

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

**DETERMINACION DEL NIVEL OPTIMO DE PRODUCCION
COMBINADA DE MADERA Y FORRAJE EN RODALES DE
Pinus montezumae Lamb.**



DIRECCION ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES
P R E S E N T A :
VIDAL GUERRA DE LA CRUZ



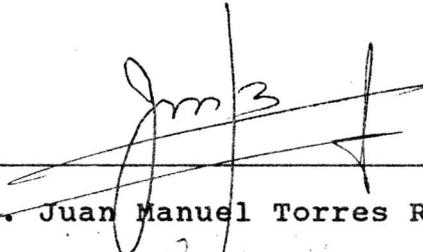
CHAPINGO, MEXICO. 1995

DX 62920
-100801

Esta tesis fue realizada bajo la dirección del Comité Asesor indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

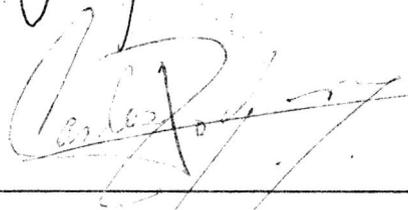
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

PRESIDENTE



Dr. Juan Manuel Torres Rojo

ASESOR



Dr. Carlos Rodríguez Franco

ASESOR



Dr. Hugo Ramírez Maldonado

Chapingo, Mex. Enero de 1995

27436

El H. Jurado examinador estuvo integrado por las siguientes personas:

Presidente



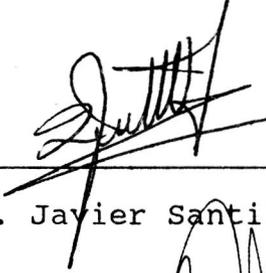
Dr. Juan Manuel Torres Rojo

Asesor



Dr. Hugo Ramírez Maldonado

Suplente



M.C. Javier Santillan Perez

**Rep. de la Coordinación
de Postgrado**



Dr. Enrique Serrano Gálvez

**Rep. de la Coord. Divisional
de Postgrado**



Dr. Diódoro Granados Sánchez

Chapingo, Méx. Diciembre de 1994

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis agradecimientos a las siguientes instituciones y personas:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por haber financiado mis estudios de Maestría.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, por brindarme la oportunidad y las facilidades para realizar mis estudios de Maestría.

Al Dr. Juan Manuel Torres Rojo, por su asesoría a mi programa de estudios, por la dirección de esta Tesis y sobre todo por su constante disponibilidad para aclarar ampliamente mis dudas.

Al Dr. Carlos Rodríguez Franco, por la confianza y el apoyo que me brindó en todo momento para realizar mis estudios de Maestría y por formar parte de mi Comité Asesor.

Al Dr. Hugo Ramírez Maldonado, por haber aceptado ser parte de mi Comité Asesor y por las valiosas observaciones y sugerencias que hizo al presente trabajo.

Al Dr. Diódoro Granados, por su asesoría al trabajo de campo y por haber revisado el trabajo final.

Al Dr. Enrique Serrano Gálvez, por la revisión y las observaciones hechas al presente trabajo.

Al Dr. Pedro Arturo Martínez, del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, por su amable disponibilidad para asesorar los aspectos ganaderos del trabajo.

Al M.C. Miguel Acosta Mireles, por proporcionarme parte de la información dasométrica utilizada en este trabajo.

A los Ingenieros Salvador Madrigal H. y Jorge Luis López T., por su apoyo en la toma de información de campo.

A los trabajadores del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, por su apoyo y esfuerzo durante el trabajo de campo

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Agustina de la Cruz S. y Odilón Guerra B.

A MI ESPOSA E HIJOS

Guadalupe, Diana Guiebani y Miguel Angel

Con especial cariño por su constante apoyo y comprensión

A MIS HERMANDOS

A MIS SOBRINOS

A MIS AMIGOS

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DEL APENDICE	viii
RESUMEN	ix
SUMMARY	x
1. INTRODUCCION	1
1.1 OBJETIVOS	2
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. PRODUCCION HERBACEA	3
2.1.1. Densidad del estrato arbóreo	4
2.1.2. La producción herbácea con los aclareos ..	5
2.1.3. El IS como variable predictora	10
2.1.4. La producción herbácea con el pastoreo ...	11
2.1.5. Suelos, condiciones climáticas y fuego ...	14
2.2. ECONOMIA DE LA PRODUCCION COMBINADA	15
2.2.1. El bosque como un recurso económico	15
2.2.2. El problema de la asignación de usos	17
2.2.3. Algunas características de la CCP.....	19
2.2.4. El problema de la valoración	22

3. METODOLOGIA	26
3.1. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO	26
3.1.1. Clima	26
3.1.2. Suelos	29
3.1.3. Vegetación	30
3.1.4. Topografía	31
3.2. OBTENCION DE LA INFORMACION	32
3.2.1. Ubicación de los sitios de muestreo.....	33
3.2.2. Unidades de muestreo de la vegetación	33
3.2.3. Medición de la producción herbácea	34
3.2.4. Clasificación de especies	35
3.2.5. Cálculo del Coeficiente de agostadero	36
3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION	36
3.3.1. Estimación del Índice de sitio	37
3.3.2. Modelos de producción herbácea	38
3.3.3. Validación del modelo seleccionado	40
3.3.4. Red de opciones de manejo combinado	41
4. RESULTADOS Y DISCUSION	43
4.1. CALCULO DE LA PRODUCCION HERBACEA	43
4.2. MODELO DE PRODUCCION HERBACEA	46
4.2.1. Validación del modelo	49
4.3. CLASIFICACION DE ESPECIES Y SITIOS	50
4.3.1. Coeficientes de agostadero	52
4.4. VALORACION DE LOS PRODUCTOS	54

4.5. LA RED DE OPCIONES DE MANEJO	57
4.5.1. Definición de la condición inicial	57
4.5.2. Proyecciones de crecimiento	58
4.5.3. Valoración de las opciones de manejo	59
4.5.4. Definición de la secuela óptima	60
4.5.5. Comentarios finales	66
5. CONCLUSIONES	67
5.1. RECOMENDACIONES	68
6. LITERATURA CITADA	70
7. APENDICE	74

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Producción herbácea promedio de los siete rodales de <i>Pinus montezumae</i> incluidos en el estudio	43
2. Valores promedios de densidad, edad e índice de sitio de los siete rodales incluidos en el estudio	46
3. Abundancia relativa (%) de los tipos de especies herbáceas en los rodales muestreados	52
4. Producción herbácea y coeficientes de agostadero de los rodales susceptibles de uso ganadero	53
5. Características dasométricas promedio de los rodales con buen potencial forrajero	57

INDICE DE FIGURAS

Figura	
3.1 Localización del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla. (Tomado de Acosta, 1991).....	27
3.2 Ubicación del área de estudio en el Campo Experimental (Archivo INIFAP)	28
4.1 Secuela de manejo combinado que maximiza el valor presente neto	62

INDICE DEL APENDICE

	Página
A. Composición florística y clasificación de especies encontradas en 7 rodales de <i>Pinus montezumae</i> en el CEF San Juan Tetla	74
B-1 Valor presente neto de las secuelas de manejo para la producción conjunta de madera y forraje en el CEF San Juan Tetla, Pue.	75
B-2 Valor presente neto de las secuelas de manejo para la producción maderable en el CEF San Juan Tetla .	77
B-3 Valor presente neto de las secuelas de manejo para la producción de forraje en el CEF San Juan Tetla.	79
C-1 Valor presente neto de las secuelas óptimas, en el horizonte de planeación establecido	81
C-2 Ubicación de los puntos de referencia para las unidades de muestreo a la vegetación herbácea (Rodalización para el inventario Forestal 1992)...	82

RESUMEN

A partir del muestreo de la vegetación herbácea se determinó la producción total de hierbas y forraje, bajo diferentes niveles de densidad en siete rodales de *Pinus montezumae* L. en San Juan Tetla, Puebla, México. Con esta información se ajustó un modelo de regresión no lineal que predice la producción herbácea en función del área basal (ab). Los resultados del ajuste y validación del modelo, medidos respectivamente por una R^2 fueron aceptables. La producción herbácea también permitió clasificar a los rodales en base a su capacidad de uso gandero por su composición y rendimiento forrajeros. En los rodales que presentaron buen potencial forrajero se estimó, con el modelo, el rendimiento en forraje para diferentes ab , proyectadas a partir de una condición inicial, simulando diferentes intensidades de aclareos mediante el Simulador de crecimiento y rendimiento de *P. montezumae* (Magaña *et al.*, 1993).

Con la valoración del forraje y el precio de la madera producidos en cada opción de manejo, se obtuvo el beneficio aportado por los dos productos, lo cual permitió calcular el Valor Presente Neto generado por cada opción de manejo en un horizonte de planeación de 30 años.

Se encontró que la mejor opción es mantener al bosque en un nivel de densidad mínimo, de alrededor de $12 \text{ m}^2/\text{ha}$ de ab remanente, aplicando aclareos fuertes al inicio del período de planeación. Se presenta la secuela óptima de manejo combinado de los dos productos para los rodales susceptibles de uso conjunto.

SUMMARY

Based on a sampling of vegetation, the total grasses and forage production was determined under different density levels for seven *Pinus montezumae* stands in San Juan Tetla, Puebla, Mexico. A nonlinear regression model was fitted with this information to estimate herbage and forage production for different levels of basal area. The model fitness and validation showed acceptable R^2 values. Herbaceous production also let determinate the cattle use of stands by its production and composition of forbs and grasses. In stands with good potential of forage production, this was estimated for different basal area projected since an initial condition, simulating thinnings with the growth and yields simulator for *P. montezumae* stands in San Juan Tetla (Magaña et al., 1993)

With forage valuation and timber price, the Net Present Value of each thinning alternative was estimated for the combined production of timber and forage in a planning horizon of 30 years.

The simulation showed that under the current conditions of the study area the best management alternative is to maintain stand density to a minimum level of approximately 12 square meters per hectare of basal area. The optimum schedule also shows the need to apply heavy thinnings at the beginning of the planning horizon and to maintain the minimum stand density across the planning horizon. The management schedule for the optimum production of both products is presented for stands with potential combined use.

1. INTRODUCCION

Tradicionalmente el manejo forestal en México ha considerado a los productos maderables como los únicos beneficios que se obtienen de los bosques. Sin embargo, es evidente que existe la posibilidad de generar a partir de estos, una variedad de bienes y servicios. Estos van desde forraje para el ganado, agua, recreación y fauna, hasta múltiples beneficios ambientales. A pesar de su innegable importancia, estos beneficios no son objeto de una utilización sistemática y por tanto, no se ha propiciado su incorporación a esquemas administrativos de manejo.

El problema se debe, en gran medida, a la dificultad inherente de asignar valores adecuados a esos recursos para manejarlos como otros productos más del bosque, bajo el concepto de uso múltiple. Además de lo anterior, el manejo adecuado de esos recursos implica la necesidad de contar con información apropiada sobre ellos en diferentes aspectos, especialmente en su relación con la producción maderable.

Particularmente, la vegetación de los estratos inferiores de un bosque, referida genéricamente como sotobosque, representa un recurso adicional cuya utilización, al menos en México, ha sido limitada. Esta situación representa por un lado, pérdida de información ecológica importante y por otro, un aprovechamiento limitado de los recursos forestales. No obstante, la utilización de este recurso, para diferentes fines, requiere conocimientos detallados acerca de su composición, estructura y relaciones

dinámicas con otros componentes del ecosistema para incorporarlos en algún esquema de manejo.

Bajo este concepto, es aceptable pensar que un bosque productivo puede ser manejado a diferentes niveles de producción, identificando el uso o la mejor combinación de usos que genere el mayor valor del recurso, lo cual es esencialmente un problema de optimización. Conforme tal tipo de información sea disponible para una gran variedad de condiciones forestales, se podrán tomar decisiones más acertadas en relación al manejo de los recursos forestales.

En este contexto se plantea la realización de este trabajo, en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla., bajo los siguientes objetivos:

1.1. Objetivos

- 1.- Definir un modelo de producción herbácea para el bosque de *Pinus montezumae*, como una función de la densidad de arbolado (AB/ha) y el Índice de sitio.
- 2.- Determinar el coeficiente de agostadero de los rodales de *P. montezumae* aptos para la producción combinada de forraje y madera.
- 3.- Elaborar una red de opciones de manejo combinado que permita definir la secuela óptima de manejo para los rodales seleccionados, en un horizonte de planeación de 30 años.

2. REVISION DE LITERATURA

Los componentes de un bosque generalmente se miden en términos de la biomasa que representan, y ésta puede ser estudiada bajo diferentes objetivos, por ejemplo: determinación del ciclo de nutrientes, producción primaria, estimación de forraje, producción de energía por los árboles, o bien para estimar cargas de combustibles vivos (Alvarado et al., 1991).

En este estudio se hará referencia únicamente a la producción del componente herbáceo, con fines de producción forrajera, mientras que el componente arbóreo se manejará como densidad de arbolado para fines de producción maderable.

2.1. Producción herbácea

El establecimiento, desarrollo y composición del estrato herbáceo en el ecosistema forestal, están en gran parte determinados por la densidad y composición de los estratos superiores, principalmente el arbóreo. Por lo que es común encontrar en la literatura que la producción total de plantas herbáceas en un bosque varía con las condiciones climáticas, los suelos y el historial de manejo, pero especialmente, con la densidad del estrato arbóreo (Clary, 1975). Muchas relaciones entre la hierba y los árboles han sido descritas para áreas forestales, en las que merecen especial importancia aquellas que destacan la estrecha dependencia entre la estructura, composición y producción de los dos estratos.

Varios autores después de Cajander (citado por Coile, 1938) han utilizado esta relación para establecer criterios de clasificación de tipos de cubierta forestal en base a la vegetación herbácea. Otros autores han llegado a estimar la calidad de sitio en forma indirecta a partir de información del estrato herbáceo (Hodgkins, 1960). Clutter et al. (1983) refiere también trabajos de este tipo desarrollados por Cajander en 1926, Ure en 1950 y Hodgkins en 1961 y 1970.

En un sentido más general, la producción herbácea está determinada también por otros factores del medio, como el suelo y el clima, aunque esta relación es menos directa debido a la influencia de otros factores bióticos como la vegetación asociada. Además, para fines prácticos, se asume que el efecto de los factores abióticos está implícito en algunas variables del rodal comunmente utilizadas en la práctica silvícola, como la densidad, la calidad de sitio y la composición. Lo que hace entendible que las mencionadas relaciones sean estudiadas con respecto a ellas; v.g. en la estimación de la cantidad de hierba que se producirá si la densidad del estrato arbóreo es reducida (Clary y Ffolliott, 1966).

2.1.1. Densidad del estrato arbóreo.

Entre los factores que afectan la producción herbácea, el más estudiado es la densidad del estrato arbóreo, expresado principalmente como área basal y en menor medida como cobertura de dosel o índice de densidad del rodal (Moore & Deiter, 1992).

En general es aceptado que conforme aumenta la densidad del rodal la producción herbácea decrece (Clary, 1975). Esta relación inversa es totalmente razonable debido a las siguientes causas: Efecto de sombra, intercepción de agua de lluvia, acumulación de hojarasca, exudados fitotóxicos de las raíces y competencia por agua y nutrientes. Tal relación se ha expresado generalmente, a través de ecuaciones matemáticas (Jameson, 1967, 1970), algunos autores han encontrado que ésta es lineal, otros sin embargo, han reportado modelos no lineales (Clary, 1975; Jameson, 1967; Bojorquez et al., 1990; Pieper, 1990), pero siempre manteniéndose en proporción inversa. No obstante, las expresiones matemáticas no indican la naturaleza y las causas básicas de ésta relación y pocos estudios se han realizado bajo este enfoque (Jameson 1967, 1970; Clary y Ffolliott, 1966), la mayoría se han centrado en sus aspectos aplicados, es decir, cuando son consideradas para algunas prácticas silvícolas, especialmente aclareos y pastoreo.

2.1.2. La producción herbácea con los aclareos

Aun en los trabajos que solo describen la relación sin aplicar aclareos, se resalta su importancia práctica en el manejo silvícola con objetivos múltiples. Esto se observa en el trabajo realizado por Bojorquez et al. (1990), quienes analizaron estadísticamente 18 ecuaciones de regresión que describen esta relación en bosques de *Pinus ponderosa*, con la idea de apoyar las decisiones de los responsables del manejo en la producción conjunta de madera y forraje en estos bosques.

En todos los casos, la variable dependiente fué la producción herbácea total de pastos o similares y de arbustos, mientras que la variable independiente fué siempre el área basal. Los criterios de evaluación de los modelos fueron: el valor del coeficiente de determinación (r^2), el error estándar del estimador y la significancia de los coeficientes de regresión. Los modelos cuyos r^2 rebasaran el 60% fueron considerados para evaluaciones subsecuentes con otras pruebas estadísticas. Finalmente, obtuvieron tres modelos con transformaciones exponenciales y logarítmicas (una hiperbólica) en las variables, que presentaron los mejores ajustes, los cuales mejoraron cuando los datos se estratificaron por tipos de suelo.

Por otra parte, Clary y Ffolliott (1966), compararon la producción herbácea de un sitio aclareado y otro no aclareado, encontrando diferencias significativas en la producción del área aclareada respecto a la no aclareada para áreas basales menores de 70 pies²/acre. Una observación importante que hacen estos autores es que no se sabe si las diferencias en las relaciones de la hierba y la densidad entre las dos áreas es de corta duración, si es una función del arreglo de la densidad y distribución de las clases de tamaño y que puede ser de naturaleza semipermanente. En virtud de que las relaciones de áreas no aclareadas son cuestionables para predecir la producción herbácea en áreas aclareadas, los autores sugieren que cuando la densidad del arbolado sea reducida por aclareos, esta relación debe ser redeterminada.

