonos que representan los recursos en cuestión, pero lo hacen considerando el terreno como un plano (2D), es decir, no se toma en cuenta la inclinación o pendiente y altimetría del terreno donde se localizan estos recursos, y las mediciones se hacen sobre el mapa, en planta, sin considerar la tercera dimensión.

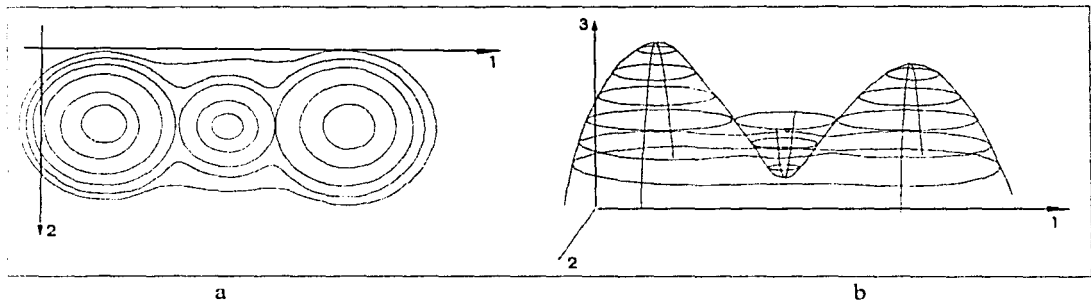


Figura 3.1.- Imagen que muestra un terreno visto desde 2 diferentes perspectivas, (a) vista desde un plano vertical, como pudiese ser una Fotografía Aérea ó una Imagen de Satélite. (b) Misma imagen vista en una tercera dimensión, como pudiese ser un Modelo Digital de Terreno, un Modelo Digital de Elevación, una Ortofoto ó la realidad misma.

¹ PRICE, M. F., 1994, "Mountain Environments and Geographical Information Systems" Taylor and Francis.

"Se sabe que una recta es la distancia más corta entre 2 puntos". Esto sucede en un plano ó en un mapa, no así en la superficie de la tierra, en donde la distancia no siempre será a la recta. Así entonces, la **pendiente**, será un factor determinante a considerar, para el cálculo de un espacio real de extensión, sea este casi plano, convexo, cóncavo o con cualquier otro tipo de discontinuidad, por lo tanto, se deberá de contar con un cálculo más preciso del área con la que se desee trabajar, no solo como contenedor de cierto tipo de comunidad forestal maderable, sino como base para cualquier otro tipo de estudio en donde se deba de tomar en cuenta la extensión total de cierto espacio de superficie, como base fundamental para la cuantificación de cualquier objeto que contenga dicho espacio. Así entonces, **la pendiente en el cálculo de superficies**, se convierte en un factor primario a considerar, ya que si no se toma en cuenta este factor, la superficie a calcular será menos cercana a la realidad y más corta en extensión, si la comparamos con una superficie calculada, en la cual se haya tomado en cuenta dicho factor, estas variaciones en las extensiones alterará en mucho el cálculo final sobre el resultado que se emita de la cantidad de cualquier recurso. Por ejemplo, en algunas estimaciones de fenómenos o de cantidades ambientales, tales como la biomasa, el índice foliar, el potencial de absorción de carbono atmosférico y otras, están basados sobre medidas de superficies, en este caso de vegetación.

Sin embargo el problema de determinar qué tan subestimados pueden ser los datos sobre la existencia de recursos forestales, en el contexto de terrenos inclinados, no es un problema sencillo. Se puede afirmar que a medida que se incrementa la inclinación del terreno, el error de estimación de superficies, cuando estas se han medido únicamente en planta, se incrementa. Además de lo anterior, existe otro factor importante, este es el comportamiento de las comunidades forestales, debido a las condiciones geográficas que existan en el área de estudio, dichas condiciones harán que los individuos presentes, tengan un comportamiento diferente en las diversas áreas de estudios en donde estos se encuentren presentes.

La gravedad del problema estriba en que esto se ignora y se toman decisiones y se establecen políticas sobre la base de datos incompletos o erróneos, creyendo que son confiables. Este trabajo pretende resolver esta problemática, al aplicar una investigación para el área de estudio determinada, para que a nivel local se pueda obtener resultados precisos en el cálculo de superficie (y por lo tanto de la cantidad del recurso que contenga dicha superficie). Una vez comparada la veracidad y precisión del modelo, se darán a conocer ciertos lineamientos para que dicho modelo sea aplicado, a un nivel nacional, para resolver el problema existente de la falta de precisión de los inventarios forestales.



Figura 3.2.- Representación de superficies de terreno, tomando en cuenta la tercera dimensión.

3.2.- Fundamento matemático para el cálculo de superficies en planos inclinados.

Para la realización de este subtema el “Fundamento matemático para el cálculo de superficies en planos inclinados” del capítulo III, se requerirá el uso de la Geometría y la Trigonometría, se verificarán algunos teoremas, los cuales ayudarán a entender como se pueden calcular superficies en planos inclinados, así como algunas generalidades de los triángulos y algunas otras figuras geométricas.

Geometría: La Geometría Elemental es la rama de las matemáticas que estudia las propiedades intrínsecas de las figuras, es decir, las que no se alteran con el movimiento de las mismas. Cuando estudia figuras contenidas en un plano (2 dimensiones) se llama “Geometría Plana”. Si estudia cuerpos geométricos (3 dimensiones) se llama Geometría del Espacio.

Superficies: Son los límites que separan a los cuerpos del espacio que los rodea. La superficie se refiere a la forma. Hay superficies rectangulares, cuadradas, circulares etc.

Área: Es la medida de una superficie. El área se refiere al tamaño.

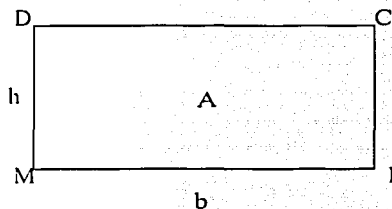
Para efectuar el cálculo de área de una superficie en un plano recto, se tomará como ejemplo un rectángulo. En la práctica, el cálculo del área de una figura se efectúa indirectamente, es decir, midiendo la longitud de algunos elementos de la figura y realizando ciertas operaciones con dichas medidas.

Cuadrilátero: Es el polígono de cuatro lados.

Cuadrado: Es un cuadrilátero que tiene los 4 ángulos iguales y los 4 lados continuos iguales.

Rectángulo: Es un cuadrilátero que tiene los 4 ángulos iguales y los lados contiguos desiguales.

Teorema del rectángulo: “El área de un rectángulo es igual al producto de su base por su altura”²



- Si A es el área del rectángulo MBCD, de base b y altura h.

$$- A = bh$$

$$- \text{Si, } b = 5 \text{ y } h = 3 \quad \therefore A = 5 * 3 = 15, A = 15 \text{ m}^2$$

Una vez entendido cómo se puede obtener el cálculo de la superficie del rectángulo, a continuación se conocerá como se pueden obtener los ángulos y los lados de un triángulo.

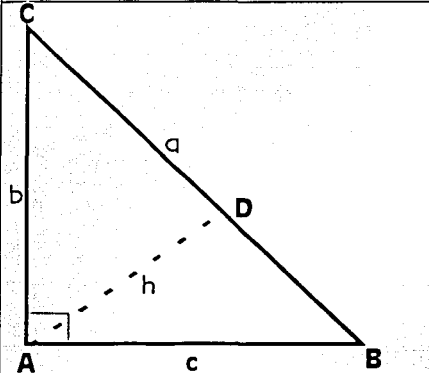
Triángulo: Es la porción de un plano limitado por 3 rectas que se cortan de dos en dos. Un triángulo tiene 3 tipos de elementos: 3 ángulos, 3 lados y 3 vértices. Se clasifican *Atendiendo a sus lados*; Triángulo Isósceles, Equilátero, Escaleno. *Atendiendo a sus ángulos*; Triángulo Acutángulos, Obtusángulo, Rectángulo. La suma de los ángulos internos de cualquier triángulo es de 180°.

² BALDOR, J. A., 1983, “Geometría Plana y del Espacio con introducción a la Trigonometría”, Publicaciones Cultural.

Conociendo lo anterior de los triángulos, se podrán obtener todos los elementos de los que consta, siempre y cuando se conozcan ciertos elementos del mismo, es decir, si se desea conocer ¿Cual es el valor de un lado ó de un ángulo de un triángulo?, Existen diversas maneras de obtenerlo, dependiendo de qué parámetros sean conocidos. De este manera se aplicaran dichos conocimientos en Álgebra y Trigonometría para obtener superficies en planos inclinados. Se iniciará recordando, como conocer el valor métrico de la hipotenusa de un triángulo rectángulo, cuando se conocen ciertos elementos del mismo.

3.2.1.- Teorema de Pitágoras.

Teorema de Pitágoras: En todo triángulo rectángulo el cuadrado de la longitud de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de las longitudes de los catetos.³

Cuadro 3.1. Teorema de Pitágoras	
	<p>ΔABC es rectángulo en $\angle A$</p> <p>BC = a, es la hipotenusa AB = Cateto AC = Cateto</p> <p>$\therefore a^2 = b^2 + c^2$</p> <p>$a = \sqrt{b^2 + c^2}$</p> <p>$b = 4$ y $c = 3 \therefore a = \sqrt{4^2 + 3^2}, a = \sqrt{16 + 9}$</p> <p>$a = \sqrt{25} \therefore a = 5$</p>

Por medio del Teorema de Pitágoras se puede conocer cualquier lado del triángulo rectángulo, siempre y cuando se tenga el valor de los otros 2 lados.

Pero qué sucedería si en un triángulo rectángulo se desea conocer el valor de la hipotenusa, pero solo se conoce un cateto y un ángulo agudo (menor de 90°). El Teorema de Pitágoras no podría ser empleado, por lo que se tendría que recurrir a las funciones trigonométricas de un ángulo agudo en un triángulo rectángulo. Considerando el triángulo rectángulo ΔABC (figura 3.3). Las llamadas funciones o razones trigonométricas de los ángulos agudos $\angle B$ y $\angle C$ son las siguientes:

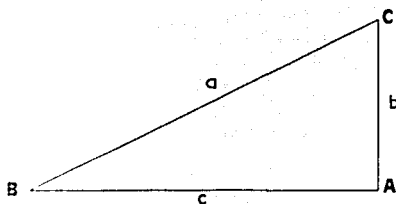


Figura 3.3.- Triángulo rectángulo ΔABC

³ BALDOR, J. A., 1983. "Geometría Plana y del Espacio con introducción a la Trigonometría". Publicaciones Cultural.

3.2.2.- Funciones Trigonómicas.

Cuadro 3.2. FUNCIONES TRIGONÓMICAS			
FUNCIÓN	RELACIÓN EXISTENTE	∠ B	∠ C
Seno:	Es la razón entre el cateto opuesto y la hipotenusa.	$\text{sen}B = b / a$	$\text{sen}C = c / a$
Coseno:	Es la razón entre el cateto adyacente y la hipotenusa.	$\text{cos}B = c / a$	$\text{cos}C = b / a$
Tangente:	Es la razón entre el cateto opuesto y el cateto adyacente.	$\text{tan}B = b / c$	$\text{tan}C = c / b$
Cotangente:	Es la razón entre el cateto adyacente y el cateto opuesto.	$\text{cot}B = c / b$	$\text{cot}C = b / c$
Secante:	Es la razón entre la hipotenusa y el cateto adyacente.	$\text{sec}B = a / c$	$\text{sec}C = a / b$
Cosecante:	Es la razón entre la hipotenusa y el cateto opuesto.	$\text{csc}B = a / b$	$\text{csc}C = a / c$

Estas funciones trigonométricas como se mencionó anteriormente, ayudarán a conocer el valor de un ángulo agudo del triángulo rectángulo, como se muestra en la figura 3.3, por ejemplo:

Sea el triángulo ΔABC de la figura 3.3, si se desea conocer el valor en grados de sus ángulos agudos, se sabe que:

DATOS	FORMULAS	RESULTADO
$a = 60 \text{ m.}$ $c = 28 \text{ m.}$ $A = 90^\circ$	$\text{sen}C = c / a$	$C = 27^\circ 49'$

$\text{sen}C = c / a \Rightarrow \text{sen}C = 28 / 60 \Rightarrow : \text{sen}C = 0.4666$, se le aplica la función seno, $\Rightarrow : 27.81813929$ y después se convierte al sistema Sexagesimal $\Rightarrow : 27^\circ 49' 5.3''$. Conocido el valor de $\angle C$, se podrá conocer el valor de $\angle B$, haciendo una resta, $90^\circ - 27^\circ 49' 5.3'' = 62^\circ 10' 54.7''$.

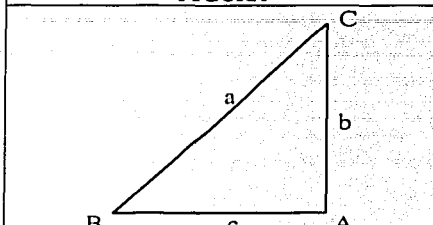
Hasta el momento, se conoce cómo obtener valores tanto de lados (Teorema de Pitágoras), como de ángulos (Funciones Trigonómicas), si bien un triángulo consta de 6 elementos: 3 ángulos y 3 lados, dicho triángulo está perfectamente determinado si se conocen tres de ellos siempre y cuando uno de los datos sea un lado. Resolver un triángulo consiste en calcular 3 elementos, cuando se conocen los otros tres. En el caso de los triángulos rectángulos, como tienen un ángulo recto, los 2 ángulos agudos están determinados, es decir, se pueden resolver cuando se conocen dos de sus elementos siempre y cuando uno sea un lado. Esto se logra determinar en los siguientes casos:⁴

1. Dados los dos catetos.
2. Dados un cateto y la hipotenusa.
3. Dados un cateto y un ángulo agudo.
4. Dados la hipotenusa y un ángulo agudo.

⁴ BALDOR, J. A., 1983, "Geometría Plana y del Espacio con introducción a la Trigonometría", Publicaciones Cultural.

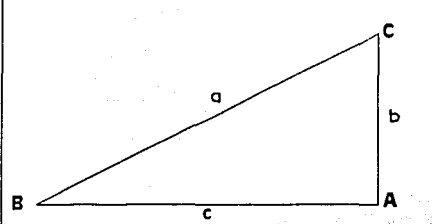
Para ejemplificar de mejor manera estas relaciones, a continuación se explicarán 2 ejemplos, en donde los elementos del triángulo dados como datos, serán aquellos que se puedan obtener en campo, en este sentido serán los casos núm. 1 y 3 respectivamente.

Para el primer ejemplo, se trabajará con el 1er caso, dados los dos catetos.

FIGURA	DATOS	FORMULAS	RESULTADO
	$b = 64 \text{ m.}$ $c = 50 \text{ m.}$ $A = 90^\circ$	$a = \sqrt{b^2 + c^2}$ $\tan B = b/c$ $C = 90^\circ - B$	$a = 81.21 \text{ m.}$ $B = 52^\circ 00' 04''$ $C = 37^\circ 59' 56''$

Cálculo de $a \Rightarrow a = \sqrt{b^2 + c^2} \Rightarrow a = \sqrt{64^2 + 50^2} \Rightarrow a = \sqrt{4096 + 2500} \Rightarrow a = \sqrt{6596} \Rightarrow a = 81.21$
 Cálculo de $B \Rightarrow \tan B = b/c \Rightarrow \tan B = 64 / 50 \Rightarrow \tan B = 1.28 \Rightarrow \text{shif } \tan B = 52.001 \Rightarrow B = 52^\circ 00' 4''$
 Cálculo de $C \Rightarrow C = 90^\circ - B \Rightarrow C = 90^\circ - 52^\circ 00' 4'' \Rightarrow C = 37^\circ 59' 56''$

Para el segundo ejemplo, se trabajará con el 3er. caso, dados un cateto y un ángulo agudo.

FIGURA	DATOS	FORMULAS	RESULTADO
	$c = 53 \text{ m.}$ $B = 27^\circ 49'$ $A = 90^\circ$	$a = c / \cos B$ $b = c / \tan C$ $C = 90^\circ - B$	$a = 60.00$ $b = 28.00$ $C = 62^\circ 11'$

Cálculo de $C \Rightarrow C = 90^\circ - B \Rightarrow C = 90^\circ - 27^\circ 49' 00'' \Rightarrow C = 62^\circ 11' 00''$
 Cálculo de $a \Rightarrow a = c / \cos B \Rightarrow a = 53 / \cos 27^\circ 49' \Rightarrow a = 53 / 0.884447 \Rightarrow a = 60.00$
 Cálculo de $b \Rightarrow b = c / \tan C \Rightarrow b = 53 / \tan 62^\circ 11' \Rightarrow b = 53 / 1.89533 \Rightarrow b = 28.00$

3.2.3.- Planos Inclinados.

Después de haber conocido como obtener los lados y ángulos de un triángulo, así como las áreas de un rectángulo, se podrá iniciar el proceso para calcular una superficie en un plano inclinado. No sin antes enfatizar que en un plano inclinado (hipotenusa), la distancia siempre será mayor que su proyectante en un plano recto (cateto). La figura 3.4 muestra los diferentes casos del comportamiento de puntos ó segmentos proyectados en un plano perpendicular a ellos. Nótese que la longitud de los segmentos inclinados, es mayor que el segmento proyectado correspondiente.

