UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCION DE POSTGRADO

ALTERNATIVAS DE MANEJO FORESTAL MEDIANTE EL DESARROLLO DE CONOCIMIENTO ESPECIFICO DE SITIO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA
ING. M.C. RENE G. GONZAEZ MURGUIA

LINARES, N. L. SEPTIEMBRE DEL 2003

TD
Z5991
FCF
2003
.G6

1020149181

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCION DE POSTGRADO

ALTERNATIVAS DE MANEJO FORESTAL MEDIANTE EL DESARROLLO DE CONOCIMIENTO ESPECIFICO DE SITIO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA
ING. M.C. RENE G. GONZAEZ MURGUIA

LINARES, N. L. SEPTIEMBRE DEL 2003

976620

TD
Z5991
FCF
2003
.G6

CAPILLA ALFONSINA
UANL
FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

ALTERNATIVAS DE MANEJO FORESTAL MEDIANTE EL DESARROLLO DE CONOCIMIENTO ESPECÍFICO DE SITIO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA

ING. M.C. RENÉ G. GONZÁLEZ MURGUÍA

LINARES, N.L. SEPTIEMBRE DEL 2003.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

ALTERNATIVAS DE MANEJO FORESTAL MEDIANTE EL DESARROLLO DE CONOCIMIENTO ESPECÍFICO DE SITIO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA

ING. M. C. RENÉ G. GONZÁLEZ MURGUÍA

COMISIÓN DE TESIS

DR. EDUARDO J. TREVIÑO GARZA
DIRECTOR

DR. OSCAR A. AGUIRRE CALDERÓN
ASESOR

DR. JAVIER JIMÉNEZ PÉREZ
ASESOR

DR. ISRAEL CANTÚ SILVA
ASESOR

DR. RAHIM FOROUGHBAKHCH POURNAVAB
ASESOR

LINARES, N.L. SEPTIEMBRE DEL 2003.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi esposa Analsabel Alvarado Ruíz, por todo su amor, paciencia y apoyo en la realización del mismo.

También a mis hijos Hanssel e Ivann González Alvarado como un ejemplo de trabajo y perseverancia en el desarrollo personal.

A mis padres Ángel René González Zatarain y Laura Delia Murguía Zavala como un tributo a su esfuerzo en darnos la mejor preparación.

A la señora María Amparo Ruíz Piña y al Lic. Ricardo Alvarado Ortiz por su constante apoyo en estos años.

Agradecimientos

Mi agradecimiento a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por haberme brindado la oportunidad de cursar este grado.

Al Doctor Eduardo Treviño Garza por todo su apoyo, consejos y asesoría académica durante mi estancia en la facultad.

A mis asesores por su tiempo y disponibilidad en el desarrollo del presente documento.

Al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey por su apoyo y constante impulso al desarrollo de sus miembros.

Al Arquitecto Leonardo Quintanilla Cárdenas por impulsarme y brindarme tantas oportunidades.

A Dios por darme la oportunidad de estar entre ustedes.

La ecuación polinominal de ajuste calculada a partir de los valores NDVI es:

Ecuación de ajuste: $y = -0.4655\,x^2 + 1.2619\,x + 0.195$

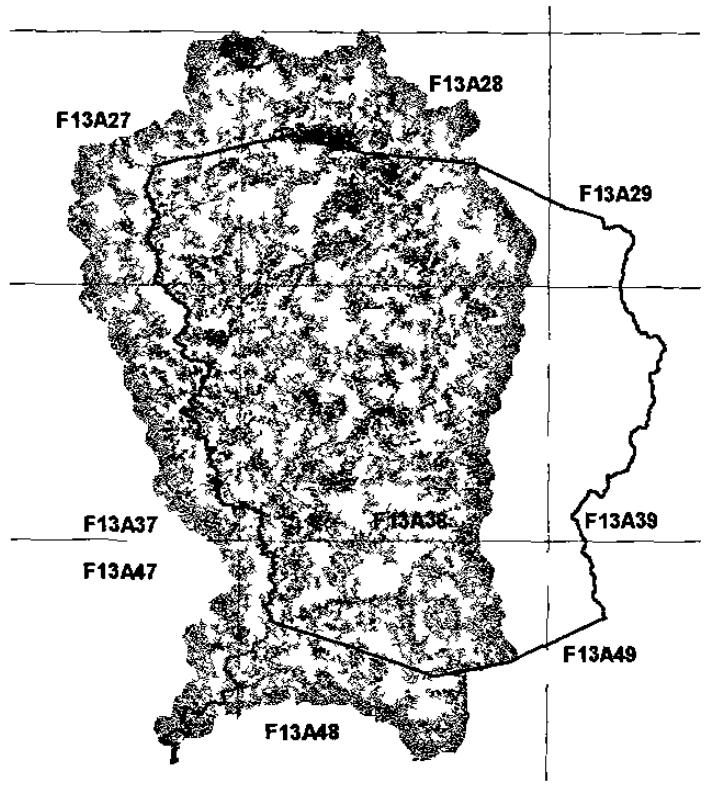

Figura 51. Coeficientes de ecurrimiento para la cuenca del Río Baluarte.