Por su parte, McConnell y Smith (1970) evaluaron la respuesta de la vegetación herbácea en bosques de *P. ponderosa*, bajo 4 tratamientos de aclareos y relacionan separadamente los espaciamientos y el porcentaje de cobertura de copa residuales con la producción herbácea. Ellos encontraron que después de 8 estaciones de crecimiento ambas variables predictoras tuvieron efectos altamente significativos en el incremento de la producción herbácea. El aumento en el rendimiento neto de las hierbas debido al aclareo, varió desde 181 lb/acre en espaciamientos de 13 pies, hasta 342 lb/acre en espaciamientos de 26 pies. Con respecto al porcentaje de cobertura de copa reportaron incrementos de 6 lb por cada 1% de descenso de cobertura de copa, mientras que a solo tres estaciones de crecimiento después del aclareo, ésta tasa fue tres veces menor, es decir, 2 lb de incremento de producción herbácea por cada 1% de descenso en la cobertura.

Por otro lado, es importante destacar los estudios con este mismo enfoque realizados en otros tipos de comunidades, por ejemplo, el realizado por Pieper (1990), en matorrales de piñonero-junípero en Nuevo México, quien encontró que una ecuación polinomial de segundo grado describió mejor la relación entre el dosel con la biomasa herbácea total y la biomasa de grama azul (*Bouteloua gracilis*) aplicando casi los mismos criterios de evaluación estadística que el trabajo de Bojorquez et al. (1990).

Scifres et al. (1982) estudiaron estas relaciones en chaparrales dominados por huizaches (*Acacia farnesiana*), encontrando también que las ecuaciones polinomiales de segundo grado las describieron mejor. Cabe aclarar, que estos autores utilizaron el porcentaje de cobertura del dosel como variable independiente en vez del área basal y compararon la relación entre dos años, diferenciando las especies herbáceas por estación de crecimiento. Concluyen que la influencia del dosel sobre la producción de pastos es más pronunciada en años en que la lluvia favorece a las especies de la estación cálida y la composición herbácea cambia marcadamente conforme el dosel incrementa.

Un estudio más sofisticado para esta relación fué realizado por Scanlan (1992) en comunidades de eucaliptos y de mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*), que consistió en el desarrollo de un modelo de simulación espacial basado sobre el concepto de Campo Ecológico, que explica las interacciones entre plantas vecinas ubicadas a distancias variables unas de otras, el grado de interferencia baja conforme aumenta la distancia entre los árboles. Los efectos de cobertura de copa, número de árboles y raíces, fueron combinados en factores que tienden a incrementar la producción herbácea (estimulación) y aquellos que decrecen el potencial de la misma (competencia). Simulando el efecto neto de varios árboles en un punto se obtienen respuestas a nivel de la comunidad. Concluye que el modelo predice adecuadamente la respuesta de la hierba, por lo que es útil para evaluar varias opciones de manejo de la vegetación para diferentes objetivos.

En cuanto a la utilización de otras medidas de densidad como variables predictoras, además de algunos estudios ya mencionados que utilizan la cobertura del dosel (Pieper, 1990; McConell y Smith 1970, Scifres et al. 1982), destaca el realizado por Moore y Deiter (1992), utilizando al Índice de Densidad del Rodal (IDR) como variable independiente en la producción forrajera de bosques de *P. ponderosa* en Arizona.

El argumento de estos autores es que además del AB se requiere información adicional de la estructura del rodal para interpretar el efecto de una determinada densidad sobre la producción de forraje, ya que a un mismo valor de AB, pero con diferente estructura, la producción de forraje variará en gran medida, haciendo su predicción, con modelos que tienen al AB como variable predictora, muy sesgada. Sugieren que lo anterior puede evitarse si se incorporan medidas relativas, como el IDR, en los modelos que describen la relación.

Así, utilizando tres diferentes IDR's (Reineke, Larson y Edminster) ajustaron modelos no lineales para predecir la producción forrajera, encontrando que este índice describe adecuadamente la relación funcional entre las dos componentes, pero no compararon sus resultados con otros obtenidos utilizando al AB como variable predictora ya que las condiciones de estudios fueron diferentes. Por ello, sugieren realizar estudios específicamente para comparar estas dos variables predictoras simultáneamente.

2.1.3. El IS como variable predictora

Aunque la mayoría de los modelos reportados en la literatura utilizan como variables predictoras medidas de densidad, en la presente investigación se utilizó además de ésta, una medida de productividad: el Índice de Sitio, por dos razones: 1) Existen suficientes evidencias que muestran la amplia relación entre la vegetación herbácea con la capacidad productiva del suelo (Coile, 1938), lo cual aunado a las interacciones que se dan entre los árboles y las hierbas, permite suponer que muchos factores ambientales, algunos reflejados en el IS, afectan igualmente a ambos componentes del ecosistema (Clutter et al., 1983), por lo que es razonable esperar que la calidad del sitio en cuanto a su capacidad de producir madera sea, teóricamente, indicativo también de su capacidad de producción y composición herbáceas, y 2) Dadas las variaciones en tipos de suelos y condiciones fisiográficas del área de estudio (Rodríguez y Ortiz, 1982), aún cuando las condiciones de densidad no fueron tan variables, se creyó conveniente incluir en el modelo la variación de la calidad del sitio. Estos dos aspectos son ampliamente comentados por Coile (1938) y referidos en general por Hodgkins (1960). La incorporación del IS como variable predictora de la producción herbácea, es especialmente importante para la parte final del trabajo es decir, en las proyecciones de las opciones de producción, dado que una de las variables importantes en el modelo de crecimiento de *P. montezumae* en que se basa el simulador, es el IS.

2.1.4. La producción herbácea con el pastoreo

Además de la producción maderable, la producción ganadera es otro de los principales usos dados a los bosques de *P. ponderosa* en el Suroeste de los Estados Unidos de América (Arizona y Nuevo México). Dada la estrecha relación que existe entre los dos componentes de estos usos, madera y forraje, se han realizado varios estudios que evalúan el uso y el potencial ganadero de estos bosques en relación con la producción maderable.

En este sentido, Clary (1975) señaló que la cantidad de forraje en sitios productivos de *P. ponderosa* varía de 50 a 75 lb/acre en rodales densos y de 1,000 a 1,200 lb/acre en pastizales abiertos. Los bosques abiertos que no han sido pastoreados producen 1,400 lb/acre. En sitios menos productivos la producción puede ser solamente la mitad de las cantidades mencionadas.

Existen otros estudios de carácter ganadero como los de calidad y digestibilidad de forraje realizados por Pearson *et al.* (1989), quienes muestran que la densidad influye no sólo en la cantidad de forraje producido sino, también en su calidad. Por ejemplo, el contenido de proteína cruda en el forraje es más alto en áreas sombreadas que en áreas abiertas, mientras que el contenido de carbohidratos y extracto libre de nitrógeno es más alto en áreas abiertas. (Pearson, 1972) desarrolló modelos que expresaban la ganancia de carne por acre como una función del consumo de forraje digestible, así como una función de consumo

diario de materia seca digestible expresada en términos del peso del animal y de su ganancia diaria de peso en rodales de *P. ponderosa*. Estas expresiones fueron útiles en situaciones donde solo se contaba con mediciones de forraje, pero no de su utilización. Asimismo, Pearson et al. (1971) desarrollaron otro estudio sobre épocas y sistemas de pastoreo basados en el crecimiento vegetal en diferentes estaciones del año.

En Texas, Scifres et al. (1982) indicaron que los pastos de invierno son de valor nutritivo más bajo que muchos pastos de la estación cálida y de éstos los que sobreviven hasta el invierno tienen bajo contenido proteico y energético.

Glendening (1951) realizó un estudio acerca de los principales factores que afectan la utilización de forraje en áreas forestales, señalando que las pendientes pronunciadas, topografía accidentada, repoblación densa de pinos y otras barreras físicas, limitan el movimiento del ganado y por lo tanto, el grado de utilización del forraje. Otros factores que afectan el pastoreo son: la condición del suelo, composición florística del forraje y el estado de desarrollo de las plantas.

En México, los estudios de pastoreo en bosques de pino son realmente escasos, representados casi únicamente por los trabajos desarrollados por Susano (1977, 1981), en los estados de Morelos y México, sobre potencial de uso ganadero de algunas áreas forestales y sobre el impacto del pastoreo en la dinámica de la vegetación herbácea.

Una aportación importante en este tipo de estudios lo constituye la investigación realizada por Rodríguez (1988), sobre la comparación económica de alternativas de uso único y combinado de bosques naturales de *P. hartwegii* en Zoquiapan, México. Las alternativas comparadas fueron: producción maderable, pastoreo y una combinación de ambas, evaluando sus beneficios en base a su Valor presente neto. Concluye que la producción combinada de madera y pastoreo es la mejor alternativa para estos bosques en la región estudiada.

Por su parte la COTECOCA (SARH, 1978) ha evaluado la capacidad forrajera de algunas áreas forestales de clima templado, incluyendo los bosques mezclados de pino-encino y de varias coníferas, pero dado que sus estudios abarcan grandes superficies, sus resultados son generales y de carácter descriptivo.

En general, los efectos del pastoreo son particulares para cada localidad, debido a que el patrón e intensidad de uso ganadero es altamente variable. Sin embargo, se acepta que el pastoreo frecuentemente provoca la disminución de pastos dominantes y favorece formas de crecimiento secundarias. En bosques abiertos sobrepastoreados la alta densidad herbácea está constituida precisamente de estas formas secundarias, las cuales, desde el punto de vista productivo, no son las mejores (Arnold, 1950).

Un aspecto que cabe resaltar en este punto, es que existe un notable debate sobre el impacto del uso ganadero de los bosques,

pues existen evidencias que destacan los efectos positivos del pastoreo, pero también otras que señalan sus efectos negativos (véase McConnell y Smith, 1970; Pearson *et al.*, 1989), aunque este debate parece ser más bien una cuestión de puntos de vista, pues lo cierto es que, el pastoreo en bosques es una práctica común en extensas regiones de los Estados Unidos, al igual que en México aunque con mucho menos control.

2.1.5. Suelos, condiciones climáticas y fuego

Pocos estudios se han realizado en relación a la influencia de estos dos aspectos sobre la producción herbácea. Clary (1975), encontró que en rodales con más de 40 a 60 pies²/acre de área basal, la producción es similar en todos los tipos de suelos si éstos son derivados de materiales volcánicos. Sin embargo, en bosques abiertos de baja densidad existen grandes diferencias en la producción herbácea sobre diferentes tipos de suelos.

En cuanto a las condiciones climáticas, este mismo autor indica que en un estudio preliminar se encontró un incremento casi lineal de la producción con el incremento de la precipitación. Concluye que las mayores respuestas de la vegetación a los cambios anuales de las condiciones climáticas serán donde la dominancia del estrato arbóreo sea mínima, y que se requieren trabajos adicionales a este respecto.

En general los incendios intensos disminuyen la producción de forraje en el largo plazo. Clary (1975), indica que en un estudio la densidad de pastos se recuperó hasta dos años después

de una quema controlada aplicada en Septiembre, pero no se recuperó donde la quema se aplicó en Octubre.

Como se puede observar, los factores que influyen en la producción herbácea son varios y de distinta naturaleza. Sin embargo, para los fines del presente trabajo se consideraron la densidad y el índice de sitio como los factores determinantes de la producción herbácea.

2.2. Economía de la producción combinada

La obtención de bienes y servicios múltiples de los bosques es un proceso productivo que se ubica dentro de la economía de un país o una región. Por lo que se considera conveniente incluir en esta revisión, algunos aspectos elementales de la teoría económica que sustenta la producción combinada de los recursos forestales.

2.2.1. El bosque como un recurso económico

Existen cuando menos dos aspectos de los recursos forestales que les permiten ser considerados como un recurso económico, en el sentido de la economía de producción. Por un lado la posibilidad que tienen de proveer de bienes y servicios a la sociedad. Por el otro, su característica de ser un recurso limitado en disponibilidad y que puede ser combinado con otros insumos para producir bienes y servicios que la sociedad demanda. Dado que con frecuencia un bosque puede generar dos o más tipos

de beneficios simultáneamente o secuencialmente (tales como madera, recreación, agua o forraje etc.), una tarea importante es la elección de la mejor combinación y patrón de usos para una porción de bosque en particular (Pearse, 1990; Brown, 1982). Este aspecto se ubica propiamente en el campo de la economía de la producción, la cual permite definir la asignación de factores de producción, ante la decisión de elegir entre usos alternativos. Es decir, esta rama de la economía proporciona los elementos de análisis que permiten que el bosque pueda ser manejado en forma eficiente y proporciona también herramientas que permiten asignar óptimamente los factores de producción como trabajo y capital.

Evidentemente, no todos los bosques son considerados como recursos económicos en este sentido, ya que pueden ser inaccesibles, alejados o pobres en calidad, por lo que no serían demandados para propósitos económicos. No obstante, se asume que la mayoría de los bosques son capaces de producir uno o más productos o servicios, por tanto constituyen un recurso económico.

La tierra y los árboles son los recursos productivos en la economía forestal y pueden ser usados en una gran variedad de formas para producir bienes y servicios. Al igual que otros recursos la magnitud de su contribución al bienestar social depende en gran medida de la eficiencia con la que sean manejados.

El valor que un bosque representa para una sociedad toma una gran variedad de formas, una de las cuales es, en el caso de la

madera, por ejemplo, su precio de mercado, ya que es un producto que se comercializa directamente. Sin embargo, otros productos del bosque no tienen indicadores directos de su valor por no tener un mercado definido y son disponibles en forma gratuita para la sociedad, aunque indudablemente tienen un valor real. Este es un problema que el administrador del recurso enfrenta sobre todo cuando trata de diversificar los objetivos del manejo bajo el concepto de uso múltiple, debido a que se dificulta el análisis económico con productos cuyos valores no son comparables.

2.2.2. El problema de la asignación de usos.

Una de las decisiones fundamentales en el manejo forestal es el relativo a la asignación de los posibles usos alternativos de un rodal, por el hecho de que casi siempre, éste puede ser utilizado para varios propósitos. La elección de la forma más productiva de usar la tierra, desde el punto de vista de la eficiencia económica, tiene dos enfoques: uno es la manera más eficiente de manejar la tierra para un propósito particular ya definido, es decir, definir que tanto trabajo y otros insumos aplicar para generar el máximo retorno. El segundo se refiere a la selección del uso, o la combinación de usos que produzca el retorno neto más alto para un tiempo y espacio particulares (Pearse, 1990). No obstante, en ciertos casos deben hacerse consideraciones sociales de equidad, en cuyo caso la asignación más eficiente será aquella que maximice el beneficio neto a la sociedad sin considerar quien gana y quien paga (Brown, 1982).

Evidentemente, la capacidad de la tierra para generar retornos económicos depende de una variedad de factores, tales como: su fertilidad, topografía, accesibilidad, ubicación, etc., cada uno de los cuales varía en importancia para los diferentes usos, y juntos determinan su potencial económico, por lo cual la elección entre usos alternativos es un problema particularmente complejo (Pearse, 1990).

Para el caso de elegir un uso múltiple del bosque, es decir la producción conjunta de dos o más bienes y servicios, existen diversas consideraciones que se deben tomar en cuenta, entre las cuales destaca la interdependencia y las posibilidades de producción de los productos deseados. Es importante aclarar que una vez optado por un uso múltiple se asume que la tierra es capaz de producir los productos deseados y que existe una demanda de éstos en el mercado, sea éste definido o no y que el problema esencial consiste en elegir la combinación adecuada de productos y sus respectivos niveles de producción. Así, la selección eficiente depende en gran medida de la interdependencia técnica de los productos, es decir, de la relación funcional entre la cantidad de cada uno de los productos que se puede producir a un determinado nivel de insumos. Esta relación o interdependencia se expresa mediante la llamada Curva de Posibilidades de Producción (CPP) cuya forma refleja el grado de competencia o compatibilidad entre los productos a ser obtenidos en un rango de posibles combinaciones (Pearse, 1990).

2.2.3. Algunas características de la CPP

Tomando como ejemplo el caso de dos productos que compiten entre si: producción maderable y recreación, tendremos una CPP que es cóncava hacia el origen (Figura 2.1) indicando que la producción de uno de ellos solo es posible sacrificando al otro, hasta el extremo en que se puede producir $0M$ m^3 de madera con cero días de recreación al año y viceversa: se puede tener $0R$ días de recreación con cero producción maderable. Por lo anterior cualquier punto de la curva indica el nivel de producción combinada de los dos productos y la pendiente en ese punto refleja la tasa marginal de transformación (TMT) de un producto por el otro (Pearse, 1990; Beattie y Taylor, 1985).

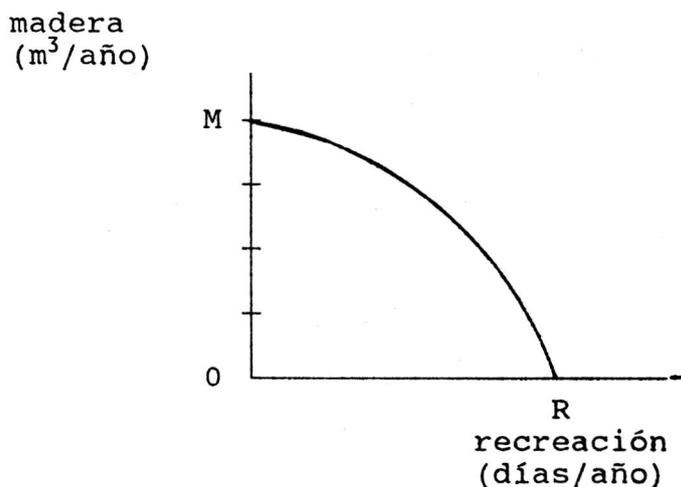


Figura 2.1 Curva de posibilidades de producción de dos productos excluyentes: madera y recreación.

