#### 1. Introducción

La evolución histórica del manejo forestal ha sido determinada por el tipo de uso, aprovechamiento y enfoque administrativo aplicado por las diferentes culturas, principalmente a partir de las experiencias europeas, las cuales desarrollaron una dasonomía científica con métodos de medición y modelos matemáticos que definen la productividad de las masas forestales, a partir de inventarios, para estructurar una correcta planeación de los aprovechamientos (Mendoza, 1993).

La tendencia de crecimiento demográfico, la demanda de recursos naturales y su sobreexplotación registrados desde la segunda mitad de siglo XX hasta la actualidad, resultado de la orientación mecanicista hacia la industria maderera, con planes para el flujo sostenido de materia prima, la simplificación de sistemas y el mantenimiento el estado de los rodales, deja como lección clave, el tener cuidado en la aplicación de simples fórmulas sobre amplias áreas de forma genérica. De manera frecuente se tiene una tendencia práctica a encontrar una estrategia que trabaja en un lugar y aplicarla extensamente en otras áreas, como ejemplo de ello existe la aplicación de tratamientos silvícolas y/o plantaciones, cuyos resultados son bosques fragmentados, en los cuales las especies nativas son desplazadas y la capacidad productiva de muchos sitios ha sido deteriorada (Kohm et al. 1997).

Un profesionista forestal que trabajó mucho tiempo en oficinas centrales de la Subsecretaría Forestal y de la Fauna citó en una ocasión, "Las políticas de manejo y métodos de tratamiento silvícola que se establecen por oficinas centrales, parten del promedio de las condiciones en las que se encuentran las áreas forestales en México,.... el problema es que ese promedio no existe en ninguna parte" (conversación personal).

El resultado más importante de las investigaciones sobre ecología de bosques ha sido la apreciación de la complejidad de estos y la limitación de nuestros conocimientos. Empezamos a apreciar que cada prescripción de manejo es una hipótesis trabajando cuyo resultado no es enteramente predecible. Es necesario por lo tanto que científicos, técnicos e inversionistas,

tomen en cuenta las características naturales de cada rodal y unidad de paisaje en el bosque, así como las limitaciones de las teorías generales.

El entendimiento de la dinámica ecológica de un sitio y la confección de estrategias de manejo apropiadas requerirán más información local sobre datos históricos del sitio, condiciones económicas, ambientales, sociales, regímenes de disturbio, dinámica de comunidades, y requerimientos de hábitat por las especies.

La integración del conocimiento de grandes escalas espaciales y temporales con el nivel de detalle adecuado, es uno de los mayores desafíos del siglo XXI. Afortunadamente, nuevas y poderosas herramientas han emergido en el momento preciso. Un ejemplo de ello son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten manejar gran cantidad de datos espaciales y los avances en esta tecnología permiten el manejo (elaboración, actualización, distribución) y uso de información de forma fácil y accesible.

La mayor fuente de datos espaciales está constituida por imágenes de sensores remotos, su respectivo desarrollo ha mejorando sus capacidades espaciales y espectrales, así como nuevos modelos de análisis, aunado a los sistemas de posicionamiento global (SPG), proveen de mayor precisión de localización en el terreno. Facilitando a partir de esta información, evaluaciones y el planteamiento de estrategias alternativas de manejo.

Actualmente, debido a la magnitud e importancia de los recursos forestales en la conservación de los ecosistemas, se ha hecho indispensable el uso de nuevas tecnologías de análisis geográfico como herramienta de apoyo en la planeación, ejecución e integración de inventarios, análisis ecológico, silvícola y socioeconómico, en la formulación de programas de manejo forestal.

Como corolario del reconocimiento de la complejidad de los ecosistemas, es necesario el desarrollo del conocimiento específico de sitio de la superficie a administrar, aportando bases más sólidas para la planeación y prescripción del manejo.

## 1.1. Objetivo General

Proponer alternativas de manejo basándose en los factores del medio físico, condición silvícola actual, capacidad productiva y el impacto al que han estado sujetos los ecosistemas forestales del ejido Pueblo Nuevo.

## 1.2. Objetivos Particulares

- 1. Elaborar un SIG de los factores del medio físico e información dasocrática.
- 2. Definir el mejor método de normalización topográfica a utilizar.
- Generar información de la composición de comunidades vegetales y sus diferentes densidades.
- Analizar el efecto de los factores del medio físico en la distribución de la vegetación.
- Establecer una metodología para modelar y crear la división dasocrática de zonas forestales hasta nivel de subrodal (estratificación automatizada).
- 6. Evaluar la posible relación entre densidades modeladas y variables dasocráticas.
- 7. Evaluar el efecto de tratamientos de anualidades anteriores y estado actual, contra factores del medio físico.
- 8. Estimar el impacto de las actividades silvícolas en las cuencas hidrológicas dentro del ejido Pueblo Nuevo.

#### 1.3. Hipótesis

- H1. El análisis de la información mediante modelos geoespaciales, permite explicar las interrelaciones de la masa forestal con su entorno.
- H2. La generación de modelos geoespaciales permite la adecuada valoración de cada área específica permitiendo proponer adecuaciones a los planes de manejo.

#### 2. Antecedentes

A lo largo de la historia, el manejo forestal se ha manifestado bajo diversos enfoques Sus inicios se atribuyen a los pueblos galos y germánicos quienes desarrollaron estilos de vida ligados al bosque. Para el Imperio Romano las áreas forestales no tenían valor pues en ellas no podía desarrollarse la vida civilizada, con su caída, dichos terrenos pasaron a manos de la corona y del clero, para su aprovechamiento se establecieron reglas y fueron conocidas como servidumbres, así como su conservación tenía el objetivo de proveer recursos alimenticios y fauna para actividades cinegéticas de los nobles (Mendoza, 1993).

En 1066 se estableció la primer legislación forestal denominada "Constituciones de foresta" por el rey Canute de Inglaterra, posteriormente complementadas por Guillermo I, las cuales buscaban la permanencia de una cubierta forestal que permitiera el libre tránsito de la fauna cinegética y protegiera su hábitat. Corrientes similares de manejo forestal se dieron en Francia (Mendoza, 1993).

Durante la edad media, la madera se convirtió en un material estratégico, en especial para propósitos de construcción naval, por lo que se cosechaba en gran cantidad. Luego, en tiempos de paz, ante perspectivas de nuevos conflictos, los gobiernos se esforzaban en reforestar los bosques talados, en consecuencia se registró una prolongada sucesión de ciclos de explotación y reforestación (James, 1981).

En Francia los antecedentes más antiguos son las ordenanzas de 1280, 1318 y 1346, en donde se establecía un cuerpo de grandes maestros forestales los cuales eran los encargados del manejo, protección y permanencia del recurso. Carlos V en 1376, estableció la ordenanza de Melun, la cual se mantuvo vigente hasta 1669, es la materialización de la experiencia francesa, la cual establecía:

- a) Los propietarios de bosques habrán de limitarse a cosechar una cantidad de madera que permita un rendimiento continuo y que no dañe la capacidad productiva del bosque.
- b) El control de cortas en monte alto se hará en áreas entre 10 y 15 hectáreas. La ubicación de dichas áreas queda a cargo de los maestros forestales.
- c) Las áreas de corta deberán tener límites claramente definidos, y las esquinas deberán estar señaladas por árboles marcados tanto en su base como a la altura del pecho

- d) Las áreas de corta deben permanecer cercadas
- e) Habrán de dejarse entre 15 y 20 árboles semilleros por hectáreas, tanto en monte bajo como en monte alto.

Este tipo de manejo se aplicó en áreas planas o de poca pendiente y creó las bases del tratamiento de corta de regeneración y corta de liberación de hoy en día, su avance en la aplicación duró hasta el siglo XVIII cuando se incorporaron los bosques de terrenos accidentados de pendientes moderadas a fuertes, los cuales motivaron la explotación selectiva, base de los tratamientos de selección (Mendoza, 1993).

En un esfuerzo por reglamentar la silvicultura Eduardo IV de Inglaterra establece en su acta de 1482 el cercado de las áreas de corta para favorecer a la regeneración que pudiera aparecer. Posteriormente en 1543 Enrique VIII promulgó el Acta de Preservación de los Bosques, la cual hace obligatorio el cercado de áreas de corta, evitar el pastoreo, la selección de árboles semilleros para regeneración, la asignación de turnos y diámetros mínimos (Osmaston, 1968).

Entre los avances técnicos franceses del siglo XVI se puede señalar:

- a) La definición precisa de árboles semilleros.
- b) El uso de tratamientos de preparación de suelos.
- c) Prácticas avanzadas de fomentar la regeneración natural.
- d) Complementación de la regeneración natural.
- e) Ejecución de limpias cada diez años (aclareos).
- f) Prácticas de cortas de mejoramiento y saneamiento.

En 1669 se promulgó una nueva ordenanza, a iniciativa de Jean Baptiste Colbert, ministro de finanzas de Luis XIV, la cual establecía el requerimiento de una autorización oficial para todo tipo de cortas, se especificará la ubicación, extensión y tratamiento, restringiendo el pastoreo. Esta ordenanza marcó la necesidad de elaborar planes formales de manejo forestal y de que la ejecución de los aprovechamientos sea supervisada por el Estado (Mendoza, 1993).

Mientras que en las primeras etapas históricas del manejo forestal se presentó una insistencia del Estado por la administración que permita la

permanencia del bosque, durante la revolución industrial esta idea de persistencia del recurso se transformó en el concepto de rendimiento sostenido, y para ello parecen haber coincidido tres circunstancias:

- 1.- El crecimiento demográfico y las constantes guerras causaron una escasez del recurso forestal en Europa, la cual generó políticas a favor de la reglamentación de los aprovechamientos. La idea del <u>rendimiento sostenido</u> se utilizó como lema político para transmitir un mensaje simple y de fácil aceptación sobre la extracción continua, no declinante y máxima del recurso. Para el Estado, el máximo rendimiento sostenido no era un fin en sí mismo, sino un medio para implementar una política de persistencia del recurso forestal.
- 2.- La fundación de las primeras escuelas forestales, marcó el inicio del manejo forestal como una disciplina científica, y con ello el deseo de encontrar patrones sistemáticos de producción que fueran aplicables a la administración del bosque. En todas las escuelas se consideró al bosque normal y al máximo rendimiento sostenido como objetivos fundamentales del manejo forestal.
- 3.- Según Lee (1982), también influyó el carácter del pueblo alemán conocido como amante del orden, el cual aportó una visión mecanicista de la realidad, ordenando el "desorden natural" para crear una línea de producción de madera con ritmo eficiente y regular.

Respecto al desarrollo de la silvicultura, éste se caracterizó por la implementación de diferentes métodos de tratamiento creados o modificados en base a los resultados registrados de intervenciones anteriores, tales como el método de cortas sucesivas o de protección, propuesto por G.L. Harting Alemania en 1700. También durante ese periodo se aplicó el método de árboles semilleros, el cual tuvo algunos reveses, pues con frecuencia se perdía la regeneración cuando los semilleros eran derribados por viento o nieve, para lo cual se hicieron modificaciones a su aplicación. Para las prácticas de aclareos, a pesar de haberse aplicado en la antigüedad, el inicio de su desarrollo científico se establece en los escritos de Cotta a principios del siglo XIX y los primeros

experimentos de trascendencia fueron realizados hasta 1860 en Alemania (Mendoza, 1993).

En 1817 se establecieron grandes plantaciones coetáneas de especies exóticas de altos rendimientos financieros, las cuales sufrieron daños por plagas, enfermedades y viento. Esta experiencia creó la necesidad del desarrollo de técnicas de manejo incoetáneo, orientadas a fomentar condiciones de bosque ecológicamente estables vía el cultivo de masa de especies y edades mezcladas. Así aparece el método de selección en grupos, propuesto por Kart Gayer en 1880, el sistema de matarrasa en fajas desarrollado por Wagner y Eifert, el sistema silvícola de selección creado por Gurnaud y Biolley en Suiza y el sistema de protección irregular de Baden en Babaria.

Gurnaud y Biolley pugnaron por una silvicultura experimental que tuviera bases ecológicas sólidas y que reconociera el carácter único de cada situación forestal.

La tendencia ecológica en la silvicultura también se manifestó en los sistemas coetáneos, en el método de manejo por rodal, propuesto por Judeich en 1862. Según este método la cosecha de rodales coetáneos debe programarse con base en su edad, pero influyendo también sus situación sanitaria, su inventario de existencias de productos comerciales, sus metas de regulación y su accesibilidad. Así mismo los trabajos de Bollem en 1740 con el método de regulación por volumen (Osmaston, 1968), el cual propone aprovechamientos anuales de igual volumen distribuidos a lo largo del turno. Posteriormente Hartig en 1795 como resultado de frecuentes fallas en el establecimiento de la regeneración, modifica el método de regulación por volumen y propone evitar que áreas de corta de años sucesivos estuvieran contiguas y el avance del frente de corta fuera perpendicular al viento dominante, con el objetivo de disponer de fuentes alternas de semilla para la regeneración.

En 1820 Cotta mejora la propuesta de Hartig al incluir el elemento de calidad de estación y simplificando los cálculos de posibilidad sustituyendo el control de volúmenes por el de áreas.

El reconocimiento de la dasonomía como disciplina científica se debe al interés por desarrollar modelos matemáticos que definan al bosque meta. El primer antecedente parece ser el método austriaco de manejo de 1788, desarrollado para estimar el pago de impuestos prediales forestales, el cual intentaba definir matemáticamente la productividad potencial del bosque mediante relaciones entre existencias, incremento y posibilidad. Proponía una secuencia proporcionada de rodales de todas las edades. (Osmaston, 1968).

Durante el siglo XIX y la primera mitad del siglo XX abundaron publicaciones relativas a modelos matemáticos que definían el ideal estado de normalidad, sus características silvícolas de rendimiento y de manejo a nivel bosque, los cuales constituyeron la base de modelos de cálculo de posibilidad, regulación de cortas y división dasocrática del terreno (Mendoza, 1993).

El carácter industrial de la actividad forestal se debe a la consideración de variables financieras en el manejo. Según Max Robert Pressler (inventor del taladro para medir edades e incrementos), debería de abandonarse la idea del bosque normal y considerar a cada rodal como una inversión independiente de los demás rodales, liquidándolo cuando mostrara no rendir más allá de una tasa de retorno mínimo aceptable. Junto con Koening fomentaron los aclareos para mejorar el rendimiento financiero del cultivo (James, 1981).

Un ejemplo de ello se encuentra en Davis 1966, donde se compara la diferencia de significados del manejo forestal, según Roth 1925, la meta del manejo forestal era el "construir, ordenar y mantener en orden un negocio forestal", en cambio para la Asociación de Forestales Americanos en 1958, definen al manejo forestal como "La aplicación de métodos de negocios y principios de técnica forestal para la operación de una propiedad forestal".

Los cambios en la actividad forestal durante el siglo XX han sido numerosos, sin embargo, las bases fundamentales del manejo forestal parecen continuar prácticamente sin alteración. Los avances logrados se centran en métodos de trabajo (regeneración, extracción, medición, inventarios, herramientas y equipos, etc.), mas sin embargo no se ha resuelto la controversia entre productividad y estabilidad ecológica (Mendoza, 1993).

Actualmente en México, la Nueva Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (25 de mayo 2003), título primero, capítulo I, artículo 3° bis, define el manejo forestal como "el conjunto de acciones y procedimientos que tienen por objeto el cultivo, protección, conservación restauración o aprovechamiento de los recursos forestales, de tal manera que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas a los que se integran".

Entre los primeros trabajos a nivel internacional que impulsan el uso de SIG en el manejo forestal, se tienen los de Jordan en 1992, el cual sugiere guías para la investigación y desarrollo del potencial de los SIG en el manejo forestal, incluyendo diseño de manejo de bosques, implementación de inventarios, y estudios sobre la respuesta del bosque a sus intervenciones. Entre las primeras aplicaciones tenemos a Congalton et al. (1993), quienes utilizan imágenes Landsat-TM para producir bases de datos y mapas de bosques de coníferas de viejo crecimiento, así como la producción potencial de madera. El trabajo de Fiorella (1993), utiliza imágenes Landsat-TM para desarrollar una clasificación de estados sucesionales forestales que pueden ser integrados a un SIG. Posteriormente en 1995, Brownlie y Terlesk utilizan los SIG para combinar fotografías aéreas y datos de campo de las áreas de aprovechamiento para identificar y cuantificar los disturbios causados al suelo. Una de las primeras estimaciones de área basal fue desarrollada por Coulombe y Lowell (1995), quienes analizaron la factibilidad de estimación de área basal mediante la relación entre medidas de campo con algunas variables ecofisiográficas en un modelo de regresión usando un SIG.

Jordan y Wardoyo (1996) compararon el buen entendimiento del diseño de manejo forestal y su implementación, contra la pobreza de conocimiento en la evaluación del manejo forestal con respecto a su respuesta a los tratamientos. Resalta la importancia del estado del manejo en estos procesos para detectar problemas y ajustar estrategias. Proponen un marco de referencia para la evaluación del manejo forestal basado en imágenes de satelite (Landsat-TM), y tecnología de SIG (Arc/Info, Easi/Pace). El proyecto que involucra el desarrollo e integración de modelos para entender la dinámica entre suelo, vegetación y radiación en ecosistemas forestales, es el desarrollado entre NASA y el Instituto

de Ecología Terrestre. Este proyecto involucra modelos de simulación, sensores remotos, investigación de campo y SIG.

Actualmente, existen una gran variedad de trabajos y proyectos sobre temas forestales los cuales involucran el uso de SIG e imágenes de satélite, cada uno de ellos tratando de entender las interrelaciones entre los factores de medio físico y la biota propia del lugar, con el objetivo de minimizar el grado de impacto en sus masas forestales, quedando de manifiesto que, la principal ventaja del uso de sensores remotos en el manejo forestal es la facilidad de evaluar los tipos de uso de suelo y cobertura vegetal, orientando los trabajos de campo durante el desarrollo de inventarios, así como la sistematización de información (Lang, 1998).

Los primeros inventarios forestales fueron realizados de forma individual en la preparación de planes de manejo en Europa durante el siglo XIX, sin embargo no se agruparon para obtener resultados a nivel nacional. Suecia fue el primer país en realizar un verdadero inventario nacional forestal (Harrison, 1951).

Es un hecho reconocido que el bienestar físico de los pueblos depende de la cantidad y forma en que se utilicen los recursos naturales que poseen, así mismo, de la disponibilidad de materias primas para el desarrollo de industrias manufactureras y el comercio.

De esta forma, si se desea obtener el máximo beneficio productivo y protector de los bosques deben entonces someterse a una política bien estructurada, así como a una planificación bien definida, esto es imposible sino se conoce primero la extensión y naturaleza de los bosques, conocimiento proporcionado por el inventario forestal. Si dicho inventario se efectúa a escala nacional deberá proporcionar datos sobre los cuales se base la formulación de una política forestal constructiva y un plan general para su desarrollo; en el caso de superficies determinadas que se deseen someter a ordenación, deberá contener los elementos necesarios para la preparación de un plan adecuado (Harrison, 1951).

A nivel nacional, la evaluación de la cobertura forestal se ha realizado en base a la disponibilidad de recursos y políticas gubernamentales, como se muestra en la tabla 1, donde se hace un recuento de la superficie forestal nacional publicada por anuarios estadísticos desde 1976 hasta el 2000, en los cuales se puede observar que la información sobre superficie forestal en sus diferentes categorías se mantiene sin variación por largos periodos de tiempo, cifras que no se modifican pese al continuo deterioro de las áreas forestales en México por incendios y cambio de usos de suelo a agropecuario o urbano. Cabe señalar la variación de superficie a partir de 1992, año en que inició el Inventario Nacional Forestal de Gran Visión, el cual manifiesta seguir con la misma tendencia de políticas anteriores.

A nivel Estatal (Secretaría de Recursos Naturales y SEMARNAT Durango), utilizan las cifras oficiales generadas a nivel Federal y la información de detalle es generada directamente por los prestadores de servicios forestales de las diferentes zonas del Estado. Presenta el problema de carencia de información en las zonas no administradas o evaluadas, como la región de las quebradas la cual es muy inaccesible.

	Superficie Arbolada en	hectáreas					-
,	Bosques		-	Selva	ıs		
Año	Coniferas y Latifoliadas	<u>Latifo</u> liadas	Total Bosque: Altas y	Medianas	Bajas	Total Selvas	Total
1976	1,005,900	413,575	1,419,475	2,12 <del>9</del> ,700	452,575	2,582,275	4,001,750
1977	1,005,900	413,575	1,419,475	2,129,700	452,575	2,582,275	4,001,750
1978	1,005,900	413,575	1,419,475	2,129,700	452,575	2,582,275	4,001,750
1979	1,005,900	413,575	1,419,475	2,129,700	452,575	2,582,275	4,001,750
1980	1,005,900	413,575	1,419,475	2,129,700	452,575	2,582,275	4,001,750
1981	1,005,900	413,575	1,419,475	2,129,700	452,575	2,582,275	4,001,750
1982	1,005,900	413,575	1,419,475	2,129,700	452,575	2,582,275	4,001,750
1983	1,005,900	413,575	1,419,475	2,129,700	452,575	2,582,275	4,001,750
1984	1,005,900	413,575	1,419,475	2,129,700	452,575	2,582,275	4,001,750
1985	1,005,900	413,575	1,419,475	2,129,700	452,575	2,582,275	4,001,750
1986	1,005,900	413,575	1,419,475	2,129,700	452,575	2,582,275	4,001,750
1987	1,006,000	414,000	1,420,300	2,129,700	453,000	2,582,700	4,002,700
1988	1,006,000	414,000	1,420,000	2,129,700	453,000	2,582,700	4,002,700
1989	1,006,000	414,000	1,420,000	2,129,700	453,000	2,582,700	4,002,700
1990	1,006,000	414,000	1,420,000	2,129,700	453,000	2,582,700	4,002,700
1991	1,006,000	414,000	1,420,000	_2,129,700	453,000	2,582,700	4,002,700
1992	20,799,937	9,570,705	30,370,642	5,793,910	10,948,862	16,742,772	47,113,414
1993	20,799,937	9,570,705	30,370,642	5,793,910	10,948,862	16,742,772	47,113,414
1994	20,799,937	9,570,705	30,370,642	5,793,910	10,948,862	16,742,772	47,113,414
1995	20,799,937	9,570,705	30,370,642	5,793,910	10,948,862	16,742,772	47,113,414
1996	20,799,937	9,570,705	30,370,642	5,793,910	10,948,862	16,742,772	47,113,414
1997	20,799,937	9,570,705	30,370,642	5,793,910	10,948,862	16,742,772	47,113,414
1998	20,799,937	9,570,705	30,370,642	5,793,910	10,948,862	16,742,772	47,113,414
1999	20,799,937	9,570,705	30,370,642	5,793,910	10,948,862	16,742,772	47,113,414
2000	20,799,937	9,570,705	30,370,642	5,793,910	10,948,862	16 <u>,742,7</u> 72	47,11 <u>3,414</u>

Fuente: SFF SARH, SEMARNAT.