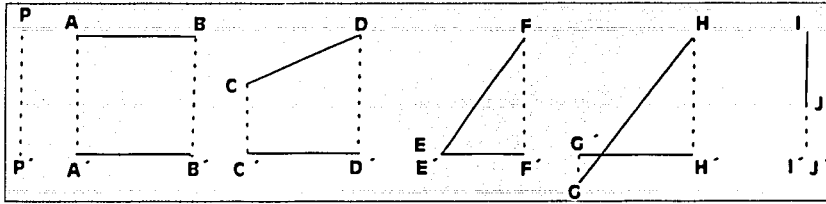


Figura 3.4.- Imagen que muestra diferentes casos de comportamiento de puntos o segmentos proyectados en un plano perpendicular a ellos, nótese que el plano inclinado siempre será mayor que su proyección en el plano recto.

Esto es lo que se pretende evidenciar cuando se dice que una distancia es mayor si se toma en cuenta su 3ra. Dimensión. En la figura 3.5, la distancia ABC, puede llegar a ser 33 % mayor que su proyección en el plano, la distancia AC. La distancia obtenida ABC, es más exacta en la realidad, que la distancia AC.

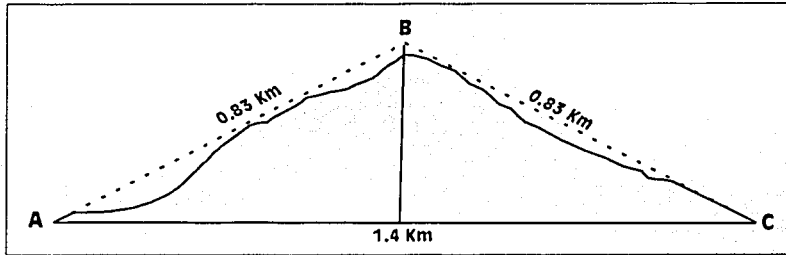


Figura 3.5.- Imagen que evidencia la diferencia de longitudes entre los segmentos ABC vs. el segmento AC, lo cual no se considera cuando solo se toma en cuenta la superficie de un plano en 2 dimensiones (segmento AC)

Pero la distancia ABC, en este mismo plano, puede llegar a ser aún más aproximada a la realidad, si se toman en cuenta más puntos para su medición figura 3.6, es decir:

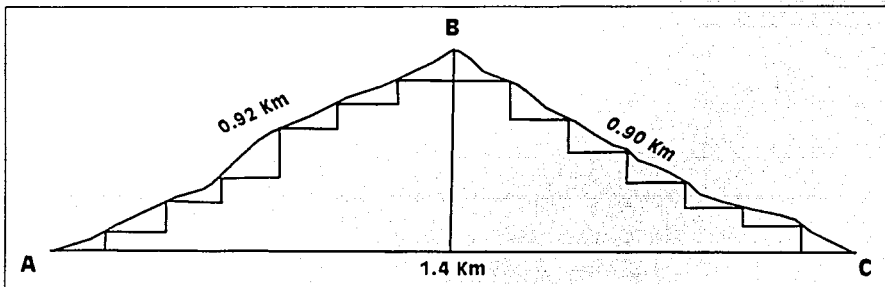
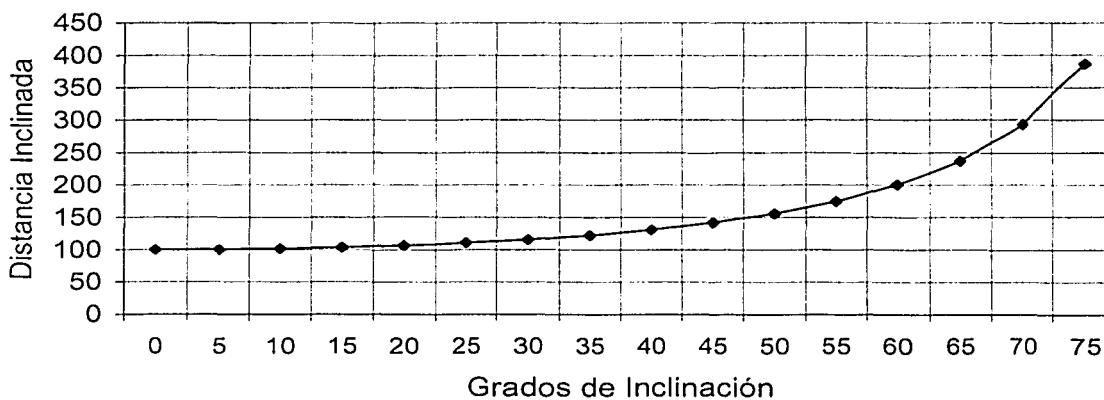


Figura 3.6.- Misma imagen de la figura 3.5, pero tomando en cuenta más puntos de medición para obtener el cálculo de una longitud más cercana a la realidad.

Cuadro 3.3. Aumento de distancia conforme al aumento en la inclinación de una línea para una distancia horizontal de 100 mts.

Grados de Inclinación de la línea	Distancia Inclinada (m)	Incremento en distancia con respecto a una distancia horizontal (m)	Porcentaje de Aumento
0	100.000	0.000	0.0
5	100.382	0.382	0.4
10	101.543	1.543	1.5
15	103.528	3.528	3.5
20	106.418	6.418	6.4
25	110.338	10.338	10.3
30	115.470	15.470	15.5
35	122.077	22.077	22.1
40	130.541	30.541	30.5
45	141.421	41.421	41.4
50	155.572	55.572	55.6
55	174.345	74.345	74.3
60	200.000	100.000	100.0
65	236.620	136.620	136.6
70	292.380	192.380	192.4
75	386.370	286.370	286.4
80	575.877	475.877	475.9
85	1147.371	1047.371	1047.4
90	1.6325E+18	1.6325E+18	∞

Incremento de la Distancia para una Distancia Inclinada Horizontal de 100 m.



Esta distancia puede ser tan aproximada a la realidad como puntos de medición se tomen en cuenta, pero hasta el momento estos ejemplos de obtención de distancias han sido para una recta en 2 dimensiones. Veamos en la figura 3.7 el proceso para la obtención del área de una superficie en 3 dimensiones. Después de poder obtener la longitud de la hipotenusa por cualquier método existente, esta distancia representará la distancia del plano inclinado (representada por la letra "a"), la cual será multiplicada por la longitud del lado no inclinado (representada por la letra "t"), para obtener el área del plano inclinado.

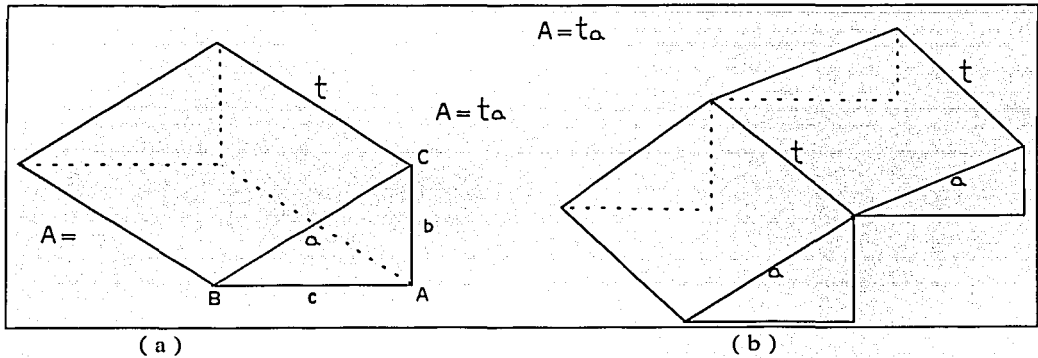


Figura 3.7.- La imagen (a) muestra como obtener el área de la superficie inclinada a partir de un rectángulo, la cual será la unidad básica para el cálculo total, esta será el resultado de multiplicar su base (letra "t"), por la longitud de su pendiente (letra "a"). En la imagen (b), se muestra el proceso de construcción del modelo en base a la unidad básica.

La suma de cada una de estas áreas de rectángulos inclinados (unidad básica), dará como resultado el cálculo de una superficie total más cercana a la realidad, como muestra la figura 3.8. La unidad básica será retomada mas adelante, pero en formato digital, que dentro de un modelo digital de terreno (MDT), será también conocida con el nombre de pixel o celda.

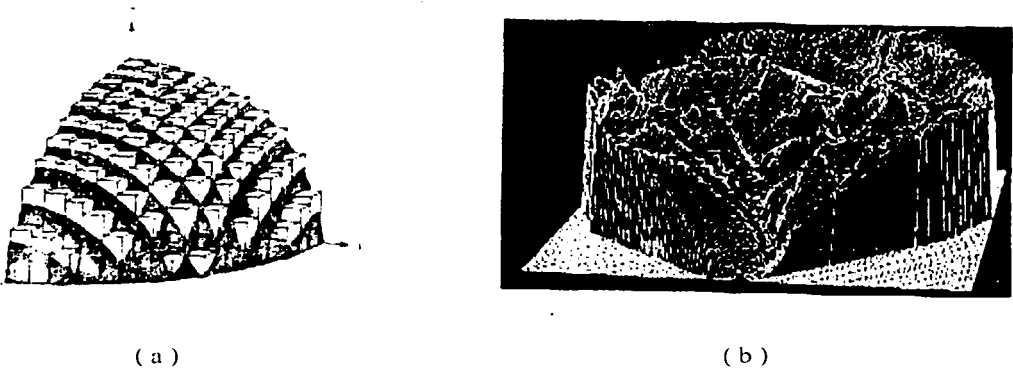


Figura 3.8.- Imagen (a) Modelo ideal, el cual pudiese dar un cálculo de área de una superficie total en un plano inclinado, el cual solo consiste en la suma de todas las áreas de sus rectángulos formados, también conocidas como áreas básicas o pixel. Imagen (b) Modelo Digital de Terreno, (MDT) el cual es utilizado en GIS, tema de nuestro siguiente capítulo.

3.3.- Cálculo de superficies a partir de un MDT y sus posibles errores.

3.3.1.- Modelos Digitales de Terreno "MDT".

Un Modelo Digital de Terreno (DTM, por sus siglas en inglés Digital Terrain Model) puede ser definido como: "una representación digital de una porción de la superficie terrestre"⁵ ó, si se requiere ser más específico, se puede decir también que "el modelado de superficie es un término general para describir el proceso de representación digital de una superficie física o artificial, a través de uno ó más modelos matemáticos. El modelado del terreno es una categoría particular del modelado de superficie, el cual se enfoca principalmente a los problemas de representación de la superficie terrestre"⁶. El termino Modelo Digital de Terreno fue utilizado por primera vez por Miller y Laflamme en 1958, quienes lo definieron como "la representación estadística de la superficie continua de la tierra por un gran número de puntos seleccionados con el conocimiento de sus valores x , y , z , coordinados en un plano cartesiano".

Los Modelos Digitales de Terreno, incluyen el valor z , representando la altura, para posteriormente ser interpolado por medio de sus valores x , y en el modelo. Son por lo tanto, herramientas muy importantes para obtener datos espaciales como: mapas de pendientes, de orientación de laderas, de ángulos, de incidencia de radiación, de sombreado, etc. Este tipo de datos son invaluable para el manejo de regiones montañosas, donde la variación en la altura, es tan importante como la variación en la horizontal.

Debido a que el subtema de este capítulo trata de la obtención de superficies a partir de un MDT y los posibles errores implicados, es de suma importancia conocer ¿Qué es un MDT?, ¿Cómo se genera? Y ¿Cuáles son posibles errores en su elaboración?, Por lo que a continuación se explica como se genera un MDT, para entrar en materia posteriormente.

Existen tres diferentes etapas para la construcción de un MDT:

1. Recolecta de Datos: Consta de la adquisición de datos del terreno en forma de puntos, con valores coordinados en x , y , z .
2. Estructura Topológica: Proceso por el cual, los puntos muestra capturados del terreno son integrados en un modelo para el terreno.
3. Interpolación del Modelo: Proceso por el cual se estiman elevaciones en regiones donde no existen datos.

3.3.1.1.- La Recolección de Datos

La colección de datos se puede llevar a cabo a partir de 4 fuentes: Medición en Campo, en Mapas, en Imágenes de Satélites, y fotografías aéreas. (Cuadro 3.3). Un quinto método se liga al uso de sistemas de posicionamiento global (GPS por sus siglas en ingles Global Positioning System), es actualmente utilizado para proveer datos de altura suplementarios (a los recolectados) para mejorar el modelo de representación de las líneas de ruptura. Estas líneas de ruptura son lineales, caracterizados por rasgos en cambios abruptos de altura, como pudiesen ser: acantilados, cordilleras y valles incisivos. La

⁵ MAGUIRE, D. J., GOODCHILD, M. y RHIND, D. W., 1991, "Geographical Information Systems: Principles and Applications" Longman Scientific and Technical, pp 269.

⁶ PRICE, M. y HEYWOOD, I., 1994, "Mountain Environments and Geographical Information Systems" Taylor and Francis, pp 25.

información sobre estas formas es vital si un MDT es utilizado para una representación más cercana a la realidad.

Medición en Campo,

Los MDT construidos a partir de la medición en campo proveen un modelo del terreno muy preciso, debido a que se puede trabajar con mayor precisión en las formas clave para la representación del terreno, como pudiesen ser las líneas de los acantilados, las cuales pueden ser medidas y grabadas a detalle. Sin embargo, aunque existen equipos digitales de medición modernos, este recurso es muy caro para grandes extensiones, por lo que solo se ocupa en pequeñas áreas de estudio. Además es algo impráctico en diversos ambientes montañosos de riesgo, pero los métodos de medición en campo tienen su lugar en los MDT particularmente con respecto a la captura en las líneas de ruptura para complementar la base de datos existente.

Mapas

La captura de datos a partir de mapas existentes requiere de la digitalización automática o manual de la información de altura (usualmente contornos y puntos de altura). Este método obviamente sufre de una mayor distorsión ya que los datos son derivados de una fuente secundaria. Otro problema, es la representación de las líneas de ruptura. Muchísima información se pierde con la creación de este producto, pero aunque este método puede tener mayores errores, su uso es ampliamente difundido.

Cuadro 3.4. MDT escala y precisión / Criterios para la selección de la fuente de datos

Fuente de Datos	Método de Captura	Precisión	Cobertura	Aplicación
Medición Aérea	Plotters estereoscópicos	Alta	Largas áreas de terreno montañoso	Gran escala para la construcción civil.
Imagen de Satélite	Autocorrelación estereoscópica	Moderada	Largas extensiones de terreno montañoso	Planeación estratégica militar
Mapas	1. Digitalización (manual ó automatizada). 2. Scaneo raster	Baja - Moderada	Todas las escalas pero solo donde exista cobertura. No conveniente para pequeñas áreas.	Aplicaciones con bajo presupuesto, de baja calidad
GPS	Directa en Campo. Con una estación digital de GPS	Alta	Pequeñas áreas protegidas. Limitada a terrenos moderados a pequeños	Poco utilizado. Para la captura de líneas de ruptura y pequeñas áreas protegidas
Medición en campo	Directa en Campo. Con una estación topográfica total.	Muy alta	Proyecto para areas muy pequeñas. No utilizado en terrenos con alta rugosidad.	Diseño para la construcción de sitios.

Fuente: PRICE y HEYWOOD, 1994, "Mountain Environments and Geographical Information Systems" Taylor and Francis.

Datos Fotogramétricos y de Percepción Remota.

La fotografía aérea y los datos de percepción remota son la principal fuente de emisión para los datos de altura en los MDT. Tradicionalmente los métodos estereoscópicos habian sido aplicados para la rectificación de fotografías aéreas para capturar información de altura. De manera sencilla diremos que este proceso (métodos estereoscópicos) involucra la captura de la información de altura por medio de la comparación de dos imágenes estereoscópicas tomadas en diferente localización. Una de las ventajas de este método es que las líneas de ruptura pueden ser identificadas y grabadas mas fácilmente. Además, la fotogrametría es una forma de percepción remota que permite la captura continua de imágenes sobre áreas montañosas distantes donde la medición en campo sería imposible. Recientemente la técnica de la estereoscopia ha sido ampliamente utilizada.

Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Los sistemas de Posicionamiento Global son un método de registro y transferencia automática de datos espaciales, pioneros en el uso de la navegación militar. Una constelación de satélites NAVSTAR permite el uso de un GPS para calcular la posición del mismo en la superficie terrestre con la precisión de un metro. La altitud también puede ser obtenida. Todos los puntos de control grabados en un GPS pueden ser transferidos a una computadora. Un pre-requisito para el uso de GPS es un día claro, con ausencia de nubosidad y lugares abiertos que faciliten la recepción de señales satelitales. Este tipo de sistema puede enfatizar las áreas de mayor interés para la creación de modelos digitales tales como localización geográfica y valores de altitud.

3.3.1.2.- Estructura Topológica y Construcción del Modelo.

Existen dos principales planteamientos para estructurar los datos de medición en MDT, figura 3.9:

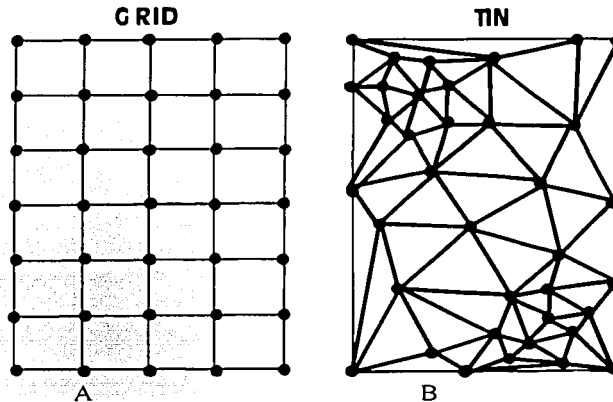


Figura 3.9.- Comparación de una malla regular, GRID (A) y una red de triangulación irregular, TIN (B) para la construcción de un MDT. A = Datos de muestreo en una malla regular. B = Estructura de datos irregulares y su triangulación.