La pendiente casi horizontal de la curva cerca de su intersección con el eje vertical indica que es posible producir algunos días de recreación sacrificando un poco de la producción maderable pero mayor cantidad de recreación implica mayor

sacrificio de madera; asimismo, una mayor producción maderable significa un mayor sacrificio a la recreación. Así los puntos entre los dos extremos de la curva señalan las posibles combinaciones de los dos productos que se pueden obtener con el mismo nivel de insumos.

Sin embargo, desde el punto de vista económico esto no es suficiente para definir el nivel óptimo de producción combinada de ambos productos, debido a que en un punto dado de la curva, no se está en condiciones de afirmar que los insumos se están utilizando en forma óptima, a menos que se tenga un criterio económico del valor relativo de los productos en cada punto.

En el caso del ejemplo de la Figura 2.1, este valor se puede representar gráficamente por la pendiente de una línea, llamada de intercambio, que es tangente a la curva en el punto E (Figura 2.2), indicando la combinación óptima de los dos productos (Om m³ de madera y Or días de recreación), dado que ningún otro punto produce un valor total tan alto como este nivel de combinación.

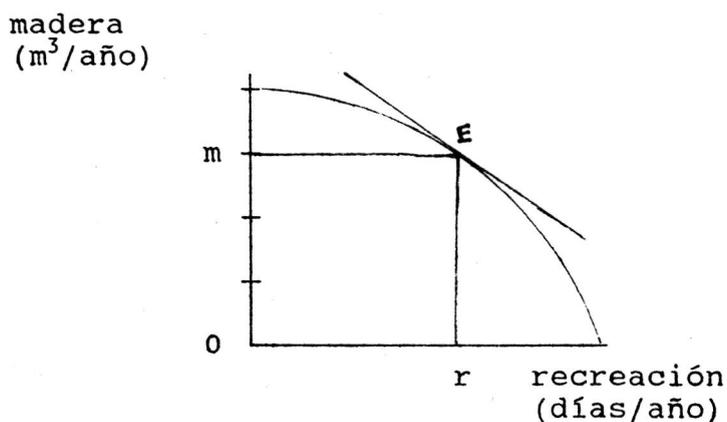


Figura 2.2. Nivel óptimo de producción combinada de dos productos excluyentes: madera y recreación

En otros términos, la mejor combinación se encuentra donde la TMT de un producto por otro es igual a la razón de sus valores marginales (Pearse 1990).

Por otra parte, dependiendo de las características de los productos y de su interdependencia técnica, la CPP presentará varias formas, algunas poco usuales, pero no menos importantes.

Para el caso de este trabajo se consideran como productos a obtener del bosque a la madera y al forraje, cuya relación es complementaria, es decir, la obtención de uno de ellos generalmente incrementa la capacidad de producir el otro, siendo la CPP como se muestra en la Figura 2.3.

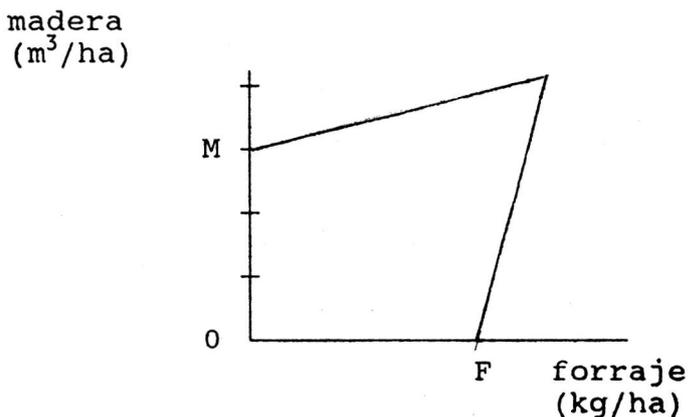


Figura 2.3. Curva de posibilidades de producción de dos productos complementarios: madera y forraje para ganado.

Con esta forma de la CPP, la solución al problema del punto óptimo es directa. Este se encuentra en el punto donde las dos líneas se juntan, indicando el nivel óptimo de producción combinada de ambos productos.

Naturalmente, se asume que los dos productos generan individualmente retornos netos positivos, de otra forma no es prudente combinar su producción.

2.2.4. El problema de la Valoración

En la economía de un país o de una región es probable que existan algunos bienes y servicios forestales que no se "muevan" en el mercado y por tanto no tienen precios definidos. Es decir, no están valorados en términos monetarios, aunque tengan un valor real. En países como Estados Unidos y Canadá, productos forestales como la madera, forraje y agua son vendidos en el mercado, aunque a veces su valoración sea limitada en alguna medida. Por ejemplo, el Servicio Forestal de los Estados Unidos vende el forraje como un derecho de uso a un precio que es determinado administrativamente; igual situación ocurre con el agua (Brown, 1982). En el caso de nuestro país los productos forestales sin mercado definido son muchos más, por ejemplo el agua y el forraje no se comercializan en el mercado sino que se dispone de ellos en forma casi gratuita.

Algunos autores como Pearse (1990), consideran que en ausencia de indicadores comunes del valor de mercado de un producto, se debe recurrir a evidencias indirectas sobre la demanda del producto o servicio. Es decir, estimar su valor a partir de que los usuarios expresen su valoración de él mediante un precio que se supone, estarían dispuestos a pagar. En esencia considera a la valoración como un problema de medición.

Lo anterior sugiere la necesidad de analizar dos aspectos importantes de la economía: los beneficios y los costos, o sea, el valor del producto y su correspondiente costo de producción.

En el caso de productos forestales no valorados, sus costos de producción no son muy diferentes de aquellos asociados con la producción de los productos comerciales, pues en ambos casos los costos son normalmente reflejados en gastos de trabajo, tierra y capital necesarios para manejar el bosque con un propósito particular. La dificultad se encuentra más bien por el lado de los beneficios, por lo cual casi todas las medidas de valoración se basan en los beneficios del producto (Pearse, 1990).

Así, este autor sugiere al "excedente del consumidor" en la curva de demanda como una medida adecuada del valor del producto. A su vez, Brown (1982), considera que, desde el punto de vista de la eficiencia, tanto el "excedente del consumidor" como el del "productor" (beneficio neto), son medidas adecuadas del valor de un producto en el mercado. Primero, porque dan igual peso a productores y consumidores y segundo, porque es un valor neto, es decir, tiene descontados costos de compra por los consumidores como de producción por los productores.

No obstante, señala que en el caso del manejo de los recursos naturales estos beneficios son difíciles de medir y a veces innecesarios, porque requieren información de la oferta y demanda para todas las cantidades del producto sobre la cantidad en equilibrio, los cuales no son fáciles de observar ni de estimar y

son innecesarios cuando las alternativas consideradas causan cambios en la calidad y cantidad de los productos.

Por otro lado, si el beneficio neto de un producto es medido en base a su precio, es indispensable según este mismo autor, que el producto sea vendido en un mercado competitivo y sin interferencias de ningún tipo, ya que de no ser así, el precio es inapropiado para estimar cambios en el beneficio neto.

Asumiendo como ciertos estos supuestos el autor describe tres métodos de valoración, con sus procedimientos de aplicación: 1) El método de la observación directa de las transacciones del mercado, que se utiliza cuando un producto es vendido a consumidores o productores que a su vez intercambian su producto final en un mercado competitivo, 2) El método de separación de costos, y 3) El método de cambio en el ingreso neto, que se aplican cuando el producto es a su vez un insumo para otro producto final, siendo el método de separación utilizado cuando un cambio en el nivel de producción del insumo baja los costos de producción del producto final permitiendo un ahorro atribuible al insumo. El método del ingreso neto mide el cambio en el ingreso neto final, atribuible al producto final, producido por un aumento en el nivel del insumo que permite aumentar la producción del producto final.

Como se puede advertir, el problema de la valoración es complejo y requiere información muy especializada y detallada, cuya obtención es difícil, aún en los países donde estos son temas comunes y más estudiados.

En México la valoración adecuada de los productos forestales no convencionales es casi nula, a lo más que se llega en el caso de algunos productos forestales no maderables es a fijar cuotas administrativas para su utilización.

Por esta razón y por la carencia de información, en uno de los productos forestales que nos interesan en este trabajo (el forraje) no se intentó utilizar algunas de las medidas aquí esbozadas para indicar su valor de mercado, sino que se siguió un procedimiento sencillo y directo para asignarle un precio, que permitiera evaluar las alternativas de producción combinada de los dos productos, lo más objetivamente posible. El caso de la madera no fué difícil, dado que es un producto que se comercializa comunmente en el país.

3. METODOLOGIA

3.1. Localización del área de estudio

El presente trabajo se realizó en el Campo Experimental Forestal (CEF) "San Juan Tetla", del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). El Campo se sitúa en el declive oriental del volcán Iztaccíhuatl, a 21 km al Suroeste de San Martín Texmelucan, Pue., entre las siguientes coordenadas geográficas: 19° 10' 30" y 19° 13' 00" latitud N y 98° 36' 10" y 98° 32' 47" longitud W . Abarca una superficie aproximada de 1500 ha en altitudes que van desde 3,000 hasta los 3,600 m.s.n.m. (Figura 3.1).

El área específica donde se realizó este trabajo corresponde a la zona delimitada por Rodríguez y Ortiz (1982) como el área de distribución natural de *Pinus montezumae* y se ubica en la porción Noreste del Campo Experimental (Figura 3.2).

3.1.1. Clima

El clima del área de estudio se clasifica como C(w²)(w)(b')(i')g, de acuerdo con la clasificación de Köepen, modificada por García (1973), es decir, templado subhúmedo semifrío, tipo Ganges, con verano fresco largo y lluvioso, con oscilación térmica entre 5 y 7 °C. La temperatura media anual es de 10.7 °C, la del mes más frío, 7.5 °C y la del mes más caliente de 12.9 °C. La precipitación anual promedio es de 815 mm, siendo los meses más lluviosos de Junio a Septiembre y los más secos, de Noviembre

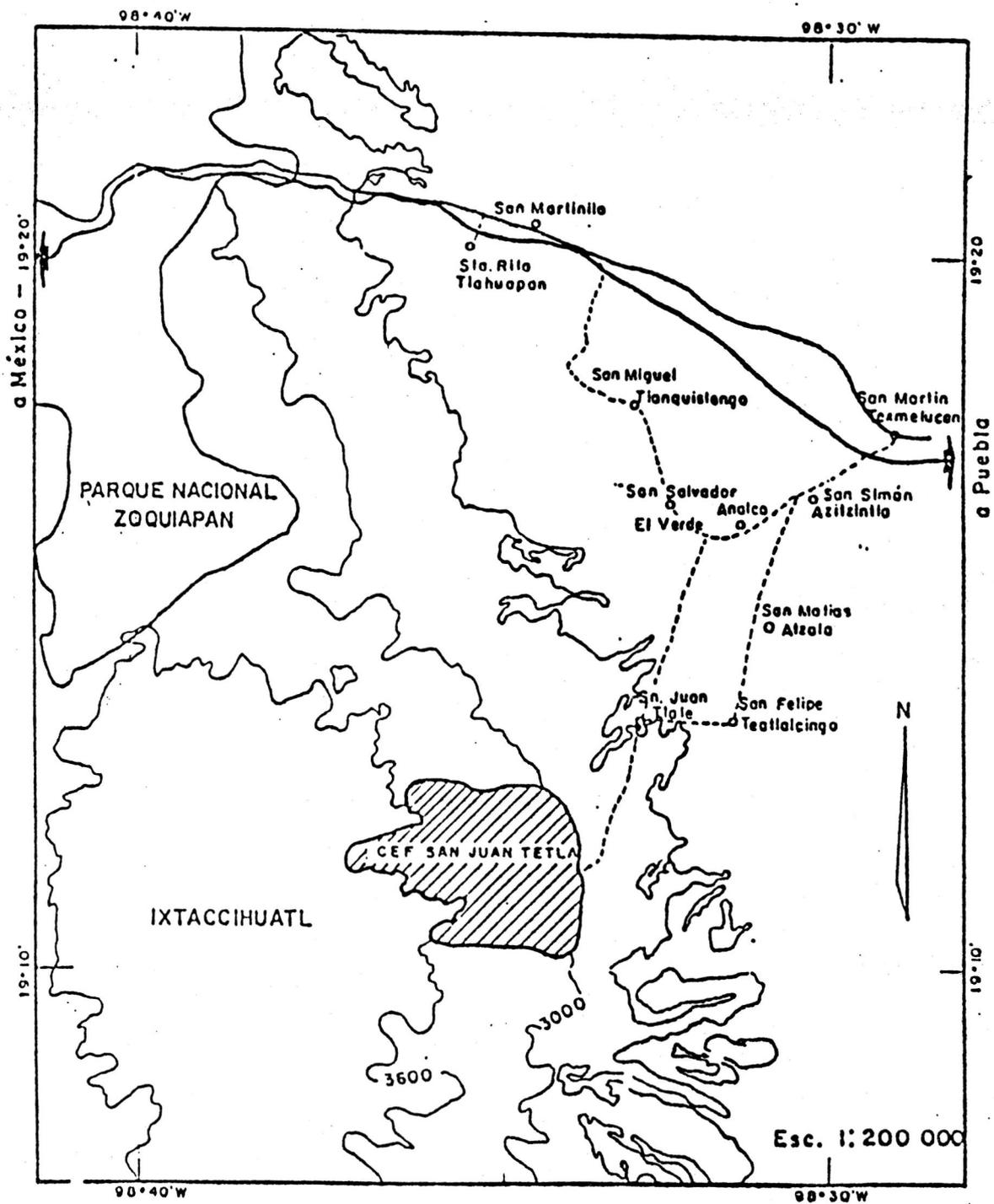


Figura 3.1. Localización del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Pue. (tomado de Acosta, 1992).

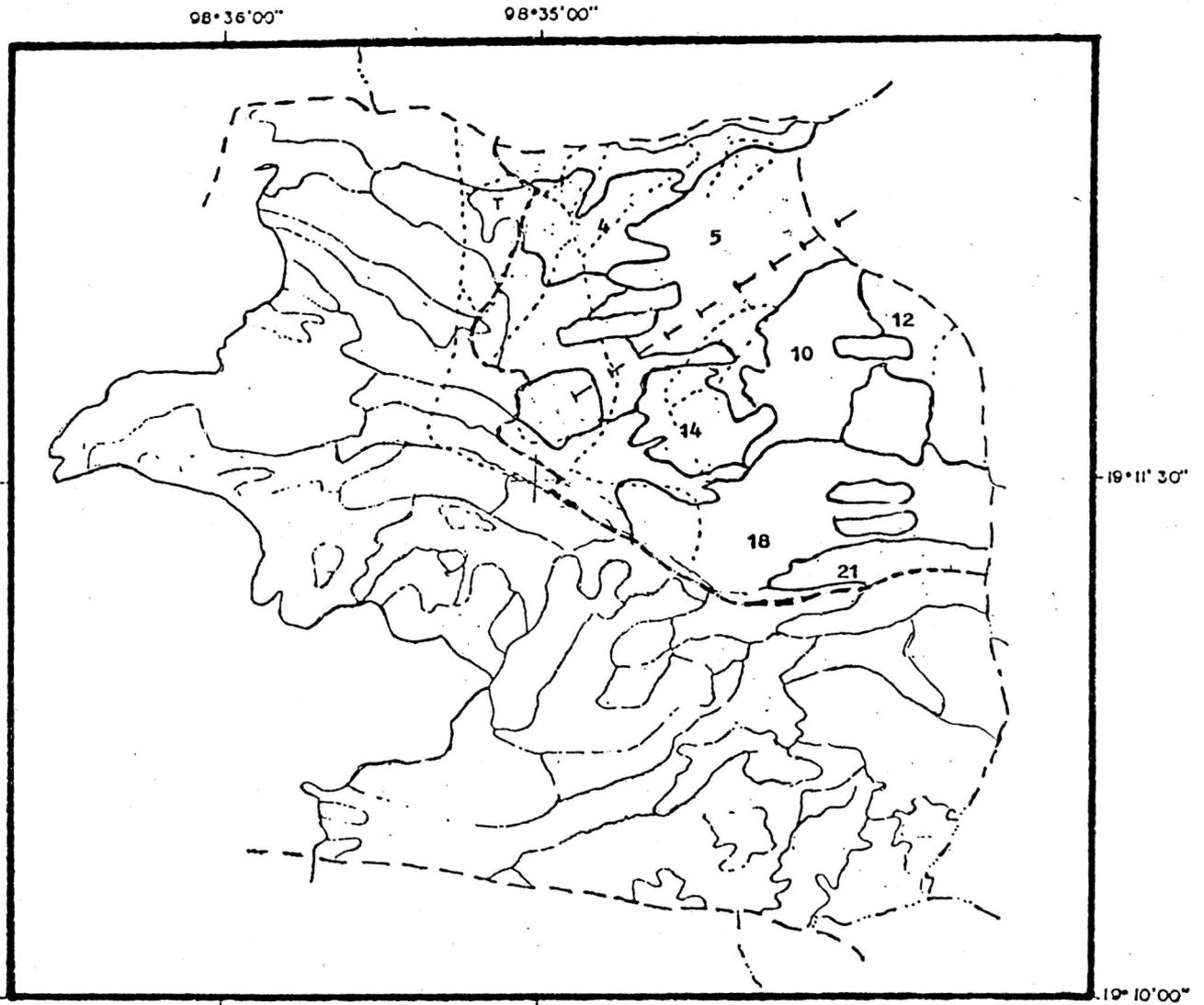


Figura 3.2. Ubicación del área de estudio y de los rodales muestreados en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Pue. (archivo INIFAP).

a Marzo. Presenta un relación p/t (precipitación/temperatura) de la lluvia de verano mayor a 55 y el régimen de lluvias invernales es menor al 5% de la precipitación anual (Garcidueñas, 1987).