Tabla 1. Superficie forestal nacional según Anuarios Estadísticos.

A nivel local, las evaluaciones son realizadas mediante inventarios de campo realizados cada 10 años, con apoyo de métodos fotogramétricos. Su

principal desventaja es la carencia de visión integral, sin estructura de sistematización ya que son elaborados con un enfoque de aprovechamiento local, difíciles de integrar regionalmente. Existen algunos casos, donde varias unidades de producción forestal han elaborado sus inventarios guiados por una unidad de servicios técnicos forestales en común, donde se integra de forma uniforme pero parcial grandes regiones. Sin embargo, no están exentos de posibles errores presentes en las metodologías de evaluación utilizadas.

El inventario nacional forestal de gran visión realizado en 1992 integró en su metodología el uso de imágenes de satélite Landsat, las cuales son utilizadas recientemente a nivel internacional para la evaluación de la cobertura vegetal y/o usos de suelo. Este tipo de información provee de datos de alta resolución acerca la reflectancia superficial (albedo de los materiales en su superficie) cubriendo grandes áreas y se constituyen en una herramienta muy útil para la creación de mapas sobre tipos de vegetación, uso de suelo, geología, y otros temas (SARH, 1992).

# Manejo forestal en el área de estudio

La historia del manejo forestal del Ejido Pueblo Nuevo se inicia con los primeros aprovechamientos en 1918, basándose en el método de selección, caracterizándose por la poca importancia dada a los rubros de: investigación, manejo, protección y fomento, bajo la premisa de obtener las mayores utilidades con el mínimo de inversión, sin considerar beneficios sociales e indirectos. En cuanto al desarrollo del manejo forestal, se considera que el primer estudio dasonómico que se elaboró para el ejido fue realizado por C. Blanco et al. 1943. En 1965 C. Teck elaboró un estudio para la porción denominada Cofradía y los Aceros. Posteriormente se efectuó un estudio dasonómico por O. Zarzoza et al. Todos estos estudios estuvieron basados en el Método Mexicano de Ordenación de Montes, con aplicación de cortas selectivas hacia los individuos de buena calidad y grandes dimensiones, operando este método hasta 1977, año en que entra en operación el estudio formulado por J. M. Cassián et al., con este estudio se implementa en la Región el Método de Desarrollo Silvícola, este método adolece de fundamentos para conocer la dinámica de crecimiento y producción del bosque, dejando sin considerar también los aspectos

socioeconómicos como base de planeación y de medición de los efectos de los aprovechamientos forestales (Meráz, 1998). Bajo la perspectiva de Manejo Integral Forestal en 1988 se buscó representar la dinámica del bosque y los impactos que sobre éste y sus recursos asociados tienen los aprovechamientos maderables, para el Ejido Pueblo Nuevo los estudios fueron realizados por J. M. Cassián et al. (Meráz, 1998). Para el periodo (1994-1997) se inician los estudios del Programa de Manejo Forestal por R. Meráz et al. Posteriormente, después de ajustes administrativos en los servicios técnicos forestales en 1997 inicia el programa de manejo forestal del ejido Pueblo Nuevo 1997-2007, elaborado por los servicios técnicos forestales del ejido, dirigidos por Ing. Rufino Meráz Alemán. Dicho programa de manejo presenta un diagrama general del proceso de planeación forestal empleado en el cual el uso de SIG se constituye como un elemento central en la definición, integración y análisis del inventario ecológico, socioeconómico y del recurso forestal (figura 1).

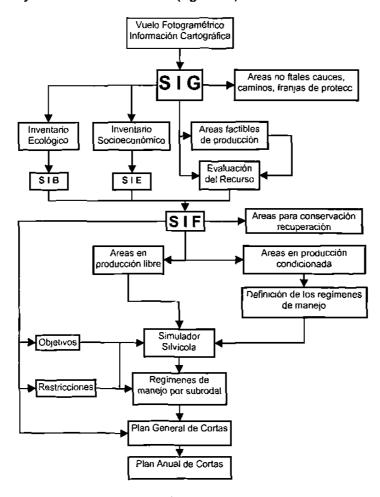


Figura 1. Diagrama de planeación forestal del ejido Pueblo Nuevo 1997-2007.

### 3. Área de Estudio

El área de estudio es el Ejido Pueblo Nuevo, el cual se encuentra ubicado entre las coordenadas 23° 06' 54" a 23° 39' 00" de latitud norte y 105° 12' 25" a 105°46' 19" de longitud al oeste de meridiano de Greenwich, en el Estado de Durango, Municipio de Pueblo Nuevo, con una superficie total de 240,739 hectáreas (figura 2).

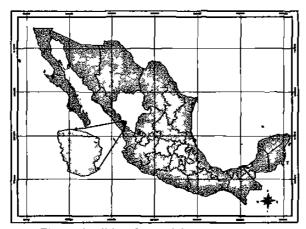


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

- 3.1. Fisiografía: Según INEGI (1981), el área de estudio se ubica en la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental, dentro de las subprovincias Gran meseta y cañones duranguenses, así como mesetas y cañones del sur. El área de estudio se caracteriza por presentar en su parte norte relieve característico de sierra alta y algunas mesetas alineadas de suroeste a noreste, algunos lomeríos y zonas onduladas. En la parte media, donde la altitud es más baja se presentan pendientes de moderadas a fuertes y que culminan en cañones, mismos que presentan una gran variación de altitud y topografía generalmente escarpada. La variación altitudinal dentro del predio es de 2,800 metros con una mínima de 126 hasta una máxima de 2,926 m.s.n.m.
- 3.2. Geología: La información geológica digitalizada escala 1:250,000 de INEGI (1984) registro una dominancia de roca ígnea extrusiva tipo toba ácida, la cual es un conjunto de productos pirocásticos de diversas características, comprende

tobas radioasíticas, riolíticas, dasíticas e ignibritas, que presentan diversas texturas, tales como piroclástica, holocristalina, afanítica y porfídica. Se presentan en pseudoestratificación, fracturamiento moderado, intemperismo somero; su color varía de pardo claro a rosado con tonos blancos, negros y amarillo ocre. La unidad está asociada con depósitos vulcanoclásticos, sus relaciones estratigráficas son discordantes sobre las rocas más antiguas, subyace de igual modo a basaltos. Estratigráficamente se puede observar una marcada preferencia de fallamiento y fracturamiento con orientación norte-sur (figura 3).

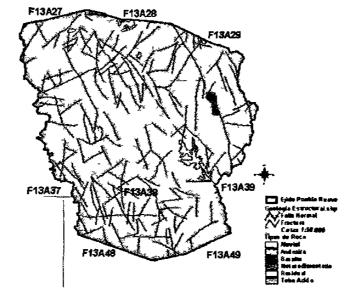


Figura 3. Geología estratigráfica y estructural de área de estudio.

3.3. Edafología: De acuerdo con la información contenida en la carta escala 1:250,000 de INEGI (1988). En el área de estudio existe una dominancia de suelos de tipo regosol, seguido de litosoles y regosoles (tabla 2 y figura 4). Predominando la textura media dentro de los primero 30 cm de profundidad, presentan buen drenaje y aereación, existen áreas distribuidas al noroeste, en la zona de cañones, en las que se presentan suelos de textura gruesa, generalmente relacionados con los grupos de cambisol eútrico, regosol eútrico y litosol.

Unidades de Suelo	Descripción
Cambisol	Es un suelo joven, poco desarrollado, de cualquier clima, menos de zonas áridas, con cualquier tipo de vegetación, el subsuelo tiene una capa de terrones que presentan un cambio con respecto al tipo de roca subyacente, con alguna acumulación de arcilla, cálcio, etc. Suceptibilidad de moderada a alta a la erosión.
Litosol	Es un suelo de distribución muy amplia, se encuentra en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, son suelos sin desarrollo, con profundidad menor a 19 cm, tiene características muy variables, según el material que los forma. Su susceptibilidad a la erosión depende de la zona donde se encuentre, puede ser moderada a alta.
Regosol	Se caracteriza por no presentar capas distintas, son claros y se parecen a la roca que les dio origen, se pueden presentar en muy diferentes climas y con diversos tipos de vegetación, son de susceptibilidad variable a la erosión.

Tabla 2. Tipos de suelo en el área de estudio.

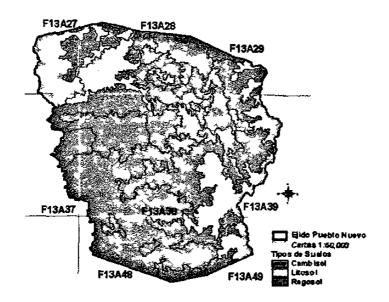


Figura 4. Edafología del área de estudio.

3.4. Climas: Uno de los factores determinantes para la distribución de los climas en el Estado de Durango es la barrera constituida por la Sierra Madre Occidental, que detiene los vientos húmedos presentándose en la región de las quebradas un clima marítimo semitropical con temperaturas generalmente altas

durante el año, con abundante precipitación pluvial y alta humedad atmosférica, a excepción de la región citada, la mayor parte de la sierra, por su altitud, tiene un clima semihumedo templado o semifrío, que se vuelve templado o semiseco en el lado oriental de la sierra y en buena parte de la franja central del estado, INEGI, 1981 (figura 5 y tabla 3),

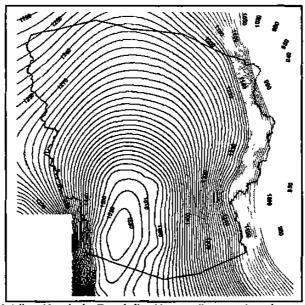


Figura 5. Distribución de tipos climáticos en el área de estudio.

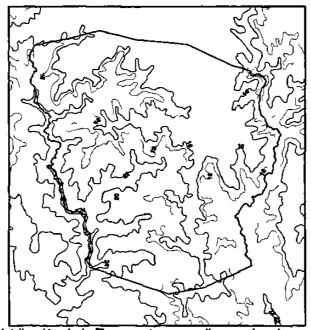
Tipo climático	Descripción
(A)C(W1)	Clima semicálido subhúmedo, con lluvias en verano, con precipitación del mes más seco menor de 40 mm. y porciento de lluvia invernal entre 5 y 10.2 (agrupa los subtipos de humedad media de los semicálidos subhúmedos).
(A)C(W2)	Clima semicálido subhúmedo, con lluvias en verano, con precipitación del mes más seco menor de 40 mm. y porciento de lluvia invernal entre 5 y 10.2 (agrupa los subtipos más húmedos de los semicálidos subhúmedos).
AW1(W)	Clima cálido subhúmedo con lluvias en verano con porcentaje de fluvia invernal entre 5 y 10.2 mm.
AW2(W)	Clima cálido subhúmedo con lluvias en verano con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 mm.
C(E)(W2)	Clima semifrio subhúmedo con lluvias en verano con un porcentaje de precipitación entre 5 y 10.2 mm.
C(W2)	Clima templado subhúmedo con lluvias en verano con un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm
C(E)(M)	Clima semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano con porcentaje de precipitación invernal mayor de 5 mm.

Tabla 3. Descripción de los tipos climáticos (clasificación climática de Koppen, modificado por E. García, 1964) presentes en la zona de estudio.

3.5. Precipitación y Temperatura: Estos dos factores son los principales descriptores del clima. Los patrones de distribución en espacio y tiempo de la precipitación, conjuntamente con la temperatura son utilizados para realizar la caracterización del clima local. Así mismo, guardan una especial atención, pues influyen muy fuertemente en la distribución de los seres vivos. La combinación de ellos, generan condiciones macro y microclimáticas de los ecosistemas. Los patrones de distribución (figuras 6 y 7) y sus promedios mensuales se representan mediante un diagrama climático de Walter (figura 8).



Figuras 6. Distribución de la Precipitación media anual en la zona de estudio.



Figuras 7. Distribución de la Temperaturas media anual en la zona de estudio.

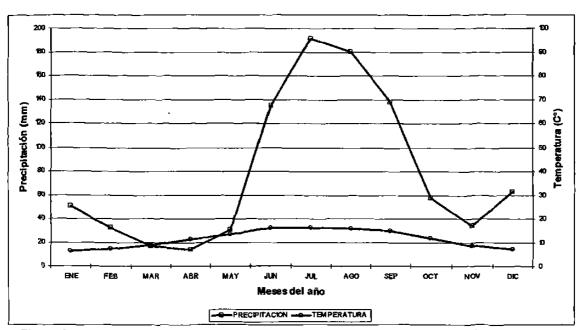


Figura 8. Diagrama climático de Walter para la estación meteorológica de El Salto, Durango.

- 3.6. Hidrología: La zona de interés se encuentra en la región hidrológica número 11, dividida por dos cuencas, INEGI, 1989 (figura 9):
  - Cuenca de Río Baluarte "C" (185,089-40-29 Has.) (76.88%)
  - Cuenca del Río Acaponeta "B" (65,095-33-83 Has.) (27.04%)

Dentro de la cuenca del Río Baluarte, destacan las subcuencas de la Quebrada de Guadalupe y la del Río Baluarte.

Dentro de la cuenca del Río Acaponeta, destacan las subcuencas de Quebrada San Vicente y Río San Diego. Cabe mencionar que en el límite sur del predio existe una muy pequeña fracción de la subcuenca Río Acaponeta.

**3.7. Uso de suelo y vegetación:** La información cartográfica digital en formato vectorial de tipos de vegetación y uso de suelo del Inventario Nacional Forestal 2000, facilitada por SEMARNAT, fue integrada al SIG (figura 10).

Evaluando el resultado del Inventario Nacional Forestal 2000 sobre el área de estudio (tabla 4), la superficie ocupada por bosques de pino-encino y encino-pino ocupa casi una cuarta parte, seguido por otro tanto de bosque de pino. Ambos, ocupan la mitad del área. Desde esta perspectiva, el área de estudio

muestra una aparente estabilidad ecológica, ya que solo el 1% esta ocupada por cultivos y un 3% por pastizales. Mas sin embargo, el 37.7 % esta ocupado por mezclas con vegetación secundaria arbustiva y herbácea.

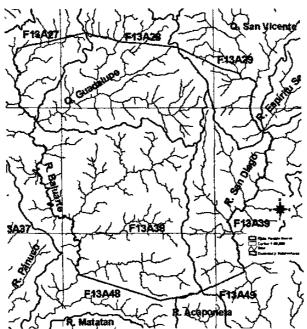


Figura 9. Principales Cauces y área de captación en la zona de estudio.

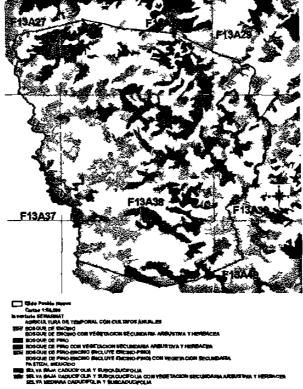


Figura 10. Tipos de Uso de Suelo y Vegetación del Inventario Nacional Forestal 2000 en la zona de estudio.

COMUNIDAD	Hectáreas	%
AGRICULTURA DE TEMPORAL CON CULTIVOS		
ANUALES Y SUELOS DESNUDOS	2,440	1.01
BOSQUE DE ENCINO	22,170	9.21
BOSQUE DE ENCINO CON VEGETACION SECUNDARIA		
ARBUSTIVA Y HERBACEA	31,101	12.92
BOSQUE DE PINO	51,263	21.29
BOSQUE DE PINO CON VEGETACION SECUNDARIA		
ARBUSTIVA Y HERBACEA	16,580	6.89
BOSQUE DE PINO-ENCINO (INCLUYE ENCINO-PINO)	57,422	23.85
BOSQUE DE PINO-ENCINO (INCLUYE ENCINO-PINO)		
CON VEGETACION SECUNDARIA	28,896	12.00
PASTIZAL INDUCIDO	7,855	3.26
SELVA BAJA CADUCIFOLIA Y SUBCADUCIFOLIA	8,683	3.61
SELVA BAJA CADUCIFOLIA Y SUBCADUCIFOLIA CON		
VEGETACION SECUNDARIA ARBUSTIVA Y HERBACEA	14,176	5.89
SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA Y SUBCADUCIFOLIA	155	0.06
TOTAL	240,740	_

Tabla 4. Superficie por tipo de vegetación o uso de suelo en el área de estudio, según Inventario Nacional Forestal 2000. SEMARNAT.

3.8. Aspectos socioeconómicos: El ejido Pueblo Nuevo cuenta con un total de 118 localidades y 11,886 habitantes, de los cuales 5,973 son hombres y 5,913 son mujeres (Censo de Población y Vivienda 2000, INEGI, 2000), representando el 26.29% de la población total del Municipio. Su densidad de población es de 4.94 habitantes por kilómetro cuadrado, equivalentes a 20.25 hectáreas por habitante (tabla 5). El ejido actualmente cuenta con un total de 1,498 miembros.

Es un núcleo ejidal que aprovecha sus recursos forestales de manera colectiva el cual fue dotado mediante resolución presidencial el 15 de mayo de 1931, publicada en el diario oficial de la federación de fecha 03 de junio de 1931 con una superficie de 166,754-52-81 hectáreas, ejecutándose dicha resolución con fecha 14 de junio de 1931 con la misma superficie, habiéndose registrado en el Registro Agrario Nacional, con fecha 27 de enero de 1944, numero de registro 727, foja 60, volumen 7.

A nivel Municipio, existen grupos étnicos como Tepehuanos, Coras y Huicholes; en el año 2000 existía una población de lengua indígena de 2,844 representando el 6.29% de la población.

Variable	Estado	Municipio "	Ejido
Localidades	6,258	295	118
Población 2000	1,448,661	45,217	11,886
Hombres	709,521	22,434	5,973
Mujeres	739,140	22,783	5,913
Tasa de crecimiento 80-90	1.33 %	1.60 %	
Tasa de crecimiento 90-2000	0.71 %	1.42 %	
Densidad Hab./Km2	7.10	7.10	4.94

Fuente: INEGI, Censo Nacional de Población y Vivienda 2000.

Tabla 5. Variables demográficas.

La distribución de las actividades económicas varía según las fuentes consultadas (tablas 6 y 7).

Sector	PEA	%	Actividad Dominante	PEA	%
Primario	1,779	17.00%	Agropecuario	1,779	100.00%
Secundario	3,732	35.65%	Manufactura	3,086	82.69%
Terciario	4,561	43.58%	Comercial	1,487	32.60%
No Especifico	395	3.77%			
Total Municipal	10,467				
Total Ejidal	1,613	13.57%			

Fuente: Secretaría de Gobernación, 2000.

Tabla 6. Distribución de la Población Económicamente Activa según SEGOB.

%	Actividad	Población 🛓
80	Sector primario (industria forestal principalmente, el cual está concentrado en este sector).	9,614
15	sector secundario (minería, extracción de petróleo y gas, electricidad, agua, construcción).	1,803
5	sector terciario (gobierno, comercio y otros servicios).	601

Fuente: INEGI, 1995.

Tabla 7. Distribución de la Población Económicamente Activa según INEGI.

Las actividades agropecuarias están representadas básicamente por los cultivos de maíz y frijol, así como la crianza de ganado bovino, porcino, equino y diversas aves.

A nivel ejidal, se registra un total de 1,964 viviendas habitadas, de las cuales 1,940 (98.78%) son particulares y los materiales empleados para su construcción son: madera, ladrillo y cemento. 1,206 (61.41%) cuentan con energía eléctrica, 1,382 (70.37%) tienen agua entubada y 233 (11.86%) con sistema de drenaje, la tabla 8 muestra comparaciones a nivel Municipal y Estatal.

Indicador	Estado Dgo.	Municipio PN	Ejido PN
con drenaje	74.20 %	71.25 %	11.86 5
con energia eléctrica	87.30 %	76.03 %	61.41 %
con agua entubada	86.52 %	84.64 %	70.37 %

Fuente: INEGI, 2000.

Tabla 8. Comparación de indicadores promedio para el Estado y Municipio.

Los medios de comunicación con que cuenta el ejido son: transporte rural colectivo propiedad del ejido, que comunica con la cabecera municipal, existen un total de 600 casas habitación que cuentan con televisión, dos poblaciones cuentan con caseta pública de teléfonos y en la cabecera municipal, se cuenta con central camionera, servicios telefónicos para las viviendas y caseta pública (lada y fax), oficinas de telégrafos, correos e internet.

Las vías de comunicación existentes en el ejido son, 665.97 Km. de carreteras de terracería, 1,712.30 Km. de brechas y 7,981.34 Km. de veredas. En la cabecera Municipal cruza la carretera federal No. 40, tramo Durango-Mazatlán, kilómetro 100 (figura 11).

El aspecto educativo puede resumirse en la tabla 9, la cual muestra la infraestructura Municipal existente y algunas varíables importantes.

Nivel	No. Escuelas	Docentes	Alumnos
Preescolar	84	78	5,283
Primaria	154	324	18,581
Secundaria	47		7,003
Bachiller	3		1,623
Profesional	1		435

Variable	Estatal	Municipal	Ejidal ***
Población entre 6 y 14 años que sabe leer y escribir	88.67 %	81.12 %	77.39 %
Población mayor de 15 años alfabeta	94.52 %	91.30 %	89.77 %
Población mayor de 15 años sin primaria	21.96 %	28.37_%	42.10 %
Grado de escolaridad	7.31	5.97	4.97

Tabla 9. Infraestructura e indicadores de educación Municipal.

La prestación de servicios de Salud inicia en 1957 con el Instituto Mexicano del Seguro Social; brindando atención a los trabajadores del municipio. También existe un centro de salud de la Secretaría de Salubridad y Asistencia y un pequeño consultorio del Instituto de Seguridad y Servicio Social para los Trabajadores del Estado (ISSSTE). Actualmente se cuenta a nivel municipal con

17 unidades médicas de 1er. nivel, 34 consultorios, 16 médicos generales, 15 enfermeras. En el ejido existen 2,897 personas con derecho a servicios de salud, 2,796 en el IMSS y 101 en el ISSSTE.

Para SEGOB las variables más relevantes presentes en el municipio se muestran en la tabla 10.

indicador :	Município PN	Promedio Estatal
% + 15 años analfabeta	8.61 %	8.38 %
% + 15 años sin primaria	37.35 %	42.20 %
% sin drenaje	28.75 %	25.80 %
% sin energía eléctrica	23.97 %	12.70 %
% sin agua entubada	15.36 %	13.48 %
% piso de tierra	31.21 %	20.28 %

Fuente: SEGOB, 2000.

Tabla 10. Indicadores relevantes SEGOB.

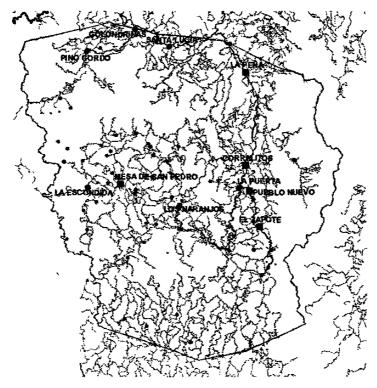


Figura 11.Localidades e infraestructura de caminos, brechas y veredas

De la situación socioeconómica previamente descrita, puede concluirse que el área de estudio, así como las localidades ubicadas en la Sierra Madre Occidental del Estado, son las de menor infraestructura de comunicación, servicios, educación y en consecuencia la de mayor grado de marginación como se observa en la figura 12.