En el método de malla (GRID), los datos de altura están arreglados dentro de una malla rectangular. En el método de red de triangulación irregular (TIN), los puntos de datos están distribuidos de una manera espacialmente aleatoria y son utilizados para la construcción de una red de trabajo de tamaño, forma y orientación irregular. Recientemente se han creado métodos experimentales para la construcción de MDT basados en principios matemáticos de Geometría Fractal, estos métodos no los describiremos a detalle debido a su carácter experimental.

Modelos de Malla

El modelo de malla o red ortogonal es el planteamiento original para la construcción de un MDT, este método utiliza datos que han sido muestreados o estructurados usando una malla regular. La malla es usualmente cuadrada o rectangular, por lo que su construcción es relativamente simple y hace menos demandante el uso de procesos computacionales que los que se utilizan para los basados en el método TIN.

Una gran ventaja de los MDT basados en el método de malla, es que acepta datos directamente de matrices digitales de altitud. Esta técnica es la usual para la captura de datos de elevación en percepción remota y fotogrametría digital. Sin embargo, si una base de datos irregular es utilizada, será primero remuestreada utilizando el método de malla, por lo tanto, la calidad de los datos originales se distorsiona. Aunque con una base de datos estructurada con una malla regular la densidad de los datos de muestreo en la malla debe ser suficientemente alta para representar con precisión las formas topográficas más complejas que se presenten en el área a modelar. Muchos experimentos se han hecho para mejorar el modelo de malla simple introduciendo una técnica de muestreo progresivo para decrecer e incrementar la resolución del muestreo dependiendo de la complejidad del terreno. Sin embargo, aunque este proceso no remedia la inexactitud que el muestreo de malla podría experimentar, capturando información vital describiendo los cambios abruptos del relieve.

A pesar de estas distorsiones, los MDT basados en el método de malla son ampliamente utilizados por 2 grandes razones: primero, requieren de rutinas matemáticas menos complejas y menor número de algoritmos para su procesamiento, y son por lo tanto, menos intensos en su procesamiento que los modelos de red de triangulación irregular. Segundo: y tal vez más importante, una columna de datos puede ser capturada mas económica y rápidamente, así como su muestreo usando este método.

Modelo de Red de Triangulación Irregular (TIN).

Los modelos de red de triangulación irregular (TIN) fueron desarrollados por Peucker en 1978 y esta basado en una red de trabajo de superficies triangulares de tamaño, forma y orientación irregular. Este modelo trabaja localizando valores de altura (z) de una manera aleatoria (al azar). En un método TIN la variación de sus algoritmos provocará la producción de un conjunto de triángulos los cuales tratarán de ser equiláteros y de tamaño tan pequeños como sea posible. Los vértices de los triángulos serán formados por cada punto de altura, la altura de cualquier punto dentro de un triángulo esta determinada por interpolación. Una característica importante de este método es que los regímenes de muestreo irregular pueden ser adaptados, por lo tanto, no solo la densidad de puntos de datos puede ser variada de manera irregular, de acuerdo a la variación del relieve, sino que las líneas de ruptura pueden ser incorporadas dentro del régimen de muestreo. Así como en un modelo TIN se puede incorporar información como líneas de ruptura, también puede ser posible incorporar información de valores únicos, como de cimas de montañas ó como depresiones en el relieve.

Un modelo de red de triangulación irregular TIN presenta tres ventajas sobre el modelo de malla, estas son:

1. Aceptación de formas de líneas de ruptura.
2. Variación aleatoria, tanto en su número como en su localización, de puntos de datos para la construcción del modelo.
3. Reducción en el volumen de datos requeridos.

Naturalmente, este modelo también presenta distorsión, pero su máximo significativo se presenta en el procesamiento computacional, y esto es debido a la complejidad de las operaciones matemáticas requeridas para la construcción de dicho modelo.

3.3.1.3.- Interpolación.

En un MDT, la interpolación sirve para proponer valores de elevación, a partir de la estimación en regiones donde no existen datos. La interpolación es principalmente ocupada para:

- Cálculo de elevaciones (z) a partir de la localización de un punto único.
- Cálculo de elevaciones (z) a partir de una malla rectangular de puntos de muestreo original.
- Cálculo de localizaciones (x,y) a partir de puntos a lo largo de contornos (interpolación de contornos).
- Densificación y engrosamiento de mallas rectangulares (también llamada re-muestreo).

La forma más común para clasificar los modelos de interpolación, es la basada en los rangos de influencia de los puntos de datos involucrados. Dicha clasificación esta compuesta de dos categorías: Global o Local. El método global, consiste en que todos los puntos de muestra son tomados en cuenta para la interpolación, aun en áreas donde su valor es desconocido y se distingue del método local en donde solo los datos más cercanos son considerados, es decir se asume un efecto de auto correlación⁷. En general los métodos locales han sido utilizados mas frecuentemente para interpolar los MDT en ambientes contrastantes, la mayoría de estas técnicas están basadas en procesos de triangulación similares a los que se ocupan para la construcción de TIN en los MDT. La estrategia más común para los MDT es el uso de una estructura topológica de malla, usando una interpolación de tipo TIN local (Heller, 1991). Los métodos de interpolación local incluyen contornos, promedio de movimiento espacial, y técnicas de mayor estadística.

A continuación mencionaremos algunas características y peculiaridades de la interpolación en MDT a partir de su muestreo topográfico:

- ➔ No existe un procedimiento de interpolación superior que otro, ó uno mas apropiado para todas las aplicaciones. Cada uno de estos procedimientos tiene su compromiso, por ejemplo, las técnicas globales pueden ser mas apropiadas para el desarrollo y entendimiento de los efectos del terreno en patrones climáticos de una región, los métodos locales pudieran ser mucho más útiles en la generación de información de elevación, pendiente y orientación para el desarrollo de un modelo de agricultura o de estabilidad de pendientes.
- ➔ La calidad en el resultado de un MDT esta determinada por la distribución y precisión de los puntos de datos originales (por ejemplo, el proceso de muestreo), y la adecuación precisa del modelo de interpolación a ocupar (hipótesis del comportamiento del terreno). Es decir, según las condiciones que presente nuestra superficie a digitalizar, será el método de interpolación mas adecuado a utilizar.
- ➔ El criterio más importante para la selección de un método de interpolación para un MDT son los grados para cual (1) las formas estructurales pueden ser llevadas dentro de un contador y (2) la función de interpolación puede ser adaptada a la variación de las características del terreno.
- ➔ Los algoritmos de interpolación más idóneos deben adaptarse a las características de los elementos de los datos (tipo, precisión, importancia, etc.) también como en los de contexto (por ejemplo, la distribución de los elementos de los datos). Existen soluciones satisfactorias para la

⁷ Longley et al.

interpolación de densas muestras topográficas, relativamente bien seleccionadas (por ejemplo datos Fotogramétricos). Hay sin embargo, gran número de casos que continúan siendo problemas para los procedimientos actuales.

→ Otros criterios que pueden influir en la selección de un método particular, son los grados de precisión deseados y los esfuerzos computacionales que se pueden realizar.

Cuadro 3.5. Uso de los Modelos Digitales de Terreno

APLICACIÓN		EJEMPLO
AMBIENTES MONTAÑOSOS	Geomorfología	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cambios en la forma de la superficie y volumen de glaciares ▪ Índice de pendientes cóncavas y convexas ▪ Mapeo de epicentros de terremotos
	Visualización	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Combinación de MDT's con imágenes de satélite u ortofotos para la producción de modelos en 3D. ▪ Mapas de Relieve Sombreado ▪ Visualización de impacto de proyectos.
	Conservación de Recursos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mapeo de recursos potenciales ▪ Mejoramiento de la planeación
	Localización de Riesgos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoreo de los efectos de incendios forestales ▪ Control de avalanchas ▪ Deslizamientos o movimiento de masas.
	Modelado Ecológico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Asentamiento de especies ▪ Fertilidad del suelo ▪ Migración de líneas arbustivas ▪ Mapeo de vegetación
	Corrección de Datos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrección geométrica de imágenes de percepción remota
	Modelado Climático	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Definición de microclimas ▪ Modelado de ambientes alpinos ▪ Mejoramiento en la clasificación de la cobertura de la tierra
	Modelado Hidrológico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Patrones de descarga regional ▪ Identificación de redes de drenaje
OTROS	Medición y Fotogrametría	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Producción de MDT de alta fidelidad para la producción de cartografía de alta calidad
	Ingeniería Civil	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseño de caminos e infraestructura.
	Mantenimiento de Recursos y Planeación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impactos ambientales ▪ Localización de sitios industriales ▪ Dispersión de contaminantes
	Ciencias de la Tierra	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geología ▪ Geomorfología ▪ Glaciología.
	Militar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de rutas. ▪ Seguridad nacional ▪ Guía de misiles ▪ Planificación de telecomunicaciones ▪ Animación, como vuelos

Fuente:

- PRICE y HEYWOOD, 1994, "Mountain Environments and Geographical Information Systems" Taylor and Francis.
- MAGUIRE D., GOODCHILD M., y RHIND D., 1991, "Geographical Information Systems: Principles and Applications" Longman Scientific and Technical.

3.3.2.- Cálculo de superficies en planos inclinados de manera digital.

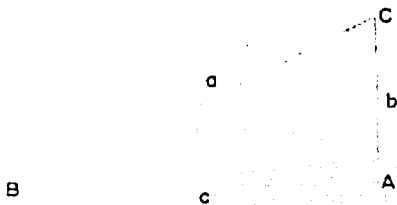
Para la realización de este subtema, se requirió de diversos tipos de recursos como fueron:

- Software: Arc View version 3.2.
- PC. Procesador Intel Pentium IV 1.5 GHZ, 256 MB RAM, Disco Duro 20GB.
- MDE de una misma zona, en tres diferentes escalas, 1: 250 000, 1: 50 000, 1: 5 000.
- Polígonos de cobertura vegetal y de uso del suelo del Inventario Nacional Forestal 2000.
- Imagen de Satélite.

Antes de proceder al cálculo para la obtención de superficies de manera digital, es necesario recordar lo mencionado en el subtema III.2. de este capítulo. “Fundamento matemático para el cálculo de superficies en planos inclinados” (Pág. 42). Posteriormente hay también que recordar que una imagen digital en formato raster, esta compuesta de píxeles, entendamos por pixel “La unidad mínima de representación de un formato raster”, (también conocidas con el nombre de celdas) estos píxeles en su conjunto, se alinean de cierta forma que crean una malla rectangular (con cierto número de filas y columnas), cada celda de dicha malla es representada por un píxel, el cual será utilizado como nuestra unidad básica, las figuras 3.7 y 3.8, (Pág. 48) nos recuerdan como es utilizada nuestra unidad básica.

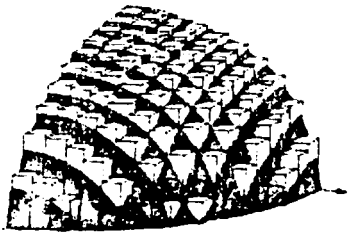
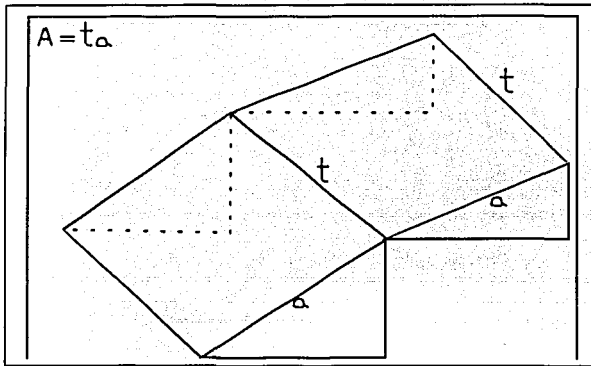
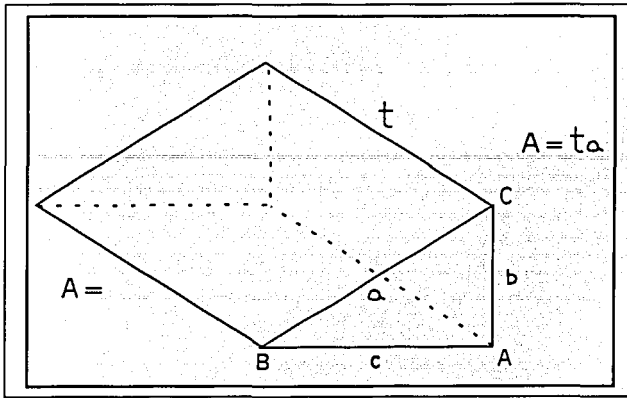
Recordado lo anterior, utilizando Arc View, los pasos a seguir para el cálculo de superficies de manera digital en superficies irregulares, son los siguientes:

1. Lo primero a realizar es la apertura de un proyecto en donde crearemos una nueva vista, la cual nos servirá para desplegar nuestros MDE's, en sus tres diferentes escalas *View / Add theme*.
2. Se hará un grid para cada modelo de elevación, *Theme / Convert to Grid*. (A cada grid, se le puede sobreponer un mapa de sombreado para una mejor visualización del territorio *Surface / Compute Hillshade*.)
3. Delimitemos con un polígono sobrepuesto, el área de interés a ser calculada *View / New theme*. Ayudémonos con la imagen de satélite para una mejor visualización del área de interés.
4. La zona de estudio será recortada para un manejo sencillo y práctico, dicha zona no deberá presentar valores nulos ni negativos para cualquier grid. *Analysis / Map Query* , *Analysis / Reclassify* , *Analysis / Map Calculator*.
5. Obtenida el área específica a calcular, se procede a hacer la derivación de su mapa de pendientes para la zona de estudio en cada uno de los grid's *Surface / Derive Slope*.



6. A partir de nuestro mapa de pendientes, se obtendrá un mapa de cosenos (el ángulo tomado en cuenta será el $\angle B^*$). Dicho mapa de cosenos, será el divisor del lado “c” $[(“c”/\cos) = a]$, el cual será una constante, debido a que “c” es la medida de longitud de un lado del píxel. *Analysis / Map Calculator*. (Valor del lado “c” as Grid / Mapa de pendientes expresado en radianes.Cos)
Como resultado se obtendrá un mapa que nos dará la hipotenusa, es decir la longitud del lado “ a”, Mapa de Hipotenusa.

* la medida del $\angle B$ tendrá que ser expresada en radianes para el caso de Arc View debido a la configuración de este software. *Analysis / Map Calculator* (Mapa de pendientes) *valor de un Radian as Grid = Mapa de Pendientes expresado en Radianes.



7. El mapa de hipotenusa ò mapa de longitud del lado "a" será multiplicado por "t", (el cual resulta ser una constante, por ser la longitud del otro lado del píxel), Analysis / Map Calculator. (Valor del lado "t" as Grid * Mapa de hipotenusa)

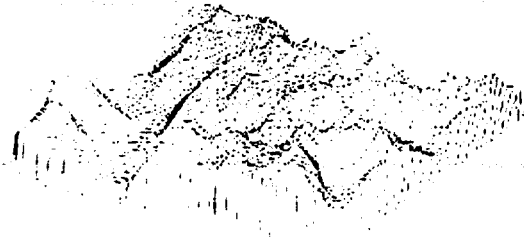
Una vez obtenida el área de una celda, para la obtención del Mapa de área final es necesario hacer la suma de cada uno de los miles de píxeles existentes en la imagen digital.

Nota: Al obtener el área total de un píxel, el Mapa de área Final, variara en extensión según las escalas a emplearse.

8. La suma de cada uno de los miles de píxeles existentes en la imagen digital, dará como resultado el calculo final de cada una de las superficies en cuestión, Xtools / Calculate Areas, Perimeters, Acres, Hectares (para nuestros polígonos de cobertura vegetal). Cada una, será comparada con la extensión original, (la cual resulta del área de los polígonos de cobertura vegetal del Inventario Nacional Forestal 2000), Analysis / Summarize Zones (polígonos de cobertura vegetal y mapa de área final).

9. Las comparaciones hechas, evidencian que una extensión de superficie es mayor en todos los sentidos a la original, lo cual repercute en los resultados obtenidos en dicho inventario, ya que nuestra obtención de superficies resulta más cercana a la realidad, que si solo se midiese su superficie en planta (2D) y no se tomara en cuenta la pendiente (3D).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Los nuevos cálculos de superficies obtenidos, serán comparados entre ellos, y se determinará la variación en las extensiones de superficies de dichos polígonos, en sus tres diferentes escalas, lo cual será útil para estudios posteriores, o aquellos que tengan relación al tema. Para la utilización de MDT en sus diversas escalas, conociendo las características de cada uno, y las ventajas o desventajas de su aplicación. Por lo tanto, las superficies obtenidas en los tres diferentes modelos digitales son mostradas en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.6. Comparación de los Modelos Digitales de Terreno

Escala del MDT	1: 250 000 (m ²)	1: 50 000 (m ²)	1: 5,000 (m ²)
Tamaño de Celda	90	50	5
Superficie Original, a partir de Polígonos del I.N.F. 2000	112,546,928.88	112,546,928.88	112,546,928.88
Superficie Total Calculada en Planta	113,262,300.00	112,860,000.00	112,568,072.00
Aumento de área para el calculo en planta	715,371.12	313,071.12	21,143.12
Porcentaje de Error (%) para el calculo en planta	0.63	0.27	0.018
Superficie total calculada tomando en cuenta la pendiente.	116,802,706.12	118,871,478.12	120,709,471.12
Aumento de superficie por pendiente	4,255,777.24	6,324,549.24	8,162,542.24
Porcentaje de Aumento de superficie por considerar la pendiente (%)	3.78	5.61	7.25

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3.3.- Posibles errores en el cálculo de superficies a partir de un MDT.