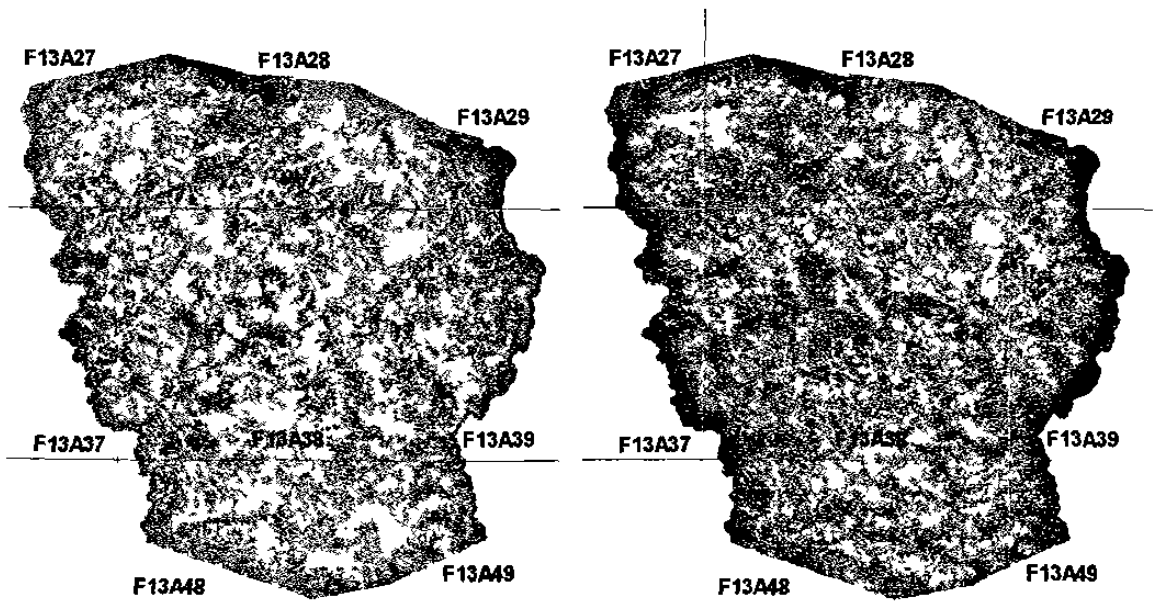

Figura 52. Coeficientes de escurrimiento para el área de estudio 1973 y 2000.

Contenido

Página

Resumen. i

1. Introducción. 1
    1.1. Objetivo general. 3
    1.2. Objetivos particulares 3
    1.3. Hipótesis 3

2. Antecedentes. 4

3. Área de estudio. 14
    3.1. Fisiografía 14
    3.2. Geología 14
    3.3. Edafología 15
    3.4. Climas 16
    3.5. Precipitación y Temperatura 18
    3.6. Hidrología. 19
    3.7. Uso de suelo y vegetación. 19
    3.8. Aspectos socioeconómicos. 21

4. Materiales y métodos. 26
    4.1. Infraestructura utilizada. 26
    4.2. Definición del polígono del predio y zona de estudio. 26
    4.3. *Definición de proyección geográfica*. 26
    4.4. Adquisición y captura de información. 27
    4.5. Información derivada de procesar la información adquirida. 28
    4.6. Evaluación de la cobertura vegetal mediante percepción remota. 30
        4.6.1. Procesamiento de imágenes Landsat. 33
        4.6.2. Integración de información dasocrática existente. 35
        4.6.3. Selección de áreas para muestreo de campo. 36
        4.6.4. Firmas espectrales y validación. 37
        4.6.5. Clasificación de imagen Landsat-ETM+ 2000. 38
    4.7. Estimación de densidad de la masa forestal. 39
    4.8. Análisis de la dinámica regional y sus impactos. 39
        4.8.1. Evaluación multitemporal. 39
        4.8.2. Modificación de escurrimientos por deterioro de la cobertura forestal. 41
        4.8.3. Análisis de distribución de la población y sus actividades respecto a la problemática se subcuencas en el ejido Pueblo Nuevo. 45
    4.9. Modelo de estratificación de la masa forestal (rodalización) 45
        4.9.1. Definición de zonas de protección dentro del subrodal (segregación). 47

4.10. Integración de información modelada a la dasocrática existente. 47

5. Resultados. 49
5.1. Modelo Digital de Elevación 49
5.2. Pendiente. 49
5.3. Exposición. 50
5.4. Determinación de la cobertura forestal actual. 51
5.4.1. Procesamiento de imágenes Landsat. 52
5.4.2. Integración de información dasocrática existente. 53
5.4.3. *Selección de áreas para muestreo de campo*. 54
5.4.4. Firmas espectrales y validación. 55
5.4.5. Clasificación de imagen Landsat-ETM+ 2000. 56
5.5. Estimación de densidad de la masa forestal. 59
5.6. Evaluación multitemporal. 63
5.7. Modificación de escurrimeintos por deterioro de la cobertura forestal. 67
5.8. Análisis de distribución de la población y sus actividades respecto a la problemática de subcuencas en el ejido Pueblo Nuevo. 74
5.9. Modelo de estratificación de la masa forestal (rodalización). 78
5.9.1. Definición de zonas de protección dentro del subrodal (segregación). 83
5.10. Integración de información modelada a la dasocrática existente. 84