Canaralmenta obtignen que ingresos de la evolutación de sus recursos

Generalmente obtienen sus ingresos de la explotación de sus recursos naturales, complementados con actividades agropecuarias de autoconsumo.

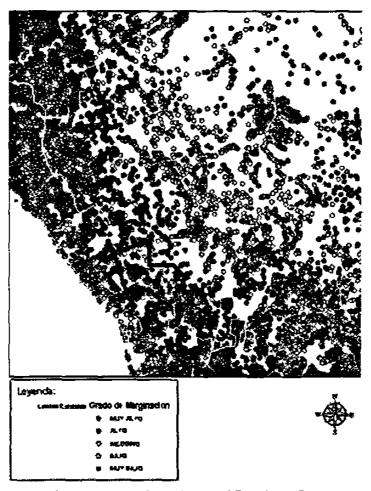


Figura 12. Grado de Marginación por localidad en el Estado de Durango y otros Estados colindantes.

## 4. Materiales y Métodos

#### 4.1. Infraestructura utilizada

Para la integración, análisis, modelos y generación de nueva información, se trabajó en los laboratorios de SIG de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL y en el Centro de Estudios Estratégicos del ITESM. El software utilizado fue Arc/Info 7.0.2, Arc/View 3.2, Imagine ERDAS 8.5 y Microsoft Office XP.

## 4.2. Definición del polígono del predio y zona de estudio

La definición del límite del ejido se obtuvo a partir de las coordenadas de mojoneras existentes en archivos de PROCEDE, agregando la cobertura de hidrología superficial definiendo los cauces de los ríos Baluarte y San Diego para cerrar la poligonal del ejido Pueblo Nuevo, con un área total calculada de 240,739.88 hectáreas.

Se definió una zona de estudio (marcada en línea roja) mayor al límite ejidal con el objetivo de incluir sus vecindades y eliminar efectos de borde, para lo cual se trazó un polígono rectangular de 63.90 Km en su eje E-W por 64.68 Km en su eje N-S, con una superficie total de 413,305.20 ha. con coordenadas:

Esquina superior izquierda: X: 23°39'58" y Y:105°47'35" Lat-Long.

X: 419,115 y Y: 2,617,330 UTM.

Esquina inferior derecha: X: 23°05'05" y Y: 105°09'56" Lat-Long.

X: 483,015 y Y: 2,552,650 UTM.

Dicha zona registró una superficie de 389,687.75 hectáreas, ésta fue definida tomando en cuenta las ocho cartas escala 1:50,000 de INEGI en las que se encuentra inserto el ejido Pueblo Nuevo (figura 13).

# 4.3. Definición de proyección geográfica

Con el objetivo de establecer parámetros en la elaboración del sistema de información geográfica (SIG) se definieron los siguientes estándares:

#### Sistema de coordenadas:

Proyección: Universal Transversa de Mercator – UTM

Unidades: Metros

Zona: 13

Longitud del meridiano central: -105 Latitud de proyección de origen: 0 Falso este en metros: 500,000

Falso norte en metros: 0 Factor de ecala: 0.9996

Datum horizontal: Datum de Norte América de 1927 - NAD27

Nombre del Elipsoide: Clarke 1866

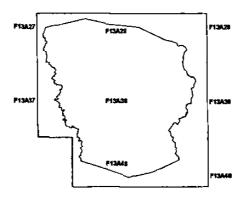


Figura 13. Polígono del área de estudio, definición de zona de estudio y localización de cartas 1:50,000 de INEGI

## 4.4. Adquisición y captura de información

En la elaboración del presente trabajo se utilizó como información base, las cartas topográficas F13A27, F13A28, F13A29, F13A37, F13A38, F13A39, F13A48 y F13A49, escala 1: 50,000 de INEGI. La información temática de geología, edafología, hidrología de aguas superficiales y efectos climáticos se obtuvieron de las cartas F13-2, escala 1:250,000 de INEGI. La información sobre cobertura forestal utilizada fue la del inventario nacional forestal 2000, escala 1:250,000, aunque se consultó adicionalmente la carta de tipos de vegetación y uso de suelo de INEGI 1:250,000, así como la información digital sobre el mismo tema de CONABIO generada a partir de información de INEGI escala 1:250,000. La cobertura sobre información climática fue adquirida de la carta estatal de climas. escala 1:1'000,000 de INEGI. La información de estaciones

meteorológicas e hidrométricas de la CNA se localizaron atendiendo a sus coordenadas y fueron verificadas con la información de la carta de hidrología superficial y efectos climáticos. La información de localidades fue extraída de la base de datos del censo nacional de población y vivienda 2000 de INEGI y su localización fue determinada con base en sus coordenadas geográficas. La información municipal de Secretaría de Gobernación fue exportada a formato Dbase e integrada a la información vectorial de límites municipales de INEGI. La información dasocrática, de inventarios y fotografías aéreas para trabajo de campo fueron proporcionadas por la dirección de servicios técnicos forestales del ejido Pueblo Nuevo. En la tabla 11 se describe un resumen de la Adquisición y captura de Información.

## 4.5. Información derivada de procesar la información adquirida

A partir de la información topográfica vectorial digital de INEGI, escala 1:50,000, se elaboró un mosaico y se generó un Modelo Digital de Elevación (MDE) mediante el algoritmo TOPOGRID de Arc/Info 7.0.2®, asignando un tamaño de celda de 15x15 metros de resolución espacial (225 m² ó 0.0225 hectáreas).

Utilizando el MDE se calculó el modelo de pendientes del terreno en porcentaje, con el algoritmo SLOPE en el módulo GRID de Arc/Info 7.0.2®. El algoritmo utilizado identifica el máximo cambio de valores de "z" de cada celda con respecto a sus vecinas más próximas para determinar la pendiente en particular de cada celda (Ritter, 1987; Jenson, 1988). Los valores obtenidos fueron categorizados en seis clases como se muestra en la tabla 12.

Basados en el algoritmo del cálculo de la pendiente, se identificó la dirección (azimut) cuesta abajo en cada celda, para determinar la orientación de las mismas o modelo de exposiciones con el algoritmo ASPECT en el módulo GRID de Arc/Info 7.0.2®.

Los valores fueron categorizados en sus ocho puntos cardinales como se muestra en la tabla 13.

Tema	Format o	Escala	Fuente	Tratamiento	Resultado
Topografía	Digital Vector	i.59.000	INEGI	Revisión de: Proyección Trazo de arcos Base de Datos	Curvas de nivel cada 20 m
Vías de comunicación	Digital Vector	1:50,000	INEGI	Revisión de: Proyección Trazo de arcos Base de Datos	Carreteras, caminos, brechas y veredas
Líneas de transmisión	Digital Vector	1:50,000	INEGI	Revisión de: Proyección Trazo de arcos Base de Datos	Líneas de electricidad, teléfono y telégrafo
Escurrimiento superficial	Digital Vector	1:50,000	INEGI	Revisión de: Proyección Trazo de arcos Base de Datos	Cauces de arroyos y ríos
Geología	Carta	1:250,000	INEGI	Digitalización	Tipos de roca
Edafología	Carta	1:250,000	INEGI	Digitalización	Tipos de suelo
Hidrología de aguas superficiales y efectos climáticos	Carta	1:250,000	INEGI	Digitalización	Cauces de arroyos, ríos Cuencas Subcuencas Microcuencas Submicrocuenca Isoyetas Isotermas
Cobertura Vegetal	Digital Vector y carta	1:250,000	SEMERNAT, INEGI, CONABIO	Revisión de: Proyección Trazo de arcos Base de Datos	Tipos de vegetación
Climas	Carta	1:1'000,000	INEGI	Digitalización	Tipos de climas
Estaciones climatológicas e hidrométricas	Tabla	Coordenadas XY	CNA, INEGI	Digitalización	Ubicación y caracterización climática de cuencas
Localidades del censo de población y vivienda	Tabla	Coordenadas XY	INEGI	Digitalización	Ubicación y caracterización socioeconómica de la población
Información Municipal	Tabla		SEGOB	Integrar a límites municipales	Caracterización demográfica municipal
Limites municipales	Digital Vector	1:250,000	INEGI	Revisión de: Proyección Trazo de arcos Base de Datos	Caracterización demográfica municipal
Estratificación Forestal	Digital Vector y Tabla	1:50,000	STF Pueblo Nuevo	Digitalización e integración de base de datos	Caracterización dasocrática del ejido Pueblo Nuevo
Ímágenes Landsat MSS	Digital Raster	Resolución 60x60	U.S.G.S.	Calibración espectral	Análisis multitemporal
Imagen Landsat_ETM+	Digital Raster	Resolución 15x15	SEMARNAT	Calibración espectral	Evaluación de cobertura forestal

Tabla 11. Resumen de Información adquirida y procesos de integración al SIG.

Pendiente (%)	Definición
0	Plano
1 – 10	Relativamente. Plano
11 – 20	Medio
21 – 40	Fuerte
41 – 60	Escarpado
> 60	Muy escarpado

Tabla 12. Calificación de pendiente por rangos porcentuales en el área de estudio.

Azimut	Definición
337° 30' – 22° 30'	(N) Norte
22° 30' – 67° 30'	(NE) Noreste
67° 30' – 112° 30'	(E) Este
112° 30' – 157° 30'	(SE) Sureste
157° 30' – 202° 30'	(S) Sur
202° 30' – 247° 30'	(SW) Suroeste
247° 30' – 292° 30'	(W) Oeste
292° 30' - 337° 30'	(NW) Noroeste

Tabla 13. Calificación de exposición por rangos de azimut en el área de estudio.

## 4.6. Evaluación de la cobertura vegetal mediante percepción remota

Uno de los principales objetivos del presente trabajo, es el de desarrollar una metodología de evaluación de la composición, distribución y densidad actual de la cobertura forestal, con un nivel de detalle tal que facilite nuevos procesos de estratificación, así como la comparación multitemporal de sus cambios, para lo cual, se adquirieron dos imágenes de satélite Landsat MSS y una Landsat ETM+ para su procesamiento y clasificación mediante el método de estadísticas supervisadas.

Con el propósito de determinar qué tipos de vegetación y usos de suelo que están presentes en el área de estudio (con enfoque a la administración forestal), se revisaron diversas fuentes cartográficas de información, como los

del inventario nacional forestal 2000, así como los presentes en las cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI y CONABIO. Adicionalmente, se integró la información dasocrática y de manejo generada por los prestadores de servicios técnicos forestales del ejido Pueblo Nuevo (tabla 14).

Fuente	Nombre	Escala
INEGI	Uso de suelo y vegetación	1:250,000
SEMARNAT	Inventario Nacional Forestal 2000	1:250,000
CONABIO	Uso de suelo y vegetación agrupado	1:250,000
STFPN	Inventario Forestal de Manejo	1:20,000

Tabla 14. Fuentes de información cartográfica sobre uso de suelo y vegetación

Los tipos de vegetación presentes en el área de estudio son:

- Bosque de Otras Coníferas (OC).- Representado principalmente por los géneros Abies, Picea y Pseudotsuga.
- Bosque de Pino (cerrado) (P1).- Comunidades de alta densidad, cuya composición esta dominada por el género Pinus en más del 75%.
- Bosque de Pino (abierto) (P2).- Comunidades de muy baja densidad,
   cuya composición esta dominada por el género Pinus en más del 75%.
- Bosque de Pino-Encino (PQ).- Comunidades cuya composición esta dominada por el género Pinus en más del 50%, asociados a individuos del género Quercus.
- Bosque de Encino Pino (QP).- Comunidades cuya composición esta dominada por el género Quercus en más del 50%, asociados a individuos del género Pinus.
- Bosque de Pinus lumholtzii (PL).- Comunidades representadas por Pinus lumholtzii y Quercus quercus, en zonas muy especificas con características edafológicas particulares (Puede caracterizarse como Bosque de Encino-Pino).
- Bosque de Encino (Q).- Comunidades arbóreas cuya composición esta dominada por el género Quercus en más del 75%.

- Matorral de Encino (MQ).- Comunidades arbustivas cuya composición esta dominada por el género Quercus en más del 75%.
- Matorrales (Huiz).- Comunidades generalmente representadas por especies arbustivas de géneros Prosopis y Acacia. Los cuales son típicos indicadores de fuertes perturbaciones a ecosistemas aún no recuperados.
- Selva Mediana Subcaducifolia (SMS).- Este tipo de vegetación se encuentra en las cañadas húmedas y sombreadas en la zona baja de barrancas, constituido por especies como Brosimum alicastrum (capomo o ramón), Ficus cotinifolia (amate), Swetenia humilis (venadillo), Ceiba pentadra (ceiba), Enterolobium cyclocarpum (guanacastle o parota), Dendropanax arboreus (palo de agua).
- Selva Mediana Caducifolia (SMC).- Esta comunidad también es de distribución restringida, pero se encuentra en sitios mucho mas altos y menos protegidos.
- Selva Baja Subcaducifolia (SBS).- Se encuentra ampliamente distribuida en las laderas de la zona cálido húmeda del predio, en la zona limítrofe de los 1,400 m.s.n.m donde comienza la distribución de las comunidades de clima templado, las especies representativas son: Ficus petiolaris, Trema micrantha (capulín)
- Selva Baja Caducifolia (SBC).- Se desarrolla en climas cálidos subhúmedos, semisecos o subsecos donde la mayoría (75 100%) de los individuos que la forman tiran las hojas en la época seca que es muy prolongada (6 8 meses); los árboles dominantes son por lo general inermes. Se distribuye ampliamente sobre laderas de cerros con suelos de buen drenaje. Son comunes las comunidades de Bursera spp, Lysiloma spp (tepeguaje), Jacarantia mexicana (bonete), Ipomea spp. (cazahuate), Pseudobombax palmeri (amapola), Erithrina spp. (colorín), Ceiba spp. (pochote) y Cordia spp. (cueramo).
- Pastizales (Past).- Esta clase se refiere a las zonas que presentan cobertura vegetal de tipo herbáceo, ya sea de forma natural o cultivada.
   Se presenta comúnmente en claros naturales, áreas anteriormente

aprovechadas, áreas que fueron afectadas por incendios y terrenos agrícolas abandonados. El cultivo de pastizales con fines pecuarios no se presenta en el ejido.

- Suelo Desnudo (SD).- En esta clase se agrupan todas aquellas áreas carentes de vegetación, que muestran la presencia de suelo, debido a actividades agrícolas, pecuarias, o forestales.
- Roqueríos (R).- Esta clase se caracteriza por la ausencia de cobertura vegetal y suelo, de tal forma que las rocas se encuentran expuestas. Su distribución en muy amplia en las zonas de fuertes pendientes.
- Agua (A).- En esta clase se agrupan todos los cuerpos de agua presentes, principalmente en el lecho de los principales ríos.

## 4.6.1. Procesamiento de imágenes Landsat

Las imágenes Landsat MSS del 3 de marzo de 1973 y 6 de marzo de 1986, órbita 31, fila 44, pertenecen al programa "Caracterización del Paisaje en Norte América" (NALC), del U.S. Geological Survey y NASA. La imagen Landsat-ETM+ del 8 de marzo de 2000, órbita 31, fila 44, fue utilizada para identificar los diferentes tipos de vegetación y uso de suelo del inventario y fue facilitada por la Dirección de Geografía de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). La información adquirida por sensores remotos fue procesada para minimizar los errores que puedan degradar la calidad y repercutir directamente en la precisión de los análisis subsecuentes, entre los que tenemos:

- Errores internos (originados por el sensor mismo) se corrigieron mediante
   la adquisición de imágenes precalibradas por la compañía distribuidora.
- Errores externos (debido a perturbaciones de la plataforma o a afectaciones de las características de la escena, Chavez, 1989), principalmente espaciales, espectrales y temporales fueron corregidos de la siguiente manera:

- Respecto a la variación temporal (diferencias fenológicas a lo largo del año), esta fue minimizada con escenas de la misma época del año (3 de marzo de 1973, 10 de marzo de 1986 y 18 de marzo de 2000).
- o La variación espacial (resolución espacial) solo fue aplicada a la imagen Landsat-ETM+ de 2000, la imagen multiespectral original en sus bandas visibles e infrarrojas con resolución espacial de 30x30 m. fue remuestreada a 60x60 m. mediante el algoritmo RESAMPLE de Imagine Erdas® para el análisis multitemporal con las imágenes Landsat MSS de igual resolución.

Adicionalmente, con el objetivo de determinar con mayor precisión los tipos de comunidades forestales existentes, la imagen multiespectral original en sus bandas visibles e infrarrojas fue combinada con la banda pancromática para obtener una imagen multiespectral de mejor resolución espacial (15x15 m.) mediante el algoritmo RESOLUTION MERGE de Imagine Erdas®, con la opción de componentes principales (Welch, 1987).

La variación espectral presente en las imágenes fueron de dos tipos, la primera fuente (casi nula), derivada de condiciones atmosféricas locales como humedad ambiental y/o bruma presente, que afecta principalmente a las longitudes del espectro electromagnético visible (bandas 1, 2 y 3), esta fue corregida mediante ajuste de histogramas. La segunda de mayor impacto, denominada "efecto topográfico", generada por las condiciones de iluminación local al momento de la adquisición de la escena por el sensor del satélite Landsat (MSS 1973 y 1986 a las 10:55 a.m. y ETM+ a las 11:22 a.m.), fue corregido mediante normalización topográfica. Para mayor información vea Anexo I Normalización Topográfica.

Para este último punto, se propone la siguiente formula:

$$\delta DN_{\lambda ij} = DN_{\lambda ij} + (DN_{\lambda ij} * ((\mu_k - X_{ij}) / \mu_k) * k_{\lambda})$$

Donde:

 $\delta DN_{\lambda ij}$  = Valores de radianza normalizada para el pixel<sub>ij</sub> en la banda  $\lambda$ .

 $DN_{\lambda ij}$  = Valores de radianza originales para el pixel<sub>ij</sub> en la banda  $\lambda$ .

μ<sub>k</sub> = Valor de la media del modelo de iluminación

Xii = Valor de iluminación para el pixelii

 $k\lambda$  = constante de Minnaert modificada en la banda  $\lambda$  (0  $\rightarrow$  1)

Donde el cálculo de la constante de Minnaert es calculada entre los valores de brillantez de cada una de las seis bandas de la imagen Landsat ETM+, contra los valores de brillantez del modelo de iluminación. Los valores de la pendiente de dichas regresiones se muestran a continuación:

Constante de Minaert para cada banda (k<sub>k</sub>)

Banda1	0.57099
Banda2	0.57853
Banda3	0.69805
Banda4	0.69127

### 4.6.2. Integración de información dasocrática existente

Con el objetivo de obtener información de primera mano acerca de las condiciones de las comunidades forestales existentes, buscando lograr una mejor confiabilidad de clasificación, se integró la información dasocrática generada por los prestadores de servicios técnicos forestales del ejido Pueblo Nuevo, para lo cual se digitalizaron 32 cartas dasocráticas existentes, las cuales fueron rasterizadas en un escáner de rodillos de 36 pulgadas de ancho, generando archivos en blanco y negro, en formato PCX. Posteriormente fueron vectorizados, convirtiéndolos a formato DXF de Auto-CAD®. Finalmente, cada uno de ellos fue importado a formato vector de Arc\_Info 7.2.1, para luego ser georreferenciados y proyectados de acuerdo a los parámetros preestablecidos, e

integrados a un mosaico de toda el área de estudio. Obteniendo dos coberturas digitales, una para subrodales con 1,402 polígonos y otra para subrodales con 14,092 polígonos.

La información de manejo generada a partir del análisis de información de campo, registrada en la elaboración del inventario forestal ejidal de 1996, se encontraba en formato SPF, el cual es una aplicación diseñada para su captura y análisis, cuyos resultados fueron reportados en un total de nueve documentos diferentes, de entre los cuales se seleccionaron solo seis para evitar repetición de variables (tabla 15).

Reporte No.	Descripción	
3	Número de sitíos, intensidad y error del muestreo del inventario de manejo.	
5	Características ecológicas.	
6	Característica silvícolas – dasométricas por piso y grupo de especies.	
8	Determinación del método de tratamiento.	
9	Cálculos de incrementos.	
10A	Cálculo de posibilidad de pino y encino por subrodal, serie y área de corta.	

Tabla 15. Reportes seleccionados para su integración al SIG Forestal.

La integración de información seleccionada generó una base de datos con un total de 126 campos, los cuales fueron ligados a la cobertura digital de subrodales. Para mayor información vea Anexo II Integración de Información Dasocrática.

#### 4.6.3. Selección de áreas para muestreo de campo

Con el objetivo de identificar en campo las diferentes comunidades forestales y usos de suelo, la información dasocrática anteriormente descrita se sobrepuso a la imagen de satélite Landsat-ETM+ del año 2000, permitiendo seleccionar 62 subrodales de muestreo a partir de los cuales con se definieron un total de 172 puntos de entrenamiento ubicados con sistema de posicionamiento global, los cuales fueron ubicados en la imagen landsat ETM+ y mediante la herramienta SEED (ERDAS 8.5)\* generados los polígonos de entrenamiento, cubriendo un total 2,783.07 hectáreas.

<sup>\*</sup>Seed es una herramienta que permite agrupar píxeles con características espectrales similares, tomando en cuenta criterios del patrón de selección, superficie máxima y distancia espectral.

#### 4.6.4. Firmas espectrales y validación

Una ves seleccionadas las áreas de muestreo, se procedió a extraer los valores digitales en cada una de sus bandas para calcular los parámetros estadísticos de mínima, máxima, media, mediana, moda, desviación estándar, del grupo de píxeles que constituyen cada polígono de entrenamiento, sus histogramas para determinar su comportamiento de distribución, así como una matriz de covarianzas mediante la combinación de varianzas entre pares de bandas.

Con los valores de medias y matriz de covarianza de cada clase espectral se determinó su separabilidad matemática de clases con el algoritmo de divergencia de Jeffries-Matusita, esta ecuación compara cada clase espectral individual contra todas las demás clases espectrales, con el objeto de determinar su separabilidad y distinguir aquellas clases espectrales de diferente clase informacional en las que pudiese existir gran similitud. Si se presenta tal caso, significa que durante el proceso de clasificación puede existir confusión entre clases informacionales, por lo tanto es recomendable que dichas firmas sean eliminadas y definir nuevos polígonos de estadísticas supervisadas para evaluar de nuevo su separabilidad en distancia estadística. El resultado de este proceso es la optimización de polígonos de entrenamiento y el incremento de la capacidad de discriminación, reduciendo los costos de recursos de cómputo en los procesos de clasificación. Finalmente 157 firmas quedaron validadas.