Después de conocer como se elabora un MDT, así como el cálculo de superficies a partir del mismo, se pueden mencionar los errores existentes cuando se realiza dicho proceso (cálculo de superficies), la presencia o ausencia de errores, dependerá de la precisión que se desee obtener en cualquier tipo de investigación, por lo tanto, el utilizar tres escalas diferentes para el área de estudio, MDE 1: 250 000, MDE 1:50 000 y MDE 1: 5000, permitirá evidenciar qué tan preciso puede ser un MDT para el cálculo de superficies, dependiendo de la escala que se desee utilizar y la precisión que se desee obtener.

La premisa a todo este cuestionamiento, es el proceso de interpolación. Recordemos al subtema III.3.1.3. de interpolación (Pág. 53), donde se dice que: "Interpolación es el proceso que sirve para proponer valores de elevación, a partir de su estimación en regiones donde no existen datos". Se sabe que este proceso nunca será completamente exacto si se toma en cuenta que es un proceso de estimación y no de precisión, además, si se combina con errores de datos de captura, así como el uso de una estructura topológica inadecuada, esto en lo individual o en su conjunto presentará errores cuando se aplique el proceso de interpolación. Claro está, que la variación de error será diferente dependiendo de la escala que se esté utilizando así como el tipo de investigación al que se desee aplicar dicho proceso.

Recordemos también que "Ningún procedimiento de interpolación es claramente superior a los otros ó más apropiado para todas las aplicaciones" cada método tiene sus propios alcances. Por ejemplo, las técnicas globales, pueden ser más apropiadas para un mejor entendimiento de los efectos en el terreno de los patrones climáticos en general de una región, en cambio los métodos locales, pueden ser más apropiados para la generación de información de altura, pendiente y orientación para incluirlos en un modelo de desarrollo de agricultura ó estabilidad de pendientes.

Por lo anterior, se puede suponer que la representación del terreno a partir de un MDT resulta una tarea delicada que debe ser desarrollada en forma precisa y que la existencia de errores siempre estará presente. Por lo que, debido a la existencia de diversos factores que pueden alterar la representación de un modelo, además de que el estudio se enfocará al cálculo de pendientes y superficies, esta investigación solo tomará en cuenta al proceso de interpolación como errores existentes en el cálculo de superficies a partir de los MDT.

Ahora bien, ¿Cómo se hace el cálculo de elevaciones en donde no existen datos?, Para ejemplificar lo anterior, se tomará para tal efecto en cuenta a la figura 3.10, en donde los contornos de elevación estarán dados a intervalos de 50 metros de altura y la distancia entre los puntos de la malla estarán dados a 50 metros también.

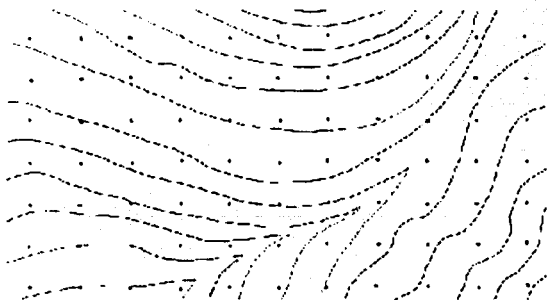
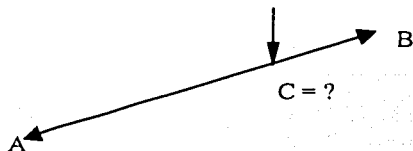


Figura 3.10.- El cálculo de la superficie del terreno, se obtiene a partir de interpolar el valor de los contornos de elevación, así como de los puntos de control obtenidos en el campo. No hay que olvidar que un MDT, se construye a partir de una GRID (como el ejemplo) ó de un TIN.

Nótese en qué consiste el proceso de estimación de altura, si sólo se tuvieran 2 puntos en una línea recta AB, la cual mide 400 metros de distancia, si el punto A tuviese 2850 msnm y el punto B tuviese 3240 msnm, ¿Cuál sería la altura en msnm del punto C? (ver figura 3.11), esta estimación (porque es estimación, ya que hay que recordar que el terreno no tiene un comportamiento lineal y continuo) se obtendrá de dividir la distancia AB (400 m.) entre la diferencia de elevaciones, que es de 390 metros, esto es hipotético ya que la elevación en el terreno es homogénea y continua (cosa que tampoco es cierta en la realidad del problema) y se concluye que a cada metro de distancia corresponde una elevación de 0.975 metros y como la distancia del punto C está a 245 metros del punto A, el punto C tiene una elevación de 3088.875 msnm



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 3.11.- Modelo hipotético de una pendiente del terreno, la cual además de ser lineal, su elevación es homogénea. En donde a partir de los puntos A y B se obtendrá el punto C.

Pero esto no resulta tan sencillo cuando en lugar de tener dos puntos, tenemos miles de ellos. Si se hace un acercamiento a una parte de la figura 3.10 y además se hace una separación tanto de la malla como de las curvas de nivel, se podrá notar como es el proceso de estimación de alturas en lugares donde no existen datos: Si se conocen los valores de 2 o más puntos en una recta y se desea conocer en que puntos se encuentran, al proceso de estimación se le conocerá como interpolación y se ilustra de la siguiente manera figura 3.12.

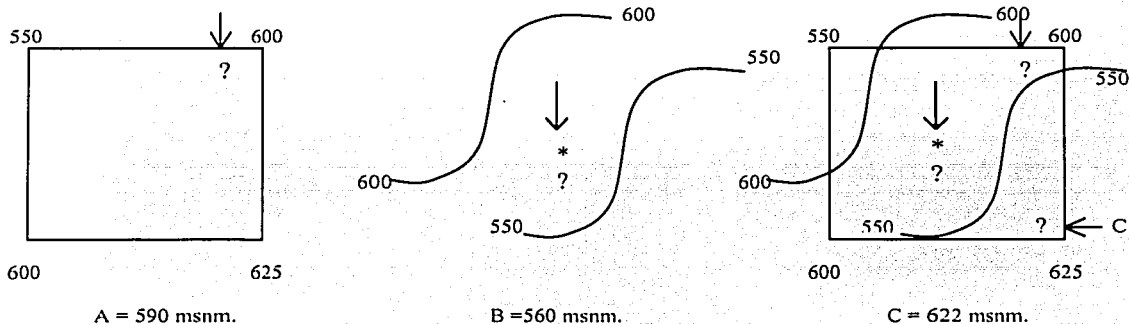


Figura 3.12.- Acercamiento de la figura 3.10, pero donde se ilustra como es el proceso de interpolación lineal.

Este proceso de interpolación como se mencionó anteriormente, puede variar según la escala y el tipo de investigación donde se pretenda utilizar el modelo, es decir, entre más grande sea la distancia de los puntos en nuestra malla rectangular o entre más amplia sea la distancia entre las curvas de nivel que se pretenda utilizar, la incidencia del error tiende a ser más grande, es decir existirá una relación directamente proporcional entre la escala y la precisión. Es claro concluir que entre más chico sea el tamaño y más grande sea el número de píxeles que se tenga en una imagen, más grande será el nivel de detalle con respecto a la realidad de la superficie (figura 3.13).

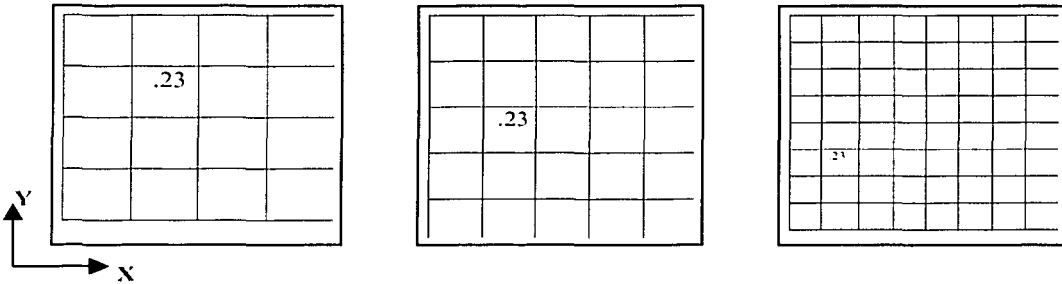


Figura 3.13.- Nótese la existencia de la relación entre el número y tamaño de píxeles de una imagen y la precisión en el detalle de la misma.

Comprendido lo anterior, se podrá entender de manera más sencilla el comportamiento de los MDT's en sus diferentes escalas. ¿Cómo se vería cierta área de estudio en un MDE a escala 1:250 000?. En donde el número de columnas es de: 233 y el de filas es de: 256 y el tamaño del píxel es de: 90 metros por lado. La figura 3.14 lo muestra:

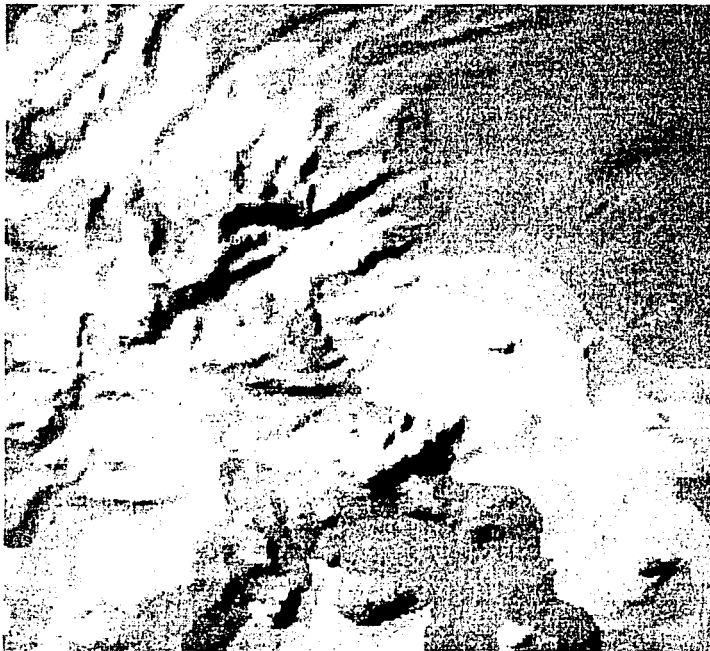
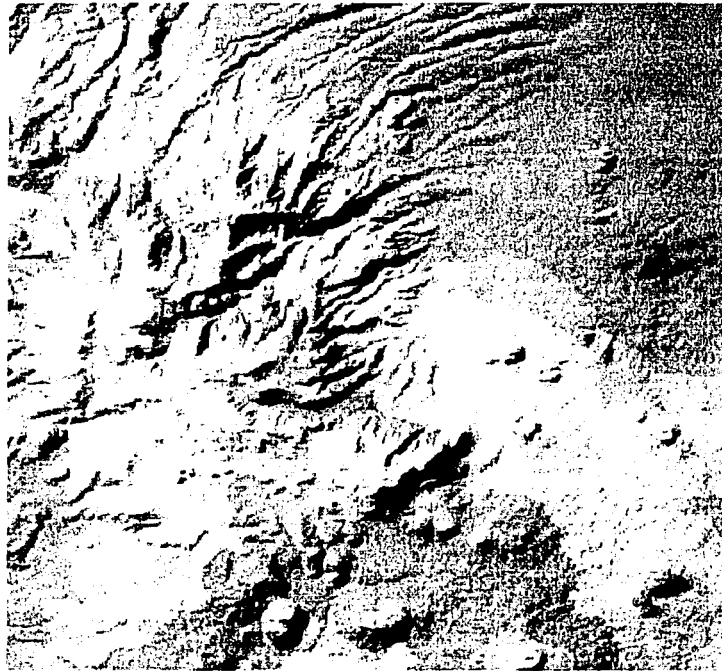


Figura 3.14.- MDE escala 1: 250 000 del área de estudio vista en color con sobreposición de un modelo sombreado del terreno.

Este modelo de elevación, debido al tamaño de su píxel, abarca una amplia extensión de terreno con menor uso de memoria y espacio de almacenamiento, aunque su nivel de detalle no llega a ser tan adecuado para obtener el análisis que se desea, por lo tanto, si a este modelo digital de elevación se le compara con un MDE a escala 1:50 000 (figura 3.15), se podrá notar que las formas de sus contornos no son tan definidas como lo son en el MDE 1:50 000, y esto se debe al simple hecho de la resolución ó escala a la que estos fueron tomados, es decir, el tamaño del píxel es más grande y por lo mismo brinda menor definición cuando un MDE a escala 1:250 000 es comparado con otro MDE que cuente con un píxel más pequeño. Pero este MDE a escala 1:250 000 de cualquier modo es útil, puede ser el inicio de un análisis general de cualquier estudio que se desee realizar y conforme se desee un incremento en el nivel detalle, una escala mayor se ira requiriendo. A continuación, se presenta el MDE a escala 1:50 000 (figura 3.15), en donde el número de columnas es de: 420 y el de filas es de: 460 y el tamaño del píxel es de: 50 metros por lado.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 3.15.- MDE escala 1: 50 000 del área de estudio vista en color con sobré posición de un modelo sombreado del terreno.

Este modelo de elevación, es de gran utilidad, debido a que combina gran precisión con respecto al tamaño del píxel que ocupa y con respecto al uso de memoria y al espacio para su almacenamiento. Por lo tanto, las formas y contornos en el terreno son evidenciados más claramente, lo que propone un modelo de elevación en el cual el nivel de detalle y precisión sean de alta confiabilidad. Pero un modelo digital de elevación puede llegar a ser aun más preciso si se utiliza una escala más grande, esta podría ser la escala 1: 5 000. (figura 3.16), la cual debido a su nivel de detalle, en donde el

número de columnas es de: 4197 y el de filas es de: 4602 y el tamaño del píxel es de: 5 metros por lado. El tamaño para su almacenamiento y despliegue requiere de mas recursos, pero su nivel de detalle es mucho más grande. En conclusión un MDE escala 1: 5 000 puede ser utilizado para notar un mejor nivel de detalle (que todos los anteriores), y para el cálculo de pendientes y superficies resulta ser más apropiado para identificar las líneas de ruptura, así como las líneas de pendiente, esto puede ser observado con mayor facilidad y detalle debido al tamaño de su píxel (5 metros). La figura 3.16 nos muestra este ejemplo.

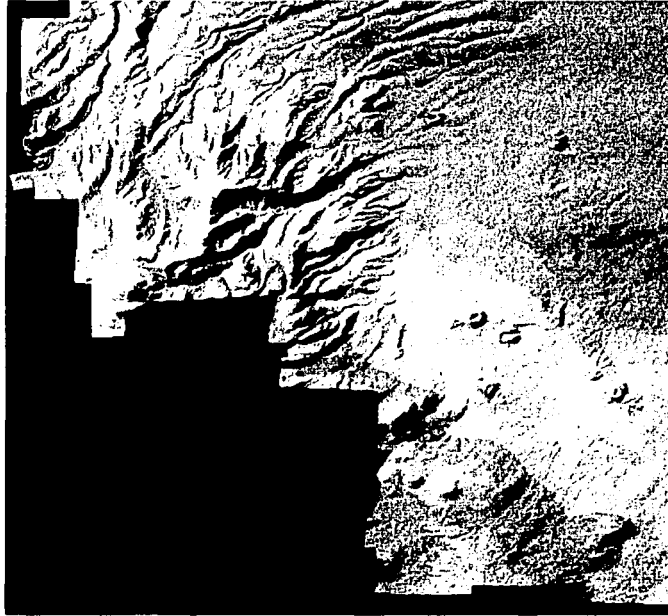


Figura 3.16.- MDE escala 1: 5 000 del área de estudio vista en color con sobre posición de un modelo sombreado del terreno.

Una vez vista el área de estudio en las tres diferentes escalas, se puede concluir que debido a que esta es relativamente pequeña, además de que deseamos conocer pendientes y superficies con precisión, el utilizar MDT a grandes escalas (1: 5 000) es una buena opción, es decir, reducirá en un mínimo la existencia de errores, tanto para la visualización del área en cuestión, así como para la realización de los cálculos requeridos. Por lo tanto, un mapa de pendiente derivado a partir de este MDE puede ser más preciso que los que pudiesen ser derivados de los 2 modelos anteriormente mencionados, MDE escala 1:250 000 y MDE escala 1: 50 000 respectivamente.

Veamos cómo es el comportamiento de un mapa de pendientes, derivado del MDE en sus tres diferentes escalas. Para un mapa de pendientes derivado de un MDE a escala 1: 250,000 sería algo como la Figura 3.17.