6. Discusión. 91

7. Conclusión. 98

8. Bibliografía. 102

Anexo I. Normalización Topográfica. 110

Anexo II. Integración de Información Dasocrática. 127

Anexo III. Métodos alternos para evaluación de Cobertura Vegetal. 133

Anexo IV. Modelación Hidrológica. 143

Indice de Figuras

Página

Figura 1. Diagrama de planeación forestal del ejido Pueblo Nuevo 1997-2007. 13
Figura 2. Ubicación del área de estudio. 14
Figura 3. Geología estratigráfica y estructural de área de estudio. 15
Figura 4. Edafología del área de estudio. 16
Figura 5. Distribución de tipos climáticos en el área de estudio. 17
Figura 6. Distribución de la Precipitación media anual en la zona de estudio. 18
Figura 7. Distribución de la Temperaturas media anual en la zona de estudio. 18
Figura 8. Diagrama climático de Walter para la estación meteorológica de El Salto, Durango. . . 19
Figura 9. Principales Cauces y área de captación en la zona de estudio. 20
Figura 10. Tipos de Uso de Suelo y Vegetación del Inventario Nacional Forestal 2000 en la zona de estudio. 20
Figura 11.Localidades e infraestructura de caminos, brechas y veredas. 24
Figura 12.Grado de Marginación por localidad en el Estado de Durango y otros Estados colindantes. 25
Figura 13. Polígono del área de estudio, definición de zona de estudio y localización de cartas 1:50,000 de INEGI. 27
Figura 14. Esquema de procesos desarrollados de la presente investigación. 48
Figura 15. Modelo Digital de Elevación de la zona de estudio. 49
Figura 16. Distribución de la pendiente en la zona de estudio. 50
Figura 17. Distribución de exposiciones en la zona de estudio. 50
Figura 18. Imagen Landsat-TM Original, composición de falso color TM4-R, TM5-V, TM3-A. 51
Figura 19. Imagen Landsat-Pancromática Original. 51
Figura 20. Imagen Landsat-ETM+ remuestreada composición de falso color TM4-R, TM5-V, TM3-A. 52
Figura 21. Modelo de iluminación. 52
Figura 22. Imagen landsat-ETM+ remuestreada y normalizada. 53
Figura 23. Cobertura digital de la información dasocrática de rodales. 53
Figura 24. Cobertura digital de la información dasocrática de subrodales. 54
Figura 25. Ubicación de las 62 zonas de muestreo para la definición de polígonos de entrenamiento. 54
Figura 26. Patrón digital para cada tipo de vegetación del grupo de clima Templado. 55
Figura 27. Patrón digital para cada tipo de vegetación del grupo de clima Cálido. 55
Figura 28. Patrón digital para otros tipos de vegetación y usos de suelo. 56
Figura 29. Clasificación de tipos de vegetación y usos de suelo, según Inventario Nacional Forestal 2000. 57
Figura 30. Clasificación de tipos de vegetación y usos de suelo para el ejido Pueblo Nuevo. 57
Figura 31. Densididad con NDVI. 59
Figura 32. Densidad con PCA2. 59
Figura 33. Densidad con Tasseled Cap. 59
Figura 34. Tipos de vegetación y su densidad. 60
Figura 35. Correlación entre valores de índice de sitio y NDVI promedio para cada subrodal. 61
Figura 36. Comparación entre índice de sitio e índice de diferencia normalizada de vegetación para la cuarta anualidad por tratamiento a aplicar. 62
Figura 37. Comparación entre cobertura de copas e índice de diferencia normalizada de vegetación para la cuarta anualidad por tratamiento a aplicar. 62
Figura 38. Landsat-MSS 1973. 63
Figura 39. Landsat-MSS 1986. 63
Figura 40. Landsat-TM 2000. 63
Figura 41. NDVI 1973 (Azul). 63
Figura 42. NDVI 1986 (Verde). 63

Figura 43. NDVI 2000 (Rojo). 63
Figura 44. Imagen que integra los 3 NDVI's para el análisis multitemporal. 63
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. 64
Figura 46. Cambios de cobertura forestal experimentada en el área de estudio y subrodales de producción. 65
Figura 47. Comparación porcentual del cambio de cobertura forestal en subrodales de producción y áreas no manejadas. 66
Figura 48. Comparación porcentual de la superficie por tratamiento para la cuarta anualidad y patrón de densidad 1973-1986-2000. 66
Figura 49. Cuenca del Río Baluarte, estaciones meteorológicas e hidrométrica ubicadas dentro de la cuenca, principales escurrimientos y límite del área de estudio. 67
Figura 50. Modelo de distribución de precipitación media anual en el área de estudio. 68
Figura 51. Coeficientes de escurrimiento para la cuenca del Río Baluarte. 69
Figura 52. Coeficientes de escurrimiento para el área de estudio 1973 y 2000. 69
Figura 53. Cauces digitalizados comparados contra modelados escala 1:250,000. 70
Figura 54. Cauces digitalizados comparados contra modelados escala 1:50,000. 70
Figura 55.Definición de submicrocuencas del modelado hidrológico comparado contra información hidrológica de áreas de captación del ejido Pueblo Nuevo. 71
Figura 56. Longitud de flujos para las dos subcuencas del área de estudio. 71
Figura 57. Hidrogramas 1973-2000 para la cuenca del Río Baluarte. 72
Figura 58. Hidrogramas 1973-2000 para la cuenca del Río San Diego. 72
Figura 59. Grado de deterioro expresado en cambio porcentual de escurrimiento. 73
Figura 60. Categorías de riesgo hidrológico por submicrocuenca. 73
Figura 61. Distribución de localidades y total de población respecto al deterioro de submicrocuencas. 74
Figura 62. Establecimiento de áreas agrícolas en zonas forestales (Río Baluarte). 75
Figura 63. Establecimiento de áreas agrícolas en zonas forestales (Río San Diego). 75
Figura 64. Riesgo de submicrocuencas y crecimiento de localidades en 5 años. 76
Figura 65. Información vectorial digital de submicrocuencas modeladas. 78
Figura 66. Tipos de vegetación y exposición en porcentajes. 78
Figura 67. Comparación de rodales actuales y exposiciones de 8 y 2 clases (NW-SE). 79
Figura 68. Información vectorial digital de exposición preferencial. 79
Figura 69. Integración de los dos criterios y generación de los Rodales modelados. 80
Figura 70. Rodales actuales. 80
Figura 71. Rodales modelados. 80
Figura 72. Sobreposición de Rodales actuales y modelados. 81
Figura 73 Integración de los dos criterios y generación de los Subrodales modelados. 82
Figura 74. Subrodales digitalizados, sobre imagen Landsat-ETM+. 83
Figura 75. Subrodales digitalizados, sobre clasificación. 83
Figura 76. Subrodales modelados, sobre imagen Landsat-ETM+. 83
Figura 77. Subrodales modelados, sobre clasificación. 83
Figura 78. Vías de comunicación y transmisión. 84
Figura 79. Cauces. 84
Figura 80. Cartografía dasocrática existente. 84
Figura 81. Información digital generada. 84
Figura 82. Distribución altitudinal porcentual de tipos de vegetación y uso de suelo. 85
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. 85
Figura 84. Distribución de las especies del género Pinus en subrodales de producción. 86
Figura 85. Distribución de Otras Coníferas en subrodales de producción. 86
Figura 86. Distribución de Pinus cooperii en subrodales de producción. 87
Figura 87. Distribución de Pinus durangensis en subrodales de producción. 87
Figura 88. Distribución de Pinus teocote en subrodales de producción. 87

Indice de Tablas

Página

Tabla 1. Superficie forestal nacional según Anuarios Estadísticos. 11
Tabla 2. Tipos de suelo en el área de estudio. 16
Tabla 3. Descripción de los tipos climáticos (clasificación climática de Koppen, modificado por E. García, 1964) presentes en la zona de estudio. 17
Tabla 4. Superficie por tipo de vegetación o uso de suelo en el área de estudio, según Inventario Nacional Forestal 2000. SEMARNAT. 21
Tabla 5. Variables demográficas. 22
Tabla 6. Distribución de la Población Económicamente Activa según SEGOB. 22
Tabla 7. Distribución de la Población Económicamente Activa según INEGI. 22
Tabla 8. Comparación de indicadores promedio para el Estado y Municipio. 23
Tabla 9. Infraestructura educativa Municipal. 23
Tabla 10. Indicadores relevantes SEGOB. 24
Tabla 11. Resumen de Información adquirida y procesos de integración al SIG. 29
Tabla 12. Calificación de pendiente por rangos porcentuales en el área de estudio. 30
Tabla 13. Calificación de exposición por rangos de azimut en el área de estudio. 30
Tabla 14. Fuentes de información cartográfica sobre uso de suelo y vegetación. 31
Tabla 15. Reportes seleccionados para su integración al SIG Forestal. 36
Tabla 16. Principales ventajas y desventajas entre métodos. 46
Tabla 17. Valores para definir superficies de segregación en subrodales. 47
Tabla 18. Porcentajes de pendiente en la zona de estudio. 49
Tabla 19. Matriz de confusión para evaluar la precisión de clasificación. 58
Tabla 20. Coeficientes de correlación entre el índice de densidad de Reineke y distintos índices comúnmente utilizados en percepción remota para evaluar la cobertura vegetal. 60
Tabla 21. Coeficientes de correlación y R^2 entre índices de densidad calculados. 60
Tabla 22. Correlación entre parámetros del inventario y valores asociados a cobertura vegetal calculados de la imagen Landsat-ETM+ de 2000. 61
Tabla 23. Cambios de cobertura forestal del área de estudio y de subrodales de producción. 65
Tabla 24. Cambios de cobertura forestal en subrodales de producción y áreas no manejadas. 65
Tabla 25. Superficie en hectáreas por tratamiento para la cuarta anualidad y patrón de densidad 1973-1986-2000. 66
Tabla 26. Datos de estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca del Río Baluarte. 67
Tabla 27. Datos de la estación hidrométrica "Las Habitas". 67
Tabla 28. Porcentajes de escurrimiento por tipo de uso de suelo y pendiente. 68
Tabla 29. Evaluación de usos de suelo y vegetación per cápita. 77
Tabla 30. Variabilidad de clases dentro de subrodales. 82
Tabla 31. Comparación de superficies de cobertura vegetal y uso de suelo. 93
Tabla 32. Valores de imagen original. 120
Tabla 33. Valores del modelo Lambertian. 120
Tabla 34. Valores del modelo No Lambert. 121
Tabla 35. Valores del modelo de Smith. 122
Tabla 36. Valores del modelo de Civco. 123
Tabla 37. Valores del modelo modificado de Civco. 124
Tabla 38. Valores comparativos entre clasificaciones. 126
Tabla 39. Reportes seleccionados para su integración al SIG Forestal. 129
Tabla 40. Topología de subrodales. 129
Tabla 41. Información hidrológica. 129
Tabla 42. Información para segregaciones. 129
Tabla 43. Parámetros del inventario. 130

Tabla 44. Información Topográfica. 130
Tabla 45. Información edafológica. 130
Tabla 46. Tipificación dasocrática del subrodal. 131
Tabla 47. Características dasocráticas de Pino. 131
Tabla 48. Características dasocráticas de Encino. 131
Tabla 49. Características dasocráticas de Otras Coníferas. 132
Tabla 50. Características dasocráticas de Otras Hojosas. 132
Tabla 51. Características dasocráticas de Pino Muerto. 132
Tabla 52. Incrementos, Densidades y Tratamientos. 132

Resumen

En el ejido Pueblo Nuevo, municipio del mismo nombre, en el Estado de Durango, se aplicaron tecnologías de sistemas de información geográfica y percepción remota para evaluar el desempeño del manejo forestal, cuantificar la superficie de los diferentes tipos de vegetación y uso de suelo, comparar los resultados con el inventario nacional forestal 2000, desarrollar una metodología para la estratificación hasta nivel de subrodal que permita una definición precisa, sencilla y estándar, comparar índices derivados de imágenes de satélite con información de manejo elaborada por los prestadores de servicios técnicos forestales de la región, analizar los cambios de densidad de cobertura forestal desde 1973 al 2000, modelar el impacto a sus cuencas hidrológicas y determinar cuales tratamientos silvícolas generan mayor impacto de deterioro en sus ecosistemas para modificar su aplicación.

Summary

In ejido Pueblo Nuevo, same name municipality, Durango State, we apply remote sensing and geographic information system technology to evaluate the forest management applied, evaluate the land-cover land-use, compare it with the national forest inventory 2000, develop a methodology to stratify at stand level to let us a simple, accuracy and standardized definition, compare satellite images indexes with the forest management information developed by local forest technician services, analyze the forest cover density changes since 1973 to 2000, model it the watershed impact and define which silvicultural treatments generate most detriment impact on its ecosystems to modify its application.