3.1.2. Suelos

De acuerdo con el estudio realizado por Rodríguez y Ortiz (1982), en el área de distribución natural de *P. montezumae* se encuentran tres series de suelos: Serie Marines, Serie Tecoxco y Serie San Agustín Atzompa, siendo la primera, la más ampliamente distribuida en el área de estudio y que pertenece a los andosoles húmicos, son profundos, predominando la textura migajón arenosa en todos sus horizontes, tienen un ph de 6.3. Estos suelos presentan una capa superficial de acumulación de materia orgánica sobre el suelo mineral.

El contenido de materia orgánica es de 13 % en el horizonte más superficial y disminuye conforme aumenta la profundidad, también tienen alto contenido de arena en todas sus profundidades. La estructura es en bloques subangulares débilmente desarrollados; no existen afloramientos rocosos y los horizontes no presentan piedras. Estos suelos tienen gran potencial productivo y una alta capacidad de retención de humedad.

Por su parte May Nah (1971) señala que en general estos suelos presentan dos horizontes, cuya profundidad total es de 140 cm o más, con drenaje interno bueno.

El color en seco y en húmedo varía de gris y café muy oscuro hasta el negro en los horizontes superiores, de coloraciones menos oscuras en los horizontes inferiores que varían de gris y café claro hasta el amarillento claro. La textura es de migajón arenoso y los pH se acercan a la neutralidad en las diferentes altitudes de los bosques de *Pinus*, estas características varían para los bosques de *Abies*.

3.1.3. Vegetación

De acuerdo con May Nah (1971) en el Campo Experimental se distinguen cuatro asociaciones arbóreas: bosques de *Pinus montezumae*, bosques de *P. ayacahuite* var. *veitchii*, bosques de *P. hartwegii* y bosques de *Abies religiosa*. Boyás (1978) menciona que además de estas asociaciones existen Zacatonales y otras comunidades secundarias de matorrales y ailes.

Este último autor señala que los bosques de *P. montezumae* se localizan en laderas y planicies principalmente, con diferentes exposiciones y pendientes de 10 a 68% de inclinación. Su límite altitudinal inferior se presenta desde 2,700 m.s.n.m. (fuera del límite inferior del Campo Experimental), donde se encuentra mezclado con *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. ayacahuite* y su límite altitudinal superior se encuentra a 3,450 m.s.n.m. aproximadamente, aunque ya dominada por *P. hartwegii*.

Las masas puras de *P. montezumae* se llegan a formar entre los 3,000 y 3,300 m.s.n.m. que es justamente donde se ubica la zona de estudio.

Las asociaciones típicas de *P. montezumae* en esta area presentan la siguiente composición:

El estrato arbóreo está constituido básicamente por *P. montezumae*, siguiéndole *Alnus firmifolia* y *Salix oxylepis*. En forma aislada se observan individuos de *P. teocote*, *P. ayacahuite*, *Abies religiosa*, *Quercus laurina* y *Arbutus glandulosa*.

En el estrato arbustivo se presentan las siguientes especies: *Salix paradoxa*, *S. oxylepis*, *Symphoricarpus microphyllus*, *Eupatorium glabratum*, *Fucshia sp.*, *Senecio cinerarioides* y *S. angulifolius*, principalmente; se observan además *Bacharis sp.*, *Buddleia sp.*, *Rubus sp.*, *Cestrum sp.*, *Ribes sp.*, entre otras.

En el estrato herbáceo las especies más frecuentes son: *Alchemilla procumbens*, *Muhlenbergia sp.*, *Archibacaris sp.* y *Piptochaetium sp.*; encontrándose además otras especies como: *Lupinus sp.*, *Salvia sp.*, *Stachis sp.*, *Stevia sp.*, *Fragaria sp.*, *Galium sp.*, entre otras (Garcidueñas, 1987).

3.1.4. Topografía

La topografía del Campo varía de plana a muy accidentada, presentando cerros de considerable altura como el de Ocotepéc (3,840 m) y barrancas de gran profundidad como la de Cotzala, que da origen al río Cotzala, el cual recorre el Campo en dirección Oeste-Este, dividiéndolo en dos zonas; siendo la Norte más plana

aunque con pequeñas cañadas y la Sur más accidentada con barrancas muy profundas y de difícil acceso, como la del río Hueyatitla, (Boyás, 1978). Existen asimismo varios llanos como los de Zacateotlalpan, Majadas, Chamec, Tecoxco, etc. (Garcidueñas, 1987). En general, el Campo tiene una exposición Este, pero presenta microhabitats muy localizados cuyas exposiciones son variables; la pendiente media va de 20 a 40%.

3.2. Obtención de la información

Para la realización del estudio se requirieron tres tipos de información: Dasométrica (densidad e Índice de sitio), producción herbácea (biomasa) e información de mercado (precios de madera en pie y de forraje).

Las primeras dos fueron cuantificadas a través del muestreo de la vegetación en los rodales considerados en el estudio. Por su parte los precios de madera en pie fueron obtenidos de instituciones oficiales y los de forraje se estimaron indirectamente a partir del coeficiente de agostadero de los rodales susceptibles de uso ganadero. Para esta última estimación se obtuvo el precio de cada unidad animal que puede soportar una unidad de superficie en base a su composición y producción forrajeras, de acuerdo con De Alba *et al.*, (1967).

El levantamiento de la información de campo se llevó a cabo entre los meses de Enero y Febrero de 1994 y el procedimiento para realizar el muestreo fué el siguiente:

3.2.1. Ubicación de los sitios de muestreo

Con base en la ubicación de los sitios de muestreo del inventario realizado en el CEF en 1992, se consideraron solo aquellos sitios que se encontraron dentro del área delimitada por Rodríguez y Ortiz (1982) como área de distribución natural de *Pinus montezumae*, que suman un total de 28 (Apéndice C-2).

Utilizando cada uno de estos sitios como centro, se ubicaron al azar tres unidades de muestreo en diferentes direcciones y a una distancia promedio de 75 m, en cada una de las cuales se realizaron las mediciones de arbolado y de vegetación herbácea, de manera que se muestrearon 84 unidades en total.

3.2.2. Unidades de muestreo de la vegetación herbácea

El muestreo se hizo en base al método de área, comunmente utilizado para estudios de este tipo, cuando se cuantifica biomasa y otros atributos de la vegetación (Clary, 1968; Cooper, 1960; Clary & Ffolliott, 1966; Alvarado et al., 1991).

Las unidades de muestreo fueron parcelas anidadas como las propuestas por Bonham (1989) para mediciones de vegetación de diferentes estratos en un mismo punto. Cada parcela consistió de un círculo de 500 m², con otros círculos anidados a partir del centro, de 4 m² para la medición del estrato arbustivo y de 1 m² para el estrato herbáceo.

Cabe aclarar que este autor sugiere 16 m² para el estrato arbustivo; sin embargo, en este trabajo se utilizó la parcela de 4 m² por consideraciones prácticas. Este tamaño de parcela para el estrato arbustivo brindó resultados poco satisfactorios, mostrando una alta variación en los estimadores y una baja relación con otras variables. Por lo tanto, se decidió no incluir la producción arbustiva como otra variable dentro de los modelos de regresión probados.

En la parcela de 500 m² se midieron todos los árboles, aunque no fueran *P. montezumae*, mayores de 10 cm de diámetro normal cuantificando los siguientes atributos: diámetro normal, longitud de copa máxima y mínima y altura total. Asimismo, en éstas parcelas se midieron las variables del sitio tales como la exposición, la pendiente y la altitud.

3.2.3. Medición de la producción herbácea

Esta fué cuantificada en las parcelas de 1 m². Para ello se cosechó, desde el ras del suelo, toda la hierba presente y separándolas por especies individuales (las más abundantes) y por grupos de especies (las más escasas). Fueron colocadas en bolsas de papel debidamente etiquetadas para pesarlas y transportarlas al laboratorio, donde fueron secadas en una estufa a 70 °C hasta obtener un peso constante.

Es importante resaltar que se puso especial cuidado en la separación de las especies, agrupando cuando era necesario, las

especies con hábitos y/o formas de vida diferentes. En los pastos siempre se manejaron como especies separadas por su valor forrajero. Este punto es importante para la clasificación de las especies y para el cálculo del coeficiente de agostadero de los sitios, en relación con la abundancia de especies forrajeras.

Adicionalmente, en las parcelas más pequeñas se midió la cobertura y altura de la vegetación arbustiva y herbácea, y se colectaron las especies cuya identificación en el campo fue difícil o dudosa, para corroborarlas posteriormente mediante comparación con ejemplares de herbario.

3.2.4. Clasificación de las especies

Aunque la idea inicial era clasificar las especies en base a sus usos actuales y potenciales, se optó por definir un uso único para las hierbas, que permitiera valorar este recurso en forma objetiva, práctica e inmediata; por lo que se definió su uso forrajero, clasificándolas en base a su palatabilidad por el ganado en: deseables, menos deseables e indeseables.

De esta forma, de acuerdo al procedimiento propuesto por De Alba et al (1967) se determinó el coeficiente de agostadero de los sitios, considerando su producción y composición de especies. Esta información permitió también clasificar a los rodales en base a su aptitud de uso ganadero, considerando como no aptos aquellos cuya proporción de especies indeseables (invasoras) rebasara el 40 % del rendimiento total.

3.2.5. Cálculo del coeficiente de agostadero

Este se realizó únicamente para los rodales que resultaron con buen potencial forrajero (proporción de especies deseables mayor a 50 % del rendimiento total). A partir del promedio de producción herbácea de estos rodales se determinó el porcentaje de especies deseables, sobre el cual se obtuvo la cantidad de forraje utilizable en base a un factor de propio uso del 50 %; definiendo a una unidad animal como una vaca de 450 kg de peso, cuyo consumo diario de forraje es el 3 % de su peso (Stoddart et al., 1975) se obtuvo el requerimiento diario de forraje por unidad animal. Esto permitió estimar la cantidad de forraje para un período de pastoreo establecido de seis meses y la superficie necesaria para abastecerla que es, finalmente el coeficiente de agostadero del rodal.

Se considera que el período de seis meses propicia una utilización adecuada del forraje porque incluye un período de descanso que permite la recuperación de las especies forrajeras afectadas por el pastoreo (Stoddart et al. 1975).

3.3. Procesamiento de la información

Con la información obtenida en cada sitio se procedió, por un lado, a calcular los valores de peso seco (biomasa) para las hierbas, por especies o grupos de especies. Para definir el modelo de producción los valores de peso seco fueron manejados por estrato global (ya se indicó que en este caso solo se

consideró el estrato herbáceo), ordenándose por unidades de muestreo. Por otro lado, con la información dasométrica disponible se calcularon el área basal y el índice de sitio. Finalmente, la información herbácea y dasométrica se conjuntó en una sola base de datos, de tal manera que se tuvo para cada valor de producción herbácea (kg/ha) uno de densidad (ab/ha), y uno de Índice de sitio (IS), que fueron las variables básicas para el ajuste de los modelos probados en este trabajo.

3.3.1. Estimación del Índice de Sitio

Para obtener el Índice de Sitio de cada uno de los puntos muestreados se utilizó el modelo de crecimiento en altura ajustado por Acosta (1991) para *P. montezumae* en esta misma localidad, el cual es el siguiente:

$$H_2 = 42.617725 \left[1 - \exp(-0.031214 E_2) \right]^{\frac{\ln(H_1/42.617725)}{\ln(1 - \exp(-0.031214 E_1))}}$$

Donde: H_1 = altura dominante medida a la edad E_1
 H_2 = altura dominante medida a la edad E_2
 \ln = logaritmo natural

El IS se estimó para cada unidad de muestreo considerándolo como H_2 a una edad base de 60 años, utilizando para esto los valores promedios de altura dominante y edad de cada parcela.

Es necesario aclarar que, debido a que en las parcelas de 500 m² no se midió la edad del arbolado, ésta fue tomada de los datos del inventario realizado en el CEF en 1992, cuyos puntos de

muestreo fueron utilizados como centro de referencia para la ubicación de las unidades de muestreo en este trabajo, como ya se mencionó en el punto 3.2.1. Las edades consideradas fueron los promedios correspondientes a las alturas dominantes y codominantes reportadas en el inventario, las cuales fueron homologadas con las mismas alturas obtenidas en este trabajo.

Cada IS estimado de esta manera se generalizó para los tres sitios respectivos generados a partir de los puntos de muestreo del inventario, asumiendo que por sus distancias de ubicación respecto al punto central, el valor de esta variable sería similar para dichos sitios. No obstante, se reconoce que este procedimiento puede disminuir la variabilidad del IS, pero se considera muy aproximado a la realidad debido a que en las condiciones del área de estudio, el IS es relativamente homogéneo dentro de cada rodal.

3.3.2. Modelos de producción herbácea.

Aunque que la mayoría de los modelos encontrados en la literatura, predicen la producción herbácea en función de una sola variable independiente, la densidad (Vease Jameson, 1967; Clary & Ffolliott, 1966; Moore & Deiter, 1992), los modelos probados en este estudio incluyen, además de la densidad, al IS por las razones ya comentadas en el punto 2.1.3. y con la idea de que esta variable contribuya a explicar más la producción herbácea junto con el área basal.

Los modelos probados fueron los siguientes:

- a) $Ph = \beta_0 AB^{\beta_1} \exp(-\beta_2/IS)$
- b) $Ph = \beta_0 \exp\{\beta_1 (AB/IS)\}$
- c) $Ph = \beta_0 \exp\{\beta_1 AB + \beta_2 IS\}$
- d) $Ph = \beta_0 \exp\{\beta_1 (AB+IS)\}$
- e) $Ph = \beta_0 AB^{-\beta_1} IS^{\beta_2}$
- f) $Ph = \beta_0 [1 - \exp\{\beta_1 (AB+IS)\}]^{\beta_2}$
- g) $Ph = \beta_0 IS^{\beta_1} [1 - \exp(-\beta_2/AB)]^{\beta_3}$
- h) $Ph = \beta_0 [1 - \exp\{\beta_1 (AB/IS)\}]^{\beta_2}$

Donde: Ph = Producción herbácea (kg/ha).
AB = Area basal (m²/ha).
IS = Índice de sitio (m).
 β = Estimadores de regresión.

Estos modelos se ajustaron por cuadrados mínimos usando el paquete estadístico SAS con los procedimientos GLM para los modelos lineales y NLIN para los no lineales.

El criterio de selección del modelo fue el mayor valor de R², el menor Error estándar del estimador y la significancia de los coeficientes de regresión; así como los respectivos análisis de residuales para detectar posibles problemas de heterosedasticidad, multicolinealidad o de puntos de influencia.

Adicionalmente se tuvo cuidado de que el modelo seleccionado reflejara una buena relación funcional de la producción herbácea con las variables independientes mencionadas, cuando menos en el rango de valores observados de la densidad, como criterio complementario.

3.3.3. Validación del modelo seleccionado

Otra parte importante en este punto es la validación del modelo seleccionado, lo cual se realizó de la siguiente manera. Del total de parcelas muestreadas se seleccionaron aleatoriamente 9 (aproximadamente 10% de la muestra total) cuya información no se utilizó para el ajuste del modelo, sino que sirvió para comparar los valores predichos por el mismo con los valores observados en estas 9 parcelas. El criterio de evaluación entre valores observados y predichos fué una R^2 estimada como:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n r^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Donde:

$r = Y_i - \hat{Y}_i$
 Y_i = valor i -ésimo observado de la variable dependiente
 \hat{Y}_i = valor i -ésimo predicho de la variable dependiente
 \bar{Y} = valor promedio de la variable dependiente

Asimismo, se realizó una prueba de t de student para comparar los dos grupos de valores a través de sus medias, como otro criterio de validación adicional al anterior, Knoebel et. al. (1986).

3.3.4. Diseño de la red de opciones de manejo

Con la finalidad de definir la secuela óptima de manejo combinado para los rodales en los que sea posible hacerlo, se diseñó una red de opciones de manejo, que mostrara en base al valor de cada opción, el plan óptimo de manejo combinado para los rodales seleccionados.

Para lo anterior, se definió una sola condición de edad y densidad iniciales (considerando las variables que requiere el Simulador), a partir de la cual se hicieron las proyecciones correspondientes, suponiendo remociones constantes de 5 m²/ha de área basal sobre dicha condición inicial, en períodos de proyección de una década para un horizonte de planeación de 30 años.

Una restricción importante, considerada en este trabajo es que el área basal mínima que se debe mantener en los rodales a lo largo del horizonte de planeación, es de alrededor de 10 m²/ha, excepto al final de dicho horizonte en que se considera una matarrasa como la corta final del plan de manejo.

Dadas las características de la red, la condición de rodal inicial para las proyecciones, fue definida en base a las características dasométricas de los rodales con mayor densidad, que resultaran con buen potencial ganadero, de tal manera que permitiera incluir automáticamente en la red a los rodales con menor cantidad de área basal.

Con los rendimientos en volumen de madera en pie y en producción forrajera, generados por cada una de las proyecciones y los precios establecidos para ambos productos, se calculó el Valor Presente Neto (VPN) de cada opción por período proyectado a una tasa de interés constante de 6 %.

Se asumió que el forraje es aprovechado anualmente (seis meses de pastoreo cada año) y la madera puede ser aprovechada una sola vez (aclareo) en cada período de diez años y hasta el final del horizonte de planeación se aprovecha el volumen total mediante una matarrasa. Estos supuestos implicaron que el cálculo de las aportaciones individuales de cada producto al VPN en cada período, fuera ligeramente diferente.

Una vez valorada cada opción de manejo fue posible observar en la red, cuáles de ellas acumularon los mayores VPN's a lo largo del horizonte de planeación, permitiendo así definir la mejor secuela de manejo para un determinado rodal.

Las proyecciones en cada punto de la red se realizaron con la primera versión del Simulador de crecimiento y rendimiento "Montezum", desarrollado por Magaña et al. (1993) para rodales de *P. montezumae* en el CEF San Juan Tetla. Este sistema requiere las siguientes variables iniciales: Índice de sitio, edad, área basal y número de árboles por hectárea, para hacer las proyecciones correspondientes de estas dos últimas, del volumen y de la producción herbácea total.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Cálculo de la producción herbácea

La producción herbácea global se obtuvo acumulando los valores de peso seco de todas las especies encontradas en cada parcela de 1 m², los cuales fueron considerados como la producción herbácea para la unidad de muestreo. Agrupando estas unidades en sus rodales correspondientes se obtuvo el promedio de producción para cada uno de los rodales considerados en el estudio. Esta información se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Producción herbácea promedio de siete rodales de *Pinus montezumae* en el CEF San Juan Tetla, Pue.

Rodal (No.)	Rendimiento promedio (kg/ha)	No. de unidades de muestreo
4	720.8	6
5	402.5	16
10	359.0	15
12	301.2	8
14	768.0	5
18	521.7	20
21	456.5	12
Promedio	504.2	

Estos valores en general son comparativamente más bajos que los reportados por Susano (1981) para bosques de *Pinus hartwegii* (1,210.55 kg/ha) en Zoquiapan, Méx., lo cual es razonable ya que los bosques de esta especie son más abiertos, con un promedio de AB = 12.8 m²/ha, por lo que su producción herbácea, en principio es mayor que la de los rodales aquí considerados.

Además, debe considerarse la época de medición que fue realizada en el período de mayor producción, es decir, en la estación húmeda a diferencia de este trabajo que se realizó en la estación seca del año. Es evidente que la producción herbácea es mayor en la estación húmeda por la mayor disponibilidad de agua, pero también por los diferentes requerimientos ambientales y estados fenológicos de las especies del sotobosque. Un ejemplo claro de lo anterior se encuentra en el trabajo realizado por Pearson *et al.* (1971) en Arizona, donde en base a las diferencias del comportamiento estacional de las dos especies de pastos más importantes (*Muhlenbergia montanus* y *Festuca arizonica*) definieron sistemas de pastoreo con rotación de potreros para hacer más uniforme el uso de los diferentes zacates, determinando las épocas de pastoreo y descanso de acuerdo con la estación de crecimiento del forraje que fue en el período lluvioso.

La importancia de la época del año en la producción y composición herbácea es tal que, en localidades donde existe una marcada estacionalidad las ecuaciones que describen la relación de las hierbas con el estrato arbóreo, pueden mostrar cambios en sus valores de una estación a otra o bien de un año a otro, aunque la relación inversa entre estos componentes se mantiene, como puede observarse en el trabajo de Scifres *et al.*, (1982).

Estos cambios son impuestos por la misma dinámica de la vegetación herbácea, por lo que son un factor importante en la evaluación de la "Condición de pastizal" que, consecuentemente también está sujeta a cambios continuos (Clary, 1975).

Asimismo, el promedio observado en este cuadro es menor que el reportado por la COTECOCA (SARH, 1978) para bosques de *P. montezumae* localizados al oriente de Río Frío y en las laderas nororientales del Iztaccíhuatl (892.21 kg/ha) y, como en el caso anterior, por la descripción que presentan de la vegetación, esta corresponde a bosques más abiertos, mezclados y más perturbados que los de San Juan Tetla.

Por otro lado, Susano (1977) reporta valores de materia seca utilizable de 216 a 281 kg/ha en bosques de pinos a diferentes densidades en Huitzilac, Morelos. Aquí la producción herbácea total podría ser de aproximadamente el doble de estos valores, aunque con este estudio los resultados no son del todo comparables por las diferencias notables en las condiciones ambientales de cada lugar.

Por los resultados anteriores se considera que los valores mostrados en el Cuadro 1 son aceptables, tomando en cuenta las condiciones de densidad y la época del año en que se realizaron las mediciones.

Debe aclararse que los resultados de este trabajo son aplicables solamente para la estación seca del año y que necesariamente deberá complementarse con información de la época de lluvias, para mostrar un panorama más completo de la producción herbácea en estos rodales.

Finalmente, cabe aclarar que para ajustar el modelo de producción herbácea no se utilizó la información como se presenta

en este cuadro, sino que se consideró la producción obtenida en cada unidad de muestreo como una observación individual, independientemente del rodal al que pertenecieran. Es decir, se consideraron como estrato global, de modo que la información de este cuadro tiene importancia para fines de producción ganadera y forestal.

4.2 Modelo de producción herbácea

Con el IS, el área basal y el rendimiento del estrato herbáceo para cada unidad de muestreo, se procedió a ajustar el modelo de producción utilizando al AB y al IS como variables independientes y a la producción herbácea total como variable dependiente. En el Cuadro 2 se muestran las características promedios de los siete rodales considerados para este fin.

Cuadro 2. Valores de densidad, edad e Índice de sitio de los rodales de *P. montezumae* incluidos en el estudio.

	Area basal (m ² /ha)	Edad (años)	I S (m)
Máxima	70.54	91.0	35.01
Promedio	34.86	73.6	28.44
Mínima	6.69	41.0	19.25

De los modelos propuestos en el punto 3.3.2. los primeros cinco se linealizaron mediante transformaciones logarítmicas de las variables para ajustarlas, mientras que las tres restantes se ajustaron directamente por el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS.

En todos los casos se encontró que los valores de R^2 fueron bajos, menores a 0.40, excepto para el primero a) y el séptimo g), cuyos valores de R^2 y pseudo R^2 respectivamente, fueron cercanos a 0.50. Sin embargo, en el primero no se observó significancia ($\alpha=0.05$) en el coeficiente del IS, por lo que se procedió a probarlo sin esta variable. Con esta modificación se obtuvo un valor de $r^2 = 0.5173$, pero no se alcanzó la varianza explicada del modelo g), que sin el IS mostró un coeficiente de determinación de 0.5375, que es un poco menor al pseudo r^2 (0.5615) mostrado por este mismo modelo con ambas variables predictoras.

Ante esta situación, se consideró más conveniente aceptar el modelo no lineal g) sin IS, por ser más sencillo y tomando en cuenta que esta variable contribuye muy poco a explicar el modelo de producción, dado que al incluirse en el modelo el coeficiente de determinación aumenta alrededor de 0.03%, lo cual indica que solo el AB explica la mayor parte de la varianza en la producción herbácea.

Así, el modelo utilizado para las predicciones de producción herbácea en el presente estudio fue el siguiente:

$$Ph = 1013.3438 [1 - e^{-47.8768/AB}]^{2.6646}$$

$$(107.056) \quad (16.5247) \quad (1.1877)$$

$$\text{pseudo } r^2 = 0.5375$$

donde

Ph = Producción herbácea (kg/ha)
AB = Area basal (m²/ha)
e = Base del logaritmo natural
(.)= Error estándar asintótico

Esta ecuación describe adecuadamente la relación funcional reportada en otros trabajos entre las dos variables básicas, producción herbácea y área basal, al menos para el rango de la muestra incluido en el estudio, por lo cual se considera teóricamente válido.

Aparentemente este modelo no ha sido utilizado para describir la relación entre la densidad del estrato arbóreo con la producción herbácea, aunque las transformaciones logarítmicas o exponenciales son muy comunes en los modelos que describen esta relación (Bojorquez et al., 1990).

Por otro lado, cabe resaltar que este modelo predice exclusivamente la producción herbácea para cualquiera de los rodales de *P. montezumae* en el CEF y que para fines de producción ganadera debe determinarse la proporción correspondiente de especies forrajeras de cada rodal en particular, para obtener el porcentaje de forraje en la hierba total predicha.

No obstante, por el momento se considera que esta situación es más recomendable dado que, con la información disponible, difícilmente se puede generalizar la producción forrajera para todos los rodales de *P. montezumae* y su promedio no tiene mucho sentido práctico, pues existen condiciones específicas de cada rodal que hacen variar la proporción y producción de especies

forrajeras, por ejemplo, la frecuencia de incendios, el grado de presencia de otras especies arbóreas y algunas condiciones microclimáticas.

4.2.1. Validación del modelo

Considerando que el modelo está debidamente ajustado se validó utilizando para esto la información de las siguientes parcelas:

S13-1 (rodal 4); P8-1 (rodal 5); Q5-1 (rodal 10); Q4-3, O3-2 (rodal 12); M6-2, L2-2 (rodal 18); J6-1 y J5-1 (rodal 21).

La comparación de los valores observados y predichos de la producción herbácea mostró un valor de la $R^2 = 0.5706$ que es bajo pero se considera aceptable; en cuanto al estadístico de t para comparar las dos medias poblacionales se obtuvo un valor de t calculada = 0.1482 que, comparado con una t de tablas ($\alpha=0.001$, 16 g.l.) = 2.120 resulta evidentemente menor, lo cual permite concluir que no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de las medias.

Con estas pruebas se asume que el modelo es suficientemente aceptable para predecir la producción herbácea en las condiciones que se realizó el estudio.

Sin embargo, es necesario señalar que este modelo aún con todas las consideraciones hechas aquí, no constituye el modelo de producción herbácea definitivo para los rodales de *P. montezumae* en el CEF, dado que corresponde a una medición puntual en el

tiempo, por lo que no es difícil esperar cambios, no solo en los valores de los coeficientes sino también en el modelo mismo.

En este sentido, la idea principal deberá ser la de obtener un modelo que prediga directamente el rendimiento en forraje en vez de la hierba total, lo que permitiría no hacer ajustes por las variaciones en la abundancia de especies forrajeras en cada rodal al momento de valorar el forraje producido en diferentes niveles de densidad, como en el caso de este trabajo. Asimismo, puede resultar conveniente la estratificación del modelo por características fisiográficas como: tipos de suelo, exposición y pendiente.

Evidentemente, lo anterior implica la necesidad de contar con información más detallada que permita estratificar la producción forrajera de los rodales en base a otras variables específicas como: topografía, altitud, exposición, cortas, frecuencia de incendios, presencia de pastoreo y composición del estrato arbóreo entre otras.

4.3 Clasificación de especies y sitios

Para definir el uso ganadero es necesario conocer la producción y la composición herbácea de los rodales incluidos en el estudio. Para ello se obtuvo el listado completo de especies herbáceas y sus rendimientos respectivos en todas las unidades de muestreo de cada rodal, la información de rendimiento de hierba total se presentó en forma resumida en el Cuadro 1.

Se encontraron un total de 40 especies de hierbas, cuya clasificación taxonómica y forrajera se muestra en el Apéndice A. De estas especies solo cinco (12.5 %) se consideran forrajeras o sea, deseables en las categorías de COTECOCA (de Alba et al., 1967), 27 especies (67.5 %) se calificaron como no forrajeras (menos deseables) y las restantes 8 (20 %) se consideraron como invasoras (indeseables).

Es necesario señalar que en este trabajo el género *Lupinus*, Leguminosa usualmente considerada como tóxica para el ganado (Susano, 1985), se incluyó entre las especies forrajeras debido a que su abundancia no rebasó el 15% de la producción total y en estas circunstancias no representa un peligro real de intoxicación para el ganado, que lo consume en pocas cantidades.

La clasificación forrajera, que permitió separar el rendimiento de cada especie en todos los rodales, se realizó con base a la información obtenida en el Herbario de Forrajes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Cabe aclarar que algunas especies no se pudieron clasificar en las categorías mencionadas por no encontrarse información sobre ellas para este fin, por lo que se decidió, arbitrariamente incluirlas en la categoría de no forrajeras con la idea de no sobrevalorar los extremos de la clasificación.

En el Cuadro 3 se presenta el resumen de la composición herbácea para cada rodal.

Cuadro 3. Abundancia relativa (%) de los tipos de especies en los rodales muestreados.

No. del Rodal	Especies invasoras	Especies no forrajeras	Especies forrajeras	Total
4 (***)	21.62	10.17	68.21	100.0
5 (*)	62.81	18.55	18.64	100.0
10 (*)	48.35	40.26	11.39	100.0
12 (*)	46.68	37.55	15.77	100.0
14 (***)	23.71	10.67	65.62	100.0
18 (*)	47.67	40.80	11.53	100.0
21 (**)	36.16	47.00	16.84	100.0

* Rodales no aptos para uso ganadero actual.

** Rodales con potencial ganadero bajo.

*** Rodales con buen potencial ganadero.

En base a este cuadro y el criterio previamente establecido se observa que los rodales marcados con (*) no son aptos para uso ganadero actual, porque su porcentaje de especies indeseables rebasa el 40%, por ese mismo criterio el rodal 21 (**) se considera con potencial bajo y los rodales marcados con (***) se clasifican como aptos con buen potencial ganadero. De modo que, estos últimos fueron elegidos para hacer las proyecciones de las alternativas de manejo combinado.

Los restantes fueron descartados para este fin, al menos mientras no sean sometidos a algún otro tipo de intervención silvícola que modifique sustancialmente su estructura y densidad, y por lo tanto, su capacidad de producción forrajera.

4.3.1. Coeficientes de agostadero

Con la información anterior y la del Cuadro 1 se calculó el coeficiente de agostadero (c.a.) de los rodales con potencial.

A continuación se dá un ejemplo (con el rodal 4) del procedimiento utilizado para su obtención.

Este rodal tiene un rendimiento promedio de 720.8 kg/ha de hierbas y una proporción de especies forrajeras de 68.21%, lo que significa una producción de 491.65 kg/ha de forraje, con un factor de propio uso del 50% se tienen 245.82 kg/ha de forraje utilizable. Si el requerimiento diario de forraje de una unidad animal (UA) es de 13.5 kg/ua/día considerando un período de 6 meses (180 días) se requeriría de 2400 kg de forraje por UA.

Bajo las condiciones del área de estudio, esta cantidad de forraje va a ser abastecida por 9.88 ha/ua, que es el coeficiente de agostadero para este rodal. Un procedimiento similar se siguió para los otros rodales. En el Cuadro 4 se presenta esta información.

Cuadro 4. Producción herbácea y coeficientes de agostadero de los rodales susceptibles de uso ganadero.

No.del Rodal	Rendimiento promedio (kg/ha)	Proporción de esp. forr. (%)	Coficiente de agostad. (ha/ua)
4	720.8	68.21	9.88
14	768.0	65.62	9.64
21	456.5	16.84	63.21

Puede notarse que el rodal 21 presenta condiciones más difíciles para la producción ganadera. Por un lado, su producción herbácea es comparativamente menor, así como su proporción de especies forrajeras, lo que provoca que tenga un c.a. de casi 6 veces mayor que los otros rodales.

El coeficiente para los dos primeros rodales es ligeramente menor al obtenido por Susano (1981) en Zoquiapan para sitios en condición buena. Sin embargo, son mayores al valor reportado por la COTECOCA (SARH, 1978) para bosques de pinos en esta región de Puebla-Tlaxcala en condiciones de pastizal definidas como buena. La condición de pastizal "buena" podría ser asumida para los rodales (4 y 14) en este estudio, pues la proporción de especies forrajeras se encuentra entre el 51 al 75% establecido para esta condición.

4.4 Valoración de los productos

Debido a la dificultad de obtener un precio directo del forraje porque no existe un mercado definido para su comercialización, se decidió estimar su precio en forma indirecta, esto es, en base a la única información disponible que podría ser valorada directamente: la cantidad de unidades animal que un rodal puede soportar de acuerdo con su producción forrajera; lo cual se obtuvo en base al c.a., de la siguiente manera:

Tomando nuevamente como referencia al rodal 4, cuya coeficiente es de 9.88 ha/UA (Cuadro 4) se asumió que el valor de esa superficie tiene el valor de una UA, que en este caso fue considerado de N\$ 1,890.00 (a razón de N\$ 4.20/kg de peso), de esto se tiene que 1 ha tendría un valor de N\$ 196.00, si esa hectárea produce un promedio 768.0 kg de hierba se sigue que cada kg de hierba tendrá un valor de N\$ 0.25.

Este precio de la hierba es el que debería usarse para valorar cada una de las opciones de manejo, sin embargo, con el fin de ponderar su verdadero valor se hicieron las siguientes consideraciones para "ajustarlo" a un valor más real.

Por un lado es comparativamente alto, pues el rastrojo de maíz tiene un valor aproximado de N\$ 0.460/kg pero también tiene un costo de producción que habría que descontar para tener su valor neto, suponiendo que este valor neto del rastrojo fuera la mitad de su valor de mercado, este sería de N\$ 0.23, por lo que es difícil pensar que el forraje obtenido en San Juan Tetla pudiera tener un valor neto de N\$ 0.25, dado que por un lado, actualmente no es demandado y por el otro, no se le está considerando ningún costo de producción. Aunque probablemente lo tenga implícito en el manejo silvícola del bosque que se dé al bosque, lo cual aquí no ha sido cuantificado.

Debe considerarse además, que se conoce poco de su calidad nutritiva y digestibilidad para el ganado por lo tanto, cabe pensar que en este momento su precio real sea más bajo que el estimado aquí.

Por otro lado, es seguro que el manejo de ganado en pastoreo en los rodales implica un costo adicional que disminuiría el beneficio neto del forraje en estas condiciones. Sin embargo, en este trabajo no se consideraron estos aspectos pues implican la inversión de más tiempo y recursos para su obtención, y no se plantearon entre los objetivos iniciales del presente trabajo.

Una segunda observación que se debe hacer sobre este precio, es que está sujeto a variaciones en función de: cambios futuros en la composición y producción herbáceas, lo cual afectaría al c.a. del rodal y por tanto al precio de la hierba, situación que puede darle un carácter inconsistente en el tiempo.

Finalmente, la consideración más importante para manejar un precio menor de la hierba es, el supuesto hecho en este trabajo sobre el período de pastoreo, que fue establecido en 180 días (6 meses), lo cual hace que la obtención de una UA a partir de un becerro en pastoreo se prolongue de 1.5 a 2 años (de tres a cuatro períodos de seis meses) por lo que para la valoración anual del forraje en este trabajo, el precio estimado se dividió entre cuatro para dejarlo finalmente en N\$ 0.065, que es el utilizado para calcular los beneficios del forraje en cada una de las opciones de manejo consideradas.

Cabe recordar que para valorar exclusivamente al forraje se obtuvo del rendimiento total, el porcentaje correspondiente a las especies forrajeras, que para el caso de la condición inicial definida fue de 65 %. La cantidad resultante se multiplicó por el precio mencionado para obtener el beneficio aportado por el forraje al valor de cada opción de producción combinada.

En el caso de la madera, solo se obtuvo su precio de mercado, que fue de N\$ 80.00/m³ de madera en pie, sin considerar la distribución de productos.

4.5. La red de opciones de manejo

4.5.1. Definición de la condición inicial

En esta parte solo se consideraron los dos rodales con buen potencial ganadero, cuyas características dasométricas (Cuadro 5) permitieron definir la condición inicial para las proyecciones.

Cuadro 5. Características dasométricas promedio de los rodales con buen potencial forrajero.

Rodal No.	Edad (años)	IS	AB (m ² /ha)	No. arboles (ind./ha)
4	75.3	30.53	37.48	194
14	73.6	24.20	28.96	180

Dada las características de la red, se decidió tomar los valores de densidad e IS más cercanos al rodal 4 como punto de partida para las proyecciones de diferentes niveles de producción combinada, ya que con las remociones de área basal asumidas será posible ubicar con mucha aproximación al rodal 14 cuya densidad es menor (por ejemplo, la densidad de este rodal se alcanza removiendo aproximadamente 10 m²/ha de area basal a partir de la condición inicial).

La edad se redondeó a 70 años por conveniencia práctica, debido a que el Simulador no hace proyecciones mayores de 100 años y en este trabajo se está considerando un horizonte de planeación de 30 años.

Los ajustes anteriores se hicieron para no sobreestimar la capacidad productiva de los rodales al hacer las proyecciones. De esta manera la condición inicial quedó como sigue:

Edad: 70 años.
IS: 29.5
Area basal: 37.5 m²/ha
No. de ind. 194

4.5.2. Proyecciones de crecimiento y rendimiento

Con las variables iniciales anteriores se proyectó la producción maderable y herbácea de cada opción generada por la remoción de 5 m²/ha de área basal sobre la condición inicial (simulando diferentes intensidades de aclareos) hasta llegar a una área basal de alrededor de 10 m²/ha. Es decir, no se consideró el tratamiento silvícola de matarrasa como alternativa (dado que la función de producción herbácea no incluye la condición de cero AB), sino solo al final del período de planeación, es decir, a los 100 años de edad.

De este modo, al inicio de la primera década (70 años) se tuvieron 6 opciones (niveles de producción combinada) que fueron proyectadas a la siguiente década (80 años de edad), las cuales a su vez generaron otras 27 opciones, que fueron proyectadas a la edad de 90 años, donde se volvieron a generar otras 93 opciones. De tal manera que a los 100 años de edad se llegaron con 93 opciones de producción proyectadas para el rodal 4. Sin embargo, el rodal 14 dada su menor densidad, solo puede generar 4 opciones en la primera década, 14 en la segunda y 32 en la tercera, por lo

que a los 100 años de edad llega con 32 opciones proyectadas. Los rendimientos de cada opción de manejo fueron valorados en base a su Valor Presente Neto (VPN).

4.5.3. Valoración de las opciones de manejo

El beneficio aportado por cada producto fue calculado de la siguiente manera:

Madera: Al inicio de cada período de proyección se contabilizó únicamente el valor del volumen removido para llegar a esa opción. A la edad de 100 años el volumen contabilizado fue el volumen en pie, que se supone sería removido con la matarrasa. No se consideró ningún costo de producción en las remociones de volumen, porque como ya se indicó se asume que la madera es vendida en pie.

Forraje: en este caso el cómputo fue ligeramente diferente por el hecho de que su valor se contabilizó anualmente, asumiendo que era posible obtener el beneficio por pastoreo en los 10 años de cada período. Para esto se cuantificó el valor del forraje al inicio de la década (valor actual) y el valor del forraje a lo largo de todo el período. Este último fue obtenido multiplicando por 10 el valor futuro (valor al final del período) para obtener el beneficio del forraje en cada una de las opciones proyectadas.

Se decidió tomar el rendimiento final de cada período (que es un rendimiento menor por el incremento en área basal en 10 años) como el rendimiento "constante" obtenido anualmente a lo

largo de la década, para no sobrevalorar el beneficio aportado por el forraje, ya que es evidente que en los últimos años del período la producción herbácea es menor que la de los primeros años, por el incremento de la densidad. Obviamente, para la edad de 70 años solo se cuantificó el valor actual, es decir, no se multiplicó por 10 como en los otros casos.

Sumando los beneficios individuales de cada producto se calculó el VPN a una tasa de interés constante de 6%. El valor de t en cada período de proyección varió de la siguiente forma: $t=1$ al inicio de la primera década, $t=10$ al final de la primera e inicio de la segunda, $t=20$ al final de la segunda e inicio de la tercera y $t=30$ al final de la tercera.

Los resultados obtenidos en este punto para cada opción y en cada período se incluyen en el Apéndice B-1, donde la última columna muestra el VPN acumulado para cada ruta posible de la red de modo que, bajo este criterio, es posible observar el valor generado por cada una de las opciones de manejo hasta el final del horizonte de planeación.

4.5.4. Definición de la secuela de manejo

La secuela óptima de manejo para los dos rodales se definió seleccionando la ruta de opciones que al final del horizonte de planeación presentara el mayor VPN acumulado, y de acuerdo con las consideraciones económicas hechas en este trabajo, la secuela que maximiza este valor es el siguiente:

Edad	70	80	90	99
AB remanente	12.47	9.3	10.24	10.95

Graficamente esta secuela se muestra en la Figura 4.1.

Debe notarse que, dadas las características de la red, esta misma secuela es aplicable al rodal 14, pues aún con una densidad menor su mayor VPN acumulado coincide con la secuela del rodal 4.

Quizás la única reserva que se debe tener acerca del rodal 14 es que por su menor calidad de sitio sus rendimientos proyectados (y consecuentemente sus VPN's) pudieran ser menores, sin embargo, se esperarían cambios considerables en el valor de los productos de este rodal si su estructura y edad fueran drásticamente diferentes a los del rodal 4, lo cual no ocurre por lo que se espera que sus rendimiento ante este régimen sean similares.

De acuerdo con el valor de las proyecciones, las alternativas de no intervención silvícola o de aclareos ligeros, reeditúan ahora poco valor para los rodales, aunque en el futuro su valor es mayor, dado que maximizan el volumen en pie que será aprovechado al final del horizonte de planeación.

Evidentemente, la secuela anterior sugiere la conveniencia de aplicar aclareos fuertes a estos rodales, lo cual, indica que la tasa de crecimiento del arbolado es menor a la tasa de interés utilizada en la valoración, esto es, que los incrementos del arbolado serán cada vez menos redituables económicamente.

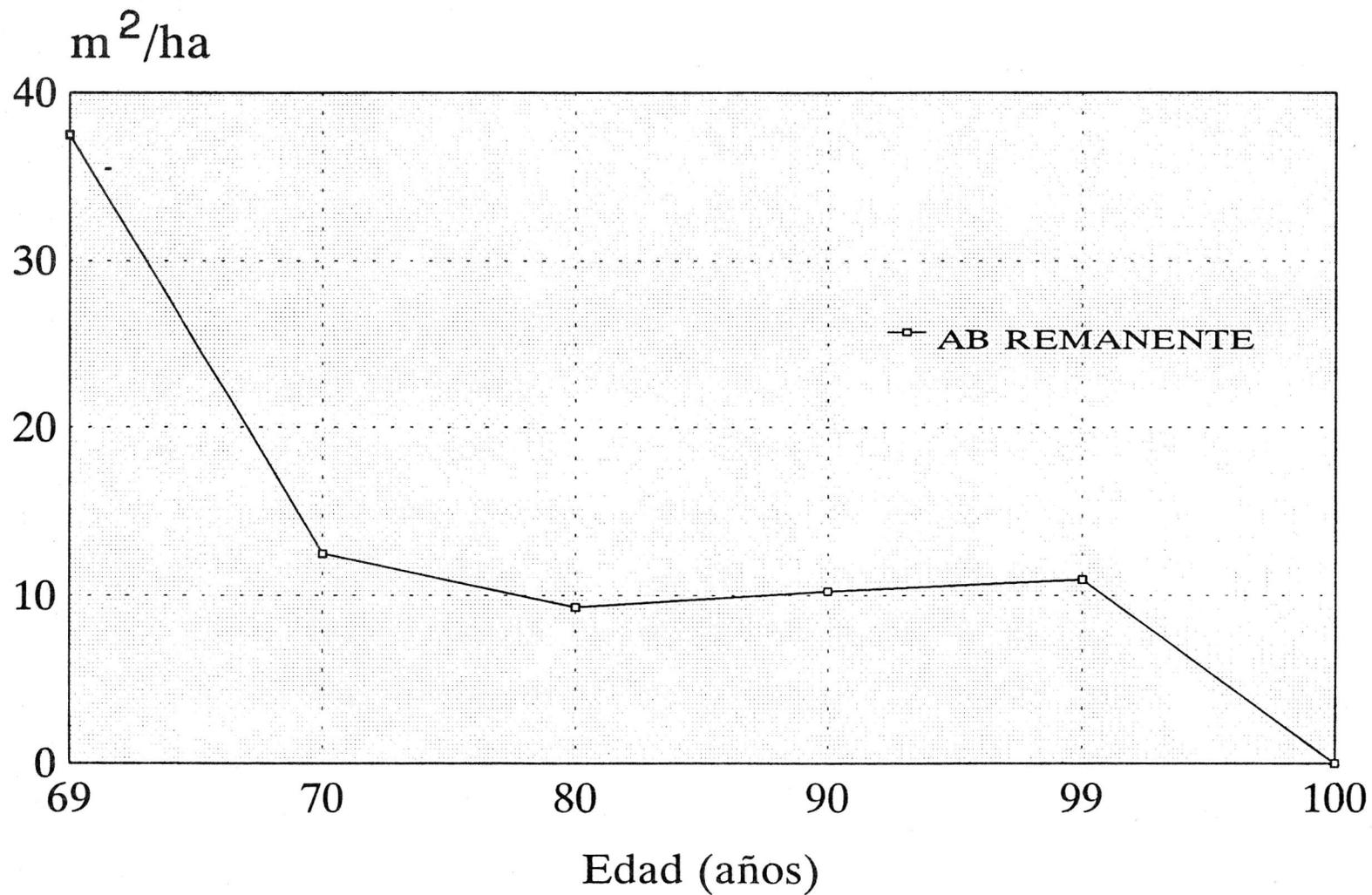


Figura 4. Secuela de manejo combinado que maximiza el valor presente neto

Es notable también en esta secuela que el mayor VPN ocurre al inicio del horizonte de planeación, es decir, a la edad de 70 años ya que partiendo de densidades altas (37.5 y 28.9 m²/ha AB), se extrae la mayor parte del AB, llegando a una densidad relativamente baja en el primer período (12.5 m²/ha). En tanto que en los períodos subsecuentes las remociones de son menores (debido a la restricción impuesta sobre el mínimo de AB remanente), generando VPN's comparativamente más bajos.

Aún así, esta parte inicial determina en gran medida, el mayor VPN acumulado al final del horizonte de planeación por esta secuela, reflejando así la necesidad de aplicar los aclareos a estos rodales en el corto plazo, para así obtener el máximo beneficio de ellos en el período planeado.

Con la idea de observar los valores de cada producto individual (madera y forraje) y compararlos con los de la producción combinada, se calculó el VPN generado separadamente por cada uno de ellos en las opciones evaluadas.

En los Apéndices B-2 y B-3 se muestran los VPN's obtenidos en cada período y los acumulados a lo largo del horizonte de planeación para cada una de las secuelas consideradas y en la gráfica del Apéndice C-2 se observan los VPN's promedios y acumulados de la secuela óptima en cada caso.

Se puede observar que para la producción combinada y de madera las tendencias y los valores son muy similares. Esto

significa, que la secuela óptima de producción combinada está determinada, en gran medida por la madera, y que el forraje tiene una aportación muy pequeña.

Lo anterior se debe entender en el sentido de que el forraje, en estas condiciones, es un producto adicional que prácticamente no tiene costo de producción y que no está valorado debidamente por su escasa demanda, es decir, su aportación a la producción combinada será mayor en la medida que sea un producto mejor valorado en el contexto de la producción forestal.

Aún así, es evidente que es un producto que genera retornos positivos y que tiene un valor relativo muy alto en comparación con la madera, solo que en este caso debido a las características del arbolado, la madera genera mayor valor absoluto por la extracción de grandes cantidades de área basal.

Es claro que en los tres casos, siempre la mejor alternativa es extraer más AB pues reditúa mayores VPN's, lo cual indica que mantener los rodales en las condiciones actuales resulta poco provechoso pues su crecimiento ya no es suficientemente bueno.

Este resultado, es razonable si se considera que la madera y el forraje son productos complementarios es decir, a medida que se incrementa la producción maderable (remoción de AB) lo hace también la producción herbácea, especialmente en bosques como los de San Juan Tetla, que son maduros, muy densos, poco perturbados y que se encuentran en una fase de sucesión muy avanzada (veáse Rzedowsky et al., 1977). Por ello, los aclareos intensos tendrían

el efecto de una perturbación fuerte que desencadenaría la sucesión secundaria con el marcado incremento de los estratos arbustivo y herbáceo.

Por otro lado, el hecho de que el forraje como producto individual "mantenga" la misma secuela de manejo que la madera y la producción conjunta, puede tener un significado especial. Esto es, que la tasa de crecimiento del forraje es suficientemente alto como para representar mejor opción que mantener al arbolado creciendo en las condiciones actuales.

Esto significa que aún si se aprovechara únicamente el forraje en estos rodales, lo más conveniente es aplicarles aclareos fuertes para promover el crecimiento de la hierba. Nuevamente, esto es debido a la madurez y densidad del arbolado en estos rodales (que hacen que su costo de oportunidad sea actualmente bajo).

Una situación diferente podría esperarse si se tratara de arbolado joven con crecimientos mayores, que en un momento dado no justificarían las cortas inmediatas (por el mayor costo de oportunidad de la madera), sacrificando consecuentemente a la producción herbácea.

En resumen, para el caso de este trabajo, los aclareos fuertes son la mejor opción de manejo para estos rodales bajo cualquier criterio de producción individual o conjunto, pero resulta obvio que comparativamente, la producción combinada de madera y forraje es la que genera el mayor valor del recurso.

4.5.5. Comentarios finales

Independientemente de los resultados obtenidos en el presente estudio, una ventaja del esquema utilizado es que, por un lado, permite ubicar rápidamente en un plan de manejo definido, a cualquier rodal del CEF cuyas características dasométricas sean aproximadas a las de algún punto de la red y por el otro, permite evaluar opciones de producción periódicas que no impliquen la extracción de volúmenes excesivos de madera cuando por alguna razón esto no sea necesario, por ejemplo, si las condiciones de mercado no son adecuadas. En otras palabras, facilita la toma de decisiones y permite regular los niveles adecuados de producción conjunta de los dos productos en las condiciones del CEF.

5. CONCLUSIONES.

La relación inversa entre la densidad del estrato arbóreo y la producción herbácea reportados en la literatura, se reafirmó en este estudio, indicando una clara influencia del estrato arbóreo sobre la producción herbácea en estos bosques.

Dado que la inclusión del IS en el modelo de producción herbácea, no mejoró sustancialmente el ajuste del mismo, se descartó como otra variable explicatoria más.

El modelo no lineal ajustado describió adecuadamente la relación entre la producción herbácea y el área basal de los rodales de *P. montezumae* y su validación reportó resultados aceptables.

De los 7 rodales considerados en el estudio solo 2 presentan aptitud para uso ganadero actual, siendo sus características dasométricas y de producción herbácea similares.

Su rendimiento promedio de hierbas es de 700 kg/ha de las cuales el 65% corresponde a especies forrajeras y tienen un coeficiente de agostadero promedio de 9.7 ha/ua.

La secuela de manejo definido para estos rodales sugiere que los aclareos fuertes (12 m²/ha de AB remanente) generan el mayor beneficio combinado de madera y forraje en el horizonte de planeación considerado.

Debido a que la tasa de crecimiento del arbolado es menor al 6 % considerado en la valoración, la mejor opción de manejo combinado o individual es, mantener al bosque en un nivel mínimo de densidad (alrededor de 10 m²/ha de AB).

Los precios obtenidos de la madera y estimados para el forraje permitieron valorar objetivamente cada opción de manejo aunque con ciertas reservas.

La producción combinada de madera y forraje es la mejor opción para los dos rodales mencionados y puede serlo, con algunas prácticas silvícolas adicionales, para los otros rodales incluidos en el estudio.

5.1. Recomendaciones

Con la finalidad de mejorar el desarrollo futuro de este trabajo se considera conveniente tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

Por el momento debe tomarse con cierta reserva el punto referente al nivel de densidad óptima en cada período, por dos razones, 1) El modelo de producción herbácea no es todavía el definitivo pues debe reforzarse con información de otras épocas del año y ampliar los niveles de AB incluidos en la muestra, y 2) El precio estimado del forraje debe precisarse más en términos de demanda y costos de producción para darle un mejor significado económico a la valoración conjunta.

Estos dos aspectos inciden de manera importante sobre los resultados finales de las proyecciones, por lo que deben valorarse adecuadamente.

Otro aspecto que se debe considerar inmediatamente es la necesidad de sistematizar el procedimiento utilizado en las proyecciones y en los cálculos del valor de cada alternativa, mediante un sistema de cómputo que permita incluir otras variables económicas que hagan más eficiente y dinámica la evaluación de la producción combinada de madera y forraje, de acuerdo con las condiciones de mercado. Por ejemplo, se recomienda incorporar el Análisis de sensibilidad como parte del sistema.

6. LITERATURA CITADA

- Acosta, M.M. 1991. Modelo de crecimiento para *Pinus montezumae* Lamb. en el CEF San Juan Tetla, Puebla. Tesis de Maestría. DiCiFo-UACH. Chapingo, Méx. 88 p.
- Alvarado, C.E., Mendoza, B.M. y Sotres, R.D.A. 1991. Ecuaciones de biomasa para estimar la carga de combustibles vivos del sotobosque en rodales de *Pinus montezumae* Lamb. Agrociencia. Serie Recursos Naturales Renovables. 1(1):113-127. enero-abril. Montecillo, Méx.
- Arnold, J.F. 1950. Changes in Ponderosa Pine-bunchgrasses Ranges in Northern Arizona resulting from pine regeneration and grazing. Journal of Forestry vol.48 February 1950. p.118-126.
- Beattie, B.R. and Taylor, C.R. 1985. The economics of production. John Wiley & sons, Inc. USA. 258 p.
- Bojorquez, T.L.A., Ffolliott, P.F. and Guertin, D.P. 1990. Herbage production-forest overstory relationships in two Arizona ponderosa pine forest. Journal of Range Management 43(1):25-28.
- Bonham, Ch. D. 1989. Measurements for terrestrial vegetation. John Wiley & Sons Inc. USA. p.31-36
- Boyás, D.J.C. 1978. Contribución al conocimiento de la flora fanerogámica del CEF San Juan Tetla, Pue. Tesis profesional. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Mor. 243 p.
- Brown, T.C. 1982. Monetary valuation of timber, forage and water yields from public forest lands. Gen. Tech. Report RM-95 USDA-Forest Service. 26 p.
- Coile, T. S. 1938. Forest classification: clasification of forest sites with special reference to ground vegetation. Journal of Forestry. 1062-1066.
- Cooper, C. F. 1960. Production of native and introduced grasses in the ponderosa pine region of Arizona. Technical Notes. Journal of Range Management. vol. 13
- Clary, W.P. y Ffolliott, P.F. 1966. Difference in herbage-timber relationships between thinned and unthinned Ponderosa Pine stands. USDA- Forest Service. Research Note RM-74 . 4 pp.

- Clary, W.P. 1975. Range management and its ecological basis in the Ponderosa Pine type of Arizona. The status of our knowledge. USDA-Forest Service. Research Paper RM-158. 35pp.
- Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H. & Bailey, R. L. 1983. Timber Management: A quantitative approach. John Wiley & Sons Inc. USA. pag.40-43.
- De Alba, J., González, M., Hernández, X., Sarukhán, J., Hernández, S. y Ramos, A. 1967. Metodología para determinar tipos vegetativos, sitios y productividad de sitios. Publicación No. 8 COTECOCA. México, D.F.
- Garcidueñas, M. A. R. 1987. Producción de biomasa y acumulación de nutrientes en un rodal de *Pinus montezumae* L. Tesis de Maestría. Programa Forestal Colegio de Postgraduados. Montecillo, Mex. 243 p.
- Glendening, G.E. 1951. Some factors affecting cattle use of northern Arizona pine-bunchgrass ranges. Research report No.6 Southwestern For. and Range Exp. Station. USDA-Forest service. 9 p.
- Hodgkins, E. J. 1960. Estimating Site Index for longleaf pine through quantitative evaluation of associated vegetation. Proceedings Am. For. Soc. pp.28-32
- Jameson, D.A. 1967. The relationships of tree overstory and herbaceous understory vegetation. Technical Notes. Journal of Range Management 20:247-249.
- , 1970. Juniper root competition reduces basal area of blue grama. Tech. Notes. Journal of Range Management 23:217-218.
- Knoebel, B.R., H.E. Burkhart y D.E. Beck. 1986. A growth and yield model for thinned stands of yellow poplar. For. Sci. Monograph. No.27. 62 p.
- May N. A. 1971. Estudio fitoecológico del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Estado de Puebla, México. Tesis profesional. IPN-ENCB. 130 p.
- Magaña, T.O., Torres, R.J.M. y Acosta, M.M. 1993. Simulador de crecimiento para *Pinus montezumae* Lamb. En: Memoria del I Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Saltillo, Coah. 109 p.
- McConnell, B.R. y Smith, J.G. 1970. Response of understory vegetation to ponderosa pine thinning in eastern Washington. Journal of Range Management. 23:208-212.

- Moore, M.M. y Deiter, D.A. 1992. Stand density index as a predictor of forage production in Northern Arizona pine forests. *Journal of Range Management* 45(3):267-271.
- Pearse, P.H. 1990. *Introduction to Forestry economics*. Univ. of British Columbia Press. Vancouver, Can. 226 p.
- Pearson, H.A., Mann, J.F. and Howard, D.A. 1971. Timing use of cool- and warm-season grasses on pine ranges. Management notes. *Journal of Range Management*. 24:162-163.
- Pearson, H.A. 1972. Estimating cattle gains from consumption of digestible forage on ponderosa pine ranges. *Journal of range Management*. 25:18-20.
- Pearson, H.A., Lewis, C.E. and Hall, F.C. 1989. Effects of timber management practices on range. In: Burns, R.M. Tech. compiler. *The scientific basis for silvicultural and management decisions in the National Forest System*. Gen. Tech. Report WO-55. USDA- Forest Service. 180 p.
- Pieper, R.D. 1990. Overstory-understory relations in pinyon-juniper woodlands in New Mexico. *Journal of Range Management* 43(5):413-415.
- Rodríguez, F. C. y Ortiz, S. C. 1982. Levantamiento de suelos del Campo Experimental Forestal "San Juan Tetla", Puebla. *Ciencia Forestal*. vol. 7 no. 40 México.
- Rodríguez, F. R.M. 1988. Obtención de beneficios combinados de pastoreo y madera en bosques naturales de *Pinus hartwegii* L. Tesis profesional. DiCiFo-UACH. Chapingo, Méx. 53 p.
- Rzedowsky, J., Vela, G. L. y Madrigal, S. X. 1977. Algunas consideraciones acerca de la dinámica de los bosques de coníferas en México. *Ciencia Forestal*. 5(2):15-35.
- Scanlan, J.C. 1992. A model of woody-herbaceous biomass relationships in eucalypt and mesquite communities. *Journal of Range Management* 45(1):75-80.
- Scifres, C.J., Mutz, J.L., Whitson, R.E. y Drawe, D.L. 1982. Interrelationships of Huisache canopy cover with range forage on the coastal prairie. *Journal of Range Management* 35(5):558-562.
- SARH. 1978. Comisión Técnica Consultiva para la Determinación Regional de Coeficientes de Agostadero. Puebla-Tlaxcala. 164p.

Stoddart, L.A., Smith, A.D. y Box, T.W. 1975. Range Management. Third edition. McGraw-Hill Book Company. U.S.A. 532 p.

Susano, H.R. 1977. Estudio ecológico, productividad forrajera y uso ganadero de los terrenos forestales del ejido de Coajomulco Mpio. de Huitzilac, Mor. Ciencia Forestal 10(2):31-44. México.

----- . 1981. Efectos del pastoreo de bovinos sobre la dinámica de la vegetación herbácea de *Pinus hartwegii* Lind. Tesis profesional. DEISZ-UACH. 110 p.

----- . 1985. Principales plantas potencialmente tóxicas para la ganadería de la zona de Zoquiapan, Edo. de México. Ciencia Forestal 10(53):3-18. México.

APENDICE A.

Composición florística y clasificación de especies encontradas en 7 rodales de *Pinus montezumae* L. en el CEF "San Juan Tetla".

Especie	Familia	Clasificación*
1.- <i>Valeriana</i> sp.	Valerianaceae	NF**
2.- <i>Salix paradoxa</i>	Salicaceae	I
3.- <i>S. oxylepis</i>	"	I
4.- <i>Rubus pringlei</i>	Rosaceae	NF
5.- <i>Alchemilla procumbens</i>	"	NF
6.- <i>Cestrum</i> sp.	Solanaceae	NF
7.- <i>Physalis orizabae</i>	"	NF**
8.- <i>Solanum</i> sp.	"	NF
9.- <i>Senecio</i> sp.	Compositae	NF
10.- <i>S. angulifolius</i>	"	NF
11.- <i>S. barbajohanis</i>	"	NF
12.- <i>S. sineraroides</i>	"	NF
13.- <i>S. callosus</i>	"	NF
14.- <i>Archibacaris</i> sp.	"	NF
15.- <i>Bacharis conferta</i>	"	I
16.- <i>Eupatorium glabratum</i>	"	I
17.- <i>Gnaphalium</i> sp.	"	NF
18.- <i>Stevia monaerdifolia</i>	"	NF
19.- <i>Brikellia nutans</i>	"	NF**
20.- <i>Cirsium jorullensis</i>	"	NF
21.- <i>Muhlenbergia macroura</i>	Gramineae	F
22.- <i>Brachipodium mexicanum</i>	"	F
23.- <i>Bromus anomalus</i>	"	F
24.- <i>Trisetum virletti</i>	"	F
25.- <i>Galium aschenbornii</i>	Rubiaceae	NF
26.- <i>Symphoricarpos microphyllus</i>	Caprifoliaceae	NF**
27.- <i>Fuchsia microphylla</i>	Onagraceae	NF
28.- <i>Ribes ciliatum</i>	Saxifragaceae	NF
29.- <i>Stellaria cuspidata</i>	Caryophyllaceae	I
30.- <i>Arenaria bryoides</i>	"	NF**
31.- <i>Alnus firmifolia</i>	Betulaceae	NF**
32.- <i>Lupinus mexicanus</i>	Leguminoseae	F
33.- <i>Geranium</i> sp.	Geraniaceae	NF
34.- <i>Salvia</i> sp.	Labiatae	I
35.- <i>S. pruneloides</i>	"	I
36.- <i>S. elegans</i>	"	I
37.- <i>Vaccinium geminiflorum</i>	Ericaceae	NF**
38.- <i>Pernetia ciliata</i>	"	NF
39.- <i>Buddleya cordata</i>	Loganiaceae	NF**
40.- <i>Sibtorpia pichichensis</i>	Scrophulariaceae	NF**

* F=Forrajera; NF=No forrajera; I= Invasora

** Especies clasificadas arbitrariamente por no encontrar información acerca de su uso en alimentación animal

APENDICE B-1

VALOR PRESENTE NETO (N\$) DE LAS SECUELAS DE MANEJO PARA LA
 PRODUCCION CONJUNTA DE MADERA Y FORRAJE
 EN EL CEF SAN JUAN TETLA, PUE.

Edad	70	80	90	100	VPN (Acumul)
16.70214		81.20451	37.44355	13423.46	13558.81
16.70214		81.20451	1968.296	12028.13	14094.34
16.70214		81.20451	3893.697	10638.85	14630.45
16.70214		81.20451	5813.498	9256.412	15167.81
16.70214		81.20451	7726.525	7882.069	15706.50
16.70214		81.20451	9631.633	6516.864	16246.40
16.70214		81.20451	11526.46	5162.459	16786.82
16.70214		81.20451	13404.95	3996.009	17498.87
16.70214		3393.132	45.23770	11813.81	15268.88
16.70214		3393.132	1969.908	10425.52	15805.26
16.70214		3393.132	3888.782	9044.252	16342.86
16.70214		3393.132	5800.672	7671.130	16881.63
16.70214		3393.132	7704.613	6307.578	17422.02
16.70214		3393.132	9597.062	4954.836	17961.73
16.70214		3393.132	11472.59	3836.675	18719.10
16.70214		7064.22	56.37735	10038.07	17175.37
16.70214		7064.22	1973.111	8658.863	17712.89
16.70214		7064.22	3883.162	7288.417	18252.50
16.70214		7064.22	5784.163	5927.658	18792.74
16.70214		7064.22	7672.916	4583.209	19337.04
16.70214		7064.22	9541.772	3547.052	20169.74
16.70214		9985.529	67.60310	8631.414	18701.24
16.70214		9985.529	1977.451	7260.999	19240.68
16.70214		9985.529	3878.239	5900.568	19781.03
16.70214		9985.529	5766.487	4562.379	20331.09
16.70214		9985.529	7634.993	3526.448	21163.67
16.70214		13262.12	83.06995	7061.805	20423.69
16.70214		13262.12	1982.364	5702.834	20964.02
16.70214		13262.12	3868.280	4410.798	21557.90
16.70214		13262.12	5732.978	3375.674	22387.47
16.70214		16519.44	101.1240	5513.567	22150.83
16.70214		16519.44	1984.633	4265.529	22786.30
16.70214		16519.44	3845.443	2834.037	23215.62
16.70214		19746.81	119.2842	3988.270	23871.06
16.70214		19746.81	1975.895	3092.884	24832.29
5663.224		100.503	47.39511	11429.94	17241.06
5663.224		100.503	1970.569	10043.47	17777.77
5663.224		100.503	3887.543	8664.400	18315.67
5663.224		100.503	5797.585	7293.805	18855.11
5663.224		100.503	7698.579	5933.056	19395.36
5663.224		100.503	9587.333	4587.333	19938.39
5663.224		100.503	11456.20	3551.203	20771.13
5663.224		3399.857	57.86649	9833.425	18954.37

5663.224	3399.857	1973.680	8455.532	19492.29
5663.224	3399.857	3882.580	7086.307	20031.96
5663.224	3399.857	5782.095	5727.310	20572.48
5663.224	3399.857	7668.275	4429.421	21160.77
5663.224	3399.857	9533.329	3394.253	21990.66
5663.224	6687.237	71.04622	8252.248	20673.75
5663.224	6687.237	1978.541	6884.513	21213.51
5663.224	6687.237	3876.539	5526.987	21753.98
5663.224	6687.237	5760.313	4275.887	22386.66
5663.224	6687.237	7621.190	3241.400	23213.05
5663.224	9959.774	87.20844	6688.435	22398.64
5663.224	9959.774	1983.400	5332.481	22938.87
5663.224	9959.774	3864.433	4126.583	23614.01
5663.224	9959.774	5721.043	3092.884	24436.92
5663.224	13211.36	105.6283	5146.291	24126.50
5663.224	13211.36	1984.089	3983.590	24842.26
5663.224	13211.36	3836.131	2950.483	25661.19
5663.224	16428.88	123.0193	3627.385	25842.50
10905.69	123.4415	59.69702	9590.384	20679.21
10905.69	123.4415	1974.412	8213.868	21217.41
10905.69	123.4415	3881.722	6846.319	21757.17
10905.69	123.4415	5779.510	5489.233	22297.87
10905.69	123.4415	7662.744	4246.764	22938.63
10905.69	123.4415	9522.683	3212.450	23764.26
10905.69	3408.785	73.33563	8010.905	22398.71
10905.69	3408.785	1979.483	6644.847	22938.80
10905.69	3408.785	3875.213	5289.352	23479.04
10905.69	3408.785	5755.679	4093.464	24163.61
10905.69	6678.685	89.94545	6448.950	24123.27
10905.69	6678.685	1984.069	5095.002	24663.44
10905.69	6678.685	3861.675	3944.241	25390.29
10905.69	9925.686	108.4976	4911.850	25851.72
10905.69	9925.686	1983.165	3803.530	26618.07
10905.69	13136.37	125.1910	3395.289	27562.54
16117.89	151.8691	75.69831	7769.740	24115.19
16117.89	151.8691	1980.235	6405.511	24655.50
16117.89	151.8691	3873.885	5051.877	25195.52
16117.89	151.8691	5750.896	3710.115	25730.77
16117.89	3419.077	92.70521	6212.544	25842.21
16117.89	3419.077	1984.438	4860.581	26381.98
16117.89	6661.774	111.3662	4674.941	27565.97
16117.89	6661.774	1982.066	3621.564	28383.29
16117.89	9864.943	127.1405	3163.607	29273.58
21294.18	184.8931	95.51118	5976.479	27551.06
21294.18	184.8931	1984.770	4626.578	28090.42
21294.18	3422.67	114.1142	4443.972	29274.93
21294.18	6618.109	128.8031	3444.610	31485.70
26423.02	217.3256	116.7821	4213.236	30970.36
26423.02	217.3256	1978.318	3266.189	31884.85
26423.02	3404.388	130.2053	2712.128	32669.74

APENDICE B-2

VALOR PRESENTE NETO (N\$) DE LAS SECUELAS
DE MANEJO PARA LA PRODUCCION MADERABLE
EN EL CEF SAN JUAN TETLA, PUE.

Edad (años)	70	80	90	100	VPN (acumul)
	0	0	0	13406.20	13406.20
	0	0	1924.209	12007.47	13931.67
	0	0	3841.434	10613.89	14455.32
	0	0	5751.175	9226.026	14977.20
	0	0	7651.937	7844.845	15496.78
	0	0	9542.471	6471.186	16013.65
	0	0	11421.03	5106.859	16527.89
	0	0	13283.87	3930.292	17214.17
	0	3296.75	0	11792.54	15089.29
	0	3296.75	1916.227	10399.80	15612.78
	0	3296.75	3824.721	9012.915	16134.38
	0	3296.75	5723.986	7632.709	16653.44
	0	3296.75	7613.024	6260.443	17170.21
	0	3296.75	9489.090	4897.648	17683.48
	0	3296.75	11349.44	3769.553	18415.74
	0	6946.87	0	10010.91	16957.78
	0	6946.87	1905.750	8625.694	17478.31
	0	6946.87	3802.521	7247.717	17997.10
	0	6946.87	5688.066	5877.818	18512.75
	0	6946.87	7560.391	4523.102	19030.36
	0	6946.87	9415.255	3477.606	19839.73
	0	9847.85	0	8598.115	18445.96
	0	9847.85	1896.521	7220.138	18964.50
	0	9847.85	3781.817	5850.518	19480.18
	0	9847.85	5653.643	4502.070	20003.56
	0	9847.85	7508.257	3456.852	20812.96
	0	13097.7	0	7019.702	20117.40
	0	13097.7	1883.549	5651.336	20632.58
	0	13097.7	3753.131	4348.992	21199.82
	0	13097.7	5604.752	3305.028	22007.48
	0	16325.67	0	5460.650	21786.32
	0	16325.67	1867.336	4202.322	22395.32
	0	16325.67	3715.964	2762.500	22804.13
	0	19525.94	0	3923.745	23449.68
	0	19525.94	1845.385	3020.601	24391.92
5643.01		0	0	11407.55	17050.56
5643.01		0	1914.231	10016.34	17573.58
5643.01		0	3820.231	8631.265	18094.50
5643.01		0	5717.002	7253.149	18613.16
5643.01		0	7602.547	5883.250	19128.80
5643.01		0	9474.872	4527.281	19645.16
5643.01		0	11329.73	3481.784	20454.53

5643.01	3279.78	0	9805.464	18728.25
5643.01	3279.78	1904.503	8421.358	19248.65
5643.01	3279.78	3799.777	7044.356	19766.92
5643.01	3279.78	5683.576	5675.990	20282.35
5643.01	3279.78	7553.407	4367.796	20843.99
5643.01	3279.78	9405.277	3323.692	21651.76
5643.01	6543.49	0	8217.023	20403.52
5643.01	6543.49	1893.527	6841.274	20921.30
5643.01	6543.49	3775.581	5474.161	21436.24
5643.01	6543.49	5643.166	4212.768	22042.43
5643.01	6543.49	7491.794	3169.918	22848.21
5643.01	9788.43	0	6643.903	22075.34
5643.01	9788.43	1880.057	5278.183	22589.68
5643.01	9788.43	3745.148	4062.058	23238.64
5643.01	9788.43	5590.534	3020.601	24042.57
5643.01	13010.59	0	5090.562	23744.16
5643.01	13010.59	1862.846	3917.756	24434.20
5643.01	13010.59	3704.739	2877.552	25235.89
5643.01	16202.82	0	3560.343	25406.17
10881.5	0	0	9561.431	20442.93
10881.5	0	1903.006	8178.440	20962.94
10881.5	0	3796.284	6802.831	21480.61
10881.5	0	5678.088	5436.136	21995.72
10881.5	0	7545.175	4183.378	22610.05
10881.5	0	9393.055	3140.807	23415.36
10881.5	3261.02	0	7974.383	22116.90
10881.5	3261.02	1891.781	6600.027	22634.32
10881.5	3261.02	3771.340	5234.725	23148.58
10881.5	3261.02	5635.932	4028.629	23807.08
10881.5	6502.84	0	6402.795	23787.13
10881.5	6502.84	1877.812	5038.886	24301.03
10881.5	6502.84	3739.910	3878.059	25002.31
10881.5	9720.53	0	4854.329	25456.35
10881.5	9720.53	1859.603	3736.124	26197.75
10881.5	12907.4	0	3326.757	27115.65
16089.05	0	0	7731.882	23820.93
16089.05	0	1889.786	6359.059	24337.89
16089.05	0	3767.099	4995.428	24851.57
16089.05	0	5628.698	3643.637	25361.38
16089.05	3238.68	0	6164.752	25492.48
16089.05	3238.68	1875.318	4802.653	26005.70
16089.05	6452.36	0	4615.589	27156.99
16089.05	6452.36	1856.360	3552.682	27950.45
16089.05	9633.42	0	3093.728	28816.19
21260.37	0	0	5926.987	27187.35
21260.37	0	1872.823	4566.839	27700.03
21260.37	3209.2	0	4382.839	28852.40
21260.37	6384.46	0	3373.557	31018.38
26384.9	0	0	4150.367	30535.26
26384.9	0	1849.126	3194.851	31428.87
26384.9	3169	0	2640.066	32193.96

APENDICE B-3

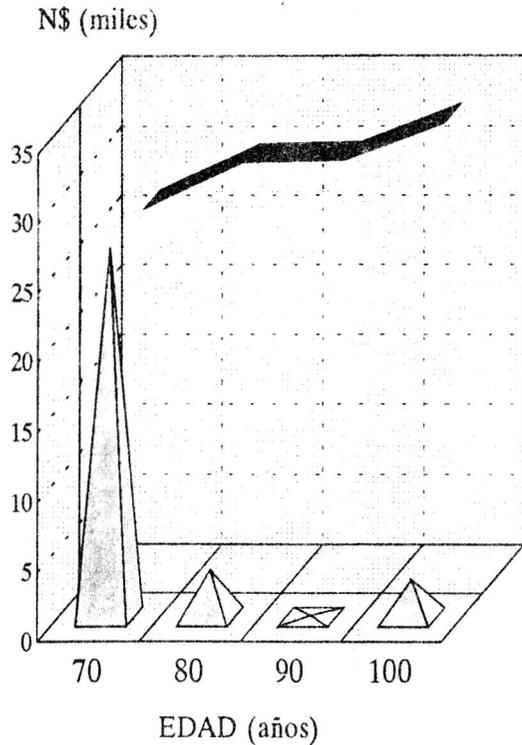
VALOR PRESENTE NETO (N\$) DE LAS SECUELAS
DE MANEJO PARA LA PRODUCCION DE FORRAJE
EN EL CEF SAN JUAN TETLA, PUE,

Edad	70	80	90	100	VPN (Acumul)
16.70214		81.2045	37.44355	17.26413	152.6143
16.70214		81.2045	44.08677	20.66948	162.6629
16.70214		81.2045	52.26371	24.95746	175.1278
16.70214		81.2045	62.32296	30.38600	190.6156
16.70214		81.2045	74.58842	37.22390	209.7189
16.70214		81.2045	89.16204	45.67891	232.7476
16.70214		81.2045	105.4298	55.60047	258.9369
16.70214		81.2045	121.0765	65.71691	284.7001
16.70214		96.36981	45.23770	21.26630	179.5759
16.70214		96.36981	53.68127	25.71498	192.4682
16.70214		96.36981	64.06148	31.33733	208.4707
16.70214		96.36981	76.68590	38.42045	228.1783
16.70214		96.36981	91.58896	47.13522	251.7961
16.70214		96.36981	107.9717	57.18802	278.2317
16.70214		96.36981	123.1495	67.12159	303.3431
16.70214		117.3431	56.37735	27.15885	217.5814
16.70214		117.3431	67.36053	33.16943	234.5752
16.70214		117.3431	80.64108	40.70008	255.3864
16.70214		117.3431	96.09669	49.83998	279.9819
16.70214		117.3431	112.5246	60.10709	306.6770
16.70214		117.3431	126.5172	69.44590	330.0084
16.70214		137.6792	67.60310	33.29905	255.2835
16.70214		137.6792	80.93046	40.86177	276.1735
16.70214		137.6792	96.42263	50.04979	300.8537
16.70214		137.6792	112.8445	60.30925	327.5351
16.70214		137.6792	126.7352	69.59677	350.7133
16.70214		164.4205	83.06995	42.10239	306.2949
16.70214		164.4205	98.81450	51.49844	331.4355
16.70214		164.4205	115.1489	61.80648	358.0780
16.70214		164.4205	128.2260	70.64657	379.9952
16.70214		193.7732	101.1240	52.91648	364.5159
16.70214		193.7732	117.2977	63.20765	390.9807
16.70214		193.7732	129.4798	71.53616	411.4913
16.70214		220.8668	119.2842	64.52417	421.3773
16.70214		220.8668	130.5099	72.28224	440.3611
20.2056		100.503	47.39511	22.38825	190.4919
20.2056		100.503	56.33773	27.13105	204.1773
20.2056		100.503	67.31213	33.13418	221.1549
20.2056		100.503	80.58331	40.65609	241.9480
20.2056		100.503	96.03156	49.80506	266.5452
20.2056		100.503	112.4606	60.05191	293.2211
20.2056		100.503	126.4732	69.41827	316.6001

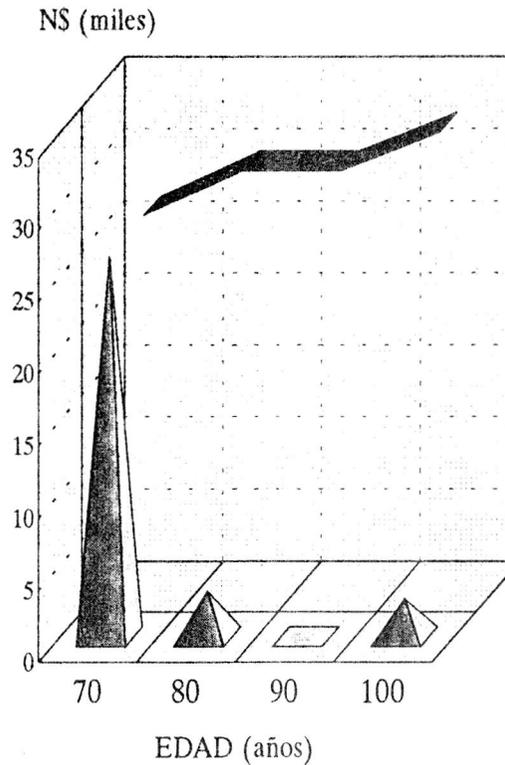
20.2056	120.0702	57.86649	27.96117	226.1034
20.2056	120.0702	69.17766	34.17406	243.6275
20.2056	120.0702	82.80363	41.95100	265.0304
20.2056	120.0702	98.51855	51.32044	290.1147
20.2056	120.0702	114.8680	61.62501	316.7688
20.2056	120.0702	128.0520	70.56028	338.8881
20.2056	143.7446	71.04622	35.22581	270.2222
20.2056	143.7446	85.01399	43.23905	292.2032
20.2056	143.7446	100.9587	52.82614	317.7350
20.2056	143.7446	117.1465	63.11870	344.2154
20.2056	143.7446	129.3962	71.48181	364.8282
20.2056	171.3369	87.20844	44.53184	323.2827
20.2056	171.3369	103.3427	54.29797	349.1832
20.2056	171.3369	119.2842	64.52417	375.3508
20.2056	171.3369	130.5099	72.28224	394.3346
20.2056	200.7676	105.6283	55.72936	382.3309
20.2056	200.7676	121.2429	65.83393	408.0501
20.2056	200.7676	131.3927	72.93069	425.2966
20.2056	226.057	123.0193	67.04202	436.3239
24.18974	123.4415	59.69702	28.95221	236.2804
24.18974	123.4415	71.40554	35.42780	254.4645
24.18974	123.4415	85.43738	43.48858	276.5572
24.18974	123.4415	101.4218	53.09736	302.1504
24.18974	123.4415	117.5688	63.38514	328.5852
24.18974	123.4415	129.6280	71.64339	348.9026
24.18974	147.7602	73.33563	36.52259	281.8081
24.18974	147.7602	87.70172	44.82024	304.4719
24.18974	147.7602	103.8730	54.62724	330.4501
24.18974	147.7602	119.7468	64.83455	356.5313
24.18974	175.8434	89.94545	46.15467	336.1332
24.18974	175.8434	106.2567	56.11646	362.4063
24.18974	175.8434	121.7647	66.18229	387.9801
24.18974	205.1501	108.4976	57.52102	395.3585
24.18974	205.1501	123.5621	67.40568	420.3077
24.18974	228.9697	125.1910	68.53205	446.8825
28.83891	151.8691	75.69831	37.85795	294.2642
28.83891	151.8691	90.44917	46.45204	317.6092
28.83891	151.8691	106.7852	56.44869	343.9419
28.83891	151.8691	122.1977	66.47751	369.3832
28.83891	180.3873	92.70521	47.79244	349.7238
28.83891	180.3873	109.1206	57.92812	376.2749
28.83891	209.4114	111.3662	59.35167	408.9682
28.83891	209.4114	125.7062	68.88174	432.8382
28.83891	231.5164	127.1405	69.87946	457.3753
33.81215	184.8931	95.51118	49.49160	363.7080
33.81215	184.8931	111.9467	59.73892	390.3909
33.81215	213.4635	114.1142	61.13334	422.5232
33.81215	233.6473	128.8031	71.05305	467.3156
38.11681	217.3256	116.7821	62.86895	435.0935
38.11681	217.3256	129.1917	71.33824	455.9723
38.11681	235.386	130.2053	72.06223	475.7703

APENDICE C-1

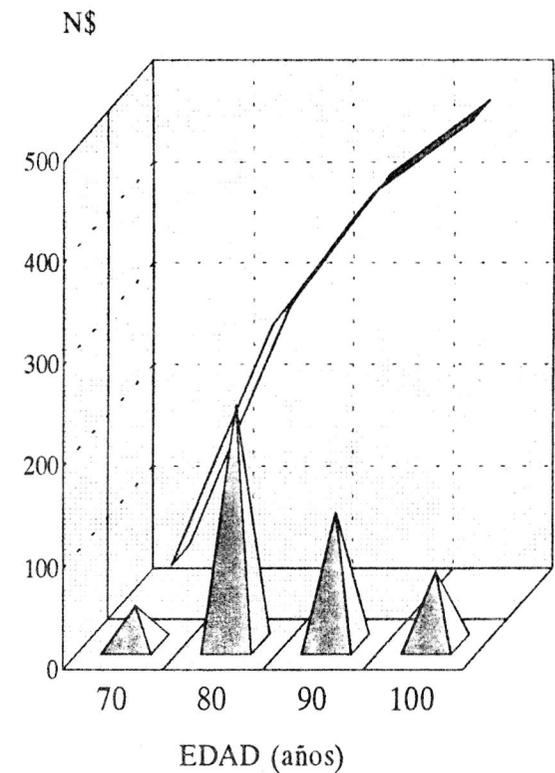
A) PRODUCCION COMBINADA
(MADERA Y FORRAJE)



B) PRODUCCION MADERABLE



C) PRODUCCION FORRAJERA



△ DECADA ■ ACUMULADO

Figura 5. Valor presente neto de la secuela óptima en el horizonte de planeación establecido

Apéndice C-2

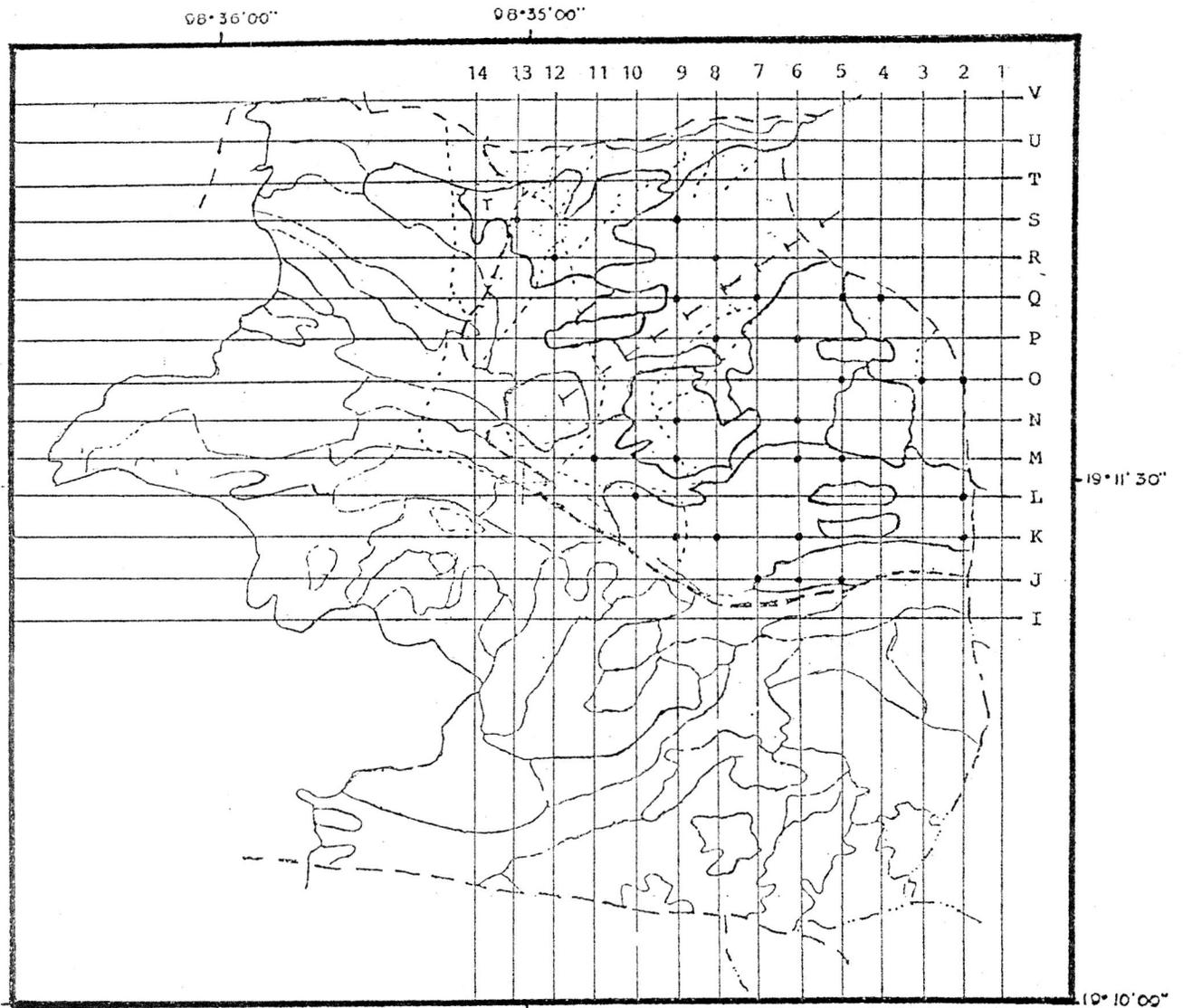


Figura 6. Ubicación de los puntos de referencia para las unidades de muestreo a la vegetación herbácea. (Rodalización para el Inventario Forestal 1992. INIFAP. C. E. Valle de México).