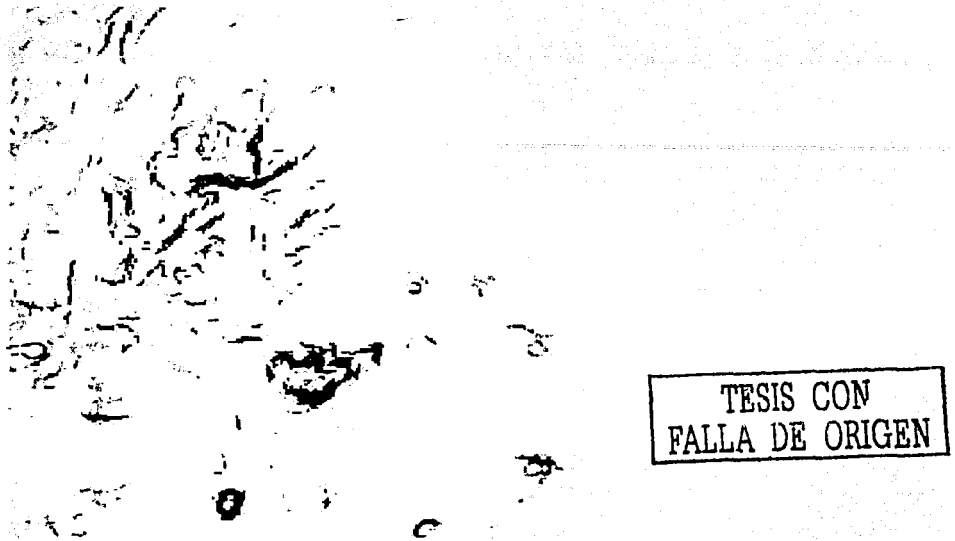


Figura 3.17.- MDP (modelo digital de pendiente) del área de estudio. derivado del MDE escala 1:250,000.

Para un mapa de pendientes derivado de un MDE a escala 1: 50,000 sería algo como la Figura 3.18.

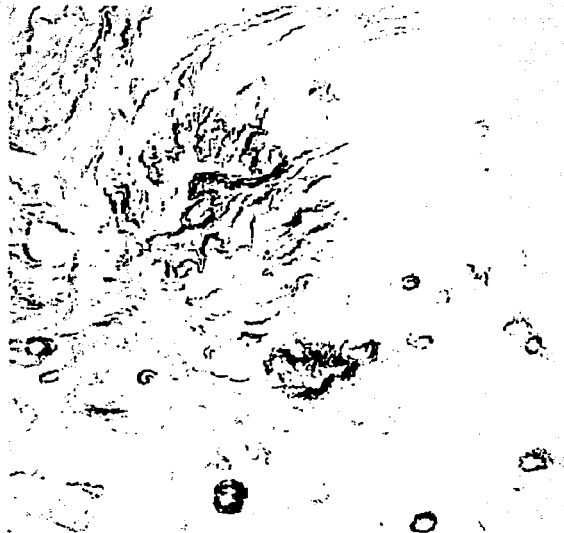


Figura 3.18.- MDP (modelo digital de pendiente) del área de estudio. derivado del MDE escala 1:50 000.

Para un mapa de pendientes derivado de un MDE a escala 1: 5000 sería algo como la Figura 3.19.

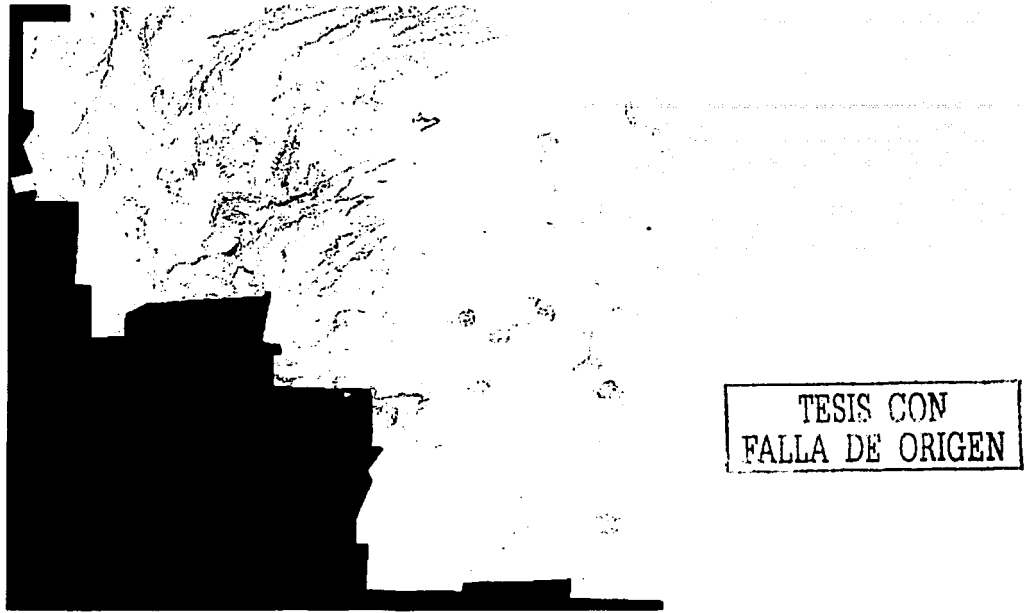


Figura 3.19.- MDP (modelo digital de pendiente) del área de estudio, derivado del MDE escala 1:5 000.

Nótese que el comportamiento del mapa de pendientes a través de las diferentes escalas es muy variado. En el mapa derivado del MDE a escala 1:250 000 las pendientes casi no se notan, ya que las pendientes con más fuerte inclinación solo llegan a medir 50 grados, por lo que las condiciones abruptas del terreno a esta escala no llegan a ser tan significativas o representativas y como resultado, se tiene un cálculo de superficie poco preciso. Esto no sucede en el mapa derivado del MDE a esc. 1: 50 000 en donde las pendientes fuertes se logran notar con mayor facilidad, y el aumento de grados en las mismas se ve incrementado y como consecuencia un aumento en la confiabilidad de sus datos: las pendientes más fuertes llegan a medir 62 grados. Pero un cambio brusco es el que se nota en el mapa derivado del MDE a esc. 1 : 5 000, en donde las pendientes llegan a medir hasta 86 grados, lo que nos hace suponer que el cálculo de superficies a partir de este último mapa de pendientes, será mas preciso que los que lleguen a derivarse de los MDE escala 1:250 000 y 1:50 000 respectivamente.

Estos ejemplos anteriormente citados, demuestran que la obtención de superficies en planos inclinados, de entrada es más precisa en área que las que fueron obtenidas a partir de planos horizontales, y estos a su vez, van acrecentándose más a la realidad, conforme se van utilizando MDT de mayor escala. Cabe mencionar que ningún modelo podrá representar a la superficie del terreno como la realidad misma. Por lo tanto, a manera de conclusión, podemos decir que la presencia de errores siempre estará presente, ningún modelo será la representación real del terreno, se debe de tener en cuenta que es un cálculo, es decir una estimación y la cantidad de errores, dependerá del nivel de detalle requerido, dependiendo del tipo de estudio que se desee realizar, a mayor escala menor error (no

necesariamente), pero se debe mencionar que el uso de grandes escalas para grandes extensiones de superficies, requiere de una mayor inversión en la generación de un MDE. Por lo que el utilizar MDT's adecuados al tipo de estudio requerido, la obtención de datos de captura precisos, el uso de una estructura topológica adecuada, así como el uso de un método de interpolación adecuado, esto en lo individual o en su conjunto resultará la mejor opción.

Capítulo 4 : Estimación de superficies forestales considerando la pendiente del terreno. “Aplicación de un modelo”.

4.1.- Área de estudio.

Para la selección del área de estudio, se busco una zona que presentara características en particular que facilitara la ejemplificación de los temas tratados en esta investigación, existieron diversos elementos a considerar, y después de un trabajo de análisis, se determinó tomar como área de estudio al Ajusto y una pequeña parte de la Sierra de las Cruces, zona ubicada entre los límites del D.F. y el estado de México, esto como resultado de que dicha zona cuenta con características apropiadas para una mejor ejemplificación, el lugar en cuestión es cercano y de fácil acceso, así como la disposición de información de la misma, entre muchos elementos más. La zona específica para medir y contabilizar esta investigación, si se encasilla en un rectángulo (figura 4.1), presenta coordenadas UTM Izquierda: 462008.90 Abajo: 2116997.11, Derecha: 482993.90 Arriba: 2140007.11.

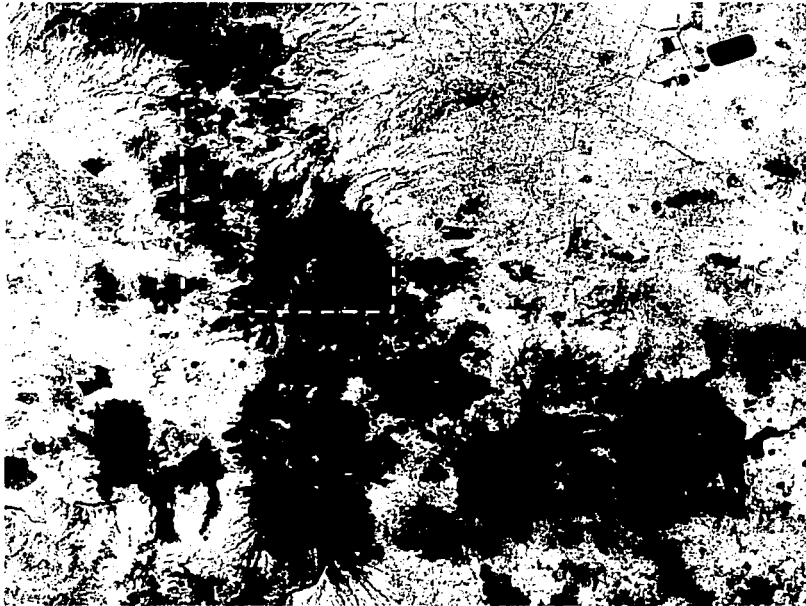


Figura 4.1. - Imagen LANDSAT, en falso color, compuesto 324. El área de estudio específica, esta delimitada por la línea discontinua.

La figura 4.2 nos da un acercamiento de lo que delimita el rectángulo en la figura 4.1.

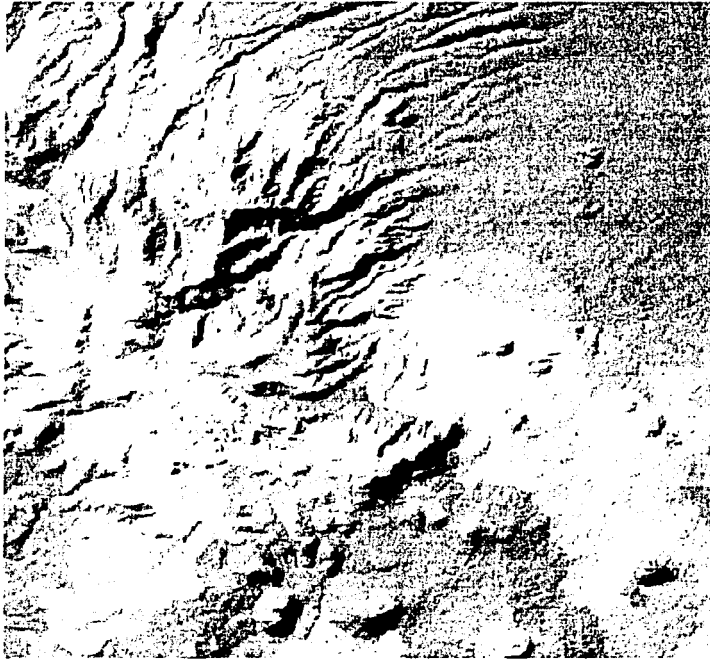


Figura 4.2.- MDE escala 1: 50 000 del área de estudio vista en color con sobre posición de un modelo sombreado del terreno.

Se puede ser aún más específico, si se toma en cuenta que para el área de estudio, solo será contabilizada aquella porción delimitada por los polígonos que representan la cobertura vegetal en el Inventario Nacional Forestal 2000 dentro del Ajusco y la Sierra de las Cruces. La figura 4.3 nos muestra los polígonos de cobertura vegetal utilizados para esta investigación (extraídos del I.N.F. 2000), cabe mencionar que para la selección de los polígonos, se tomó en cuenta los mismos criterios de selección que utilizó el Inventario Nacional Forestal, pero para esta investigación, solo se tomó en cuenta aquellos polígonos que presentaran vegetación intacta, es decir, aquellos que no contaran con vegetación secundaria o con algún otro tipo de perturbación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

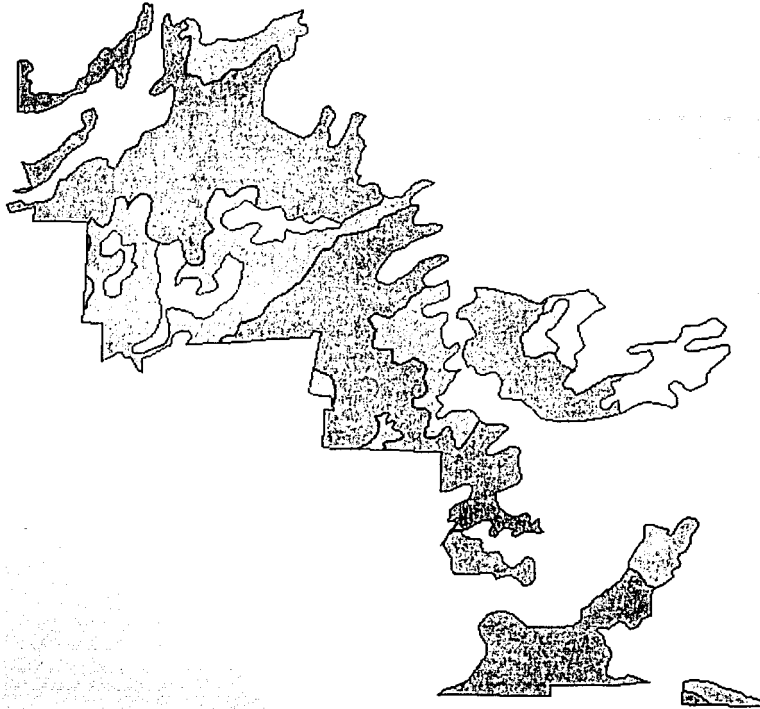


Figura 4.3.- Polígonos que representan la cobertura vegetal en el Inventario Nacional Forestal 2000, escala 1:50,000 del área de estudio.

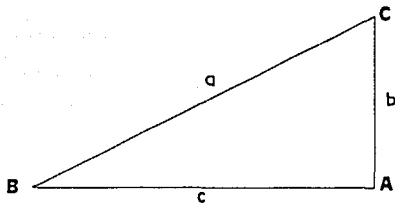
Por lo tanto, es importante mencionar que esta pequeña zona ejemplifica de manera homogénea, el papel de la pendiente del terreno en relación con los recursos forestales, que es lo que tratamos de explicar con dicha investigación. además se pretende que este trabajo pueda ser aplicado a otras áreas de estudio con relación a dicho tema y de esta manera sentar las bases para el desarrollo de un estudio a un nivel más grande.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

4.2.- Aplicación de un Modelo, para la estimación de superficies de manera digital, tomando en cuenta la pendiente.

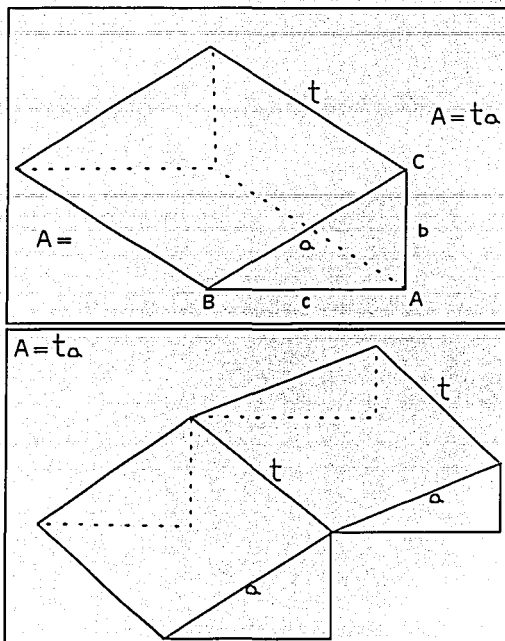
Para la realización de este subtema, se requirió de diversos tipos de recursos como fueron:

- Software: Arc View versión 3.2.
 - PC. Procesador Intel Pentium IV 1.5 GHZ, 256 MB RAM, Disco Duro 20GB.
 - MDE de una misma zona, en tres diferentes escalas, 1: 250 000, 1: 50 000, 1: 5 000.
 - Polígonos de cobertura vegetal, de uso del suelo del Inventario Nacional Forestal 2000.
 - Imagen de Satélite.
 - Sitios de muestreo del área de estudio.
1. Lo primero a realizar es la apertura de un proyecto en donde se creará una vista, la cual servirá para desplegar cada uno de los MDE's, en sus tres diferentes escalas *View / Add theme*.
 2. Se hará un grid para cada modelo de elevación, *Theme / Convert to Grid*. (a cada grid, se le puede sobreponer un mapa de sombreado para una mejor visualización del territorio *Surface / Compute Hillshade*.)
 3. Nuestra zona de estudio no deberá presentar valores nulos ni negativos para cualquier grid. *Analysis / Map Query* , *Analysis / Reclassify* , *Analysis / Map Calculator*.
 4. Obtenida el área específica a calcular, en este caso serán los polígonos de cobertura vegetal de uso del suelo del Inventario Nacional Forestal 2000, se procede a la derivación de su mapa de pendientes para la zona de estudio en cada uno de los grid's *Surface / Derive Slope*.
5. A partir del mapa de pendientes, se obtendrá un mapa de cosenos (el ángulo tomado en cuenta



será el $\angle B^*$). Dicho mapa de cosenos, será el divisor del lado "c" [$(c/\cos) = a$], el cual será una constante, debido a que "c" es la medida de longitud de un lado del pixel. *Analysis / Map Calculator*. (Valor del lado "c" as Grid / Mapa de pendientes expresado en radianes.Cos)
Como resultado, se obtendrá un mapa que nos dará la hipotenusa, es decir la longitud del lado "a", este será llamado Mapa de Hipotenusa.