TD
Z5991
FCF
2003
.G6

1020149181

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCION DE POSTGRADO

ALTERNATIVAS DE MANEJO FORESTAL MEDIANTE EL DESARROLLO DE CONOCIMIENTO ESPECIFICO DE SITIO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA
ING. M.C. RENE G. GONZAEZ MURGUIA

LINARES, N. L. SEPTIEMBRE DEL 2003

976620

TD
Z5991
FCF
2003
.G6

CAPILLA ALFONSINA
UANL
FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

ALTERNATIVAS DE MANEJO FORESTAL MEDIANTE EL DESARROLLO DE CONOCIMIENTO ESPECÍFICO DE SITIO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA

ING. M.C. RENÉ G. GONZÁLEZ MURGUÍA

LINARES, N.L. SEPTIEMBRE DEL 2003.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

ALTERNATIVAS DE MANEJO FORESTAL MEDIANTE EL DESARROLLO DE CONOCIMIENTO ESPECÍFICO DE SITIO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA

ING. M. C. RENÉ G. GONZÁLEZ MURGUÍA

COMISIÓN DE TESIS

DR. EDUARDO J. TREVIÑO GARZA
DIRECTOR

DR. OSCAR A. AGUIRRE CALDERÓN
ASESOR

DR. JAVIER JIMÉNEZ PÉREZ
ASESOR

DR. ISRAEL CANTÚ SILVA
ASESOR

DR. RAHIM FOROUGHBAKHCH POURNAVAB
ASESOR

LINARES, N.L. SEPTIEMBRE DEL 2003.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi esposa Analsabel Alvarado Ruíz, por todo su amor, paciencia y apoyo en la realización del mismo.

También a mis hijos Hanssel e Ivann González Alvarado como un ejemplo de trabajo y perseverancia en el desarrollo personal.

A mis padres Ángel René González Zatarain y Laura Delia Murguía Zavala como un tributo a su esfuerzo en darnos la mejor preparación.

A la señora María Amparo Ruíz Piña y al Lic. Ricardo Alvarado Ortiz por su constante apoyo en estos años.

Agradecimientos

Mi agradecimiento a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por haberme brindado la oportunidad de cursar este grado.

Al Doctor Eduardo Treviño Garza por todo su apoyo, consejos y asesoría académica durante mi estancia en la facultad.

A mis asesores por su tiempo y disponibilidad en el desarrollo del presente documento.

Al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey por su apoyo y constante impulso al desarrollo de sus miembros.

Al Arquitecto Leonardo Quintanilla Cárdenas por impulsarme y brindarme tantas oportunidades.

A Dios por darme la oportunidad de estar entre ustedes.

La ecuación polinominal de ajuste calculada a partir de los valores NDVI es:

Ecuación de ajuste: $y = -0.4655\,x^2 + 1.2619\,x + 0.195$

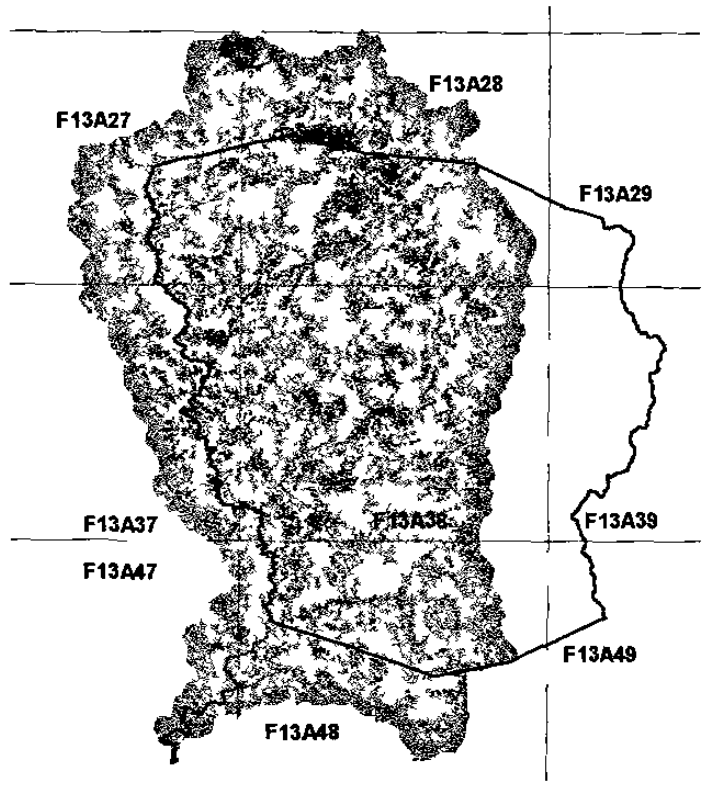

Figura 51. Coeficientes de ecurrimiento para la cuenca del Río Baluarte.

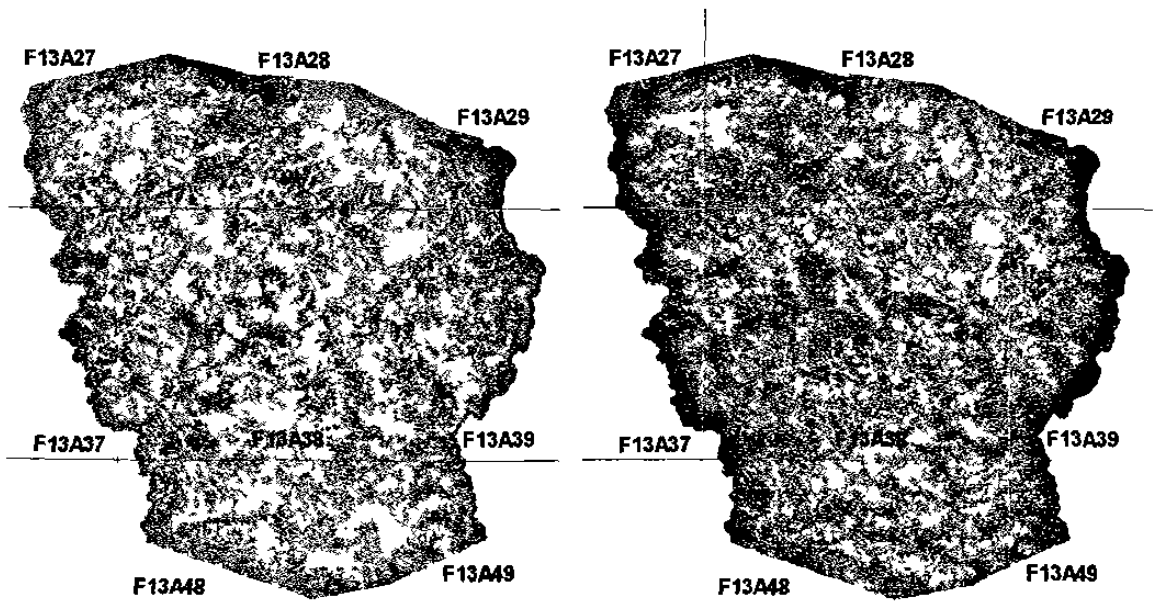

Figura 52. Coeficientes de escurrimiento para el área de estudio 1973 y 2000.

Contenido

Página

Resumen. i

1. Introducción. 1
    1.1. Objetivo general. 3
    1.2. Objetivos particulares 3
    1.3. Hipótesis 3

2. Antecedentes. 4

3. Área de estudio. 14
    3.1. Fisiografía 14
    3.2. Geología 14
    3.3. Edafología 15
    3.4. Climas 16
    3.5. Precipitación y Temperatura 18
    3.6. Hidrología. 19
    3.7. Uso de suelo y vegetación. 19
    3.8. Aspectos socioeconómicos. 21

4. Materiales y métodos. 26
    4.1. Infraestructura utilizada. 26
    4.2. Definición del polígono del predio y zona de estudio. 26
    4.3. *Definición de proyección geográfica*. 26
    4.4. Adquisición y captura de información. 27
    4.5. Información derivada de procesar la información adquirida. 28
    4.6. Evaluación de la cobertura vegetal mediante percepción remota. 30
        4.6.1. Procesamiento de imágenes Landsat. 33
        4.6.2. Integración de información dasocrática existente. 35
        4.6.3. Selección de áreas para muestreo de campo. 36
        4.6.4. Firmas espectrales y validación. 37
        4.6.5. Clasificación de imagen Landsat-ETM+ 2000. 38
    4.7. Estimación de densidad de la masa forestal. 39
    4.8. Análisis de la dinámica regional y sus impactos. 39
        4.8.1. Evaluación multitemporal. 39
        4.8.2. Modificación de escurrimientos por deterioro de la cobertura forestal. 41
        4.8.3. Análisis de distribución de la población y sus actividades respecto a la problemática se subcuencas en el ejido Pueblo Nuevo. 45
    4.9. Modelo de estratificación de la masa forestal (rodalización) 45
        4.9.1. Definición de zonas de protección dentro del subrodal (segregación). 47

4.10. Integración de información modelada a la dasocrática existente. 47

5. Resultados. 49
5.1. Modelo Digital de Elevación 49
5.2. Pendiente. 49
5.3. Exposición. 50
5.4. Determinación de la cobertura forestal actual. 51
5.4.1. Procesamiento de imágenes Landsat. 52
5.4.2. Integración de información dasocrática existente. 53
5.4.3. *Selección de áreas para muestreo de campo*. 54
5.4.4. Firmas espectrales y validación. 55
5.4.5. Clasificación de imagen Landsat-ETM+ 2000. 56
5.5. Estimación de densidad de la masa forestal. 59
5.6. Evaluación multitemporal. 63
5.7. Modificación de escurrimeintos por deterioro de la cobertura forestal. 67
5.8. Análisis de distribución de la población y sus actividades respecto a la problemática de subcuencas en el ejido Pueblo Nuevo. 74
5.9. Modelo de estratificación de la masa forestal (rodalización). 78
5.9.1. Definición de zonas de protección dentro del subrodal (segregación). 83
5.10. Integración de información modelada a la dasocrática existente. 84

6. Discusión. 91

7. Conclusión. 98

8. Bibliografía. 102

Anexo I. Normalización Topográfica. 110

Anexo II. Integración de Información Dasocrática. 127

Anexo III. Métodos alternos para evaluación de Cobertura Vegetal. 133

Anexo IV. Modelación Hidrológica. 143

Indice de Figuras

Página

Figura 1. Diagrama de planeación forestal del ejido Pueblo Nuevo 1997-2007. 13
Figura 2. Ubicación del área de estudio. 14
Figura 3. Geología estratigráfica y estructural de área de estudio. 15
Figura 4. Edafología del área de estudio. 16
Figura 5. Distribución de tipos climáticos en el área de estudio. 17
Figura 6. Distribución de la Precipitación media anual en la zona de estudio. 18
Figura 7. Distribución de la Temperaturas media anual en la zona de estudio. 18
Figura 8. Diagrama climático de Walter para la estación meteorológica de El Salto, Durango. . . 19
Figura 9. Principales Cauces y área de captación en la zona de estudio. 20
Figura 10. Tipos de Uso de Suelo y Vegetación del Inventario Nacional Forestal 2000 en la zona de estudio. 20
Figura 11.Localidades e infraestructura de caminos, brechas y veredas. 24
Figura 12.Grado de Marginación por localidad en el Estado de Durango y otros Estados colindantes. 25
Figura 13. Polígono del área de estudio, definición de zona de estudio y localización de cartas 1:50,000 de INEGI. 27
Figura 14. Esquema de procesos desarrollados de la presente investigación. 48
Figura 15. Modelo Digital de Elevación de la zona de estudio. 49
Figura 16. Distribución de la pendiente en la zona de estudio. 50
Figura 17. Distribución de exposiciones en la zona de estudio. 50
Figura 18. Imagen Landsat-TM Original, composición de falso color TM4-R, TM5-V, TM3-A. 51
Figura 19. Imagen Landsat-Pancromática Original. 51
Figura 20. Imagen Landsat-ETM+ remuestreada composición de falso color TM4-R, TM5-V, TM3-A. 52
Figura 21. Modelo de iluminación. 52
Figura 22. Imagen landsat-ETM+ remuestreada y normalizada. 53
Figura 23. Cobertura digital de la información dasocrática de rodales. 53
Figura 24. Cobertura digital de la información dasocrática de subrodales. 54
Figura 25. Ubicación de las 62 zonas de muestreo para la definición de polígonos de entrenamiento. 54
Figura 26. Patrón digital para cada tipo de vegetación del grupo de clima Templado. 55
Figura 27. Patrón digital para cada tipo de vegetación del grupo de clima Cálido. 55
Figura 28. Patrón digital para otros tipos de vegetación y usos de suelo. 56
Figura 29. Clasificación de tipos de vegetación y usos de suelo, según Inventario Nacional Forestal 2000. 57
Figura 30. Clasificación de tipos de vegetación y usos de suelo para el ejido Pueblo Nuevo. 57
Figura 31. Densididad con NDVI. 59
Figura 32. Densidad con PCA2. 59
Figura 33. Densidad con Tasseled Cap. 59
Figura 34. Tipos de vegetación y su densidad. 60
Figura 35. Correlación entre valores de índice de sitio y NDVI promedio para cada subrodal. 61
Figura 36. Comparación entre índice de sitio e índice de diferencia normalizada de vegetación para la cuarta anualidad por tratamiento a aplicar. 62
Figura 37. Comparación entre cobertura de copas e índice de diferencia normalizada de vegetación para la cuarta anualidad por tratamiento a aplicar. 62
Figura 38. Landsat-MSS 1973. 63
Figura 39. Landsat-MSS 1986. 63
Figura 40. Landsat-TM 2000. 63
Figura 41. NDVI 1973 (Azul). 63
Figura 42. NDVI 1986 (Verde). 63

Figura 43. NDVI 2000 (Rojo). 63
Figura 44. Imagen que integra los 3 NDVI's para el análisis multitemporal. 63
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. 64
Figura 46. Cambios de cobertura forestal experimentada en el área de estudio y subrodales de producción. 65
Figura 47. Comparación porcentual del cambio de cobertura forestal en subrodales de producción y áreas no manejadas. 66
Figura 48. Comparación porcentual de la superficie por tratamiento para la cuarta anualidad y patrón de densidad 1973-1986-2000. 66
Figura 49. Cuenca del Río Baluarte, estaciones meteorológicas e hidrométrica ubicadas dentro de la cuenca, principales escurrimientos y límite del área de estudio. 67
Figura 50. Modelo de distribución de precipitación media anual en el área de estudio. 68
Figura 51. Coeficientes de escurrimiento para la cuenca del Río Baluarte. 69
Figura 52. Coeficientes de escurrimiento para el área de estudio 1973 y 2000. 69
Figura 53. Cauces digitalizados comparados contra modelados escala 1:250,000. 70
Figura 54. Cauces digitalizados comparados contra modelados escala 1:50,000. 70
Figura 55.Definición de submicrocuencas del modelado hidrológico comparado contra información hidrológica de áreas de captación del ejido Pueblo Nuevo. 71
Figura 56. Longitud de flujos para las dos subcuencas del área de estudio. 71
Figura 57. Hidrogramas 1973-2000 para la cuenca del Río Baluarte. 72
Figura 58. Hidrogramas 1973-2000 para la cuenca del Río San Diego. 72
Figura 59. Grado de deterioro expresado en cambio porcentual de escurrimiento. 73
Figura 60. Categorías de riesgo hidrológico por submicrocuenca. 73
Figura 61. Distribución de localidades y total de población respecto al deterioro de submicrocuencas. 74
Figura 62. Establecimiento de áreas agrícolas en zonas forestales (Río Baluarte). 75
Figura 63. Establecimiento de áreas agrícolas en zonas forestales (Río San Diego). 75
Figura 64. Riesgo de submicrocuencas y crecimiento de localidades en 5 años. 76
Figura 65. Información vectorial digital de submicrocuencas modeladas. 78
Figura 66. Tipos de vegetación y exposición en porcentajes. 78
Figura 67. Comparación de rodales actuales y exposiciones de 8 y 2 clases (NW-SE). 79
Figura 68. Información vectorial digital de exposición preferencial. 79
Figura 69. Integración de los dos criterios y generación de los Rodales modelados. 80
Figura 70. Rodales actuales. 80
Figura 71. Rodales modelados. 80
Figura 72. Sobreposición de Rodales actuales y modelados. 81
Figura 73 Integración de los dos criterios y generación de los Subrodales modelados. 82
Figura 74. Subrodales digitalizados, sobre imagen Landsat-ETM+. 83
Figura 75. Subrodales digitalizados, sobre clasificación. 83
Figura 76. Subrodales modelados, sobre imagen Landsat-ETM+. 83
Figura 77. Subrodales modelados, sobre clasificación. 83
Figura 78. Vías de comunicación y transmisión. 84
Figura 79. Cauces. 84
Figura 80. Cartografía dasocrática existente. 84
Figura 81. Información digital generada. 84
Figura 82. Distribución altitudinal porcentual de tipos de vegetación y uso de suelo. 85
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. 85
Figura 84. Distribución de las especies del género Pinus en subrodales de producción. 86
Figura 85. Distribución de Otras Coníferas en subrodales de producción. 86
Figura 86. Distribución de Pinus cooperii en subrodales de producción. 87
Figura 87. Distribución de Pinus durangensis en subrodales de producción. 87
Figura 88. Distribución de Pinus teocote en subrodales de producción. 87

Indice de Tablas

Página

Tabla 1. Superficie forestal nacional según Anuarios Estadísticos. 11
Tabla 2. Tipos de suelo en el área de estudio. 16
Tabla 3. Descripción de los tipos climáticos (clasificación climática de Koppen, modificado por E. García, 1964) presentes en la zona de estudio. 17
Tabla 4. Superficie por tipo de vegetación o uso de suelo en el área de estudio, según Inventario Nacional Forestal 2000. SEMARNAT. 21
Tabla 5. Variables demográficas. 22
Tabla 6. Distribución de la Población Económicamente Activa según SEGOB. 22
Tabla 7. Distribución de la Población Económicamente Activa según INEGI. 22
Tabla 8. Comparación de indicadores promedio para el Estado y Municipio. 23
Tabla 9. Infraestructura educativa Municipal. 23
Tabla 10. Indicadores relevantes SEGOB. 24
Tabla 11. Resumen de Información adquirida y procesos de integración al SIG. 29
Tabla 12. Calificación de pendiente por rangos porcentuales en el área de estudio. 30
Tabla 13. Calificación de exposición por rangos de azimut en el área de estudio. 30
Tabla 14. Fuentes de información cartográfica sobre uso de suelo y vegetación. 31
Tabla 15. Reportes seleccionados para su integración al SIG Forestal. 36
Tabla 16. Principales ventajas y desventajas entre métodos. 46
Tabla 17. Valores para definir superficies de segregación en subrodales. 47
Tabla 18. Porcentajes de pendiente en la zona de estudio. 49
Tabla 19. Matriz de confusión para evaluar la precisión de clasificación. 58
Tabla 20. Coeficientes de correlación entre el índice de densidad de Reineke y distintos índices comúnmente utilizados en percepción remota para evaluar la cobertura vegetal. 60
Tabla 21. Coeficientes de correlación y R^2 entre índices de densidad calculados. 60
Tabla 22. Correlación entre parámetros del inventario y valores asociados a cobertura vegetal calculados de la imagen Landsat-ETM+ de 2000. 61
Tabla 23. Cambios de cobertura forestal del área de estudio y de subrodales de producción. 65
Tabla 24. Cambios de cobertura forestal en subrodales de producción y áreas no manejadas. 65
Tabla 25. Superficie en hectáreas por tratamiento para la cuarta anualidad y patrón de densidad 1973-1986-2000. 66
Tabla 26. Datos de estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca del Río Baluarte. 67
Tabla 27. Datos de la estación hidrométrica "Las Habitas". 67
Tabla 28. Porcentajes de escurrimiento por tipo de uso de suelo y pendiente. 68
Tabla 29. Evaluación de usos de suelo y vegetación per cápita. 77
Tabla 30. Variabilidad de clases dentro de subrodales. 82
Tabla 31. Comparación de superficies de cobertura vegetal y uso de suelo. 93
Tabla 32. Valores de imagen original. 120
Tabla 33. Valores del modelo Lambertian. 120
Tabla 34. Valores del modelo No Lambert. 121
Tabla 35. Valores del modelo de Smith. 122
Tabla 36. Valores del modelo de Civco. 123
Tabla 37. Valores del modelo modificado de Civco. 124
Tabla 38. Valores comparativos entre clasificaciones. 126
Tabla 39. Reportes seleccionados para su integración al SIG Forestal. 129
Tabla 40. Topología de subrodales. 129
Tabla 41. Información hidrológica. 129
Tabla 42. Información para segregaciones. 129
Tabla 43. Parámetros del inventario. 130

Tabla 44. Información Topográfica. 130
Tabla 45. Información edafológica. 130
Tabla 46. Tipificación dasocrática del subrodal. 131
Tabla 47. Características dasocráticas de Pino. 131
Tabla 48. Características dasocráticas de Encino. 131
Tabla 49. Características dasocráticas de Otras Coníferas. 132
Tabla 50. Características dasocráticas de Otras Hojosas. 132
Tabla 51. Características dasocráticas de Pino Muerto. 132
Tabla 52. Incrementos, Densidades y Tratamientos. 132

Resumen

En el ejido Pueblo Nuevo, municipio del mismo nombre, en el Estado de Durango, se aplicaron tecnologías de sistemas de información geográfica y percepción remota para evaluar el desempeño del manejo forestal, cuantificar la superficie de los diferentes tipos de vegetación y uso de suelo, comparar los resultados con el inventario nacional forestal 2000, desarrollar una metodología para la estratificación hasta nivel de subrodal que permita una definición precisa, sencilla y estándar, comparar índices derivados de imágenes de satélite con información de manejo elaborada por los prestadores de servicios técnicos forestales de la región, analizar los cambios de densidad de cobertura forestal desde 1973 al 2000, modelar el impacto a sus cuencas hidrológicas y determinar cuales tratamientos silvícolas generan mayor impacto de deterioro en sus ecosistemas para modificar su aplicación.

Summary

In ejido Pueblo Nuevo, same name municipality, Durango State, we apply remote sensing and geographic information system technology to evaluate the forest management applied, evaluate the land-cover land-use, compare it with the national forest inventory 2000, develop a methodology to stratify at stand level to let us a simple, accuracy and standardized definition, compare satellite images indexes with the forest management information developed by local forest technician services, analyze the forest cover density changes since 1973 to 2000, model it the watershed impact and define which silvicultural treatments generate most detriment impact on its ecosystems to modify its application.