Ecuación de divergencia de Jeffries-Matusita:

$$\sigma = \frac{1}{8}(\mathfrak{u}_i - \mathfrak{u}_j)^\mathsf{T}\!\!\left(\frac{C_i + C_j}{2}\right)^{\!\!\!-1}(\mathfrak{u}_i - \mathfrak{u}_j) + \frac{1}{2}\ln\!\left(\frac{\left|(C_i + C_j)\right| \cdot 2\right|}{\sqrt{\left|C_i\right| \times \left|C_j\right|}}\right)$$

$$JM_{ij} = \sqrt{2(1-e^{-\alpha})}$$

#### Donde:

i y j = las dos firmas (clases) a ser comparadas

 $C_i$  = la matriz de covarianza de la firma i

 $C_i$  = la matriz de covarianza de la firma j

 $\mu_i$  = el valor promedio de la firma i

 $\mu_i$  = el valor promedio de la firma j

In = la función de logaritmo natural

|Ci | = la determinante de Ci (álgebra matricial)

 $|C_i|$  = la determinante de  $C_i$  (álgebra matricial)

## 4.6.5. Clasificación de imagen Landsat-ETM+ 2000

Una vez evaluadas la firmas y seleccionadas sólo aquellas que mostraron ser representativas e independientes, se procedió a realizar la clasificación de la imagen Landsat-ETM+ del 2000, utilizando la regla de decisión o algoritmo de clasificación de "Máxima Verosimilitud" (Maximum Likelihood), el cual tiene como ventajas el ser uno de los más precisos, toma en cuenta la variabilidad dentro de cada clase y puede dar peso a cada clase según su probabilidad. Sus desventajas son, el tener firmas paramétricas, requiere de mayor tiempo y recursos de cómputo (Swain et al. 1978).

Ecuación del algoritmo de clasificación de "Máxima Verosimilitud" (Maximum Likelihood)

$$D = \ln(a_c) - (0.5 \ln(|Cov_c|)) - (0.5 (X-M_c) T(Cov_c-1) (X-M_c))$$

#### Donde:

D = verosimilitud (distancia)

c = una clase en particular

X = distancia entre el valor del píxel candidato y el valor promedio de la clase

M<sub>c</sub> = promedio de los valores de la clase c

ac = porcentaje de probabilidad de que cada píxel candidato sea un miembro de la case c

Cov<sub>c</sub> = matriz de covarianza de los píxeles en la clase c

 $|Cov_c|$  = determinate de Covc (álgebra matricial)

 $Cov_c - I = inversa de la Covc (álgebra matricial)$ 

In = función de logaritmo natural

T = función de transposición (álgebra matricial)

Como resultado de este proceso se obtuvo la cobertura forestal actual de alta definición, clasificada por tipos de vegetación y uso de suelo del área de estudio. Su evaluación se realizó mediante una matriz de confusión, utilizando el conjunto de sitios previamente establecidos durante el trabajo de campo.

#### 4.7. Estimación de densidad de la masa forestal

Una vez realizada la clasificación de tipos de cobertura forestal, el siguiente paso es la estimación de la densidad dentro de los mismos, resultado de aprovechamientos forestales, condiciones naturales, o consecuencia de diferentes agentes de deterioro presentes en las áreas forestales de México.

#### Para el área de estudio se calcularon:

- 1.- el índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI).
- 2.- la banda número dos del Análisis de Componentes Principales.
- 3.- la dimensión de Verdor (Greenness) de Tasseled Cap.

Posteriormente se compararon contra el índice de sitio, cobertura de copas, índice de densidad de Reineke, ICA e IMA registrado en los inventarios de subrodales productivos y se calcularon sus coeficientes de correlación para la cuarta anualidad, la cual era la siguiente a intervenir y mostraba la mejor caracterización en cobertura vegetal. Para mayor información vea Anexo III Métodos alternos para evaluación de Cobertura Vegetal.

#### 4.8. Análisis de la dinámica regional y sus impactos

Se utilizaron un total de tres imágenes de satélite Landsat, dos de las cuales son del barredor multiespectral (MSS) del programa NALC (North American Land Characterization) y una del mapeador temático (ETM+), órbita 31, fila 44 del 03 de marzo de 1973, 10 de marzo de 1983 y 03 de marzo de 2000.

## 4.8.1. Evaluación mutitemporal

La comparación multitemporal de imágenes Landsat del área de estudio sirve para estimar el avance del grado de deterioro al que ha estado sometida durante los últimos 27 años (1973 – 1983 - 2000).

Para reducir las variaciones de escena a escena por geometría solar, humedad del suelo, condiciones atmosféricas y diferencias por fenología vegetal, las imágenes procesadas fueron capturadas en el mes de marzo.

El análisis consistió en evaluar los cambios de cobertura vegetal, para ello se calculó el Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) en las tres

imágenes. Debido a la diferencia en resolución espacial entre los sensores MSS (60x60 m) y TM (30x30 m), se remuestreó la imagen TM original de 2000, incrementando su tamaño de píxel hasta igualarla con las MSS.

Las ventajas de realizar comparaciones multitemporales con índices de vegetación, son principalmente el hecho de que se minimizan las variaciones por condiciones de iluminación local, su correlación existente con el índice de área foliar y/o índice de densidad de copas, salud y vigor, estimación de biomasa verde, así como su facilidad y rapidez de cálculo. Pueden ser calculados con cualquier tipo de imagen que tenga al menos una banda en la región del rojo y una en la región del infrarrojo.

Una técnica de calibración radiométrica fue aplicada a cada banda de cada imagen. Esta incorporó métodos de regresión linear reportados por Eckhardt et al., 1990 y Jensen et al., 1995. La imagen Landsat-ETM+ de 2000 fue utilizada como imagen base para normalizar los valores de las imágenes de 1973. El proceso de la normalización de histogramas fue seleccionar áreas con valores extremos (valores muy bajos como agua, y valores muy altos como suelos desnudos) para tener igualdad y poder calibrar los valores digitales.

Una vez normalizadas las imágenes se calculó el NDVI, la ecuación utilizada es una variante de la originalmente propuesta, el propósito de la misma es cambiar los valores originales obtenidos de -1 a +1, para transformarlos a valores de 0 a 255 y obtener como resultado una imagen de 8 bits.

$$NDVI = \left[\frac{IR - R}{IR + R} + 1\right] X 127$$

Donde:

NDVI = Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación

IR = Valor en la región del infrarrojo de cada píxel de la imagen

R = Valore en la región del rojo de cada pixel de la imagen

Una vez calculado los valores de NDVI de cada imagen, estos fueron agrupados en 50 clases mediante un proceso de clasificación no supervisada con el algoritmo de ISODATA de Imagine ERDAS. Estos valores fueron categorizados en 7 tipos de densidad, muy alta, alta, media alta, media, media baja, baja, y muy baja, basados en los muestreos de campo y la distribución de valores en el histograma NDVI, separando cada tipo a partir de la media ±0.5 el valor de la desviación estándar.

El resultado de los 7 tipos de densidad de cada imagen fueron integrados en una sola imagen de tres capas tipificando los tipos de densidad de vegetación de cada imagen, donde la primera capa corresponde a NDVI 1973, la segunda a NDVI 1986 y la tercera a NDVI 2000.

Las áreas que registraron los mismos valores de densidad en las tres fechas analizadas quedaron clasificadas como no alteradas o sin cambio alguno. En cambio, las áreas que registraron disminución en sus valores de densidad quedaron clasificadas dependiendo del grado de disminución como deforestado o muy deforestado. Por el contrario, las áreas que registraron incremento en sus valores de densidad quedaron clasificadas dependiendo del grado de incremento como reforestado o muy reforestado.

#### 4.8.2. Modificación de escurrimientos por deterioro de la cobertura forestal

A partir del MDE se elaboró un modelo hidrológico, el cual se desarrolla mediante varios procesos:

Corrección de MDE: para realizar de forma adecuada una modelación hidrológica, el MDE debe de ser revisado, ya que existen celdas cuyo valor presenta inconsistencias (errores) de valor, debido principalmente a la resolución espacial y por redondeos de valores enteros (Hutchinson, 1988). Esto genera un conjunto de pequeñas depresiones y crestas a corregir para asegurar la adecuada delimitación y trazo de áreas de captación y cauces. De lo contrario, los cauces modelados presentan una red de drenaje segmentada (discontinua) y la delimitación de cuencas sería imposible.

**Dirección de flujo:** a partir del MDE corregido, se determina la dirección de los escurrimientos para cada celda, esto es, en que dirección se movería el agua captada en dicha celda. Es un proceso que utiliza las mismas bases con las que se calcula la orientación de las pendientes o exposición.

Flujo acumulativo: para este punto se tomó como base la subcuenca del Río Baluarte, se delimitó su área de captación y se revisó la información registrada en la carta hidrológica de aguas superficiales F13-2, escala 1:250,000 de INEGI, referente a los datos de las estaciones meteorológicas e hidrométricas ubicadas en el ejido Pueblo Nuevo, con las que se calculó el promedio de precipitación media anual en la cuenca. Al multiplicar la superficie calculada de la cuenca, por la precipitación media anual se obtuvo el volumen promedio anual de lluvia captada, el cual, al compararse con el volumen medio anual drenado se obtiene el coeficiente medio de escurrimiento de la cuenca.

Modelo de distribución de la precipitación media anual: utilizando la información temática de isoyetas, misma que fue interpolada y transformada a formato raster mediante el algoritmo TOPOGRIG de ARC/INFO, resultando en una matriz con valores de precipitación media anual gradados de forma continua, con el mismo número de columnas y renglones a los modelos digitales de elevación y a las imágenes Landsat.

Los valores de precipitación media anual modelados para cada píxel fueron convertidos de milímetros a metros y multiplicados por la superficie en metros cuadrados (225 m²), para de esta forma calcular el volumen de precipitación media anual captada en metros cúbicos en cada píxel.

El siguiente paso es determinar el coeficiente de escurrimiento, este valor es, el porcentaje del agua captada por unidad de área (píxel) que no es infiltrada en el suelo y escurre superficialmente a otros puntos de la cuenca, las tablas de escurrimiento ponen especial énfasis en el uso de suelo y cobertura vegetal existente, como el factor de mayor influencia en las ecorrentías (Chow *et al.* 1988). Dado que los valores climáticos e hidrométricos datan de 1973, se trabajó con la imagen Landsat-MSS de 1973, la cual fue recortada, extrayendo sólo el área de la subcuenca del Río Baluarte y se calculó el Indice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) para dicha zona, como indicador de la

densidad de cobertura vegetal, dada su importancia en el proceso de escurrimiento pues afecta la infiltración, erosión y evapotranspiración.

Posteriormente se compararon los valores de NDVI, con los citados en la tabla de coeficientes de escurrimiento de Chow et al. 1988, para determinar la ecuación polinominal de ajuste entre estos valores, de tal forma que el máximo valor de NDVI coincida con un índice de escurrimiento de 0.20 (el mínimo para áreas boscosas), el valor promedio de NDVI coincida con el índice de escurrimiento medio para toda la cuenca, y el mínimo valor de NDVI coincida con un índice de escurrimiento de 0.99 (en las laderas rocosas de escasa vegetación).

La ecuación de ajuste calculada fue aplicada a los valores de NDVI que cubren la totalidad del ejido Pueblo Nuevo, resultantes de las imágenes Landsat MSS de 1973 y Landsat-ETM+ de 2000. Para de esta forma obtener los índices de escurrimiento para el área de estudio en las dos fechas.

Estos índices fueron aplicados a los valores de escurrimiento potencial o volumen medio anual captado calculado en cada píxel y así determinar el valor de escurrimiento neto por píxel en metros cúbicos, para a continuación aplicar el algoritmo de flujo acumulado.

Adicionalmente se calculó para cada píxel la **distancia que el escurrimiento** tiene que recorrer siguiendo los cauces hasta la salida de la subcuenca (distancia de flujo), a partir del cual se puede calcular el tiempo de concentración de los ecurrimientos (Talborton *et al.* 1991).

Para la elaboración de **hidrogramas** se graficó en el eje de las X la distancia de flujo (tiempo de concentración) y en el eje de la Y el volumen de escurrimiento neto promedio anual en m³, mismos que fueron comparados para evaluar el grado de deterioro en términos hidrológicos.

Para obtener el indicador del **grado de riesgo** en microcuencas se utilizó el índice de compacidad. Este índice es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo que tenga la misma área de la cuenca.

Cuando la forma de la cuenca es circular registra fuertes caudales y tiempos de concentración muy cortos, más aún cuando disminuye su cobertura forestal y se incrementa el índice de escurrimiento, aumentando su peligrosidad aguas abajo.

Para obtener el valor de compacidad se utiliza la siguiente fórmula:

$$K = \frac{P}{Pe}$$

Donde:

K = Indice de compacidad

P = Perímetro de la cuenca

Pe = Perímetro de un círculo

Mediante una transformación de las variables se obtiene una fórmula alternativa:

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

K = Indice de compacidad

P = Perímetro de la cuenca

A = Área de la cuenca

Cabe señalar que los perímetros y áreas son para microcuencas completas, independientemente de que parte de ellas estén fuera del área estudio. Esto es para obtener valores reales de las mismas.

Los resultados son utilizados para determinar el impacto de la deforestación a los coeficientes de escurrimiento y el incremento en los volúmenes de avenidas, los cuales permiten determinar cuales cuencas requieren de mayor atención para orientar los esfuerzos de conservación. Para mayor información vea Anexo IV Modelación Hidrológica.

# 4.8.3. Análisis de distribución de la población y sus actividades respecto a la problemática de subcuencas en el ejido Pueblo Nuevo.

Para este tipo de análisis se integró la información por localidad del conteo de población y vivienda de 1995 y el censo de población y vivienda de 2000, ambos en formato tabular con coordenadas geográficas de cada localidad. Los cuales fueron ubicados mediante la utilería de creación de temas de eventos de Arc/View 3.2. Una vez integradas las bases de datos se calculó la diferencia de población entre ambas fechas para determinar los cambios demográficos y ser categorizadas como atractoras (+) o expulsoras (-). Así mismo, las condiciones del deterioro de las submicrocuencas en las que se encuentran ubicadas.

## 4.9. Modelo de estratificación de la masa forestal (rodalización)

El manejo forestal, reconoce a las submicrocuencas como la unidad hidrológica elemental utilizada como marco para la evaluación, acotamiento y monitoreo del posible impacto ambiental generado por los aprovechamientos forestales. Con base en ello el primer paso fue integrar la información de submicrocuencas modeladas, documentado con anterioridad en este documento.

Otro de los factores determinantes en la distribución de los tipos de vegetación en la región, es la exposición u orientación de la pendiente, la cual genera condiciones microclimáticas que favorecen el establecimiento de ciertas comunidades.

Por tal motivo se analizó la posible influencia de la exposición en los patrones de distribución preferenciales de los tipos de vegetación y usos de suelo resultado de la clasificación de la imagen Landsat-ETM+, contra el modelo de exposiciones.

Para ello se utilizó la información del modelo de exposiciones de esta metodología. Se reconocieron dos patrones preferenciales de distribución, se modificó el modelo de exposiciones de ocho originalmente generados (8 puntos cardinales) a dos preferenciales.

Esta información en formato raster fue vectorizada, e integrada al de submicrocuencas modeladas para generar el archivo de rodales modelados mediante el algoritmo UNION de Arc/Info®.

El resultado de la clasificación de la imagen Landsat-ETM+ de 2000 en formato raster fue filtrada mediante una ventana de 3x3 pixeles y el criterio de mayoría para limpiarla de píxeles aislados y permitir mejor definición de las comunidades, para luego ser transformada a formato vector, y de esta forma ser integrada a los rodales modelados para así obtener los subrodales.

Estos a su vez fueron filtrados de nuevo para eliminar polígonos menores a 2 hectáreas (tamaño mínimo de subrodal preestablecido por STFPN) mediante el algoritmo ELIMINATE de Arc Info®.

Las principales diferencias entre el método tradicional y el que aquí se propone se muestran en la tabla 16.

	METODO			
Característica	Tradicional	SR/SIG		
1. Percepción Remota				
Distorsión	Fuerte (corrección muy laboriosa)	Muy débil (corrección sencilla)		
Resolución Espacial	de 2 a 5 metros	15 a 30 metros		
Resolución Espectral	Pancromática	Pancromática,3 visibles, 3 infrarrojas.		
Capacidad Óptica	64 tonos de grises	7 bandas (0 a 255 c/u)		
Sistema de Coordenadas	Difícil definición y transformación	Fácil definición y transformación		
Cobertura	Limitada	Muy amplia		
Evaluación de Vegetación	cada inventario (10 años)	cada 16 días (multitemporal)		
2. Trazo de polígonos				
Definición de pendiente, exposición, cuencas, cauces y subrodales.	Fotointerpretación (a criterio)	Analítica		
Cálculo de distancia y superficie	Curvimetro, malla, planimetro.	Analitica		
Modelado	Difícil implementación	Fácil y repetible		

Tabla 16. Principales ventajas y desventajas entre métodos.

Con el propósito de evaluar la definición de subrodales digitalizados con el método tradicional y los modelados con el método desarrollado en el presente trabajo, se calculó la variaza de clases dentro de cada subrodal, y el promedio de varianzas de todos los subrodales

## 4.9.1. Definición de zonas de protección dentro del subrodal (segregación)

De forma complementaria se utilizó la información de INEGI 1:50,000 sobre vías de comunicación, líneas de transmisión y red de cauces modelada, para a partir de ellos, trazar sus zonas de influencia, protección o políticas de manejo (tabla 17), calculando su longitud y densidad para posteriormente ser segregada de los subrodales.

Característica	Distancia de segregación a cada lado
Escurrimientos superficiales	12.5 metros
Terracería y Brechas	8 metros
Veredas	6 metros
CFE Alta tensión	40 metros
CFE, Telmex	25 metros

Tabla 17. Valores para definir superficies de segregación en subrodales.

#### 4.10. Integración de información modelada a la dasocrática existente

La información resultante de geología, edafología, así como la modelación de altura sobre el nivel del mar, pendiente, exposición, temperaturas, precipitación, cuencas, subcuencas, microcuencas, submicrocuencas, cauces, uso de suelo y vegetación actual, densidad actual y variaciones temporales de la misma, infraestructura de caminos y líneas de transmisión fueron integrados para cada subrodal.

La información de geología, edafología, cuencas, subcuencas, microcuencas, submicrocuencas, uso de suelo y vegetación actual, fueron determinadas por el valor estadístico de moda, o el valor mas frecuentemente encontrado dentro de cada subrodal. La información de altura sobre el nivel del mar, pendiente,

exposición, temperaturas, precipitación, fueron determinados por el valor estadístico de la media aritmética de los valores contenidos en cada subrodal.

La información de cauces, caminos y líneas de transmisión, fueron determinadas mediante la sumatoria de longitud de cada uno de los tramos contenidos dentro del área de cada subrodal, para posteriormente calcular la densidad de los mismos. Por último, la información de densidad actual y variaciones temporales de la misma, fueron integradas por categorías en campos independientes por año de escena.

A continuación se describe de forma esquemática, cada uno de los procesos realizados en el desarrollo de la presente investigación y se muestran de forma esquemática en la figura 14.

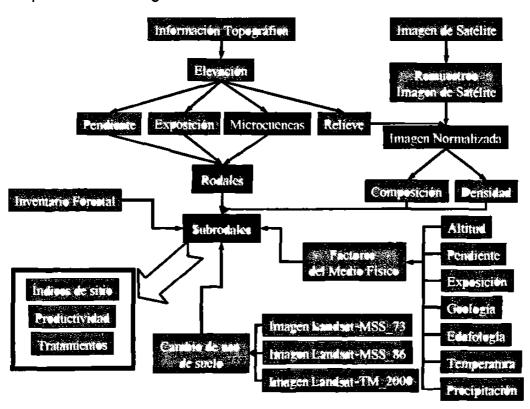


Figura 14. Esquema de procesos desarrollados de la presente investigación.

#### 5. Resultados

### 5.1. Modelo Digital de Elevación

Modelo Digital de Elevación (MDE) con un tamaño de celda de 15x15 metros en una matriz de 4,261 columnas y 4,314 renglones (figura 15).

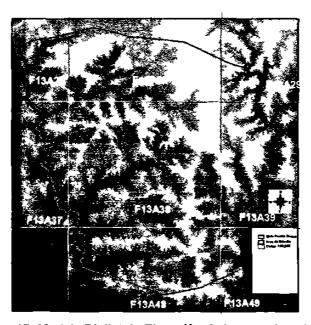


Figura 15. Modelo Digital de Elevación de la zona de estudio.

#### 5.2. Pendiente

El Resultado del cálculo de superficie ocupada por cada rango de pendiente se cuantifica porcentualmente (tabla 18). Casi el 70% de la superficie se encuentra en pendientes de escarpadas a muy escarpadas, mientras que la superficie ocupada por terrenos planos es casi nula.

Pendicipies value	A PLANT OF COLOR OF THE PERSON
Plana	0.43
Rel. Plana	5.18
Media	7.04
Fuerte	18.30
Escarpada	22.65
Muy Escarpada	46.39

Tabla 18. Porcentajes de pendiente en la zona de estudio.

Los mayores grados de inclinación se ubican con marcada tendencia hacia el sur y suroeste, con pendientes muy escarpadas, con algunas áreas de

escapadas a fuertes, en cambio, la topografía del terreno es menos abrupta hacia el norte y noreste del área de estudio, donde se encuentran las pendientes medias y relativamente planas (figura 16).

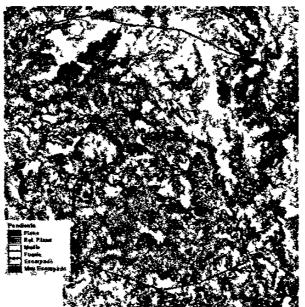


Figura 16. Distribución de la pendiente en la zona de estudio.

## 5.3. Exposición

Como puede apreciarse en la figura 17 el área de estudio presenta una gran variedad de exposiciones y no existe una dominancia definida.

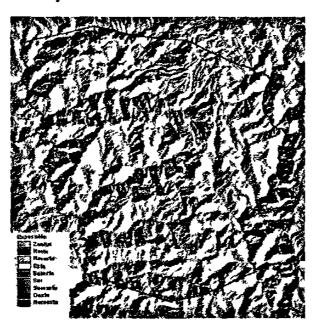


Figura 17. Distribución de exposiciones en la zona de estudio.

#### 5.4. Determinación de la cobertura forestal actual

El resultado del procesamiento geométrico aplicado a la imagen Landsat-ETM+, se obtuvo una imagen multiespectral de 6 bandas (3 visibles y 3 infrarrojas), con una resolución espacial de 30x30 metros, y una pancromática con resolución espacial de 15x15 metros (figuras 18 y 19).



Figura 18. Imagen Landsat-TM Original, composición de falso color TM4-R, TM5-V, TM3-A.



Figura 19. Imagen Landsat-Pancromática Original.

## 5.4.1. Procesamiento de imágenes Landsat.

De la aplicación del procesamiento espacial para mejorar la resolución y obtener una imagen multiespectral con resolución espacial de 15x15 se presenta en la figura 20.



Figura 20. Imagen Landsat-ETM+ remuestreada composición de falso color TM4-R, TM5-V, TM3-A.

El procesamiento espectral de normalización topográfica requiere de un modelo de iluminación atendiendo a las variables de azimut y elevación solar (figura 21), el cual fue integrado para probar cuatro diferentes modelos de corrección.

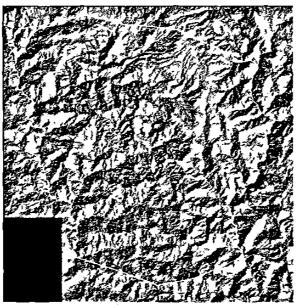


Figura 21. Modelo de iluminación

Derivado del análisis anterior y aplicando el modelo modificado de Civco, 1989, se presenta a la imagen Landsat-ETM+ de la figura 22.

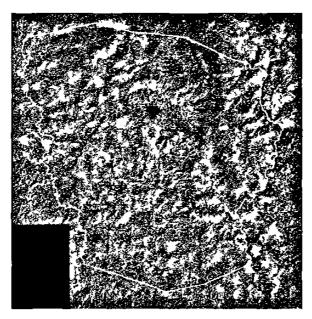


Figura 22. Imagen landsat-ETM+ remuestreada y normalizada

# 5.4.2. Integración de información dasocrática existente

La cobertura digital para rodales con 1,402 polígonos (figura 23).

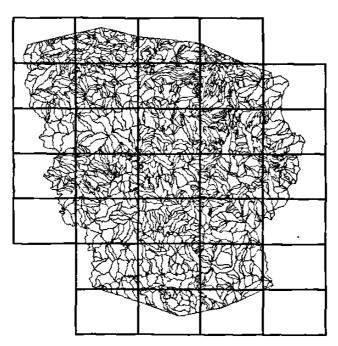


Figura 23. Cobertura digital de la información dasocrática de rodales.

La cobertura digital para subrodales con 14,092 polígonos (figura 24).

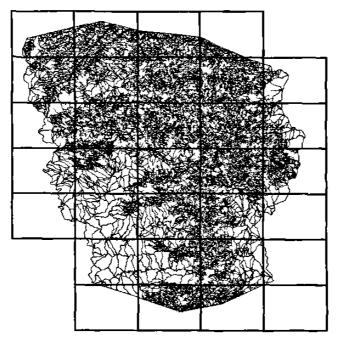


Figura 24. Cobertura digital de la información dasocrática de subrodales.

# 5.4.3. Selección de áreas para muestreo de campo

Ubicación de las 62 zonas de muestreo para los 16 tipos de vegetación y uso de suelo (figura 25).

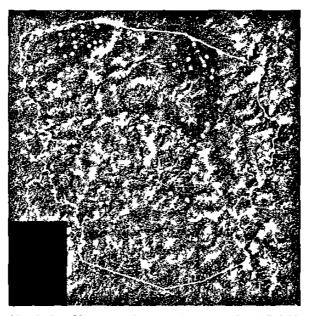


Figura 25. Ubicación de las 62 zonas de muestreo para la definición de polígonos de entrenamiento.

#### 5.4.4. Firmas espectrales y validación

Para mostrar los resultados el análisis de firmas espectrales, se generaron tres grupos:

- Grupo con tipo de vegetación de clima templado (figura 26)
   Grupo con tipo de vegetación de clima cálido (figura 27)
- Grupo con otros tipos de vegetación o uso de suelo (figura 28)

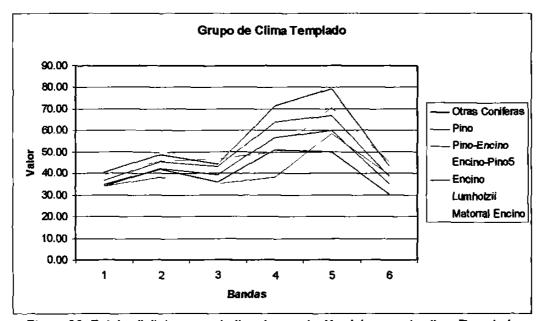


Figura 26. Patrón digital para cada tipo de vegetación del grupo de clima Templado.

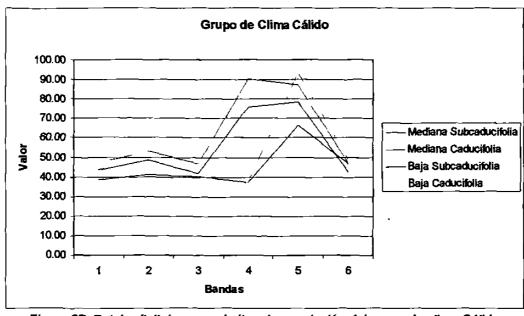


Figura 27, Patrón digital para cada tipo de vegetación del grupo de clima Cálido.

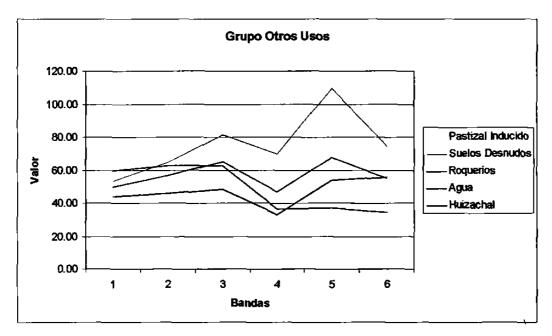


Figura 28. Patrón digital para otros tipos de vegetación y usos de suelo.

## 5.4.5. Clasificación de imagen Landsat-ETM+ 2000

Se proceso la imagen Landsat-ETM+ en dos sistemas de clasificación:

- Atendiendo a los tipos de vegetación y uso de suelo descritos en la información cartográfica digital del Inventario Nacional Forestal 2000, para su posterior comparación (figura 29).
- Atendiendo a las necesidades de clasificación de vegetación y usos de suelo de los prestadores de servicios técnicos forestales del ejido Pueblo Nuevo (figura 30).

Entre los resultados que mas destacan (tabla 19) es el haber alcanzado un 94.16% de precisión en la clasificación general y 95.44% promedio por clase, derivado del proceso espacial y espectral aplicados a la ímagen. Casi todas las clases sobrepasaron el 90% de precisión, con excepción del bosque de pinoencino con 85.98% y bosque de encino con 77.28%

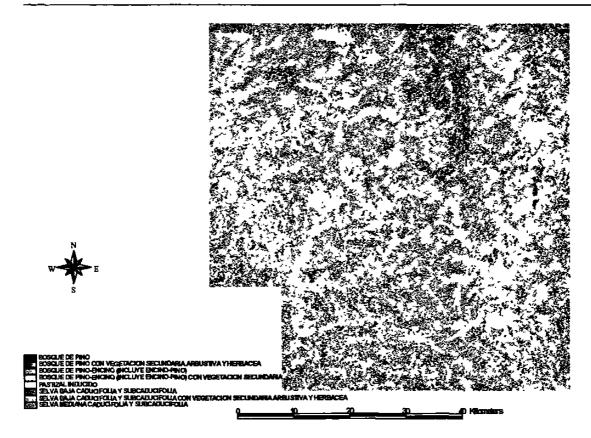


Figura 29. Clasificación de tipos de vegetación y usos de suelo, según Inventario Nacional Forestal 2000.

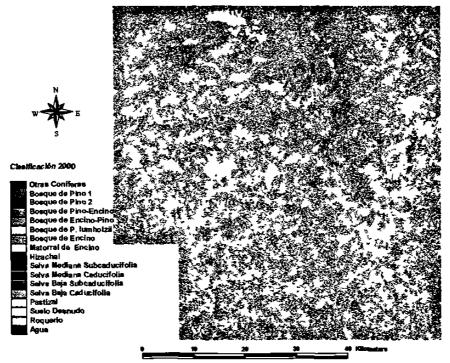


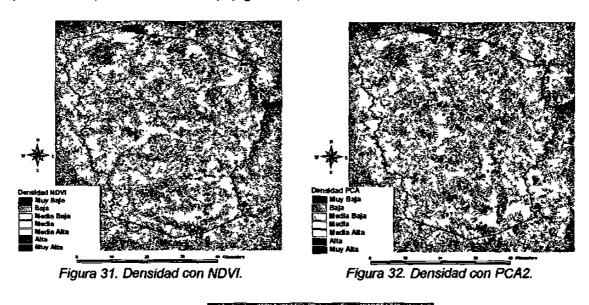
Figura 30. Clasificación de tipos de vegetación y usos de suelo para el ejido Pueblo Nuevo.

Valores								Velotes	9	0 4 2							
Classification	100	Ā	23	<b>6</b>	40 lb	74	٥	- CM		SPES	SIMC	SBS	385	Part	qs	8	
OC	2742	7.0	9	38	đ	a	0	d	[a	٩	-	a	٩	<u> </u>	ā	0	O
٤	26	7.220	ō	132	71	a	0	a	a	a	2	O	ð	0	0	a	Q
24	0	O	2.283	8	71	22	0	0	0	0	О	0	8	6	0	0	0
PO	[ e	36	(0	6.312	49	0	15001	0	0	0	20	ō	8	O	0	0	0
d	0	40	20	9	3,570	25	132	10	0	0			0		0	10	0
<u> </u>	8	0		ō	7.1	6.113	o	jo	0	o	ō		٥	٥	O	0	0
O		0	6	9	340	0	146.34	238	o	1771			o	0		0	0
Q.	0	0	83	0	0	0	190	5.510	G	0	1		0	O	0	10	O
Hydz	0	٥	ĮŌ	٥	0	0	0	0	1,376	Ö	8	0	8	٥	ō	O	0
SMS	0	0	0	0	О	0	370	62	0	3520	18	O	0	0	0	0	0
SIMC	10	O	О	19	Ю	0	2,061	181	0	0	8.764	O	8	0	0	0	O
888	0	ō	0	0	0	141	0	0	0	0	Ö	12,000	đ	Ö	0	0	O
SBC	0	O	0 -	0	0	10	0	0	0	0	8	O	5906	0	0	0	0
Past	0	0	[0	0	o	0	o	[0	0	0	ō	181	63	4063		0 -	0
QS.	0	0	0	0	O	٥	0	0	0	0	ð	0	0	ō	7,009	0	O
~	5	0	o	0	ō	0	0	0	0	0	8	ō	) 	8	o	20,270	0
¥	a	٥	O	ō	Ċ	đ	O	٥	o	d	0	đ	đ	d	ď	ð	204
									i							ı	
Total occeles	2.847	7,370	2.407	6.001	4.162	6342	19936	5846	1376	3.703	9.107	12.747	9.724	4003	7.910	Ш	8
Pixales x Clare	2,742	7.220	2.280	6.312	3.570	5.113	14034	9.50	1375	3520		12,050	9,002	4.003			204
*	9631%	% 25'26	<b>8686</b>	\$62.00	*86.09	8671%	77.28 %	W 22 18	100 00 X	82.2%	_	99.24%	W05.99	100001	٩	18100B	*00,00
	•	,			₩,	tuperfloie 1	Superficie Total Mestitead a (Has.)	hada (Has.)		2783.07	₩.W	Sum Col. Sum Diag	123,662 116471		Pres ción Total	<b>19</b>	\$ 50
			:									2	1022.42%		Presición P	Presidén Prom. Clase	S 44%

Tabla 19. Matriz de confusión para evaluar la precisión de clasificación.

#### 5.5. Estimación de densidad de la masa forestal

A continuación se muestran los resultados de a).- Indice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI, figura 31), b).- la segunda banda del Análisis de Componentes Principales (PCA2, figura 32), y c).- la dimensión de verdor (Greenness) de Tasseled Cap (figura 33).



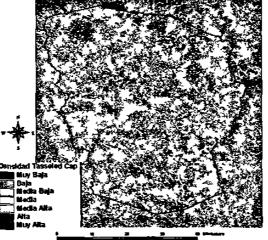


Figura 33. Densidad con Tasseled Cap.

En la tabla 20 se muestran los valores de correlación entre el índice de Reineke y los tres índices de cobertura vegetal comúnmente utilizados en percepción remota para evaluar densidad. Adicionalmente se evaluó la correlación entre índices de cobertura vegetal para determinar su posible diferenciación, (tabla 21).

	Coef	icientes de Comela	ación
Año	NDVI	PCA2	Tasseled Cap
1	0.37283206	0.34834030	0.42024600
2	0.30427267	0.28087765	0.36011808
3	0.44306673	0.41909250	0.49918614
4	0.46726073	0.45966050	0.49654258
5	0.41635386	0.37066868	0.44481505
6	0.41271444	0.38297035	0.43597410
7	0.45282127	0.41601313	0.47873176
8	0.44588651	0.42569650	0.44662114
9	0.38905774	0.36021440	0.42378076
10	0.34856479	0.32864611	0.35302463

Tabla 20. Coeficientes de correlación entre el índice de densidad de Reineke y distintos índices común mente utilizados en percepción remota para evaluar la cobertura vegetal.

	NDVI-PCA2	NDVI-Tass	PCA2-Tasseled
Coef de Correlación	0.92316994	0.94592794	0.94751718
Coef R <sup>2</sup>	0.85224274	0.89477968	0.89778880

Tabla 21. Coeficientes de correlación y R2 entre índices de densidad calculados.

La densidad de cobertura vegetal Tasseled Cap, se comparó para cada tipo de vegetación y uso de suelo y sus resultados se muestran en forma porcentual respecto del total en la figura 34.

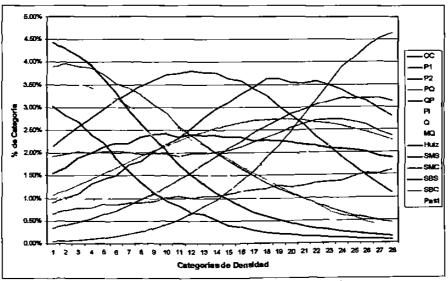


Figura 34. Tipos de vegetación y su densidad.

Adicionalmente se calculó la correlación existente entre índices de cobertura vegetal y otras variables registradas durante el inventario como: índice de sitio, cobertura de copas, incremento corriente anual e incremento medio anual (tabla 22 y figura 35).

A Company of the Comp	Valores	promedio por	subrodal **
Parámetros	NDVI	PCA2	Tasseled Cap
Indice de Sitio	0.431	0.356	0.428
Cobertura de Copas	0.457	0.437	0.464
Indice de densidad de Reineke	0.488	0.460	0.497
ICA	0.478	0.426	0.487
IMA	0.472	0.414	0.475

Tabla 22. Correlación entre parámetros del inventario y valores asociados a cobertura vegetal calculados de la imagen Landsat-ETM+ de 2000.

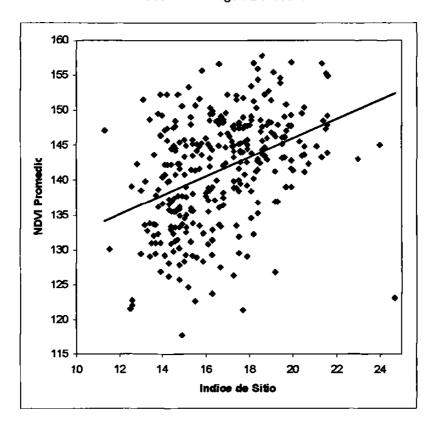


Figura 35. Correlación entre valores de Indice de sitio y NDVI promedio para cada subrodal.

Comparando el NDVI contra los índices de sitio para subrodales de la cuarta anualidad desagregados por tratamiento (figura 36), se muestra: Aclareos (ACL), Corta de liberación (CL), Corta de regeneración (CR), Selección definida y condicionada por composición de pino (SELC), Selección definida y condicionada por pendiente (SELF) Selección definida y condicionada por pobreza de sitio (SELP).

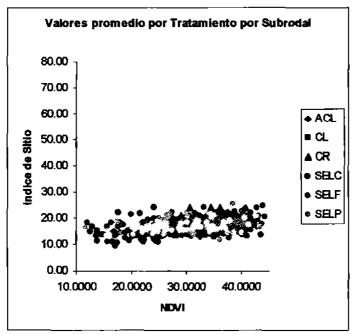


Figura 36. Comparación entre índice de sitio e índice de diferencia normalizada de vegetación para la cuarta anualidad por tratamiento a aplicar.

La comparación de la variable cobertura de copas en la figura 37.

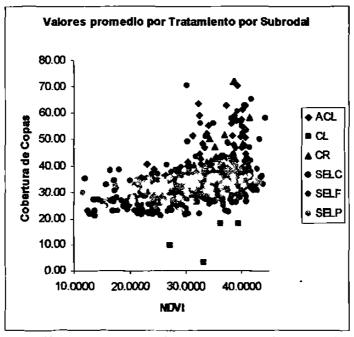
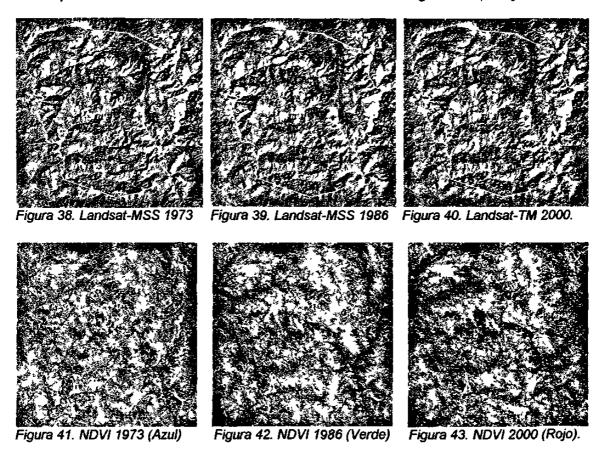


Figura 37. Comparación entre cobertura de copas e índice de diferencia normalizada de vegetación para la cuarta anualidad por tratamiento a aplicar.

# 5.6. Evaluación multitemporal

En la figuras 38, 39 y 40 se muestran las tres imágenes Landast y sus correspondientes valores de NDVI normalizados en las figuras 41, 42 y 43.



La integración de los tres NDVI categorizados en una sola imagen se muestran en la figura 44.

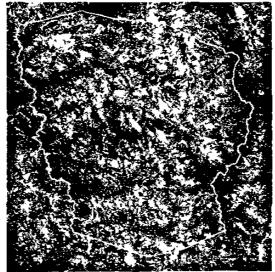


Figura 44. Imagen que integra los 3 NDVI's para el análisis multitemporal.

Para comprende la imagen anterior se presenta un esquema en la figura 45, de la cual se derivan cuatro grupos de variación de la cobertura forestal:

# Áreas sin variación aparente:

- Blanco.- áreas con densidad alta en todas las escenas.
- o Gris.- áreas con densidad media en todas las escenas.
- o Negro.- áreas con densidad baja en todas las escenas.

# • Áreas con tendencias de deforestación:

- Azul.- áreas que experimentaron alta deforestación en la primer década
- Cyan.- áreas que experimentaron alta deforestación en la segunda década

# • Áreas con tendencias de reforestación:

- Amarillos.- áreas que experimentaron alta reforestación en la primer década
- Rojos.- áreas que experimentaron alta reforestación en la segunda década

# Áreas con variación temporal discontinua:

- Verde.- áreas que experimentaron reforestación en la primer década y deforestación en la segunda década.
- Magenta.- áreas que experimentaron deforestación en la primer década y reforestación en la segunda década.

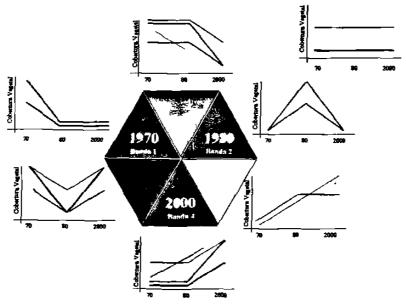


Figura 45. Esquema para la interpretación colorimétrica de la imagen compuesta por NDVI's, basada en la densidad de cobertura forestal entre fechas de escenas.

El resultado de la clasificación no supervisada y sobreposición de subrodales de producción se muestra en la figuras 46 y 47, así como en las tablas 23 y 24.

Patrón	Superficie Total (F	las.)	Superficie de Producción (Has		
Sin Camido Dersacat Alias	12,970.08	5.39%	4,082.27	7.13%	
Referestación Alta antico	37,595.21	15.62%	16,733.12	29.24%	
Reforestación Baja	44,381.36	18.44%	13,863.67	24.23%	
Sin Cambio Densidad Media	18,401.15	7.64%	4,636.40	8.10%	
Deforestación Baja	30,684.94	12.75%	8,503.47	14.86%	
ing a skind of the contraction o	27,735.89	11.52%	2,525.38	4.41%	
Sin Cambio Densidad Baja	68,971.14	28.65%	6,878.95	12.02%	
	240,739.76		57,223.24	_	

Tabla 23. Cambios de cobertura forestal del área de estudio y de subrodales de producción.



Figura 46. Cambios de cobertura forestal experimentada en el área de estudio y subrodales de producción.

Patrón	Superficie de Produ	cción (Has.) S	uperficie no Mane	jada (Has.)
Sin Cambio Densidad Ana	4,082.27	7.13%	8,887.82	4.84%
Referestación Alta	16,733.12	29.24%	20,862.09	11.37%
Reforestación Baja	13,863.67	24.23%	30,517.70	16.63%
Sin Cambio Densidad Media	4,636.40	8.10%	13,764.76	7.50%
Deforestación Baja	8,503.47	14.86%	22,181.47	12.09%
A LOUIS CONTRACTOR OF THE STATE	2,525.38	4.41%	25,210.51	13.74%
Sin Cambio Densidad Baja	6,878.95	12.02%	62,092.19	33.83%
<u> </u>	57,223.24		183,516.53	

Tabla 24. Cambios de cobertura forestal en subrodales de producción y áreas no manejadas.

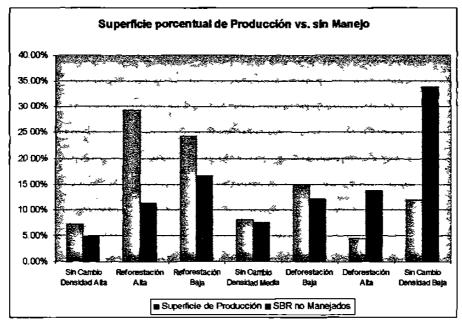


Figura 47. Comparación porcentual del cambio de cobertura forestal en subrodales de producción y áreas no manejadas.

Su desagregación por tratamientos para la cuarta anualidad se muestra en la tabla 25 y figura 48.

Patrón	SELP	SELF	SELC	ACL	CR	CL
THE WALL STREET, MICH.	17. <b>7</b> 8	323.06	76.12	60.44	18.00	0.86
eforestasión Alta como media	126.90	1,152.16	171.83	329.56	109.42	9.92
Reforestación Baja	189.79	950.47	348.32	185.94	51.26	6.89
Sin Cambio Densidad Media	65.43	355.95	99.92	84.33	17.37	1.42
Deforestación Baja	112.05	574.72	274.52	141.41	31.39	13.91
	21.35	197.96	124.27	23.38	2.70	4.66
Sin Cambio Densidad Baja	225.36	385.04	567.09	27.32	5.11	1.82
	758.66	3 939 35	1.662.08	852 37	235.24	39 47

Tabla 25. Superficie en hectáreas por tratamiento para la cuarta anualidad y patrón de densidad 1973-1986-2000.

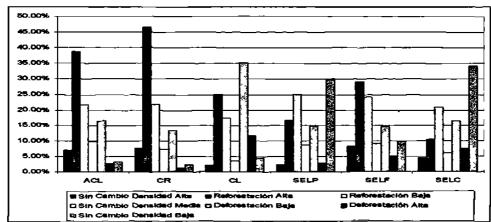


Figura 48. Comparación porcentual de la superficie por tratamiento para la cuarta anualidad y patrón de densidad 1973-1986-2000.

## 5.7. Modificación de escurrimientos por deterioro de la cobertura forestal

Los resultados de la modelación hidrológica se muestran de la figura 49 a la 60 y tablas de la 26 a la 28.



Figura 49. Cuenca del Río Baluarte, estaciones meteorológicas e hidrométrica ubicadas dentro de la cuenca, principales escurrimientos y límite del área de estudio.

Estaciones Climatológicas para 1973

	LOUISING OF HER 1010						
Estación	Clare DGGTN	Temp.Med, Atrest	PPT Med Anual	PPT Max Ald	PPT. Min. Afri		Dependercie:
La Ciudad	10-009	10.10	1,479.06	2078.10 -1963	1011.50 -1956	20	CFE
La Peña	10-072	10.00	1,374.25	18.62.10 -1963	1015.60 -1971	13	SARH
El Palmito	25-038	16,67	1,240.01	2335.00 -1958	760.50 -1965	20	CFE
Potrerillos	25-118	19.62	1,292.91	1463.80 -1974	1163.10 -1975	7	SARH
Pueblo Nuevo	10-076	18.51	1,435.67	2111.10 -1968	1025,10 -1975	11	SARH
Plomosas	25-117	22.09	1,499.79	1935.80 -1973	1100.40 -1972	12	SARH
as Habitas	25-099	25.16	1,141 29	1511.90 -1969	763.70 -1966	12	SARH

PPT. Promedio 1,351,85

Tabla 26. Datos de estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca del Río Baluarte.

Estación	Las Habitas
Corriente	Rio Baluarte
Area Cuenca Km2	3,535.00
Escurrimiento anual (millones m3)	2,007.04
Volumen Medio Anual (m3/seg)	7.11
Gasto Medio Anual m3/seg	292
Gasto Máximo m3/seg	0.68
Periodo	1964-1973
Dependencia	SARH

Tabla 27. Datos de la estación hidrométrica "Las Habitas".

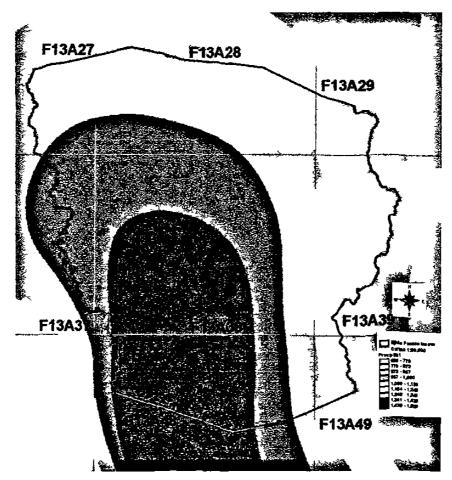


Figura 50. Modelo de distribución de precipitación media anual en el área de estudio

		Periodo de Retorno						
Pendiente	Uso de Suelo	2 años	5 anos	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
	Asfalto	0.73	0.78	0.82	0.87	0.91	0.96	1.00
	Cemento	0.75	0,79	0.83	0.88	0.92	0.96	1.00
0-2%	Cultivos	0.31	0.35	0.40	0.44	0.48	0.53	0.57
2-7%		0.35	0.39	0.43	0.48	0.52	0.56	0.60
> 7 %		0.39	0.43	0.46	0.50	0.54	0.57	0.61
0-2%	Pastos	0.25	0.30	0.34	0.39	0.44	0.48	0.53
2-7%		0.33	0.37	0.41	0.46	0.50	0.54	0.58
>7%		0.37	0.41	0.45	0.49	0.52	0.56	_ 0.60
0-2%	Bosques	0.22	0.26	0.31	0.35	0.39	0.44	0.48
2-7%		0.31	0.35	0.39	0.44	0.48	0.52	0.56
> 7 %		0.35	0.39	0.43	0.47	0.50	0.54	0.58
0-2%	Z. Verdes Pobre < 50 % cobertura	0.32	0.36	0.41	0.45	0.49	0.54	0.58
2-7%		0.37	0.41	0.45	0.49	0.53	0.57	0.61
> 7 %		0.40	0.44	0.47	0.51	0.55	0.58	0.62
0-2%	Z. Verdes Media > 50 < 75 %	0.25	0.30	0.34	0.39	0.44	0.48	0.53
2-7%		0.33	_0.37	0.41	0.46	0.50	0.54	0.58
> 7 %		0.37	0.41	0.45	0.49	0.52	0.56	0.60
0-2%	Z. Verdes Buena > 75 %	0.21	0.26	0.30	0.35	0.40	0.44	0.49
2-7%	<del></del>	0.29	0.34	0.38	0.43	0.47	0.52	0.56
> 7 %		_0.34	0.38	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58

Tabla 28. Porcentajes de escurrimiento por tipo de uso de suelo y pendiente.

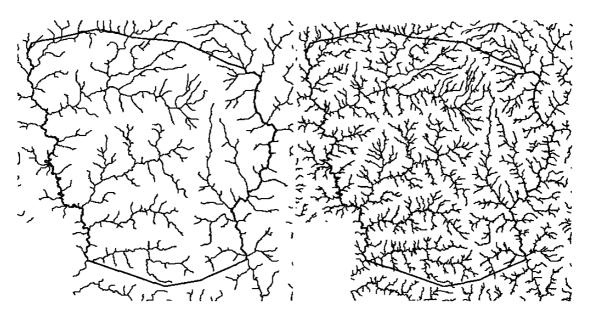


Figura 53. Cauces digitalizados comparados contra modelados escala 1:250,000.

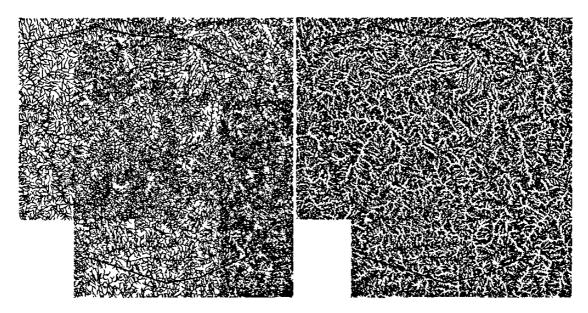


Figura 54. Cauces digitalizados comparados contra modelados escala 1:50,000.

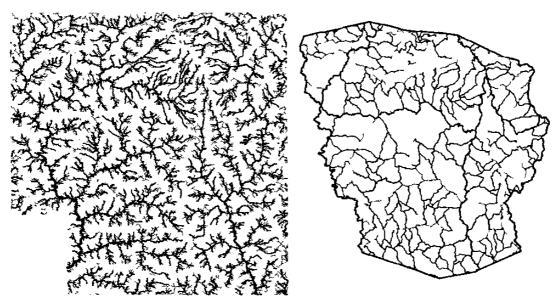


Figura 55. Definición de submicrocuencas del modelado hidrológico comparado contra Información hidrológica de áreas de captación del ejido Pueblo Nuevo.

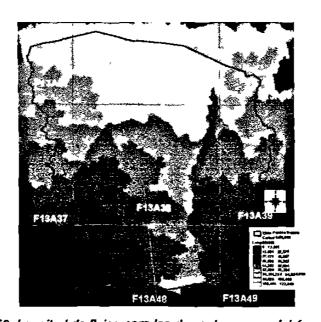


Figura 56. Longitud de flujos para las dos subcuencas del área de estudio.

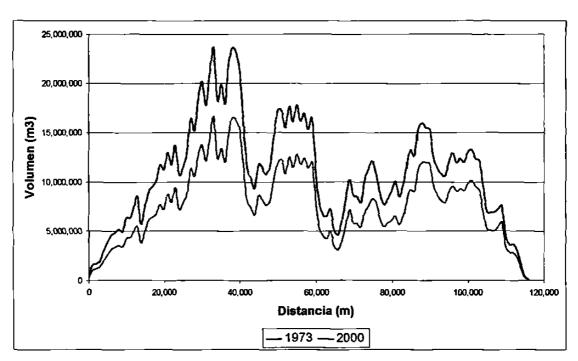


Figura 57. Hidrogramas 1973-2000 para la cuenca del Río Baluarte.

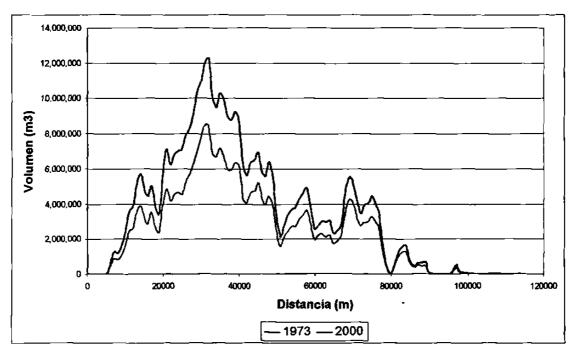


Figura 58. Hidrogramas 1973-2000 para la cuenca del Río San Diego..

Los coeficientes de escurrimiento de ambas fechas fueron comparados para determinar cambios y evaluar el grado de deterioro por microcuenca (figura 59).

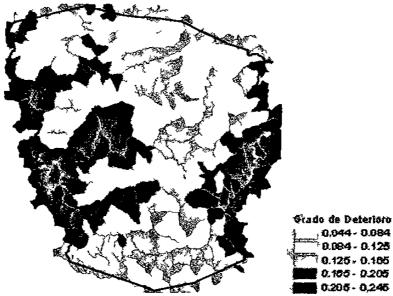


Figura 59. Grado de deterioro expresado en incremento de índices de escurrimiento.

A partir del índice de compacidad y el grado de deterioro, se evaluó el riesgo hidrológico por microcuenca (figura 60).

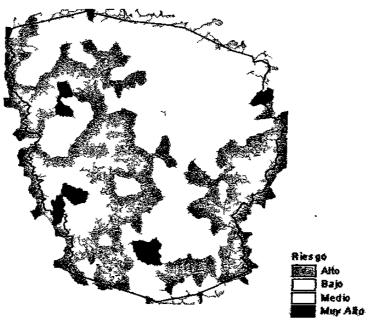


Figura 60. Categorías de riesgo hidrológico por microcuenca.

# 5.8. Análisis de distribución de la población y sus actividades respecto a la problemática de subcuencas en el ejido Pueblo Nuevo.

Grado de deterioro de las microcuencas respecto a la distribución de localidades y cantidad de población. Para el año 2000 dos de ellas superan los 600 habitantes, La Peña y Mesa de San Pedro (figura 61).

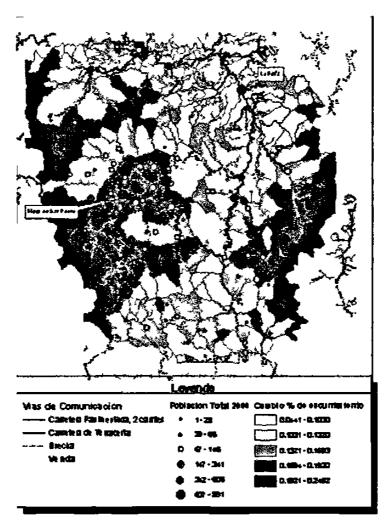


Figura 61. Distribución de localidades y total de población respecto al deterioro de submicrocuencas.

Estas localidades definen dos aspectos de las actividades productivas del ejido, La Peña y las poblaciones localizadas a lo largo de las carreteras principales sobre las mesas altas que corren hacia el sur y al oeste, dedicadas principalmente al sector forestal, mientras que la Mesa de San Pedro agrupa un conjunto de poblados de la zona de las quebradas, dedicados principalmente a actividades agropecuarias, con fruticultura y silvicultura de autoconsumo. Esta zona de las quebradas, tanto de la cuenca del río Baluarte como la del río San Diego han registrado disminución en su cobertura forestal, debido principalmente a incendios forestales y cambios de uso de suelo por la apertura de áreas de cultivo, observados durante los recorridos de campo, un ejemplo de ello se muestra en las figuras 62 y 63.

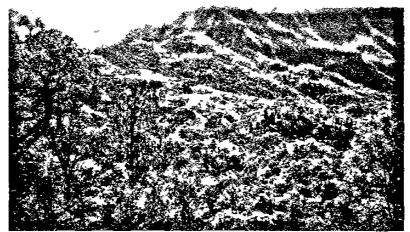


Figura 62. Establecimiento de áreas agrícolas en zonas forestales (Río Baluarte).

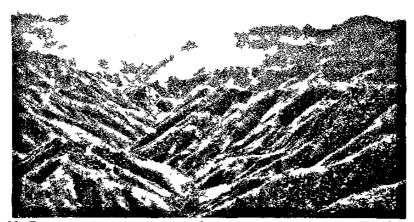


Figura 63. Establecimiento de áreas agrícolas en zonas forestales (Río San Diego).

Comparando los datos de población para los años 1995 y 2000 por localidad (figura 64), se observa que la zona de mayor crecimiento en los últimos cinco años se encuentra ubicada en la Mesa de San Pedro, constituyéndose en la población atractora de mayor crecimiento, seguida de cuatro localidades

satélites cercanas que registraron un crecimiento demográfico significativo, así como un conjunto de localidades de menor crecimiento, las cuales conforman la zona de mayor presión e impacto a cuencas y ecosistemas dentro del ejido, así como a los de aguas abajo en estados vecinos.

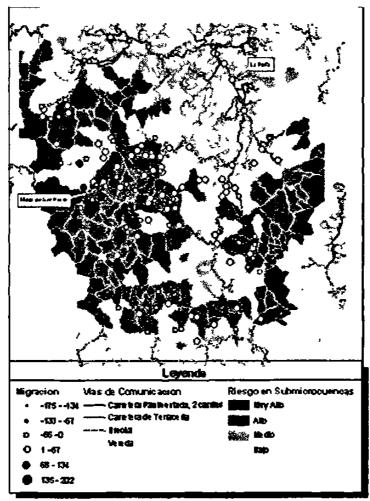


Figura 64. Riesgo de submicrocuencas y crecimiento de localidades en 5 años.

Con base en los usos de suelo y vegetación derivados del inventario nacional forestal 2000, se realizó un análisis comparativo respecto a los predios de la región suroeste del Estado de Durango (tabla 29).

Donde queda de manifiesto que:

- El ejido Pueblo Nuevo registra valores promedio en la región.
- \* La superficie per cápita es ligeramente superior al promedio.
- La superficie de Bosque de Pino-Encino per cápita es ligeramente inferior al promedio

- \* La superficie de Bosque de Encino-Pino per cápita es el doble al promedio
- \* La superficie de Agricultura y Pastizal Inducido per cápita es muy baja con respecto al promedio.
- \* Existen ocho predios cuya superficie Agrícola y Pastizal Inducido per cápita superan en mayor o menor grado al promedio

	f 1	Bosque de Pino y	Bosque de	Selva Medianas v	Agricultura y
<u> </u>	Supuperficie	Pino-Encino per	Encino y Encino-	Baja Caducifolia	Pastizal
Predio	percápita	cápita	Pino per capita	per cápita	Inducido per
Ejido Antonio Molina Deras	266 17	183 50	76.16	0	Y
P.P. Lotes 1 y 4 Fraccto, San Francisco	190 55	171 35	17.20	0	0 00
P.P. Lote No. 6 Presitas	165 80	165 80	0 00	0	0.00
P.P. Lotes 1,4,6,13 y 14 Fraceto. Coyotes	115 50	119 29	0 00	0	0.00
P.P. Lotes 2, 3 y 20 Fraccto, Coyotes	113.50	11369	0 00	0	0.00
P.P Los Juncos	146 00	10233	43.67	0	0.00
P P Lotte 5 Fraccto Llano Grande	124 20	99 36	0.00	0	
P.P. Lotes 5,7 y 15 Fraccto. Coyotes	79.90	74 30	5.60	0	0.00
P.P. Lotes 12 y 21 Fraccto. Coyotes	78 31	70 50	7 81		0 00
Comunidad La Esperanza	73 27	63 75	0 00	0	
Ejudo San Antonio de las Basuras	55 13	55 13	0.00	0	0.00
Endo Adolfo Ruiz Cortinez	50 26	44 16	4 06	0	0 78
Ejido Unidos Venceremas	44.17	28 12	8 57	0	
Comunidad Duraznito y Picachos	48 05	21 84	10.54	15 62	0.00
Comunidad El Gato	40 98	18 55	070	21 72	0 00
Ejido San Esteban y Anexos	28 45	17 39	10 16		0.90
Ejido Barones	41 94	16 37	2.56	23.01	0 00
Ejido El Salto y Anexos	28 52	13.90	0 00	0	e vino
Ejido La Cueva y Anexos	13 72	13.04	0.68	0	0.00
Ejido Chavarria Nuevo	13 08	12.60	0 48	0	0 00
Epido Pueblo Nuevo	20 25	10 03	6 12	3 87	0 21
Totales y promedios	18.20	10.94	3.44	1.84	1,96
Ejido Los Negros	11 42	10 63	0.09	0	0 70
Ejido Santa Lucia	17 09	10 58	6 24	. 0	0 00
Ejado Nueva Patria	16.54	10 54	6 01	0	0 00
Ejido Chavarna Viejo	21 77	10 29	0 00	0	7.5
Ejido La Campana	1496	9 23	2 69	195	1 13
Endo Los Bancos	8 87	8 87	0.00	0	0 00
Ejido Duraznito y Picachos	10 32	8 72	0 00	1_60	000
Ejido Mrl Diez	11 10	8 34	0.00		2.76 2.97
Ejido San Antonio y Anexos	10 92	7 94 7 64	0 00	0	297
Endo Laguna del Progreso	764	7 45		0	000
P.P. Lote 3 Fraccto, San Francisco	60 25				0.47
Éjido Sotolitos y Anexos	12.64	6 89	5 28	0	
Comunidad Chavarna Nuevo	674	594	0.00	0	0.81
Ejido Banderas del Aguita	10.81	4 50	1 33	0	4 98
Ejido La Ciudad	3 96	3 96	0 00	0	0.00
Ejido José Maria Moretos	5.24	3 58	J 08		1 59
Ejido Borbollones	3.59	2.76	0 00	0.83	0 00
Ejudo San José de Animas	42 23		and the same of th	0	THE BUILDING
P.P. Lote 7 y 11 Fraccto. Llanc Grande	329.25	0.00		0	
Ejido El Palmarito	117 51	0.00	47 00	the second subsection of	0 00
Ejido Villa Corons	91.68	0.00	45.04	Local Control	0.00

Tabla 29. Evaluación de usos de suelo y vegetación per cápita.

## 5.9. Modelo de estratificación de la masa forestal (rodalización)

Como primer criterio de esta metodología se integró la definición de submicrocuencas a partir de la modelación hidrológica previamente descrita (figura 65).

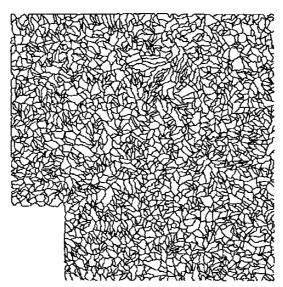


Figura 65. Información vectorial digital de submicrocuencas modeladas.

Para la definición del segundo criterio se comparó los tipos de vegetación y uso de suelo y las exposiciones donde estos se ubican, los resultados se muestran en forma porcentual (figura 66).

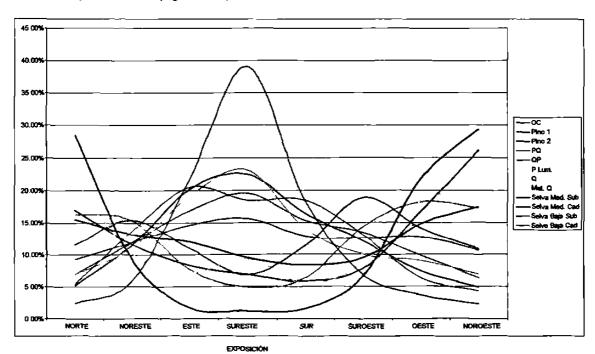


Figura 66. Tipos de vegetación y exposición en porcentajes.

La sobre posición de la información digital de rodales a exposiciones y la separación a exposiciones preferenciales (Noroeste-Sureste) se muestra en la figura 67.



Figura 67. Comparación de rodales actuales y exposiciones de 8 y 2 clases (NW-SE).

La recodificación del modelo de explosiones de 8 a 2 valores y su vectorización (figura 68).

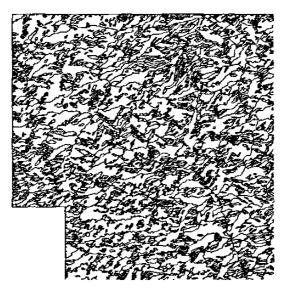


Figura 68. Información vectorial digital de exposición preferencial.

La integración al modelo de submicrocuencas para obtener el modelo de rodales (figura 69). Los resultados a detalle en las figuras 70, 71 y 72.

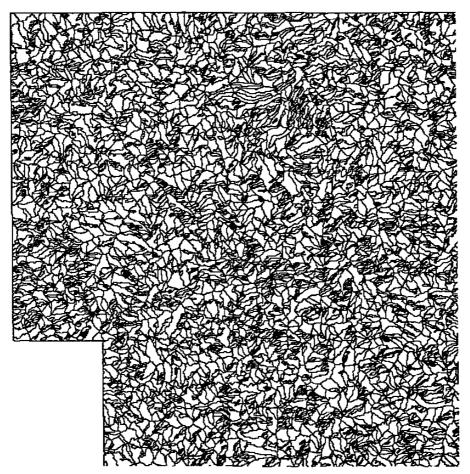
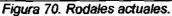


Figura 69. Integración de los dos criterios y generación de los Rodales modelados.





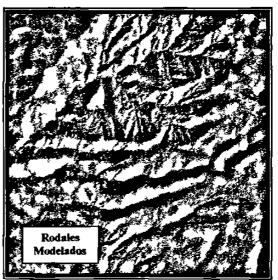


Figura 71. Rodales modelados.

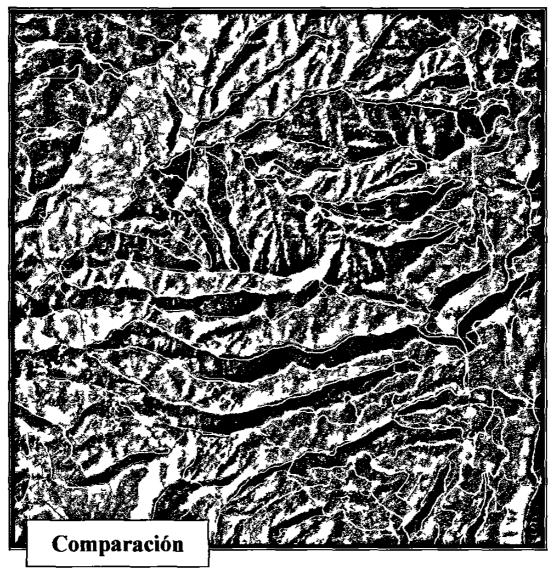


Figura 72. Sobreposición de Rodales actuales y modelados.

Para la definición de subrodales se integró la clasificación de la imagen Landsat\_ETM+ de 2000 (transformada a formato vector) a el modelo de rodales, los resultados de la integración de los dos criterios se presentan en la figura 73 y su comparación a mayor detalle en las figuras 74, 75, 76 y 77.

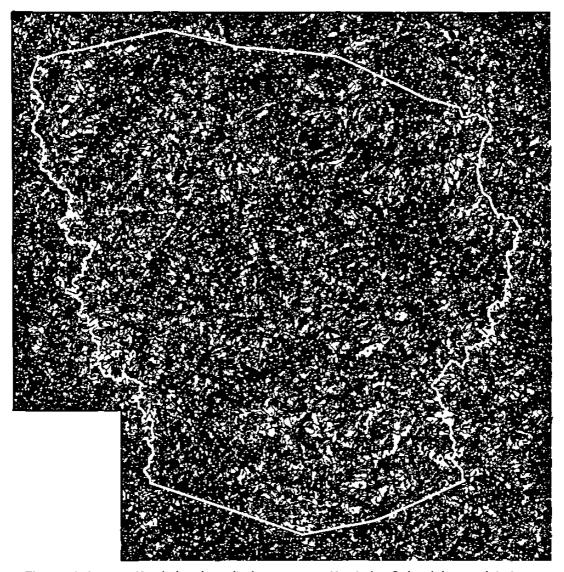


Figura 73. Integración de los dos criterios y generación de los Subrodales modelados.

La evaluación de varianzas entre clases dentro de subrodales digitalizados (método tradicional) y modelados se observan en la tabla 30.

Estratificación	Varianza promedio	%
En Subrodales digitalizados de toda el área de estudio	10:30	64.43
En Subrodales digitalizados dedicados a producción	8.35	52.19
En subrodales modelados	2.64	8.44

Tabla 30. Variabilidad de clases dentro de subrodales

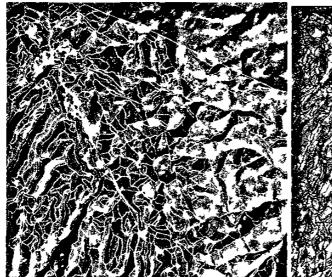


Figura 74. Subrodales digitalizados sobre imagen Landsat-ETM+.

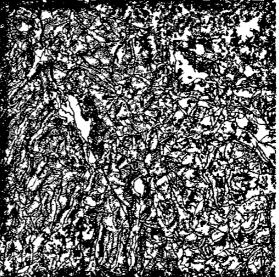


Figura 75. Subrodales digitalizados sobre clasificación.

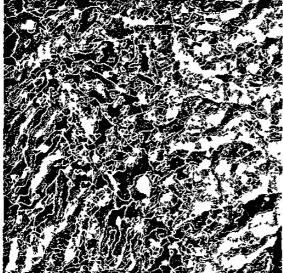


Figura 76. Subrodales modelados sobre imagen Landsat-ETM+.

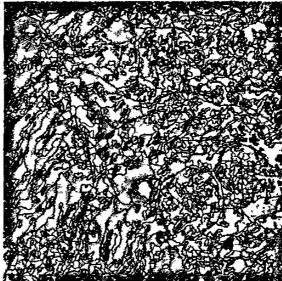


Figura 77. Subrodales modelados sobre clasificación.

# 5.9.1. Definición de zonas de protección dentro del subrodal (segregación)

La integración las vías de comunicación y transmisión, así como los cauces modelados para la definición de zonas y superficies de segregación en cada subrodal (figuras 78 y 79).

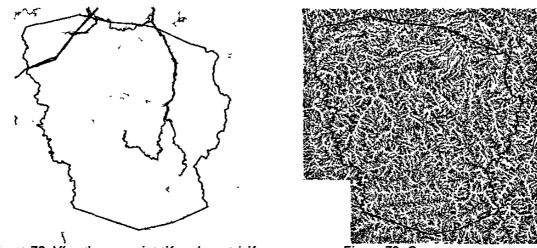


Figura 78. Vías de comunicación y transmisión

Figura 79. Cauces.

Una comparación gráfica de los trabajos cartográficos existentes y la nueva información dasocrática digital generada se muestra en las figuras 80 y 81.

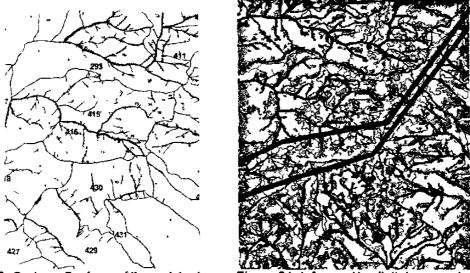


Figura 80. Cartografía dasocrática existente

Figura 81. Información digital generada.

### 5.10. Integración de información modelada a la dasocrática existente

A parir de la información integrada se analizó el efecto de la altura sobre el nivel del mar, temperatura y exposición para caracterizar la Influencia de factores del medio físico en la distribución de la vegetación.

Al comparar el resultado de la clasificación de la imagen Landsat-ETM+, con los pisos altimétricos del modelo digital de elevación (figura 82 y 83), podemos observar:

- Una zona de transición ubicada en los 1,400 m.s.n.m., la cual coincide con la isoterma media anual de los 18°C (figura 67). La cual divide al área de estudio en comunidades de bosques de clima templado frío y selvas cálido húmedas
- La dominancia del bosque de pino entre los 2,600 a 2,800 m.s.n.m.
- Gran cantidad de superficie por debajo de los 1,900 m.s.n.m., presenta escasa cobertura arbórea, dominada principalmente por pastizales (agrupando suelos desnudos y roqueríos).

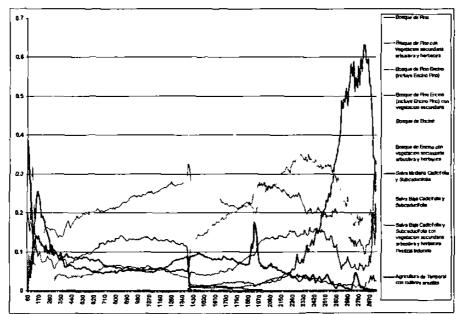


Figura 82. Distribución altitudinal porcentual de tipos de vegetación y uso de suelo.



Figura 83. Clasificación de tipos de vegetación y usos de suelo, según Inventario Nacional Forestal 2000, curva de nivel de los 1,400 m.s.n.m. en negro, e isoterma media anual de los 18°C en rojo.

Con base en la información dasocrática se analizó la distribución de las diferentes especies del género *Pinus* en los rodales de producción (figura 84). Así mismo, se evaluó el efecto de elevación-exposición en la distribución de Otras Coníferas (figura 85), *Pinus cooperii* (figura 86), *Pinus durangensis* (figura 87), *Pinus Teocote* (figura 88), *Pinus leiophylla* (figura 89), *Pinus engelmanni* (figura 90), *Pinus herrerai* (figura 91), *Pinus spp.* (figura 92).

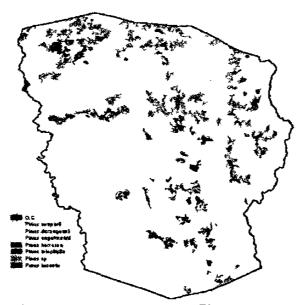


Figura 84. Distribución de las especies del género Pinus en subrodales de producción

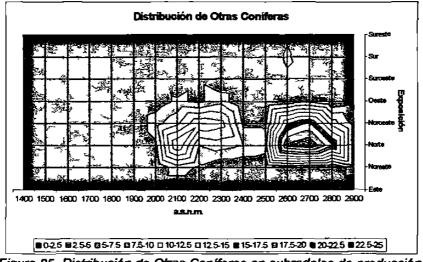


Figura 85. Distribución de Otras Coníferas en subrodales de producción.

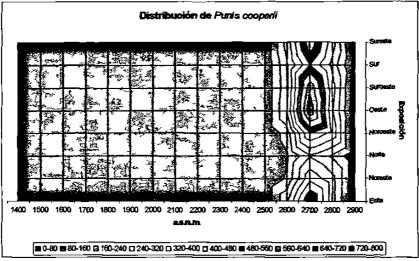


Figura 86. Distribución de Pinus cooperii en subrodales de producción.

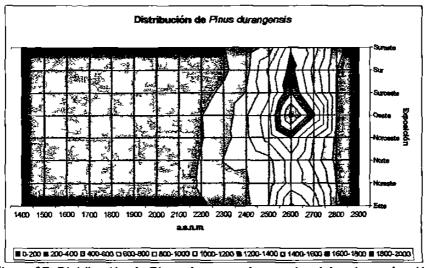


Figura 87. Distribución de Pinus durangensis en subrodales de producción.

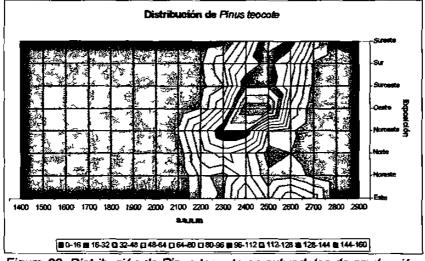


Figura 88. Distribución de Pinus teocote en subrodales de producción.

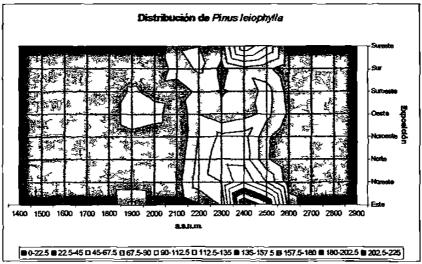


Figura 89. Distribución de Pinus leiophylla en subrodales de producción.

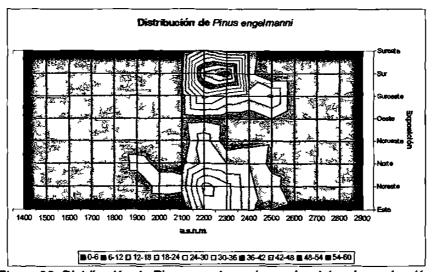


Figura 90. Distribución de Pinus engelmanni en subrodales de producción.

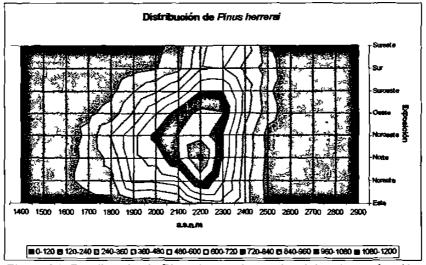


Figura 91. Distribución de Pinus herrerai en subrodales de producción.

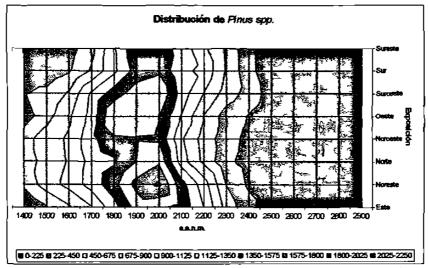


Figura 92. Distribución de Pinus spp. en subrodales de producción.

Combinando la influencia de elevación con exposición, queda claramente definida la distribución de especies de la siguiente forma:

- Bosques de Otras Coníferas, registra una marcada preferencia por exposiciones Norte y elevaciones entre 2,600 a 2,720 m.s.n.m.
- Bosque de *Pinus cooperii*, manifiesta una clara preferencia altitudinal de 2,700 m.s.n.m. en dos grupos de exposiciones, mas acentuado al Oeste y otra de menor cantidad al Sureste.
- Bosque de Pinus durangensis, con preferencia a exposiciones Oeste, altitudinalmente en 2,600 m.s.n.m. con tendencia de mayor facilidad de distribución a elevaciones menores que mayores.
- Bosque de Pinus teocote, de distribución en exposiciones Oeste y altitudes entre 2,370 a 2,510 m.s.n.m.
- Bosque de Pinus leiophylla, con marcada exposición Este y elevaciones de 2,400 m.s.n.m.
- Bosque de Pinus engelmanni registró preferencias de exposición Sur y elevación de 2,300 m.s.n.m.

- Bosque de Pinus herrerai, con una distribución en las zonas entre 2,230 a 2,140 m.s.n.m. y exposición Norte, aunque su cobertura se manifiesta muy extendida.
- Bosque de Pinus spp., refiriéndose a especies de pino no identificadas durante el trabajo de campo del inventario, cuya distribución es muy extendida. Con ligera preferencia a exposiciones Noreste y elevaciones de 1,890 a 2,050 m.s.n.m.

Si juntamos todas las gráficas en una sola, es fácil comprender que cada especie ocupa un lugar determinado en este espacio bidimensional de altura sobre el nivel del mar y exposición.

#### 6. Discusión

Para la zona de estudio, la información topográfica contenida en los conjuntos de datos vectoriales escala 1:50,000 de INEGI, fue adecuada para la creación del modelo digital de elevación de 15x15 m, de donde se derivó pendientes, exposiciones, modelo digital de iluminación (para normalización topográfica), cuencas, subcuencas, microcuencas, submicrocuencas y cauces. Sin embargo, no es recomendable utilizar los modelos digitales de elevación elaborados por INEGI, porque su resolución espacial es de 50x50m, resultando difícil de integrarlo al análisis de imágenes Landsat.

La información temática de INEGI escala 1:250,000, sobre geología, edafología y climas no es adecuada y debe trabajarse más a detalle si se desea mayor precisión al evaluar su influencia en la dinámica ecológica de la región. Incluso, la información de precipitación y temperaturas (isoyetas e isotermas) podría calificarse de muy genérica; sin embargo, su integración y procesado generó buenos resultados analíticos.

El modelo de normalización topográfica que mejores resultados ofreció fue la modificación propuesta a la ecuación de Civco (1989). Su eficacia se demuestra en la reducción del efecto topográfico y el incremento en la precisión de clasificación.

La ecuación de Civco (1989) es un método sencillo, de fácil aplicación; sin embargo, el coeficiente de corrección no puede ser elaborado para cada tipo de vegetación existente, sobre todo en áreas forestales como las de México con tanta diversidad de comunidades. Es por ello que la modificación propuesta en el presente trabajo, sustituyendo el coeficiente de corrección por la constante de Minnaert ofrece mejores resultados, ya que puede ser aplicado en diferentes tipos de imágenes y condiciones ecológicas, debido a que sólo depende del modelo de iluminación y su correlación con cada banda.

La integración de información de inventarios y manejo forestal al sistema permitió obtener datos de primera mano a cerca de las comunidades forestales existentes, así como facilitar la selección sitios de muestreo para la definición de firmas espectrales de cada tipo de vegetación o uso de suelo y su posterior proceso de clasificación y validación de la misma. Por tal motivo, antes de realizar este tipo de trabajos, es necesario evaluar la disponibilidad, temporalidad, estructura y formato en los que se encuentra esta información, para poder evaluar el tiempo necesario a invertir en su generación, captura e integración. Lo anterior además de posibles trabajos de actualización, propiciados por la disponibilidad de nuevas herramientas e información de mejor calidad.

La planeación para la estructura de la base de datos permitió seleccionar sólo los reportes de manejo necesarios a integrar, buscando evitar redundancias sin perder eficiencia. Por tal motivo, es recomendable hacer un análisis exhaustivo de la información disponible, y así definir las variables necesarias y el orden de las mismas en la estructuración de bases de datos funcionales y suficientes.

Las firmas espectrales registraron independencia estadística y patrones espectrales definidos, pero a su vez muy distintivos entre grupos. Para el grupo de clima templado, otras coníferas, pino, pino-encino y encino, muestran un patrón espectral semejante en todas las bandas pero con incremento de valores respectivamente, típico de coberturas arbóreas (con poca diferencia entre valores de banda4 y banda5). Pinus lumholtzii, encino-pino y matorral de encino, también muestran un patrón espectral semejante en todas las bandas típico de coberturas arbustivas (con altos valores en la banda5). Para el grupo de clima cálido, las selvas medianas muestran también un patrón específico del tipo de coberturas arbóreas, en cambio las selvas bajas un patrón específico del tipo de coberturas arbustivas. En el grupo de otros usos, se presentan valores de banda3 superiores a banda4, típicos de superficies con escasa o desprovista de vegetación.

Una comparación entre los resultados de Inventario Nacional Forestal 2000 y la clasificación de cobertura vegetal y uso de suelo (tabla 31), muestra marcadas diferencias, pues destaca la aparición de dos nuevas clases, Roqueríos y Cuerpos de Agua. En especial destaca la clase roquerios pues ocupa una cuarta parte (24.24%) de la superficie total del predio. El bosque de encino que

reportaba para el inventario el 9.21%, cubre el 30.21%. El bosque de pinoencino que dominaba en el inventario con el 23.85%, registra solo el 13.76%. El bosque de pino con 21.29%, con tan solo el 5.08%.

Las zonas de cultivos y pastizales que cubrían el 1% y 3% respectivamente, resultaron con 5.58% y 4.12%.

	Inv. Nac. Ftal. 2000	
COMUNIDAD	(Hectáreas)	(Hectáreas)
AGRICULTURA DE TEMPORAL CON CULTIVOS		
ANUALES Y SUELOS DESNUDOS	2,440	<b>13,44</b> 3
BOSQUE DE ENCINO	22,170	72,723
BOSQUE DE ENCINO CON VEGETACION SECUNDARIA		1
ARBUSTIVA Y HERBACEA	31,101	2,523
BOSQUE DE PINO	51,263	12,236
BOSQUE DE PINO CON VEGETACION SECUNDARIA		
ARBUSTIVA Y HERBACEA	16,580	11,437
BOSQUE DE PINO-ENCINO (INCLUYE ENCINO-PINO)	57,421	33,126
BOSQUE DE PINO-ENCINO (INCLUYE ENCINO-PINO)		
CON VEGETACION SECUNDARIA	28,896	1,954
PASTIZAL INDUCIDO	7,855	9,922
SELVA BAJA CADUCIFOLIA Y SUBCADUCIFOLIA	8,683	5,621
SELVA BAJA CADUCIFOLIA Y SUBCADUCIFOLIA CON		
VEGETACION SECUNDARIA ARBUSTIVA Y HERBACEA	14,176	12,489
SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA Y SUBCADUCIFOLIA	155	6,833
ROQUERIOS		58,358
CUERPOS DE AGUA		75
TOTAL	240,740	240,740

Tabla 31. Comparación de superficies de cobertura vegetal y uso de suelo.

Las diferencias entre los resultados del Inventario Nacional Forestal 2000 y la clasificación realizada, denotan la falta de evaluación en áreas que muestran signos de deterioro como lo son roqueríos y/o suelos desnudos, cultivos, pastizales y el incremento del bosque de encino sobre el bosque de pino, debido principalmente a la aplicación de metodologías de trabajo cartográfico subjetivas y discrecionales.

Los resultados obtenidos de la aplicación de índices para evaluar cobertura vegetal en percepción remota (NDVI, PCA y Tasseled Cap) registraron una alta correlación entre ellos (coeficiente>0.92 y R²>0.85) y resultados muy parecidos, probando que en este caso que cualquiera de ellos es eficiente. Ya que al compararse con los distintos tipos de vegetación mostraron consistencia,

registrando bajas densidades de cobertura en pastizales, bosques de *Pinus lumholtzii* y selvas bajas caducifolias, en cambio, altas densidades en bosques de otras coníferas, pino, pino-encino, y selvas medianas.

Tasseled Cap registró la más alta correlación con el índice de Reineke en todas las anualidades, sin embargo la diferencia respecto a los otros índices fue reducida.

La cuarta anualidad fue la que registró mayor correlación para todos los índices de cobertura vegetal (NDVI=0.46, PCA=0.45 y Tasseled Cap=0.49), siendo la siguiente anualidad a intervenir y la que mostraba mayor densidad.

La comparación de la variable cobertura de copas (gráfica 21), mostró altos valores de NDVI para los tratamientos de aclareos (ACL) y cortas de regeneración (CR). En cambio, el tratamiento corta de liberación (CL), muestra valores altos de NDVI, debido a que son subrodales con regeneración establecida a los que se les va a aplicar el tratamiento.

La comparación entre variables registradas durante el inventario y la información generada mediante modelaciones, índices o clasificaciones tiene como propósito el identificar que tipo de información puede inferirse a partir de esta. Sin embargo, en el caso de cobertura de copas, índice de densidad de Reineke, ICA e IMA, de los cuales esperaba una proporcionalidad casi directa, no resultó de la forma esperada. La mayor aproximación en correlación se presentó entre NDVI y la cobertura de copas para la cuarta anualidad. Esta falta de correlación entre variables se atribuye principalmente a la gran variabilidad dentro de los subrodales de la cartografía dasocrática.

En términos generales, la mayor tasa de deforestación se ha registrado en las superficies no dedicadas a producción forestal maderable. Donde el avance de la frontera agropecuaria, incendios forestales, y las áreas ya impactadas no se han recuperado, cubriendo casi la mitad del territorio ejidal (47.57%).

Al evaluar el análisis multitemporal en los tratamientos por aplicar de la cuarta anualidad, la corta de regeneración (CR) y los aclareos (ACL), registran tasas de reforestación, debido al incremento de cobertura vegetal entre fechas. Las cortas

de liberación resultado de cortas de regeneración que respondieron positivamente al tratamiento registran tasas de reforestación, en cambio, aquellas donde no se ha podido restablecer completamente la masa forestal por diversas causas, registran áreas con baja deforestación.

Respecto al grupo de tratamientos de selección, el definido y condicionado por pendiente (SELF), es el que registra mejores valores de reforestación, en cambio, los definidos y condicionados por pobreza de sitio (SELP) y por composición de pino (SELC), registran bajos niveles de reforestación, denotando que presentan áreas que se han mantenido con escasa vegetación durante todo el período de análisis.

La metodología aplicada para la modelación hidrológica es una herramienta de gran utilidad ya que genera información fundamental en los procesos de estratificación, definición de áreas de segregación, estimación de caudales, evaluación de impactos hidrológicos a ecosistemas e identificación de áreas prioritarias de reforestación. En México, la información sobre cuencas se encuentra en cartas escala 1:250,000 y es muy genérica para este tipo de análisis.

El impacto a los escurrimientos derivado del cambio de cobertura forestal durante el periodo 1973-2000, se manifiesta en el incremento de coeficientes de escurrimiento y a su vez, en los volúmenes escurridos durante cada evento hidrometeorológico, resultando en avenidas con mayores caudales, mayor capacidad erosiva y perdida de suelos, mayor impacto en comunidades aguas abajo por el desbordamiento de cauces y menor capacidad de retención y administración del recurso agua.

La subcuenca del río Baluarte registró un incremento global en el escurrimiento promedio anual de sus avenidas del 41.43%. De 2,005,612,151 m³ en 1973 a 2,836,554,825 m³ en 2000, con un diferencial de 830,942,674 m³. Con diferencia de crestas en el hidrograma hasta de 7,120,527 m³ equivalentes al 49.13%.

La subcuenca del río San Diego registró in incremento global en el escurrimiento promedio anual de sus avenidas del 40.78%. De 633,315,237 m³ en 1973 a

891,555,776 m<sup>3</sup> en 2000, con un diferencial de 348,240,539 m<sup>3</sup>. Con diferencia de crestas en el hidrograma hasta de 3,823,179 m<sup>3</sup> equivalentes al 45.32%

las microcuencas que mayor impacto registran, se encuentran en la zona de las quebradas, principalmente en las zonas mas bajas.

Al comparar el grado de deterioro por microcuenca con la distribución de la población, queda de manifiesto que las actividades productivas agropecuarias que se desarrollan en la región de las quebradas, es la que contribuye en gran medida con el deterioro de esa zona.

El ejido Pueblo Nuevo muestra valores que lo ubican muy cercano al promedio en cuanto a superficie total per cápita y superficie de pino-encino per cápita. Relativamente cercano al promedio de bosques de encino-pino y selvas medianas y bajas per cápita. Sin embargo, registra una superficie para usos agropecuarios por debajo de la media, a pesar de las evaluaciones y problemática anteriormente descrita. Por ésta razón, existe la posibilidad de que la frontera agropecuaria continúe extendiéndose fuera de las áreas de producción forestal en el ejido.

En la zona de estudio, la orientación de las pendientes (exposición) influye en gran medida en los patrones de distribución de los tipos de vegetación, las exposiciones noroeste (NW) crean condiciones microclimáticas donde se establecen bosques de otras coníferas, pinos, encinos y selvas medianas. En cambio, en las exposiciones sureste (SE) se establecen bosques abiertos de pino (baja densidad), encino-pino, *Pinus lumholtzii* y selvas bajas. Las exposiciones de transición son suroeste (SW) y noreste (NE).

La integración de submicrocuencas modeladas y exposiciones preferenciales generó una estratificación a nivel rodal de muy buena calidad, la cual al ser comparada con la cartografía dasocrática existente, permitió identificar trazos equivocados, redefinir límites y generar trazos faltantes, mejorando la precisión de los trabajos ya existentes. Para la definición de subrodales, la delimitación de los tipos de vegetación y usos de suelo dentro de cada rodal fue fundamental.

Debido a la resolución espacial utilizada en la imagen y el detalle de la misma, generó píxeles aislados o en pequeños grupos de clases distintas, los cuales dificultaban el proceso de vectorización en líneas regulares claramente definidas. Por tal motivo, fue necesario filtrar la clasificación para eliminar este tipo de problemas y definir con mayor claridad las comunidades forestales y usos de suelo presentes para su posterior vectorización.

Al comparar la variabilidad de tipos de vegetación y uso de suelo presente en los rodales de producción y en los rodales modelados, la diferencia porcentual de varianza es de 43.75%., los que demuestra que son muy heterogéneos, haciéndolos inapropiados para correlacionar variables dasocráticas con índices derivados de las imágenes de satélite.

Aunque los resultados de rodalización automatizada fueron percibidos por los prestadores de servicios técnicos forestales del ejido Pueblo Nuevo como "demasiado específicos y difíciles de manejar", la precisión de la información fue muy apreciada y útil para mejorar su trabajo.

Entre los factores del medio físico que mostraron mayor influencia en la distribución de la vegetación, esta la exposición la cual genera condiciones microclimáticas, la altura sobre el nivel del mar, la cual influye sobre algunas condiciones macroclimáticas, creando condiciones térmicas de latitudes superiores. Definiendo para el área de estudio una zona de transición entre comunidades cálidas y templadas en la cota 1,400 m.s.n.m., que coincide con la isoterma media anual de 18°C.

#### 7. Conclusión

- 1. Los modelos geoespaciales permiten evaluar grandes extensiones de terreno de forma detallada, facilitando la cuantificación, monitoreo, análisis y comprensión de la dinámica de ecosistemas; sin embargo, es necesario recalcar la importancia de los métodos de validación de información, evaluación de clasificación, así como la documentación clara y sistemática de procesos.
- 2. Los modelos geoespaciales son nuevas tecnologías que permiten establecer metodologías de trabajo y estándares específicos para el proceso y análisis de información relevante del manejo forestal, el cual, actualmente continúa apoyándose en tecnologías de evaluación del territorio e integración poco eficientes, con criterios variables, discretos y no estandarizados.
- 3. Mediante el uso modelos geoespaciales es posible localizar y evaluar perturbaciones como incendios, plagas o enfermedades en estado avanzado, desmontes por cambios de usos de suelo, tratamientos silvícolas como cortas de regeneración y aclareos; no obstante, efectos débiles de plagas y enfermedades y tratamientos de selección son muy difíciles de evaluar con este tipo de sensores.
- 4. La integración de información de inventarios y manejo forestal a los modelos geoespaciales ofrece muchas ventajas desde el punto de vista cartográfico y de bases de datos, para la actualización, manejo, análisis, consulta y distribución de información.
- El proceso de Normalización Topográfica de imágenes Landsat es un proceso importante para mejorar significativamente la precisión de clasificación y análisis.
- La eliminación del efecto topográfico depende de la geometría entre el sol y la superficie de terreno, por tanto en regiones muy accidentadas es posible minimizarlo, pero muy difícil eliminarlo.
- 7. La información topográfica escala 1:250,000 es adecuada para la normalización topográfica de imágenes Landsat MSS con resolución de

- 60x60 metros, si se desea trabajar imágenes Landsat TM, será necesario el uso de información topográfica escala 1:50,000, para generar modelos digitales de elevación de mayor detalle.
- 8. La modelación hidrológica permitió una clara definición de cuencas, subcuencas, microcuencas, submicrocuencas, cauces y volúmenes escurridos. A partir de la cual se modelaron rodales, subrodales, áreas de segregación y se evaluó el impacto por cambios de cobertura forestal.
- 9. Los tipos de vegetación y uso de suelo derivados de la clasificación de la imagen de satélite, permitieron elaborar la subrodalización del área de estudio. Sin embargo, el resultado obtenido se considera demasiado preciso para los requerimientos de manejo actuales. Esto puede ser mejorado, con una definición de área mínima de mapeo menor para pequeños manchones en áreas abiertas y mayor para grandes masas compactas.
- 10. La variabilidad registrada entre el método tradicional de estratificación y el desarrollado en el presente trabajo, permite marcar diferencias evidentes. Esta "variabilidad tan amplia" dentro de los subrodales, es una de las principales causas de que la comparación entre variables registradas en campo durante los inventarios, no manifiesten claras y determinantes correlaciones con las modeladas o generadas en el presente trabajo. Por tal motivo, será necesario desarrollar nuevos trabajos de investigación en zonas más específicas o puntuales, buscando disminuir la variación de la información actual.
- 11. Para elaborar subrodales menos específicos y más fáciles de manejar, incrementando la varianza interna hasta límites aceptables se sugiere:
  - múltiple aplicación de filtros (2, 3 o 4), enfocados solo a tipos de vegetación de interés (otras coníferas, pino, pino-encino, encino-pino, encino, etc.)
  - manteniendo el área mínima de mapeo en dos hectáreas para pequeños grupos de vegetación (o manchones), e incrementar el área mínima de mapeo de cuatro a ocho veces en agrupaciones mayores.

- 12. Uno de los trabajos futuros resultantes de este, es el integrar las varíables registradas durante el inventario a nivel de sitio (no de subrodal) a los subrodales modelados, para minimizar varianza, trabajando con comunidades mucho más homogéneas.
- 13. La metodología de evaluación del deterioro se presenta como una alternativa para:
  - Describir la evolución del deterioro por procesos de deforestación presentes en el área.
  - Evaluar el desempeño de los planes de manejo a lo largo del tiempo.
  - Probar las ventajas del manejo y aprovechamiento forestal, así como las desventajas de las regiones carentes de planes de manejo o administración de los aprovechamientos de los recursos naturales.
  - Evaluar el impacto de los tratamientos aplicados y aportar elementos de juicio en la aplicación de futuras intervenciones silvícolas.
  - Evaluar el impacto al ciclo hidrológico y modificaciones de las avenidas en zonas aguas abajo de cuencas.
  - Identificar submicrocuencas de mayor prioridad de conservación.
  - Orientar los esfuerzos para de forma precisa disminuir el riesgo y/o vulnerabilidad de poblaciones y zonas aguas abajo.
- 14. Si se desea aplicar un proceso de análisis multitemporal como el propuesto en el presente trabajo, éste deberá tomarse en cuenta:
  - La variable espectral de las imágenes para determinar cuales bandas serán utilizadas en la elaboración del NDVI
  - La variable espacial para determinar las resolución de las imágenes y el método para igualar este parámetro.
  - La variable estacional, procurando que las imágenes sean de la misma época, poniendo especial énfasis en aspectos fenológicos y climáticos presentes en las escenas.

- La variable geométrica, para la correcta georreferencia entre imágenes.
- La normalización de valores mínimos y máximos entre imágenes, apoyándose en características presentes en todas las escenas.
- La validación en campo de los valores digitales y definición de rangos de densidad.
- 15. El aspecto de mayor relevancia en este tipo de análisis, es el identificar las áreas donde se detecte deforestación baja o alta y se tengan programados tratamientos o intervenciones de aprovechamiento, para de esta forma cambiarlos por actividades de protección, conservación y fomento, identificando las causas para orientar los esfuerzos sobre zonas específicas.
- 16.La metodología propuesta para evaluar el impacto de los cambios de cobertura forestal en la modificación de los escurrimientos, tiene por objetivo dar a conocer de forma cuantitativa, a cerca de la importancia del manejo y conservación del las zonas forestales y el agua en México.
- 17. Este tipo de tecnologías no pretende sustituir el trabajo de campo, sino por el contrario, facilitar los trabajos sistematizando y orientando los esfuerzos para desarrollar un mejor conocimiento específico de cada sitio de las áreas forestales.
- 18. Tomando en cuenta las fuertes presiones en la demanda de espacios, alimentos, y calidad de vida que se incrementan día con día, nos obliga a buscar formas más eficientes de administración de los recursos naturales.

## 8. Bibliografía

- Baret, F., G. Guyot y D. Major. 1989. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or APAR estimation, in 12th Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS 1990, Vancouver, Canada, July`10-14.
- Benson A. y S. DeGloria. 1985. Interpretation of Landsat-4 Thematic Mapper and Multispectral Scanner Data for Forest Survey. University of California, Berkeley. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 51(9):1281-1289.
- Bondelid, T. R., T. J. Jackson y R. H. McCuen. 1982. Estimating runoff curve numbers using remote sensing data. Proc. Int. Symp. On Rainfall-Runoff Modeling. Applied Modeling in Catchment Hydrology, Water Resourse Publications. Littleton, CO. pp. 519-528.
- Burrough, P.A. 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press, New York, pp. 50.
- Brownlie, R. K. y C. J. Terlesk. 1995. Using a geographical information system (GIS) to map and determine the extent of mayor soil disturbance resulting from a logging operation. New Zealand Forestry, 4(2):23-26.
- Byrne, G. F., P. F. Crapper, y K. K. Mayo. 1980. Monitoring land cover change by principal component analysis of multi-temporal Landsat data. Remote Sensing of Environment, 10:175-184.
- Chow V. T., D. R. Maidment y L. W. Mays. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill. Series in Water Resources and Environmental Engineering. pp. 572.
- Civco D. 1989. Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 55(9):1303-1309.
- Clevers, J. 1988. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index, Remote Sensing of Environment. 35:53-70.
- Congalton, R., K. Green y J. Teply. 1993. Mapping-old growth forest on National Forest and Park Lands in the Pacific Northwest from remotely sensed data. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 59(4):529-535.
- Colby, J. D. 1991. Topographic Normalization in Rugged Terrain. Department of Geography, University of Colorado. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 57(5):531-537.

CONABIO, 1998. Uso de Suelo y Vegetación agrupado. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática - Instituto Nacional de Ecología 1996. México, D.F.

Conese, C., M. A. Gialbert, F. Maselli y L. Bottai. 1993. Topographic Normalization of TM Scenes through the Use of an Atmospheric Correction Method and Digital Terrain Models. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 59(12):1745-1753.

Coppin, P. R. y M. E. Bauer. 1996. Digital change detection in forest ecosystems with remotely sensed imagery, Remote Sensing Reviews. 13:207-234.

Coulombe, S. y K. Lowell. 1995. Ground-truth verification of relations between forest basal area and certain ecophysiographic factors using a GIS. Landscape and Urban Planning. 32(2):127-136.

Crippen, R. E. 1990. Calculating the Vegetation Index Faster, Remote Sensing of Environment, 34:71-73.

Crist, E. P. 1986. Vegetation and Soils Information Contained in Transformed Thematic Mapper Data. Proceedings of IGARSS' 86 Symposium, ESA Publications Division, ESA SP-254.

Crist, E. P., y R. J. Kauth. 1986. The Tasseled Cap De-Mystified. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 52(1):81-86.

Chavez P. S. 1989. Radiometric Calibration of Landsat Thematic Mapper Multispectral Images. US Geological Survey, Flagstaff, AZ. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 55(9):1285-1294.

Davis K. P. 1966. Forest Management: regulation and valuation. McGraw-Hill Series in Forest Resources. Yale University. EEUU. pp. 517.

ERDAS IMAGINE 8.5. 1999. Field Guide, Fifth Edition, ERDAS, Inc., 2801 Buford Highway, NE. Atlanta, Georgia, 30329-2137 USA. pp. 672.

Eckhardt, D. W., J. P. Verdin y G. R. Lyford. 1990. Automated update of an irrigated lands GIS using SPOT HRV imagery, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 56:1515-1522.

Faust, N. L. 1989. Image Enhancement. Volumen 20, Suplemento 5 de la Enciclopedia de Tecnología y Ciencias Computacionales, editada por Kent A. y James G. W. New York: Marcel Dekker, Inc. pp. 424.

Fiorella, M. y W. J. Ripple. 1993. Determining Successional Stage of Temperate Coniferous Forests with Landsat Satellite Data. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 59(2):239-246.

Fung, T. y E. LeDrew. 1987. Application of principal components analysis to change detection, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 53:1649-1658.

Harrison J. D. 1951. Inventario Forestal Nacional. FAO – Estudios de Silvicultura y Productos Forestales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación, Roma Italia. pp. 102.

Hayes, D. J. y S. A. Sader. 2001. Comparison of Change-Detection Techniques for Monitoring Tropical Forest Clearing and Vegetation Regrowth in a Time Series. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 67:1067-1075.

Holben B. y C. Justice. 1980. The Topographic Effect on Spectral Response from Nadir-Pointing Sensors. Earth Resources Branch. NASA/Goddard Space Flight Center. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 46(9):1191-1200.

Huete, A. R., R. D. Jackson y D. F. Post. 1985. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds, Remote Sensing of Environment. 17:37-53.

Huete, A. R. 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), Remote Sensing of Environment. 25:295-309.

Hutchinson, M.F. 1988. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Third International Symposium on Spatial Data Handling, Sydney. Columbus, Ohio: International Geographical Union. pp. 117-133.

Hutchinson, M.F. 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. Journal of Hydrology. 106:211-232.

Hutchinson, M. F. 1993. Development of a continent-wide DEM with applications to terrain and climate analysis. In: M. F. Goodchild *et al.* (ed.), Environmental Modeling with GIS. New York, Oxford University Press. pp. 392-399.

INEGI, 1981. Anexo Cartográfico del Estado de Durango, Carta Estatal, Climas, escala 1:1,000,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F.

INEGI, 1981. Anexo Cartográfico del Estado de Durango, Carta Estatal, Regionalización Fisiográfica, escala 1:1,000,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F.

INEGI, 1984. Carta Geológica F13-2 "El Salto", escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F.

INEGI, 1988. Carta Edafológica F13-2 "El Salto", escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F.

INEGI, 1989. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales F13-2 "El Salto", escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F.

INEGI. 1990. Guías para la Interpretación Cartográfica, Geología, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F. pp. 15.

INEGI. 1990. Guías para la Interpretación Cartográfica, Uso de suelo y vegetación, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F. pp. 21.

INEGI 1990, XI Censo General de Población y Vivienda 1990. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F.

INEGI. 1991. Guías para la Interpretación Cartográfica, Edafología, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F. pp. 17.

INEGI. 1991. Guías para la Interpretación Cartográfica, Hidrología subterránea y superficial, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F. pp. 32.

INEGI, 1992. Carta Uso de Suelo y Vegetación F13-2 "El Salto", escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F.

INEGI 1995, Conteo de Población y Vivienda, Resultados Definitivos. Durango. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F.

INEGI. 2000. Conjunto de datos vectoriales de las cartas topográficas, escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. F13-A27, A28, A29, A37, A38, A39, A48, A49. México.

INEGI 2000, XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, D.F.

Jackson, T. J., R. M. Ragan y W.N. Fitch. 1977. Test of Landsat-Based Urban Hydrologic Modeling. ASCE J. Water Resources Planning and Management Div. V 103. No. WR1, Proc. Papers 12950. pp. 141-158.

James N.D. 1981. A History of English Forestry. Blackwell, Oxford, Inglaterra, pp. 331.

Jensen J. R., K. Rutchey, M. S. Koch y S. Narumalani. 1995. Inland wetland change detection in the Everglades Water Conservation Area 2A using a time series of normalized remotely sensed data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 61:199-209.

Jensen, J. R. 1996. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

Jenson S. K. y J. O. Domingue. 1988. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 54(11):1593-1600.

Jordan, C. F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor, Ecology, 50:663-666.

Jordan G.A. 1992. GIS and forest management: towards the next century. GIS'92 Symposium, section B3, 5pp.

Jordan, G. A. y J. Wardoyo. 1996. Assessing Management of Forest Landscapes with ARC/INFO and Easi/Pace. Resumenes 16 Conferencia Annual de Usuarios de ESRI. CD de artículos publicados, ESRI.

Kohm K. A. y J. F. Franklin. 1997. Creating a Forestry for the 21st Century, Island Press, Washington, D.C. pp. 475.

Kowalik W. S., R. J. Lyon y P. Switzer. 1983. The Effects of Additive Radiance Terms on Radios of Landsat Data. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 49(5):659-669.

Kriegler, F. J., W. A. Malila, R. F. Nalepka, y W. Richardson. 1969. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition, en Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, University of Michigan, Ann Arbor, MI, pp. 97-131.

Lang L. 1998. Managing Natural Resouse with GIS. ESRI Press, Redlands California. USA. pp. 117.

Lee, R.G. 1982. The classical sustained yield concept: content and philosophical origins. in Sustained Yield (Le Master, Baumgartner y Adams, Ed.) Simposio 27-28 de abril. Spokane Wa. Pullman, Wa. Washington State University, Conference Office, EE.UU. pp 150-154.

- Leprieur C. E. y J. M. Durand. 1988. Influence of Topography on Forest Reflectance Using Landsat Thematic Mapper and Digital Terrain Data. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 54(4):491-496.
- Lillesand, T. M. y R. W. Kiefer. 1987. Remote Sensing and Image Interpretation, 2nd edition\_, John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, pp. 721.
- Lyon, J. G., D. Yuan, R. S. Lunetta y C. D. Elvidge. 1998. A change detection experiment using vegetation indices. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 64:143-150.
- Macleod, R. D. y R. G. Congalton. 1998. A quantitative comparison of changedetection algorithms for monitoring elgrass from remotely sensed data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 64:207-216.
- Mendoza M. A. 1993. Conceptos básicos de Manejo Forestal. Editorial Limusa, México, D.F. pp. 161.
- Meráz A. R. 1998. Programa de Manejo Forestal 1997-2007. Ejido Pueblo Nuevo. pp. 126.
- Muchoney, D. M. y B. N. Haack. 1994. Change detection for monitoring forest Defoliation, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60:1243-1251.
- Naugle B. I. y J. D. Lashlee. 1992. Alleviating Topographic Influences on Land-Cover Classifications for Mobility and Combat Modeling. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 58(8):1217-1221.
- Osmaston, F. C. 1968. The management of forest. George Allen and Unwin, Londres, Inglaterra, pp. 384.
- Pouch G. W. y D. J. Campagna. 1990. Hyperspherical Direction Cosine Transformation for Separation of Spectral and Illumination Information in Digital Scanner Data. Department of Earth and Atmospheric Sciences, Purdue University. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 56(4):475-479.
- Qi J., A. Chehbouni, A. R. Huete y Y. H. Kerr. 1994. Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI), Remote Sensing of Environment. 48:119-126.
- Qi J., Y. Kerr, y A. Chehbouni. 1994. External Factor Consideration in Vegetation Index Development, en Proc. of Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, ISPRS, pp. 723-730.
- Reeder D., E. Bryant y R. Bimie. 1999. Topographic correction of satellite images. Paper Title: Removing the Topographic Effect from Digital Satellite Data.

Earth Science Department, Dartmouth College, Hanover. Presented in ERIM 13th International Conference on Applied Geologic Remote Sensing, Vancouver, Canada. 3 de Marzo de 1999.

Richardson, A. J. y J. H. Everitt. 1992. Using spectra vegetation indices to estimate rangeland productivity, Geocarto International. 1:63-69.

Richardson, A. J. y C. L. Wiegand. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 43:1541-1552.

Ritter P. 1987. A Vector-Based Slope and Aspect Generation Algorithm. Space Science Laboratory, University of California, Berkeley. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 53(8):1109-1111.

Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell y D. W. Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351, 1:309-317.

Sanchez V. 1987. Conceptos elementales de hidrología forestal. Agua, cuenca y vegetación. Vol. I. División de Ciencias Forestales, UACh. Chapingo, México. pp. 149.

S.A.R.H. 1992. Inventario Nacional Forestal de Gran Visión (Reporte Principal). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal, Mex. Pp.72.

SEGOB 2000. Sistema Nacional de Información Municipal. Centro Nacional de Desarrollo Municipal. Secretaria de Gobernación., México, D.F.

SEMARNAT 2000. Cartografía Digital del Inventario Nacional Forestal 2000. Estado de Durango. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.

Shasby M. y D. Carneggie. 1986. Vegetation and Terrain Mapping in Alaska Using Landsat MSS and Digital Terrain Data. US Geological Survey, Anchorage. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 52(6):779-786.

Smith J. A., L. T. Lie y K. J. Randson. 1980. The Lambertian Assumption and Lansat Data. College of Forestry and Natural Resources, Colorado State University. Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 46(9):1183-1198.

Swain P. y S. Davis. 1978. Remote Sensing: The Quantitative Approach. New York: McGraw Hill Book Company. pp. 396.

Tarboton D. G., R. L. Bras y I. Rodriguez-Iturbe. 1991. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data, Hydrological Processes. 5:81-100.

Tokola T., J. Sarkeala y M. Van Der Linden. 2001. Use of topographic correction in Landsat TM-based forest interpretation in Nepal. International Journal of Remote Sensing. 22(4):551-563.

Welch R. y W. Ehlers.1987. Merging Multiresolution SPOT HRV and Landsat TM Data. Ohotogrammetric Engineering and Remote Sensing. 53(3):301-303.