* la medida del $\angle B$ tendrá que ser expresada en radianes para el caso de Arc View debido a la configuración de este software. *Analysis / Map Calculator* (Mapa de pendientes) * valor de un Radian as Grid = Mapa de Pendientes expresado en Radianes. En *Analysis / Map Calculator*, tenemos que poner la función trigonometría y aplicar la tecla coseno (.cos). El valor de un radian es igual a: 0.017453293



6. El mapa de hipotenusa ó mapa de longitud del lado "a" será multiplicado por "t", (el cual resulta ser una constante, por ser la longitud del otro lado del píxel), *Analysis / Map Calculator*. (Valor del lado "t" as Grid * Mapa de hipotenusa) Como resultado, se obtendrá un mapa de área final.

Nota: Al obtener el área total de un píxel, el mapa de área final, variará en extensión para las tres diferentes escalas.

7. Para la obtención del mapa de área final se deberá realizar la suma de cada uno de los miles de píxeles existentes en la imagen digital para cada una de las superficies en cuestión, en este caso, solo serán tomados en cuenta los polígonos de cobertura vegetal del Inventario Nacional Forestal 2000 previamente seleccionados (fig. 4.3). *Xtools / Calculate Areas, Perimeters, Acres, Hectares. Y Analysis / Summarize Zones*

8. A estas nuevas superficies, serán comparadas con las obtenidas a partir de los polígonos de cobertura vegetal del Inventario Nacional Forestal 2000 (las comparaciones serán mostradas en el siguiente capítulo).

4.3.- Comparación de resultados (modelo vs. Último Inventario Forestal).

Las comparaciones hechas, evidencian que cada una de las extensiones de superficie que toman en cuenta la pendiente (3D), son mayores en todos los sentidos a la original (superficie en línea recta, 2D), lo cual repercute en los resultados obtenidos en cualquier tipo de inventario o investigación, pero si a esto se agrega que algunos tipos de comunidades forestales tienen diferente comportamiento según las condiciones geográficas existentes, la variación del error en la estimación de superficies forestales se incrementa, tanto en tamaño de superficie, como en el número de individuos por hectárea cuadrada forestal.

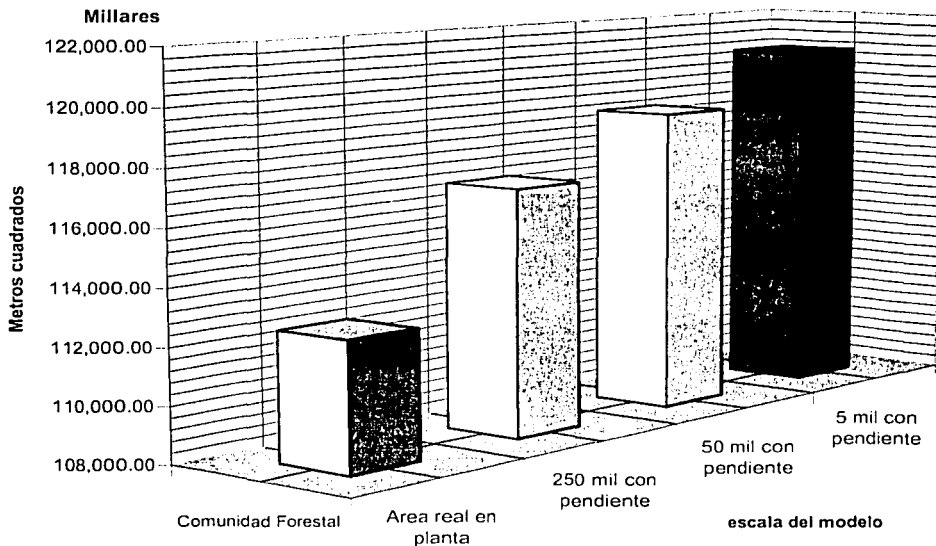
Por lo tanto, los nuevos cálculos de superficies obtenidos se compararon entre sí, se determinó el error de variación en extensión de una misma superficie cuando se utilizan MDT a diferente escala, se obtuvo su porcentaje de error, además, se determinó el aumento de superficie en metros cuadrados en sus tres diferentes escalas (dependiendo de la inclinación que el terreno presente), lo cual será útil para estudios posteriores, o en aquellos que tengan relación al tema.

Cuadro 4.1 Comparación de Errores de Extensión de Superficie en planta dependiendo de la escala del MDE a utilizar, con respecto al último Inventario Forestal.				
Escala del MDT	I.N.F. 2000 1: 250 000 (m²)	Modelo 1: 250 000 (m²)	Modelo 1: 50 000 (m²)	Modelo 1: 5 000 (m²)
Tamaño de Celda	N/A	90 mts.	50 mts.	5 mts.
Superficie Total (Polígonos I.N.F)	112,546,928.88	-----	-----	-----
Superficie Total Calculada en Planta	N/A	113,262,300.00	112,860,000.00	112,568,072.00
Bosque de Encino	6,087,938.91	6,196,500.00	6,130,000.00	6,088,225.00
Bosque de Oyamel	55,361,638.10	55,914,300.00	55,490,000.00	55,367,048.00
Bosque de Pino	46,867,797.09	46,939,500.00	46,892,500.00	46,879,424.00
Bosque de Pino-Encino	4,229,554.78	4,212,000.00	4,347,500.00	4,233,375.00
Aumento	-----	715,371.12	313,071.12	21,143.12
Porcentaje de Aumento (%)	-----	0.63	0.27	0.018

Cuadro 4.2 Comparación de Resultados para de la zona de estudio. Modelos (tomando en cuenta la pendiente) vs. Último Inventario Nacional Forestal.

Escala del MDT	I.N.F. 2000 1: 250 000 (m ²)	Modelo 1: 250 000 (m ²)	Modelo 1: 50 000 (m ²)	Modelo 1: 5 000 (m ²)
Tamaño de Celda	N/A	90	50	5
Superficie Original a partir de polígonos del I. N. F. 2000.	112,546,928.88	112,546,928.88	112,546,928.88	112,546,928.88
Superficie Total Calculada tomando la pendiente	-----	116,802,706.12	118,871,478.12	120,709,471.12
Total de Aumento	-----	4,255,777.24	6,324,549.24	8,162,542.24
Total de Porcentaje de Aumento (%)	-----	3.78	5.61	7.25
Bosque de Encino				
Bosque de Encino	6,087,938.91	6,272,825.09	6,258,496.09	6,225,964.59
Aumento	-----	184,886.18	170,557.18	138,025.68
Porcentaje de Aumento (%)	-----	3.03	2.80	2.26
Bosque de Oyamel				
Bosque de Oyamel	55,361,638.10	58,126,981.90	59,193,589.90	60,603,157.90
Aumento	-----	2,765,343.8	3,831,951.8	5,241,519.8
Porcentaje de Aumento (%)	-----	4.99	6.92	9.46
Bosque de Pino				
Bosque de Pino	46,867,797.09	48,166,226.91	48,948,598.91	49,543,634.91
Aumento	-----	1,298,429.82	2,080,801.82	2,675,837.82
Porcentaje de Aumento (%)	-----	2.77	4.44	5.70
Bosque de Pino-Encino				
Bosque de Pino-Encino	4,229,554.78	4,236,672.22	4,470,793.22	4,336,713.72
Aumento	-----	7,117.44	241,238.44	107,158.94
Porcentaje de Aumento (%)	-----	0.16	5.70	2.53

Gráfica que ilustra la comparación de Superficie en areas planas y en areas considerando la pendiente, según la escala del modelo.
Cuadro 4.2



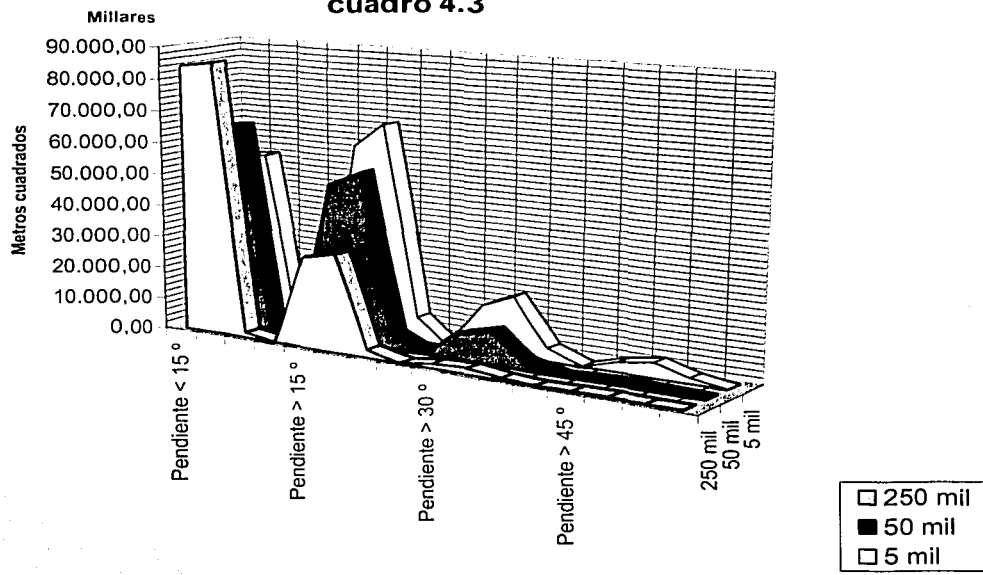
- Area real en planta
- 250 mil con pendiente
- 50 mil con pendiente
- 5 mil con pendiente

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 4.3 Superficie Calculada tomando en cuenta solo aquellas áreas que presentan pendiente.

Escala del MDT		1: 250, 000 (m ²)	1: 50, 000 (m ²)	1: 5,000 (m ²)
Pendiente < 15°	Superficie Calculada en Planta	84,277,704.53	63,323,473.09	52,864,637.83
	Superficie tomando la pendiente.	85,874,101.25	64,898,661.50	53,664,463.50
	Aumento de superficie por pendiente	1,596,396.72	1,575,188.41	799,825.67
	Porcentaje de Aumento	1.89	2.48	1.51
Pendiente > 15°	Superficie Calculada en Planta	28,269,224.35	49,223,455.79	59,678,398.81
	Superficie tomando la pendiente.	30,761,299.92	54,047,140.48	67,139,688.62
	Aumento de superficie por pendiente	2,492,075.57	4,823,684.69	7,461,289.81
	Porcentaje de Aumento	8.81	9.79	12.50
Pendiente > 30°	Superficie Calculada en Planta	1,425,789.14	8,057,284.99	14,353,260.70
	Superficie tomando la pendiente.	1,965,818.06	10,556,534.97	18,473,621.13
	Aumento de superficie por pendiente	540,028.92	2,499,249.98	4,120,360.43
	Porcentaje de Aumento	37.87	31.01	28.70
Pendiente > 45°	Superficie Calculada en Planta	96,899.24	445,302.92	3,110,808.17
	Superficie tomando la pendiente.	157,516.06	771,245.21	4,805,123.11
	Aumento de superficie por pendiente	60,616.82	325,942.29	1,694,314.94
	Porcentaje de Aumento	62.55	73.19	54.46

**Grafico que ilustra el aumento de superficie,
por rangos de pendiente
cuadro 4.3**



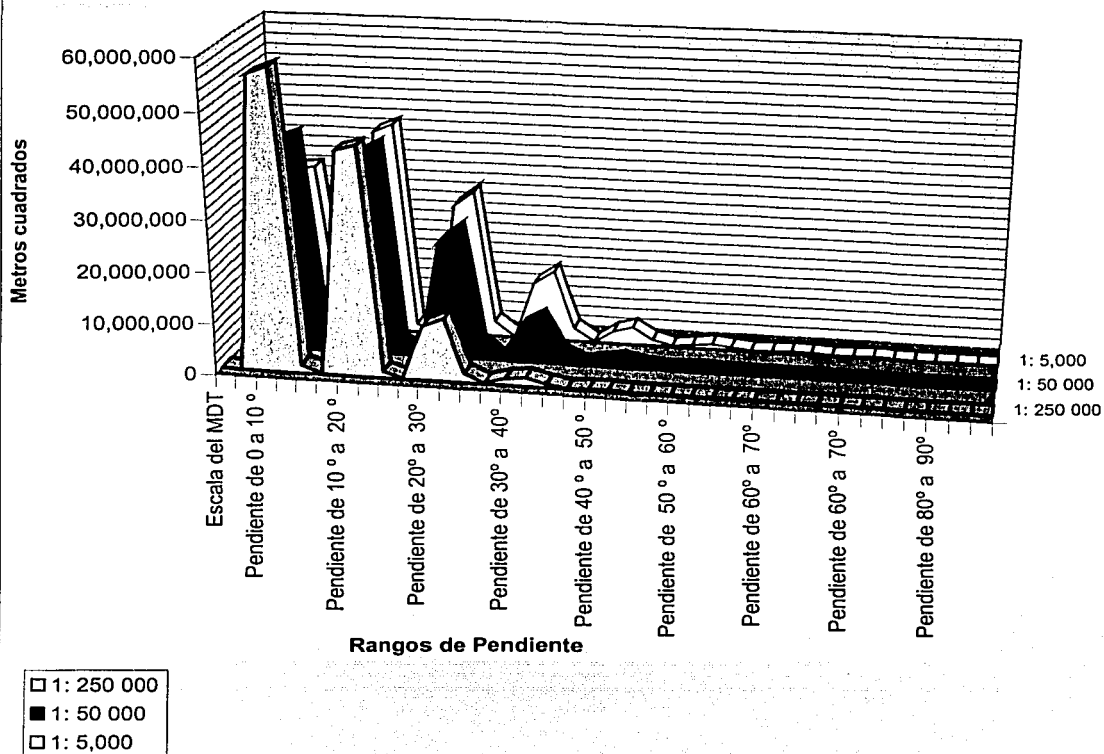
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 4.4 Superficie Calculada tomando en cuenta áreas que presentan rangos de pendiente de:				
Escala del MDT		1: 250 000 (m²)	1: 50 000 (m²)	1: 5,000 (m²)
Pendiente de 0 a 10°	Superficie Calculada en Planta	56,519,769.56	40,720,191.23	32,041,567.96
	Superficie tomando la pendiente.	58,049,347.00	42,072,390.25	32,344,620.25
	Aumento de superficie por pendiente	1,529,577.44	1,352,199.02	3 03,052.29
	Porcentaje de Aumento	2.70	3.32	0.94
Pendiente de 10° a 20°	Superficie Calculada en Planta	43,176,977.59	38,834,781.31	39,803,360.27
	Superficie tomando la pendiente.	44,287,470.25	40,879,654.00	41,342,972.12
	Aumento de superficie por pendiente	1,110,492.66	2,044,872.69	1,539,611.85
	Porcentaje de Aumento	2.57	5.26	3.86
Pendiente de 20° a 30°	Superficie Calculada en Planta	10,426,004.54	22,560,520.03	25,973,550.84
	Superficie tomando la pendiente.	12,150,949.80	25,598,368.73	28,889,977.34
	Aumento de superficie por pendiente	1,724,945.30	3,037,848.7	2,916,426.5
	Porcentaje de Aumento	16.54	13.46	11.22
Pendiente de 30° a 40°	Superficie Calculada en Planta	1,182,265.08	6,799,921.10	11,139,481.22
	Superficie tomando la pendiente.	1,657,350.31	8,898,248.97	13,695,463.48
	Aumento de superficie por pendiente	475,085.23	2,098,327.87	2,555,982.26
	Porcentaje de Aumento	40.18	30.85	22.94

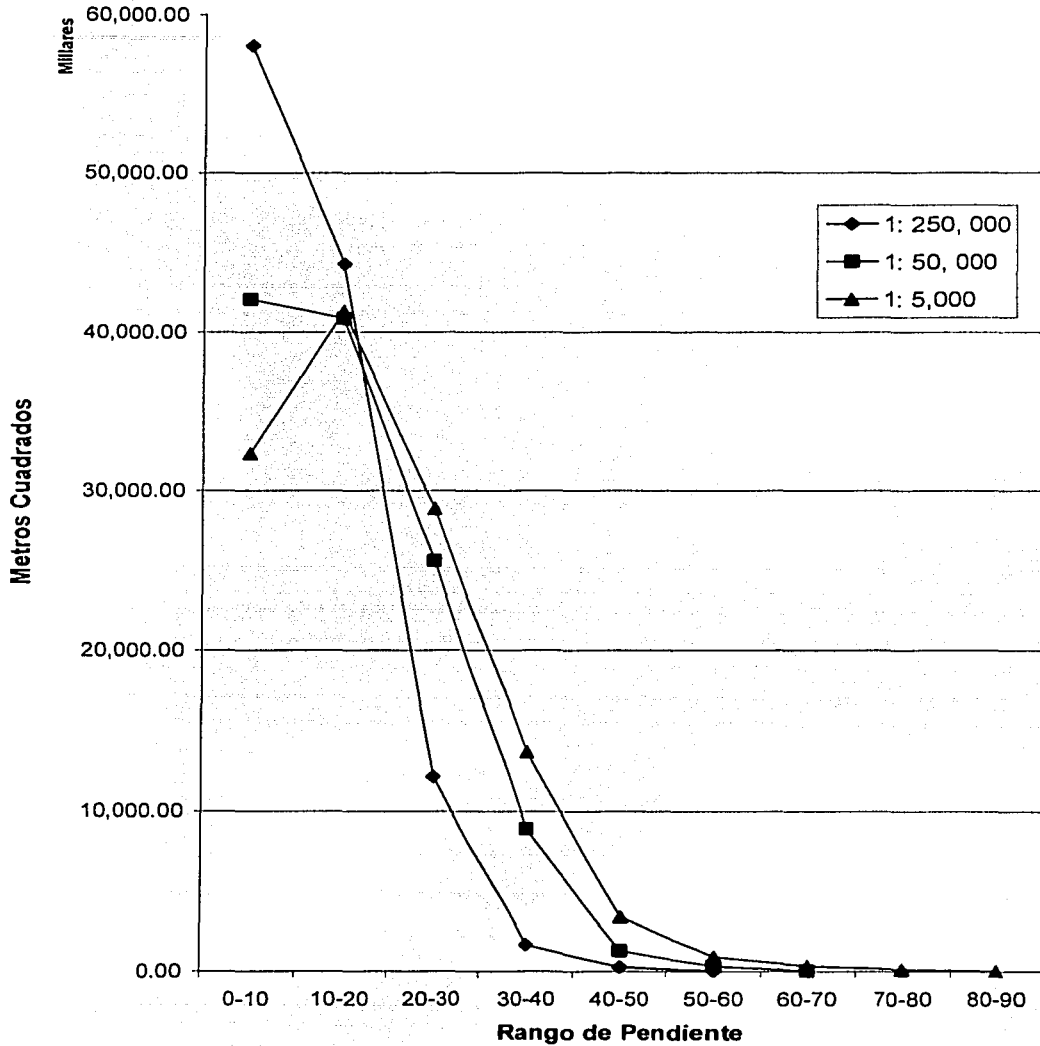
Capítulo 4: Estimación de Superficies forestales considerando la pendiente del terreno.

Pendiente de 40° a 50°	Superficie Calculada en Planta	170,290.01	773,954.07	2,371,303.59
	Superficie tomando la pendiente.	282,374.55	1,290,311.43	3,418,531.40
	Aumento de superficie por pendiente	112,084.54	516,357.36	1,047,227.81
	Porcentaje de Aumento	65.81	66.71	44.16
Pendiente de 50° a 60°	Superficie Calculada en Planta	11,091.44	169,038.46	508,318.47
	Superficie tomando la pendiente.	26,093.17	325,873.45	910,336.99
	Aumento de superficie por pendiente	20,547.45	156,834.99	402,018.52
	Porcentaje de Aumento	370.5	92.78	79.08
Pendiente de 60° a 70°	Superficie Calculada en Planta	-----	14,376.59	137,677.23
	Superficie tomando la pendiente.	-----	41,535.94	336,100.68
	Aumento de superficie por pendiente	-----	27,159.35	198,423.45
	Porcentaje de Aumento	-----	188.91	144.12
Pendiente de 70° a 80°	Superficie Calculada en Planta	-----	-----	33,575.53
	Superficie tomando la pendiente.	-----	-----	128,144.45
	Aumento de superficie por pendiente	-----	-----	94,568.92
	Porcentaje de Aumento	-----	-----	281.66
Pendiente de 80° a 90°	Superficie en Planta	-----	-----	1,186.73
	Superficie con pendiente.	-----	-----	9,629.81
	Aumento de superficie	-----	-----	8,443.08
	Aumento (%)	-----	-----	-----

**Gráfico que ilustra rangos de pendiente en tres diferentes escalas.
cuadro 4.4**



Grafica que ilustra el comportamiento de la Pendiente, en tres diferentes escalas, Cuadro 4.4



Capítulo 5: Propuesta para la elaboración de un Inventario Nacional Forestal más preciso.

5.1.- Como mejorar la precisión de las superficies derivadas del Inventario Nacional.

A lo largo de esta investigación, se ha logrado determinar muchas variables que deben ser tomadas en cuenta para la estimación precisa de superficies, el lograr obtener la precisión que se desea para dichas superficies, dependerá del grado de variables a considerar, así como el nivel de atención que se preste para la realización del trabajo.

Las variables a considerar para esta investigación fueron:

- El factor pendiente.
- El uso de Modelos Digitales de Terreno en diferentes escalas.
- Alto nivel de responsabilidad y atención para el manejo de información.

Por lo tanto, el tomar tan solo una de las variables anteriormente mencionadas, puede mejorar los resultados obtenidos por cualquier otro inventario forestal. Esto no quiere decir que lo hecho en cuestión de inventarios forestales a lo largo de la historia en este país no funcione (Las áreas de donde son calculadas las superficies tomando en cuenta la pendiente en esta investigación, se realizan a partir de los polígonos que contienen a las comunidades forestales, derivados del último Inventario Nacional Forestal.), es solo que existen muchísimos elementos más que se deben considerar si se desea obtener información precisa del tema del que se este tratando.

Así entonces, la mejora en la precisión de superficies derivadas de los Inventarios Forestales, estará en función de la cantidad de variables a considerar; Las variables mencionadas anteriormente, fueron las utilizadas en este trabajo con el objetivo de mejorar el cálculo de superficies, esto no quiere decir, que no existan aún más variables que pudiesen ser tomadas en cuenta no solo para las superficies en cuestión, si no todo aquello que en lo general pudiese afectar los resultados emitidos por los inventarios.

5.2.-Aplicación del modelo de investigación para la mejora del Inventario Nacional Forestal.

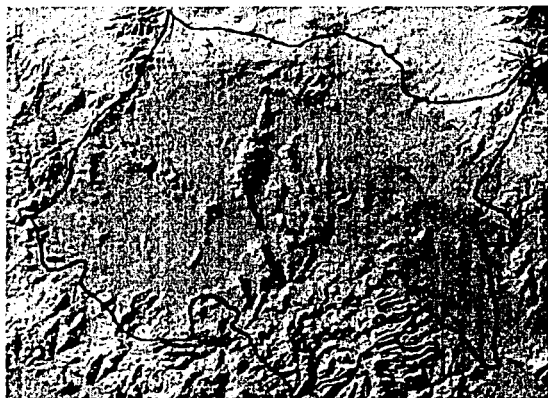
Una vez desarrollado un modelo que calcula superficies de manera digital a partir de planos inclinados (Capítulo 3, tema 3.2, Pág. 55), se procedió a su aplicación en una pequeña área de estudio con el propósito de conocer que tan factible y recomendable pudiese llegar a ser la aplicación del mismo en tres MDE de diferente escala. (Capítulo 4, tema 4.3, Pág. 69). Comprobado lo anterior y después de haber concluido las ventajas y desventajas del uso de MDE en diferentes escalas, se procede a su aplicación pero a una escala más grande, a nivel estatal, con el propósito de demostrar que este modelo puede ser empleado para la mejora del Inventario Nacional Forestal.

Para comprobar que este modelo puede ser empleado a nivel nacional, se decidió tomar para tal efecto al estado de Morelos, debido a la cercanía del lugar así como a la disponibilidad de su información. Los resultados obtenidos, son mostrados en el siguiente 5.1 para una fácil comparación.



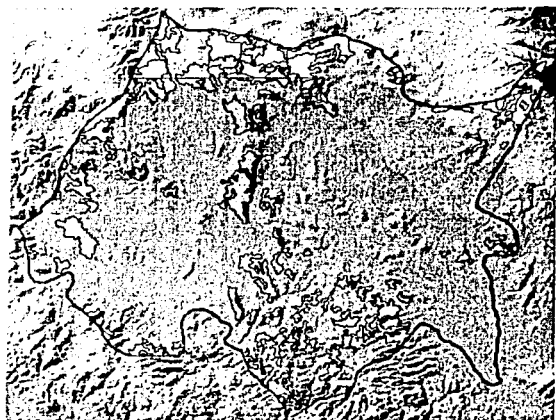
De la misma forma que la aplicación del modelo en la zona de estudio, ahora será para el estado de Morelos, en donde los polígonos de cobertura vegetal, serán tomados en cuenta para su estimación de superficies, la vegetación no debe presentar ningún tipo de perturbación.

Fig. 5.1.- Polígonos de cobertura vegetal para el estado de Morelos.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 5.2.- MDE escala 1:250,000 con sobreposición de un mapa de sombreado.



Se aplicara la misma metodología para la obtención de su área y los resultados serán posteriormente publicados en el cuadro 5.1

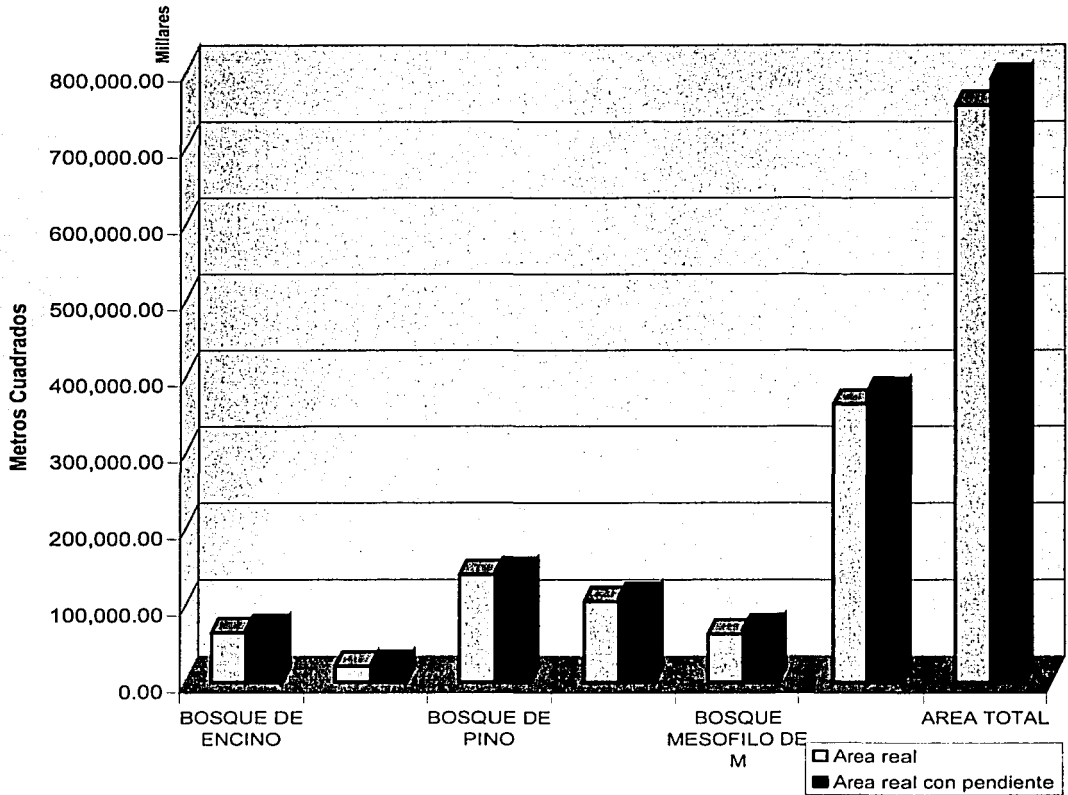
Figura 5.3.- MDE escala 1:250,000 con sobreposición de un mapa de polígonos de cobertura vegetal para el estado de Morelos.

Cuadro 5.1 Comparación de Resultados para el estado de Morelos. Modelo (tomando en cuenta la pendiente) vs. Último Inventario Nacional Forestal.

Escala del MDT	I.N.F. 2000 1: 250 000 (m ²)	Modelo 1: 250 000 (m ²)
Tamaño de Celda	N/A	90
Superficie Original a partir de polígonos del I. N. F. 2000.	754,533,575.03	754,533,575.03
Superficie Total Calculada tomando en cuenta la pendiente	-----	789,360,930.97
Total de Aumento	-----	34,827,355.94
Total de Porcentaje de Aumento (%)	-----	4.61
Bosque de Encino	64,369,068.89	68,131,371.11
Aumento	-----	3,762,302.22
Porcentaje de Aumento (%)	-----	5.84
Bosque de Oyamel	20,612,734.00	21,130,760.00
Aumento	-----	518,026.00
Porcentaje de Aumento (%)	-----	2.51
Bosque de Pino	139,642,416.74	143,158,271.26
Aumento	-----	3,515,854.52
Porcentaje de Aumento (%)	-----	2.51
Bosque de Pino-Encino	104,823,681.10	110,198,854.90
Aumento	-----	5,375,173.80
Porcentaje de Aumento (%)	-----	5.12
Bosque Mesofilo de Montaña	62,414,178.31	68,814,097.69
Aumento	-----	6,399,919.38
Porcentaje de Aumento (%)	-----	10.25
Selva Baja Caducifolia	362,671,495.99	377,927,576.01
Aumento	-----	15,256,080.02
Porcentaje de Aumento (%)	-----	4.20

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

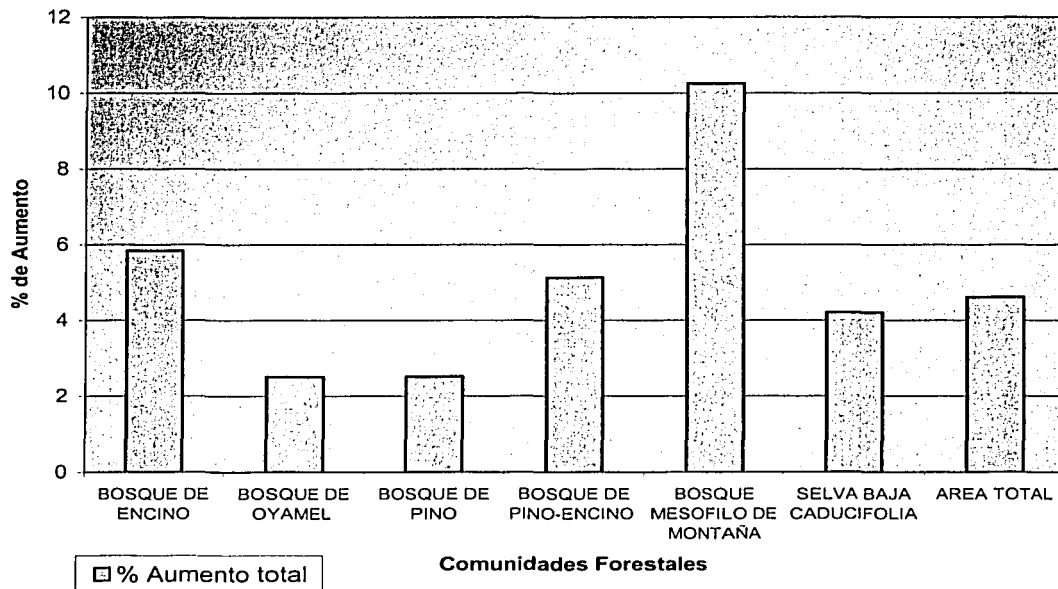
**Gráfica que compara superficies forestales en el estado de Morelos
Cuadro 5.1**



Como se puede notar, los errores en porcentaje para esta escala (1 : 250,000) oscilan entre un 2.51 a un 10.25 por ciento, es decir, en general se obtuvo un aumento total de casi 3,483 ha. con respecto al área total contabilizada del estado, que es de 75,453 has (tomando en cuenta solo aquellas áreas que contienen superficies forestales). Esta extensión de superficie considerable es equivalente a la delegación Cuauhtemoc (3,242 has) ó a la delegación Azcapotzalco (3,565 has), Pero debemos de tomar en cuenta que Morelos es solo una parte de la república Mexicana, así entonces, la suma de los errores de cada uno de los estados, hará que el incremento de superficie no contabilizada sea mayor, además, si a esto se le aplica un modelo digital de elevación (MDE) de escala más grande, 1 : 50 000, (como en el aplicado al estudio de caso) los números tanto de porcentaje como de aumento de área, serán mayores.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**Gráfica que ilustra el % Aumento en Superficie Forestal
en el Estado de Morelos**



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.3.- Como mejorar el modelo propuesto.

Como se mencionó en el primer tema de este capítulo, la precisión en un modelo dependerá de la cantidad de variables a considerar, además del alto nivel de atención que se preste para la realización del trabajo, por lo tanto, si se desea mejorar el modelo propuesto en esta investigación, las líneas de investigación serán enfocadas hacia las variables tomadas en cuenta. (Enunciadas en el tema 5.1 de este capítulo, Pág.80.

Así entonces, el factor pendiente es la primera variable a considerar, en donde se dice que una superficie es más extensa cuando se toma en cuenta dicho factor; si esta es comparada con la misma superficie pero su cálculo se ha hecho a partir de áreas planas. Si partimos de este punto (información digital), diremos que hay variables a considerar, si contamos con un grid y procedemos hacer su mapa de pendientes, este mapa puede llegar a tener elevadas inclinaciones de terreno en áreas donde por relieve natural es casi plano. ¿Qué sucede en estos casos?, La respuesta son aquellas grandes construcciones hechas por el hombre, como enormes centros comerciales, grandes presas, unidades habitacionales enclavadas en laderas etc., que como grandes muros casi rectos, la imagen de satélite o el MDE los registra como pendientes sumamente abruptas, y esto puede ser contabilizado equívocamente.

Para la variable donde se considera el diferente comportamiento que pueden llegar a presentar las comunidades forestales debido a la existencia de diversas condiciones geográficas, podemos decir que existe el diferente comportamiento, se sabe que la incidencia solar, el índice de humedad, la exposición de laderas, la profundidad del suelo, las normas legislativas, así como la tala clandestina, autoconsumo ó conservación de las comunidades forestales por parte de los habitantes del lugar, entre otros, harán que los individuos forestales se representen de diferente manera en un mismo espacio, pero aun se desconoce un promedio ó un porcentaje que pueda establecerse, una ecuación que pueda contabilizar dicho comportamiento, por lo que el tomar en cuenta este factor podría resultar un poco ambiguo ó no del todo aplicable, sin embargo es un factor holístico que debe ser considerado aunque no pueda ser del todo contabilizado.

En la aplicación de Modelos Digitales de Terreno, se puede mencionar el problema de generalización del terreno (en el tema de errores de cálculo), en donde sabemos que nuestros MDE son grid's, ¿Qué quiere decir esto?, La respuesta es, una imagen formada por celdas (entiéndase por celdas pequeños cuadrados) así entonces, si se requiere representar una superficie irregular, cualquiera que sea esta, se tendrá que representar por diminutas celdas, la cual nunca podrá ser del todo exacta, y este nivel de exactitud, dependerá del tamaño de la celda que se este usando, es decir, si el tamaño de la escala que se este empleando para el MDE es pequeña (1 : 250 000) debido a que los costos de inversión, existirán celdas que cubran solo una pequeña parte del área a contabilizar y por este hecho, la celda tendrá que ser contabilizada en su totalidad a pesar de que esta solo abarque una diminuta parte de la celda. Hecho que sucedería en mucho menor escala y por lo tanto en menor error, si se utilizan escalas más grandes.

Como se mencionó anteriormente, la aplicación de MDE's a gran escala, requieren de un alto costo de inversión, para el estado de Morelos se tuvo que emplear una escala pequeña (1 : 250 000) debido a los costos del mismo, perdiendo con esto, un poco de precisión con respecto a escalas más grandes, como pudieron ser 1 : 50 000 o 1 : 5000 que de haber podido ser aplicadas, la precisión del cálculo de área hubiese sido mayor. Estas variables, además de aquellas otras que no fueron tomadas en cuenta debido al desconocimiento de su existencia, pueden influir de manera negativa en los cálculos obtenidos a partir del modelo propuesto, el poder controlarlas ayudará a obtener como resultado cálculos más precisos en relación a la realidad del país.

Conclusiones y Recomendaciones.

A lo largo de la historia de los inventarios forestales en nuestro país, la localización y extensión de las comunidades forestales ha sido un factor fundamental para la existencia de los mismos, la exactitud y veracidad con que lleguen a contar dichos inventarios, es de suma importancia y relevancia para nuestro país. En esta investigación se logró identificar algunos errores con los que puede contar un inventario forestal al momento de su elaboración, uno de ellos y el más importante es el factor pendiente, este factor es fundamental para la estimación precisa de sus superficies, el no tomarlo en cuenta, sería repetir los mismos errores como los cometidos en todos los inventarios de recursos forestales con los que cuenta nuestro país a lo largo de su historia, en donde las extensiones de superficie obtenidas, eran producto de medir superficies a partir de áreas planas, lo que significaba de inicio un gran error para los datos emitidos por los mismos, así como un conocimiento erróneo sobre la estimación de los recursos con los que se contaba. El contar con información veraz ayuda a una mejor planeación y aprovechamiento de cualquier tipo de recurso.

El tomar en cuenta el factor pendiente en esta investigación ayudó a obtener un cálculo de superficies en terrenos inclinados muy cercano a la realidad, este tipo de cálculo se trato de enfocar hacia a los recursos naturales, con especial atención en los recursos forestales, obtenido un cálculo preciso con respecto a los obtenidos a partir de áreas planas, en tres diferentes escalas, 1: 250 000, 1 :50 000 y 1: 5000, se logró determinar el porcentaje de error que pueden llegar a presentar los inventarios forestales por la omisión de considerar la pendiente y con lo mismo, la obtención del aumento en superficie para cada una de las escalas utilizadas en esta investigación.

Otro elemento más a considerar para una mejor precisión en los inventarios forestales identificado en esta investigación, fue el diferente comportamiento que presentan diversos tipos de comunidades forestales debido a las diversas condiciones geográficas (erosión, exposición, temperatura, humedad, radicación solar, aprovechamiento, economía, tala clandestina, auto consumo, etc.) con las que cuentan, y estas condiciones se hacen más intensas cuando estos se encuentran en terrenos inclinados. Se logró concluir que dicho comportamiento es un factor holístico, que debido a la complejidad de sus interrelaciones que suceden dentro de su espacio, tanto en tiempo, intensidad y cantidad, no existe una formula matemática que calcule o mida este comportamiento, esto no puede ser contabilizado del todo, pero es un factor importante que debe ser siempre considerado.

También se concluyó que el uso de MDT's juega un papel fundamental para el cálculo de superficies de manera digital, se logró determinar que un modelo puede llegar a ser tan preciso como nivel de detalle se requiera, esto estará en función de la escala del modelo digital a utilizar (debido al tamaño de su celda), entre más grande sea su escala, mayor será su nivel de detalle, pero el costo de inversión, así como el tamaño para su almacenamiento también será mayor, por lo que la necesidad de más insumos se hace evidente, por lo tanto, se tiene que tener muy claro el tipo de información que se desea obtener a partir del empleo de un MDT para que la escala a emplear en el, sea la adecuada.

Este trabajo contó con el subtema 5.3 "Como mejorar el modelo propuesto" del capítulo 5 en donde se enuncian los errores con los que puede contar dicho trabajo, a manera de conclusión se puede mencionar que estas pequeñas variables, pueden ser objeto de estudios posteriores investigaciones, para la obtención de una mejor propuesta de solución al problema planteado.

Este tipo de elementos o factores en lo individual o en su conjunto, pueden llegar a afectar los resultados finales emitidos en los inventarios nacionales de recursos forestales, por lo que la precisión de los mismos, estará en función de considerar y evaluar todas las variables existentes (identificadas en esta investigación), las cuales pueden alterar el resultado final y con esto la obtención de un Inventario Nacional poco preciso.

Esta investigación logró la creación de un modelo que propone una alternativa de solución a la problemática anteriormente mencionada a nivel local, (zona del Ajusco y parte de la Sierra de las Cruces), este mismo modelo podrá ser empleado a diferentes escalas, (estado de Morelos) incluso a un nivel nacional y así poder resolver los problemas de precisión que presenten los Inventarios Forestales. Además este modelo puede ser aplicado a otro tipo de investigaciones donde se necesite conocer con precisión la extensión de cualquier superficie con que se este trabajando.

Glosario.

- Análisis de Sistemas:** Método de investigación que busca generalizaciones que se basen en el conjunto mas que en las partes individuales. Considera un conjunto de objetos y analiza las relaciones, organizaciones funcionales y estructurales que los conectan. No sustituye a los métodos analíticos, sino que mas bien, es un método adicional alternativo de investigación certificada.
- Área:** Parte de una superficie o extensión, especialmente de la terrestre. 2. Medida de una superficie: área de un triangulo. 3. Unidad de medida de superficie (símbolo a), que vale 10m² metros cuadrados.
- Biodegradable:** Producto industrial que, una vez desechado, es destruido por las bacterias u otros agentes biológicos.
- Biodiversidad:** Diversidad de las especies vivientes y sus caracteres genéticos.
- Bosque:** Gran extensión de terreno cubierta de árboles. 2. Conjunto de los árboles que ocupan o cubren una extensión.
- Conservación:** Acto y efecto de conservar. 2. Conservar: Mantener una cosa en buen estado; preservarla de alteraciones ; conservar los alimentos; conservar la salud; conservación de los suelos, etc. 3. Continuar la práctica de una costumbre, virtud.
- Deforestación:** Acto y efecto de deforestar. 2. Deforestar: Despojar de un terreno plantas forestales.
- Desierto** Región caracterizada por una gran escasez de precipitaciones o por una temperatura medio muy baja, que comporta una extrema pobreza de la vegetación y una gran escasez de población.
- Ecología:** Estudio científico de las relaciones entre los seres vivos y el medio ambiente en el que viven. 2. Defensa y protección del medio ambiente.
- Ecosistema:** Conjunto de seres vivos en un mismo medio y los elementos no vivos vitalmente unidos a ellos.
Los ecosistemas - un bosque, un lago, un campo cultivado o un simple charco de agua - son sistemas termodinámicamente abiertos que reciben energía del exterior (Sol, materia orgánica) y la transmiten a los ecosistemas vecinos a través de los flujos de materia o desplazamiento de animales (migración). Su estudio se basa fundamentalmente en la teoría de sistemas y en la cibernética, que asimilan el ecosistema a un conjunto de elementos bióticos (especies) y abióticos en constante interacción. Un ecosistema será más estable cuanto mayor sea su diversidad. Esta complejidad sólo se obtiene en los ecosistemas maduros, generalmente antiguos.

Espacio:	Extensión indefinida, medio sin límites que contiene todas las extensiones finitas. 2. Parte de esta extensión que ocupa cada cuerpo. 3. Distancia entre dos o más objetos. 4. Transcurso de tiempo. 5. Extensión indefinida de tres dimensiones que constituye el objeto de la geometría clásica, llamada Geometría del espacio. 6. Objeto de estudio de la Geografía: Ciencia que estudia los espacios, entendiendo por espacio, construcción social.
Estimación:	Búsqueda de uno o varios parámetros característicos de una población entre la que se ha efectuado un muestreo.
Geometría:	La geometría elemental es la rama de las matemáticas que estudia las propiedades intrínsecas de las figuras, es decir, las que no se alteran con el movimiento de las mismas. Cuando estudia figuras contenidas en un plano (2 dimensiones) se llama geometría plana. Si estudia cuerpos geométricos (3 dimensiones) se llama geometría del espacio.
Hectárea:	Unidad de medida de superficie, de símbolo ha, que equivale a 10^4 metros cuadrados.
Holístico:	Dícese del enfoque científico según el cual en la naturaleza se producen organismos funcionales a partir de estructuras individuales que actúan como (todos) completos. Se dice que la geografía contiene este enfoque holístico, en virtud del cual los fenómenos son examinados no como entidades individuales, sino como complejos interrelacionales.
Inferencia:	Operación intelectual por la que se pasa de una verdad a otra que se juzga en razón de su unión con la primera: la deducción es una inferencia. Las reglas de inferencia: las que permiten, en una teoría deductiva, llegar a la verdad de una proposición a partir de una o varias proposiciones tomadas como hipótesis.
Inventario Forestal:	Es una herramienta técnica para planear la adecuada administración de los recursos forestales. El Inventario Nacional Forestal, precisa la localización y extensión de bosques, selvas y vegetación árida, así como los factores adversos que propician su deterioro y destrucción. Puede incluirse también la zonificación de las regiones forestales del país para definir el uso óptimo de los terrenos forestales en clases de: conservación, restauración y producción, según las características de la vegetación y la aptitud de los suelos forestales.
Madera en pie:	Árbol que aun no ha sido talado, pero esta destinado a un uso maderable.
Modelo:	Reproducción a escala reducida de una estructura o un mecanismo. 2. Toda estructura lógica o matemática que se ocupa en la ciencia para dar razón de un conjunto de fenómenos que guardan entre sí ciertas relaciones.
Muestra:	Porción de un producto que da a conocer las cualidades del mismo.
Pendiente:	Línea que forma un ángulo, con respecto a un plano horizontal

- Píxel:** El menor de los elementos de una imagen al que se puede aplicar individualmente un color o una intensidad o que se puede diferenciar de los otros mediante un determinado procedimiento, como la fotografía, la telecopia o la televisión.
- Producción:** Actividad mediante la cual determinados bienes se transforman en otros de mayor utilidad.
- Recta:** Distancia mas corta entre 2 puntos sobre una superficie plana
- Recurso:** Es todo aquel elemento de la naturaleza, que el hombre puede utilizar para satisfacer una necesidad.
- Recurso Forestal:** Elemento relativo a los bosques y a sus posibilidades de aprovechamiento.
- Relieve:** Conjunto de formas y accidentes de la corteza terrestre. 2. Lo que sobresale de una superficie.
- Restauración:** Acto y efecto de restaurar. 2. Volver a poner algo o alguien al estado que antes tenia. Recuperar, recobrar.
- Rotación de ganado:** Cambio en el tipo de ganado que pasta.
- Selva:** Bosque ecuatorial o bosque cálido húmedo que no permite un área de cultivo y crece en regiones de pluviosidad abundante.
- Sistema raster:** Imagen formada por celdas o píxeles.
- Sistema vector:** Intensidad y dirección de movimiento: línea, punto, polígono.
- Superficie:** Figura geométrica definida por el conjunto de puntos del espacio cuyas coordenadas verifican una ecuación o se dan como funciones continuas de dos parámetros. (Aunque en el lenguaje corriente, los términos área y superficie se identifican, en sentido estricto, el área designa la medida de una superficie).
- Vegetación Forestal:** Vegetación de árboles, en donde la madera o el tronco de un árbol es fundamental.



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

Bibliografía.

- ALVAREZ, C., 1987, "*La Vegetación en la sierra del Ajusco*"; INAH, Cuaderno de trabajo 33, Departamento de Prehistoria.
- BALDOR, J., 1983, "*Geometría Plana y del Espacio con introducción a la Trigonometría*", Publicaciones Cultural S.A. de C.V.
- CLARK, A., (1985), "*Longman Dictionary of Geography*", Publicaciones Longman.
- CLARK, A., (1998), "*The Penguin Dictionary of Geography*", Penguin reference.
- COLL, A., 1996, "*Recursos naturales para las actividades agropecuarias y forestales en México*" Instituto de Geografía, UNAM.
- DIRZO, R. y MASERA O., 1996, "*Clasificación y Dinámica de la Vegetación en México*", en SEMARNAP. Criterios y terminología para analizar la deforestación en México.
- ENVIRONMENT CANADÁ. 1997. "*Sustaining Canada's Forests: Forest Biodiversity*". Reporting Program. SOE Bulletin No. 97 - 1,.
- GALICIA, L. y LOPEZ, J., 1998, "*The relationship between solar radiation interception and soil water content in a tropical deciduous forest in Mexico*". Elsevier Science, UNAM.
- HERNANDEZ, R., 1991, "*Metodología de la Investigación*" Mc Graw Hill.
- HERRERA B., 1999, "*El sector forestal de México. Avances y Perspectivas*". SEMARNAP, Ciclo de Conferencias.
- LILLES, T. y KIEFER, R., 1994, "*Remote Sensing and Image Interpretation*". John Wiley & Sons, Inc. 3a. Edición.
- LOTT, E.J. y BULLOCK, H.S., 1997, "*Floristic diversity and structure of upland and arroyo forest of coastal Jalisco*" Biotropica.
- MAGUIRE, D. J., GOODCHILD, M. y RHIND, D. W., 1991, "*Geographical Information Systems: Principles and Applications*". Longman Scientific and Technical.
- MENDEZ, I., 1996, "El protocolo de Investigación". Trillas .
- MONKHOUSE, F. J., (1978), "*Diccionario de terminos geográficos*", Publicaciones Barcelona.
- MURPHY, P.G. y LUGO, A. E., 1996. "*Ecology of tropical dry forest resource*" Universidad de Cambridge.

- 📖 PRICE, M. F. y HEYWOOD, I. D., 1994, "*Mountain Environments and Geographical Information Systems*". Taylor and Francis.
- 📖 SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; 1994), "*Inventario Nacional Periódico, Memoria Nacional*," Subsecretaría de Recursos Naturales, **Unidad del Inventario Nacional de Recursos Naturales**. SARH, México.
- 📖 SARUKHAN, J. y MASS, J. M., 1986, "*Bases Ecológicas para un manejo sostenido: El sistema de cuencas hidrográficas*" Porrúa - UNAM.
- 📖 SHIVER, D. B. y BORDES, E. B., 1996, "*Sampling techniques for forest resource*" Mc Graw Hill.
- 📖 STEIN, K. S., 1974, "*Cálculo con Geometría Analítica*" Mc Graw Hill.
- 📖 TOLEDO, V. M., 1988, "*La diversidad biológica de México*", Ciencia y Desarrollo 14 (81) :17-30.
- 📖 VARELA S., 1999, "*El sector forestal de México, Avances y Perspectivas*". SEMARNAP, Ciclo de Conferencias.
- 📖 WORLD FOREST INSTITUTE, 1996, "*World Forest Monitoring Workshop*". Conclusions and Actions.
- 📖 ZILL, G., 1988, "*Calculo con Geometría Analítica*" Grupo Editorial Ibero América.

Sitios de Internet consultados:

1. www.inegi.gob.mx
2. www.sagarpa.gob.mx
3. www.agrocnlinea.com
4. www.greenpeace.com
5. www.esri.com



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA