

# PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN PLANTACIONES FORESTALES DEL NORTE DE MÉXICO

Felipa de Jesús Rodríguez Flores<sup>1</sup>, José Ángel Prieto Ruiz<sup>2</sup>  
y José de Jesús Návar Cháidez<sup>3</sup>

## RESUMEN

La reforestación es importante para: la conservación de suelos, el restablecimiento del hábitat de la flora y la fauna, la recarga de los mantos acuíferos y la regulación del ciclo hidrológico, así como para la producción de oxígeno y la captura de carbono, entre otros efectos. La estimación de la biomasa en las áreas reforestadas es una forma de evaluar el amortiguamiento del cambio climático. En este contexto se midieron los parámetros dasométricos de los árboles plantados, el volumen de mantillo orgánico y necromasa, de 124 parcelas ubicadas en sitios degradados, incendiados o desprovistos de vegetación; se trabajó con 10 especies de pinos nativos en su mayoría, dos de las cuales están consideradas en la NOM 059 SEMARNAT 2001. El estudio se llevó a cabo en la Sierra Madre Oriental y en la Sierra Madre Occidental, en los estados de Durango, Coahuila y Nuevo León. Se estimaron los componentes de biomasa por árbol y parcela mediante ecuaciones alométricas desarrolladas para este propósito; se obtuvieron curvas de productividad de biomasa con el ajuste de modelos no lineales. Los resultados indican las potencialidades diferenciales de las especies y de los sitios para producir biomasa, a fin de recomendar su incorporación a programas de captura de carbono.

**Palabras clave:** Coahuila, Durango, Nuevo León, productividad de biomasa, reforestación, sitios degradados.

Fecha de recepción: 13 de mayo de 2005.

Fecha de aceptación: 29 de noviembre de 2005.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo-e: jesu\_rgz@hotmail.com

<sup>2</sup> Campo Experimental Valle del Guadiana, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

## ABSTRACT

Reforestation is important in soil conservation, as well as in the flora and fauna habitat restoration, aquifer recharge, hydrological cycle regulation, oxygen production and carbon sequestration, among other effects. Biomass estimation in reforested sites is a means to assess the climate change buffering. In this context, dasometric parameters of planted trees were measured as well as litter and necromass volume of 124 reforested sites located in degraded or, burned areas, or without any trees; 10 tree native species were assessed, two of which are listed in the Mexican red conservation book (NOM 059 SEMARNAT 2001). The research was carried out in the Mexican states of Durango, Coahuila, and Nuevo Leon on the territories that belong to the western and eastern Sierra Madre mountain ranges. Biomass components at tree and site level were estimated through allometric equations derived for this purpose; productivity curves by fitting non linear models to biomass and age of reforestation were obtained. Results show biomass productivity by site and species with the aim to recommend them for carbon sequestration programs.

**Key words:** Coahuila, Durango, Nuevo Leon, biomass productivity, reforestation, degraded sites.

## INTRODUCCIÓN

México es un país con un alto potencial para el desarrollo de plantaciones forestales, pues se estima que existen 8.1 millones de hectáreas con gran variabilidad de climas y suelos que pueden alcanzar altos valores de productividad (CONAFOR, 2004).

Si bien el aumento de la demanda de fibras, celulosa y de los derivados de madera ha propiciado la incorporación de especies de rápido crecimiento, los programas gubernamentales nacionales y los esfuerzos locales tienden a realizar plantaciones en ecosistemas forestales degradados, incendiados y que por causas antropogénicas y/o naturales están perdiendo su eficiencia productiva (Mesera, 1996).

Este tipo de reforestaciones desempeña un papel importante en la captura de bióxido de carbono a través de la acumulación de la biomasa de hojas, ramas, fuste, raíces, mantillo orgánico, necromasa y suelos, pues almacenan el carbono y disipan el oxígeno hacia la atmósfera en el proceso fotosintético (Brown, 1997). Lo anterior sucede a una tasa mayor que el ecosistema natural por sus características de alta densidad a los 10-15 años de edad y por la pronta disponibilidad de planta, en contraste con la regeneración natural (Návar *et al.*, 2001).

En México existen pocos estudios de producción de biomasa en plantaciones forestales o en sitios reforestados y en consecuencia de los servicios ambientales que proporcionan (Návar *et al.*, 2004). Sin embargo, con los incentivos gubernamentales nacionales e internacionales que se están otorgando por conducto de los instrumentos económicos como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) propuesto en el Protocolo de Kyoto, el Banco Mundial y las propuestas de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC) se abre la posibilidad de establecer plantaciones forestales, reforestar sitios degradados, y realizar prácticas de forestación, entre otros, con fines de captura de bióxido de carbono y de amortiguamiento del cambio climático que resultan en el aprovechamiento sostenible del recurso forestal.

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de estimar los componentes de biomasa en la vegetación (hojas, ramas, fuste, raíces, mantillo orgánico y necromasa), de desarrollar curvas de productividad y recomendar especies para reforestar áreas en los cuales se proponga la densidad de biomasa con el propósito de establecer proyectos de servicios ambientales en el norte de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en sitios reforestados de la Sierra Madre Occidental en Durango, y de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León y Coahuila, México (Figura 1).

La información se obtuvo de 38 parcelas de Durango establecidas para restauración y protección. En Nuevo León se tomaron datos de 46 parcelas plantadas, con fines de investigación, dos de las cuales corresponden a ensayos de procedencia. En Coahuila, se levantaron de 40 parcelas en 8 áreas reforestadas en la Sierra de Zapalinamé. Las especies y localización de las plantaciones evaluadas se presentan en el Cuadro 1.

La mayor parte de las áreas reforestadas tienen características fisiográficas, climáticas y de suelos diferentes. El clima de las regiones del estado de Durango es templado frío, con precipitación y temperatura promedio anual de 900 mm y 15°C, respectivamente. Comprende varios tipos de suelo, de los cuales predominan cambisoles, litosoles, feozems y regosoles (González, 2001).

En las regiones estudiadas de Nuevo León prevalece el clima semiseco, con precipitación media anual de 600 mm y temperatura media anual de 17°C. Los suelos son someros del tipo litosol, rendzina y regosol calcáreo (Woerner, 1990).

Las áreas evaluadas en el estado de Coahuila se presentan en clima seco,

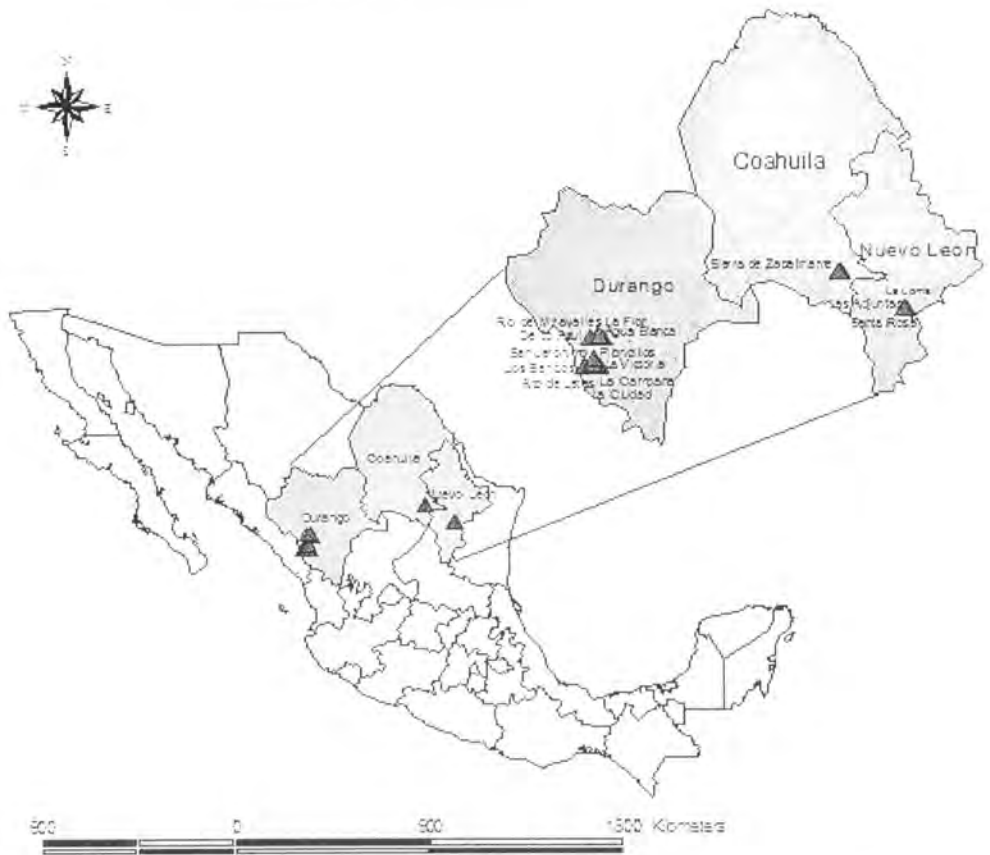


Figura 1. Ubicación de los sitios estudiados en el Norte de México.

con precipitación media anual de 350 mm y temperatura media anual de 18°C, respectivamente, y con suelo xerosol cálcico (Oviedo, 1980).

### Diseño de muestreo

Para este trabajo de investigación se consideraron las áreas reforestadas con edades entre uno y 43 años. Ahí se establecieron parcelas al azar de 20 x 20 m, que fueron delimitadas con cintas métricas Perfoparts de fibra de vidrio de 50 m con cruceta, cuya ubicación se registró mediante coordenadas geográficas utilizando el sistema de posicionamiento global (GPS Garmin 12XL). En cada

Cuadro 1. Especies y localización de las plantaciones muestreadas en el Norte de México.

Especie	Estado	Municipio	Predio	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Número de parcela		
<i>Pinus cooperi</i> Blanco	Durango	Pueblo Nuevo	La Campana	23°46'47"	105°32'30"	2780	4		
<i>P. engelmannii</i> Carr. y <i>P. durangensis</i> Mart.			San Jerónimo	23°50'24"	105°53'13"	2752	4		
<i>P. cooperi</i> Blanco			Los Bancos	23°41'39"	105°43'18"	2710	4		
			La Victoria	23°46'42"	105°32'30"	2780	6		
			Alto de Latas	23°43'43"	105°31'13"	2849	4		
			Piloncillos	23°44'34"	105°46'79"	2685	2		
<i>P. cooperi</i> Blanco, <i>P. arizonica</i> Engel. y <i>P. durangensis</i> Mart.			San Dimas	La Ciudad	23°77'46"	105°53'81"	2800	8	
<i>P. engelmannii</i> Carr.					Agua Blanca	24°25'27"	105°47'37"	2542	3
<i>P. cooperi</i> Blanco					Cielito Azul	24°21'53"	105°39'56"	2748	1
			Miravalles	24°20'04"	105°59'36"	2583	1		
	La Flor	24°26'28"	105°42'03"	2499	1				

continúa...

continuación Cuadro 1

<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.			Santa Rosa	24°41'56"	99°51'37"	1562	2
<i>P. nelsonii</i> Shaw., <i>P. pinceana</i> Gord & Glend., <i>P. cembroides</i> Zucc.			La Loma	24°42'25"	99°51'50"	1562	21
<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	Nuevo León	Iturbide	La Loma 1	24°41'59"	99°51'13"	1562	1
<i>Cupressus arizonica</i> Greene*			La Loma 1	24°41'59"	99°51'13"	1562	1
<i>P. nelsonii</i> Shaw., <i>P. pinceana</i> Gord. & Glend. y <i>P. cembroides</i> Zucc.*			Las Adjuntas	24°69'89"	99°86'03"	1562	21
<i>P. halepensis</i> Mill.	Coahuila	Saltillo	Area 1	25°32'14"	101°03'79"	1820	5
			Area 2	25°34'61"	101°01'59"	1780	5
			Area 8	25°34'41"	101°03'16"	1820	4
			Area 11	25°33'69"	101°01'82"	1820	6
			Area 13	25°33'39"	101°02'44"	1820	5
			Area 14	25°33'99"	101°03'25"	1820	5
			Area 15	25°34'32"	101°03'45"	1780	5
			Area 16	25°34'71"	101°01'84"	1871	5

\*Ensayo de procedencia.

una se determinó su exposición, la densidad forestal y la supervivencia de individuos por conteo de los árboles vivos, con respecto al total de los plantados originalmente. A todos se les midió el diámetro basal, con una forcípula de aluminio Haglöf con una graduación de 80 cm, la altura total y la cobertura de copas, que sólo fue a 10 individuos, utilizando una regla Hetsa de 50 cm y una cinta graduada Perforparts de 30 m.

Dentro de las parcelas se seleccionaron tres subparcelas (sitios) de 1 m<sup>2</sup> al azar, de donde se recolectó toda la biomasa acumulada (mantillo y necromasa al ras del suelo) y se pesó en balanza graduada digital Ohaus de 4100 g con precisión de 10 mg. Se tomó una muestra de ramas y hojarasca que se guardaron en bolsas de papel, y se llevaron al laboratorio para obtener el peso seco. Para lo cual se colocaron en una estufa eléctrica de la serie ORLS de 700 mm de ancho x 500 mm de alto, con temperatura de trabajo de 200 a 104°C para determinar la relación de peso seco y peso húmedo, y con ello, el contenido de biomasa seca en cada compartimiento. En la estimación de la biomasa por componentes, se utilizaron las ecuaciones alométricas citadas por Nívar *et al.* (2004) (Cuadro 2).

### Estimación de biomasa aérea y raíces

Para estimar la biomasa aérea en las plantaciones del estado de Durango se emplearon ecuaciones lineales y no lineales, de acuerdo a la metodología desarrollada por Nívar (2001). La biomasa total del árbol se calculó por medio de las siguientes ecuaciones:

*Pinus cooperi* [1]

*P. engelmannii* [2]

*P. durangensis* [3]

Otras especies [4]

En el estado de Nuevo León se usó la ecuación [5] para *P. pseudostrobus*, *P. cembroides*, *P. nelsonii* y *P. pinceana*; en el estado de Coahuila se utilizó la ecuación [4] (Cuadro 2).

En estas ecuaciones no se incluyó la biomasa de raíces, pues se desarrollaron y ajustaron a la regresión no lineal considerando las variables de diámetro y altura promedio de la plantación. En cada una de las regiones se aplicó una ecuación para las raíces: la [6] para las plantaciones ubicadas en la Sierra Madre Occidental y la [7] para las de la Sierra Madre Oriental (Cuadro 2).

Cuadro 2. Ecuaciones para estimar biomasa aérea y de raíces, sugeridas por Nívar et al. (2001).

Ecuación No.	Biomasa Aérea
1	$BtPc = [(-13.9108-0.0014db^2h+19.669Ldb-4.9704Lh)+25.4210+2.58648db-50.1084Ldb]+(-0.24462+0.009397db2h)]$
2	$BtPe = [(10.0098+1.4498db-9.1305Ldb^2h)+(-1.7333+0.007146db^2h)+(4.2778-0.6922db+0.01424db^2h)]$
3	$BtPd = [(3.3299+0.7384db-3.6282Ldb^2h)+(0.2517+0.00298db^2h)+(-0.2452+0.009172db^2)]$
4	$BtE = [(-1.13+0.353D-0.54LH)+(9.413+1.605D-10.3LD)+(0.93+0.009D^2H)]$
5	$BPCnp = [(0.0151(db)^{2.6135})+(0.00459(db)^{1.9106})+(0.00211(db)^{1.9794})]$
Biomasa de Raíces	
6	$Br = [(0.0077(DH)^{0.9688})]$
7	$Br = [(0.0051(D)^{0.8306})]$

db = diámetro a la base (cm), h = altura (m), L = logaritmo base 10, Bt = biomasa total del árbol (hojas + ramas + fuste) (kg/árbol<sup>-1</sup>), Br = Biomasa raíces, H = altura, D = diámetro, Pc = *Pinus cooperi*, Pd = *Pinus durangensis*, Pe = *Pinus engelmannii* y Pcpn = otras especies (*P. cembroides*, *P. nelsonii*, *P. pinceana*, *P. pseudostrabus*), E = otras especies en Durango.



La biomasa total de hojas, ramas, fuste y raíces por hectárea para cada sitio resultó de la suma de todos los valores de cada compartimento mencionado de los árboles en la parcela, valor total que se multiplicó por 10,000 m<sup>2</sup> y se dividió por el área de cada parcela.

### Estimación de biomasa del mantillo y la necromasa

El cálculo de la biomasa del mantillo orgánico y la necromasa se hizo con base en el promedio de la suma del peso seco de los subcomponentes hojas y ramas; para efectos de biomasa total, se interpolaron los datos por hectárea.

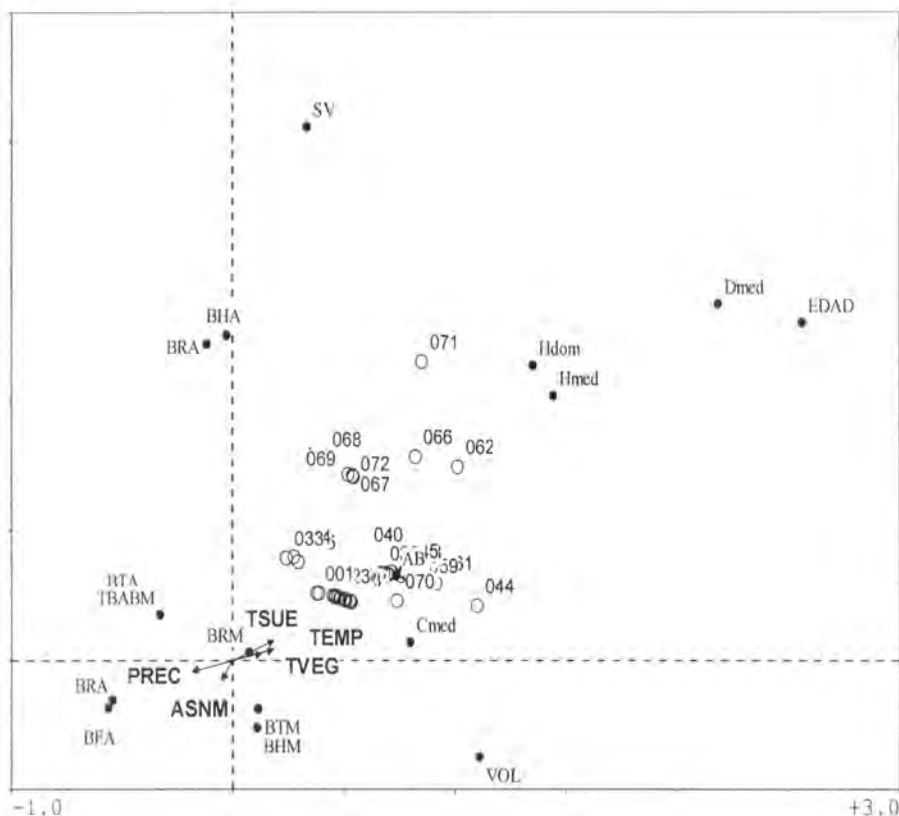
### Análisis estadístico

Con los datos de las variables dasométricas y físicas de las plantaciones forestales se realizó una prueba de gradiente directo mediante el análisis estadístico multivariado de correspondencia canónica sin tendencia (DCCA), con el fin de obtener las tendencias y los grupos de cada una de las variables medidas, relacionarlos o diferenciarlos, y con ello determinar los modelos más adecuados para estimar la productividad de las plantaciones evaluadas. Una vez definidos los grupos, se generaron las curvas de productividad con el ajuste de ecuaciones no lineales a los datos de edad y biomasa total.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las plantaciones se localizaron en condiciones heterogéneas de fisiografía, suelo y clima. El análisis estadístico aplicado a la información procedente de todas las áreas reforestadas mostró la necesidad de desarrollar los índices de productividad para cada una de las regiones estudiadas. Las diferencias pudieron explicarse por la diversidad de especies encontradas, y por los contrastes entre los sitios a partir de las características de cada región forestal. Además, la presencia de taxa nativas y exóticas modifica los niveles de productividad entre las especies forestales consideradas (Figura 2).

En el análisis estadístico se presenta una dispersión amplia entre las plantaciones muestreadas. A pesar de esta variación se pudieron aislar adecuadamente los grupos de plantaciones por los estados representados (Durango, Coahuila y Nuevo León). La precipitación y la temperatura responden por parte de la varianza de distribución de los sitios. Los de la Sierra Madre Occidental en Durango reciben una mayor precipitación y son los de mayor productividad, como se demuestra en las variables de biomasa (BRA, BRM, BFA, BHM, BRM, BTM y TBABM). Los correspondientes a las regiones de Nuevo León y Coahuila tienen las precipitaciones más bajas, y por lo tanto, su biomasa es menor.



TSUE = Tipo de suelo, TVEG = Tipo de vegetación, PREC = Precipitación, TEMP = Temperatura, ASNM = Altitud sobre el nivel del mar, BHA = Biomasa hojas área, BRA = Biomasa ramas aérea, BRA = Biomasa raíces, BTA = Biomasa total aérea, BRM = Biomasa ramas mantillo, BHM = Biomasa hojas mantillo, BTM = Biomasa total mantillo, TBABM = Biomasa total área y mantillo, Dmed = diámetro medio, Hdom = Altura dominante, EDAD = edad, Hmed = Altura media, Cmed = Cobertura media, AB = área basal, VOL = Volumen, 001-038 = parcelas de la Sierra Madre Occidental en Durango (Pueblo Nuevo y San Dimas); 039-041 = parcelas de La Sierra Madre Oriental de Nuevo León (Iturbide) y 042-078 parcelas de Coahuila (Sierra de Zapalinamé).

Figura 2. Análisis estadístico multivariado de análisis de correspondencia canónica sin tendencia (DCCA) aplicado a datos de las parcelas muestreadas en el norte de México.

La temperatura, a su vez, se asocia esencialmente de forma inversa con la precipitación. Es decir, en los sitios que se localizan en la parte alta de las regiones de Durango se registraron temperaturas menores, mientras que en los que están

en las vertientes de la Sierra Madre Oriental, las temperaturas anuales promedio son más altas. Con estos datos se definió un modelo para cada región, pues no existe ninguna similitud entre sus tendencias ni grupos entre sus variables (Figura 2).

## Productividad de las plantaciones evaluadas

Las plantaciones evaluadas en la parte alta de la Sierra Madre Occidental en el estado de Durango alcanzan un rango de productividad de biomasa entre 6 a 295 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 3; Cuadro 3). En las plantaciones de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, dicha variable se encuentra dentro de un rango de 0 a 71 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 4; Cuadro 4) y en Coahuila oscila de 0 a 64 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 5; Cuadro 5).

La productividad de biomasa en las regiones evaluadas del Norte de México se determinó por las diferentes condiciones fisiográficas de cada una de las áreas reforestadas, de las características de las especies plantadas y la edad de la plantación (Cuadros 3, 4 y 5).

A pesar de que *Pinus engelmannii* se localiza fuera de su rango de distribución, que es un poco más cercano a la región oriental de la Sierra Madre Occidental, por lo general crece abajo de los 2400 m y desarrolla niveles de productividad media en áreas con tratamiento silvícola de eliminación de especies competidoras y podas. Sin embargo, donde no se ha hecho ninguna práctica silvícola y en condiciones fuera de su intervalo natural, su productividad es baja con respecto a la de las especies nativas de la región (Figura 3).

*Pinus arizonica* pertenece a territorios ubicados más al norte del Estado; crece en sitios pobres, poco profundos, pedregosos con poco drenaje, y en pequeños bajíos (Piloncillos y San Jerónimo) presenta productividad baja o muy baja, especialmente en comparación con los taxa propios del lugar (Figura 3).

## Productividad en plantaciones del estado de Nuevo León

En el estado de Nuevo León, *Pinus pseudostrobus* alcanzó la mayor productividad. La plantación está en una loma que se caracteriza por tener suelos de 20 cm de profundidad, pedregosos, con poca materia orgánica y moderadamente drenados (Figura 4).

*Pinus cembroides* muestra un intervalo muy amplio de productividad, pero a pesar de ser menor a la de *P. pseudostrobus*, ambas especies crecen en las mismas condiciones ecológicas. En localidades similares se registran valores intermedios y muy bajos, posiblemente por factores climáticos adversos, heladas y

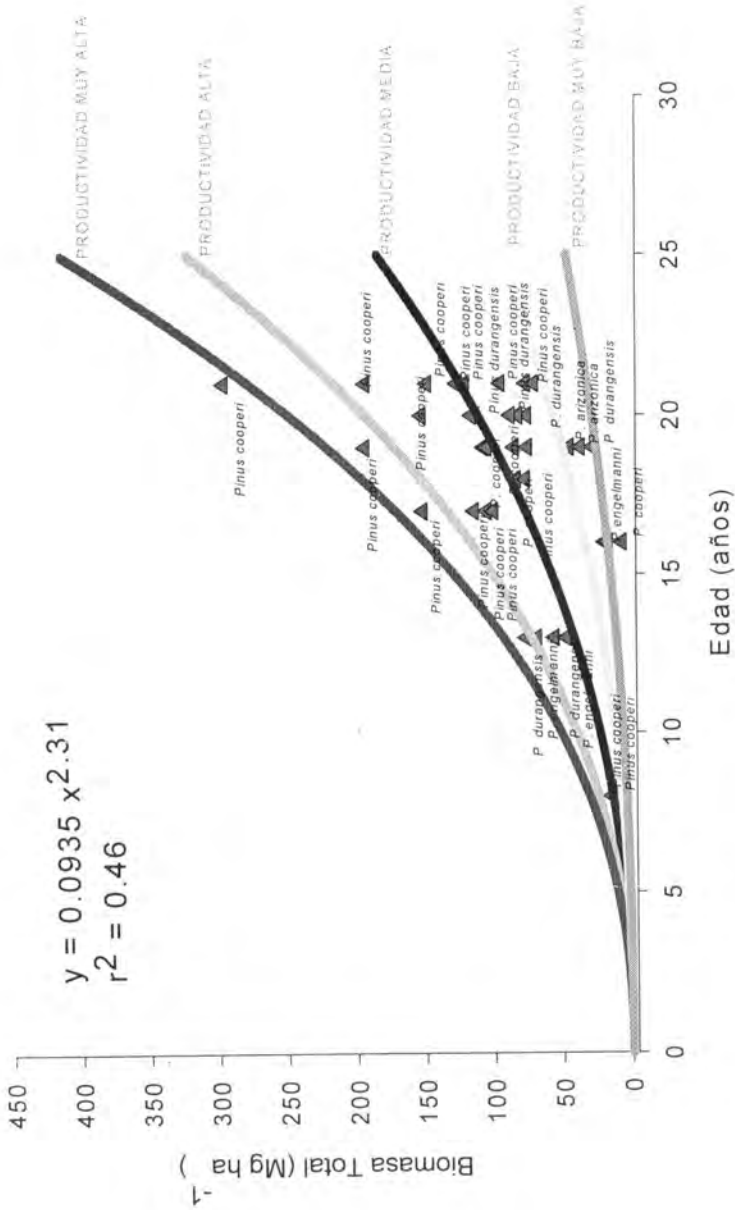


Figura 3. Curvas de productividad de biomasa para plantaciones del estado de Durango.

Cuadro 3. Productividad de biomasa por región, especie y edad de la plantación en el estado de Durango.

Plantaciones de Durango		Biomasa Arbórea (Mg ha <sup>-1</sup> )							
Loc.	Predio	Especie	D.	Edad	Fuste	Ramas	Hojas	Raíces	Nec.
1	Los Bancos	<i>Pinus cooperi</i>	4050.00	17	38.197	14.662	8.509	25.713	14.216
2			3075.00	17	42.292	23.605	7.928	24.405	14.750
3			3675.00	17	73.118	18.144	3.113	44.683	11.607
4			1350.00	17	41.508	13.125	1.297	26.408	15.813
5	La Campana	<i>Pinus cooperi</i>	1250.00	21	75.359	19.257	1.038	46.122	16.311
6			3450.00	21	24.892	8.063	1.530	16.983	23.679
7			925.00	21	47.606	14.197	0.606	29.763	27.513
8			1625.00	21	35.801	10.047	1.569	23.038	22.305
9	La Ciudad	<i>P. arizonica</i>	3511.11	19	15.589	7.100	4.502	10.727	5.966
10		<i>P. durangensis</i>	711.11	19	32.718	10.821	3.272	20.817	5.966
11		<i>P. cooperi</i>	1200.00	19	35.282	10.908	0.275	22.598	5.201
12		<i>P. arizonica</i>	3033.33	19	7.182	4.181	2.282	4.937	8.152
13	La Victoria	<i>P. cooperi</i>	1966.66	19	11.058	5.910	3.032	7.502	8.152
14			2200.00	19	46.114	15.985	3.522	30.584	9.717
15			4166.66	19	42.579	14.901	3.283	27.480	8.093
16			3777.77	19	13.849	4.831	1.515	53.003	23.505
17	La Victoria	<i>P. cooperi</i>	2175.00	20	33.751	10.590	3.009	22.066	12.958
18			950.000	20	30.240	12.020	2.319	19.272	17.078

continúa...

continuación Cuadro 3.

19																											
20	La Victoria	<i>P. durangensis</i>	3100.00	20	39.666	13.898	5.727	26.796	26.250																		
21		<i>P. cooperi</i>	3275.00	20	43.261	15.124	8.503	29.201	18.760																		
22		<i>P. durangensis</i>	2311.11	20	64.608	23.041	4.666	41.505	17.634																		
23	Piloncillos	<i>P. durangensis</i>	1450.00	20	32.561	11.060	5.935	21.487	15.494																		
24			1650.00	18	33.342	14.788	5.327	21.637	7.238																		
25		<i>P. cooperi</i>	1650.00	18	27.377	14.788	6.994	17.911	8.698																		
26	Alto de latas		1500.00	21	68.133	20.174	1.565	42.849	14.557																		
27			7111.11	21	95.046	21.137	0.785	62.623	12.763																		
28			312.50	21	23.978	8.183	0.141	14.831	13.571																		
29			2400.00	21	170.078	25.469	2.191	99.577	19.863																		
30	San Jerónimo	<i>P. durangensis</i>	3777.77	13	25.735	9.598	8.621	18.080	5.572																		
31		<i>P. engelmannii</i>	2675.00	13	12.462	7.169	7.282	10.039	17.534																		
32		<i>P. durangensis</i>	2525.00	13	23.538	8.468	3.164	16.246	10.886																		
33		<i>P. engelmannii</i>	1475.00	13	21.613	13.768	8.492	13.947	17.621																		
34	Agua Blanca		500.00	16	6.483	3.950	2.558	4.103	1.323																		
35			425.00	16	6.008	3.553	1.561	3.949	1.323																		
36		<i>P. cooperi</i>	400.00	16	1.652	1.275	1.815	1.163	0.175																		
37	Cielito Azul		1925.00	8	1.001	4.146	3.472	1.031	0.321																		
38	Miravalles		2375.00	8	0.342	11.843	1.260	0.559	0.073																		
	La Flor		925.00	8	1.938	1.826	3.458	1.485	0.288																		
	Promedio		2233.00	17.58	35.42	11.88	3.58	23.82	12.13																		
	Desviación Estándar		1383.17	3.72	31.64	6.19	2.57	19.51	7.61																		
	Intervalo de Confianza		439.78	1.18	10.06	1.97	0.82	6.20	2.42																		

Loc. = localidad; D. = densidad; Nec. = necromasa.

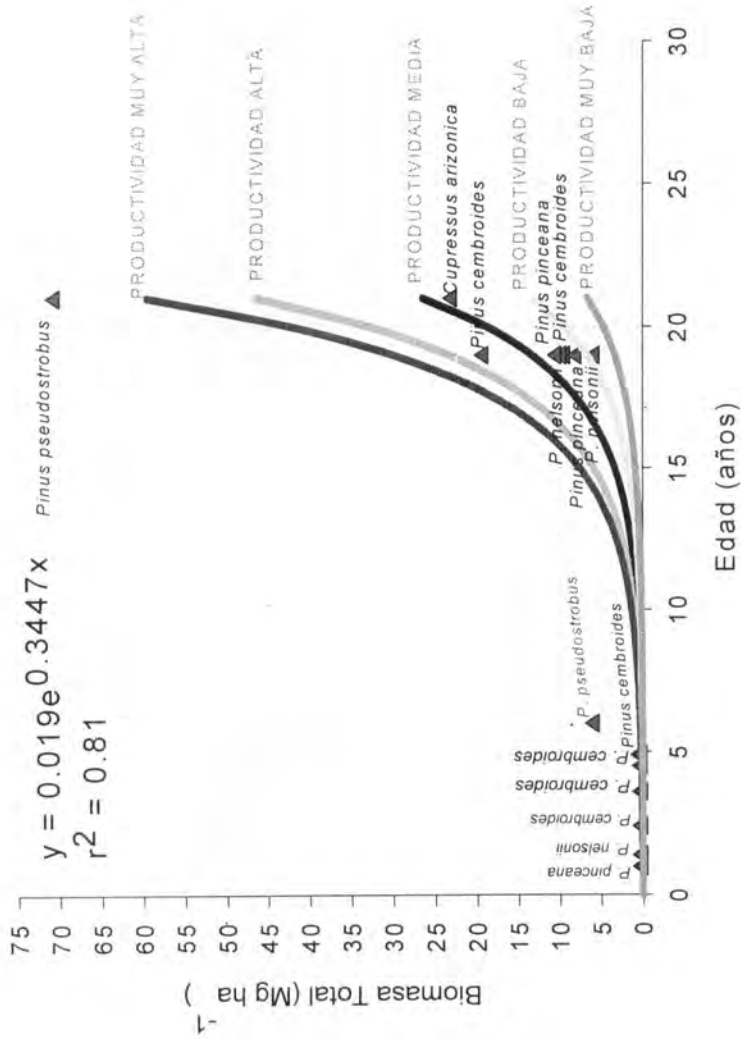


Figura 4. Curvas de productividad de biomasa en plantaciones de Nuevo León.

Cuadro 4. Productividad de biomasa por región, especie y edad de la plantación en el estado de Nuevo León.

Loc	Plantaciones de Nuevo León		Biomasa Arbórea (Mg ha <sup>-1</sup> )							
	Predio	Especie	D.	Edad	Fuste	Ramas	Hojas	Raíces	Nec.	
1	Santa Rosa 1	<i>P. pseudoostrobus</i>	4050	6	4.14	0.340	0.177	0.053	1.12	
2	Santa Rosa 2		3075	6	4.44	0.313	0.166	0.039	0.82	
3	La Loma		3675	21	42.52	1.699	0.951	0.089	25.24	
4		<i>Cupressus arizonica</i>	1350	21	19.434	0.952	0.523	0.069	1.907	
5	Las Adjuntas	<i>P. cembroides</i>	9966	1	0.006	0.004	0.002	0.018	0.001	
6			9796	1.4	0.006	0.004	0.002	0.018	0.001	
7			9558	2.4	0.006	0.004	0.002	0.018	0.002	
8			9320	3.6	0.012	0.007	0.003	0.022	0.002	
9			9048	4.5	0.017	0.009	0.004	0.024	0.003	
10			8776	4.9	0.036	0.016	0.007	0.030	0.006	
11			7143	19	6.637	0.666	0.341	0.135	1.476	
12	<i>P. nelsonii</i>		9898	1	0.002	0.002	0.001	0.012	0.001	
13			9082	1.4	0.002	0.002	0.001	0.012	0.001	
14			7041	2.4	0.003	0.002	0.001	0.014	0.001	
15			5952	3.6	0.004	0.003	0.001	0.016	0.001	
16			5408	4.5	0.008	0.005	0.002	0.019	0.002	
17			5170	4.9	0.021	0.010	0.005	0.025	0.004	
18			4456	19	4.066	0.466	0.236	0.115	0.826	
19			10000	1	0.006	0.004	0.002	0.018	0.001	
20	<i>P. piniceana</i>		9830	1.4	0.006	0.004	0.002	0.018	0.001	
21			9456	2.4	0.007	0.005	0.002	0.018	0.002	
22			8912	3.6	0.012	0.007	0.003	0.022	0.002	
23			8571	4.5	0.019	0.010	0.004	0.025	0.003	

continúa...



continuación Cuadro 4

24	Las Adjuntas	<i>P. pinceana</i>	8333	4.9	0.037	0.016	0.007	0.030	0.006
25			5374	19	5.656	0.593	0.302	0.128	1.221
26			9966	1	0.065	0.025	0.011	0.039	0.010
27			9796	1.4	0.064	0.024	0.011	0.038	0.010
28			8980	2.4	0.057	0.022	0.010	0.035	0.008
29		<i>P. cembroides</i>	8946	3.6	0.078	0.027	0.012	0.038	0.011
30			8742	4.5	0.112	0.036	0.016	0.042	0.016
31			8742	4.9	0.219	0.058	0.027	0.052	0.032
32			5918	19	13.81	1.082	0.568	0.150	3.514
33			9864	1	0.012	0.007	0.003	0.023	0.002
34			8810	1.4	0.011	0.007	0.003	0.021	0.002
35			6633	2.4	0.008	0.005	0.002	0.015	0.001
36	La Loma	<i>P. nelsonii</i>	6667	3.6	0.011	0.006	0.003	0.017	0.002
37			6361	4.5	0.018	0.009	0.004	0.019	0.003
38			6259	4.9	0.042	0.016	0.007	0.025	0.006
39			3878	19	7.165	0.598	0.312	0.091	1.568
40			9966	1	0.001	0.001	0.000	0.008	0.000
41			9626	1.4	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000
42			8946	2.4	0.000	0.001	0.000	0.007	0.000
43		<i>P. pinceana</i>	8503	3.6	0.002	0.002	0.001	0.011	0.001
44			8537	4.5	0.006	0.004	0.002	0.016	0.001
45			8571	4.9	0.014	0.008	0.003	0.021	0.002
46			5782	19	7.472	0.686	0.355	0.121	1.681
	Promedio		7668.11	5.97	2.53	0.17	0.09	0.04	0.86
	Desviación Estándar		2232.49	6.45	7.18	0.36	0.19	0.04	3.74
	Intervalo de Confianza		645.15	1.86	2.07	0.10	0.06	0.01	1.08

Loc. = localidad; D. = densidad; Nec. = necromasa.

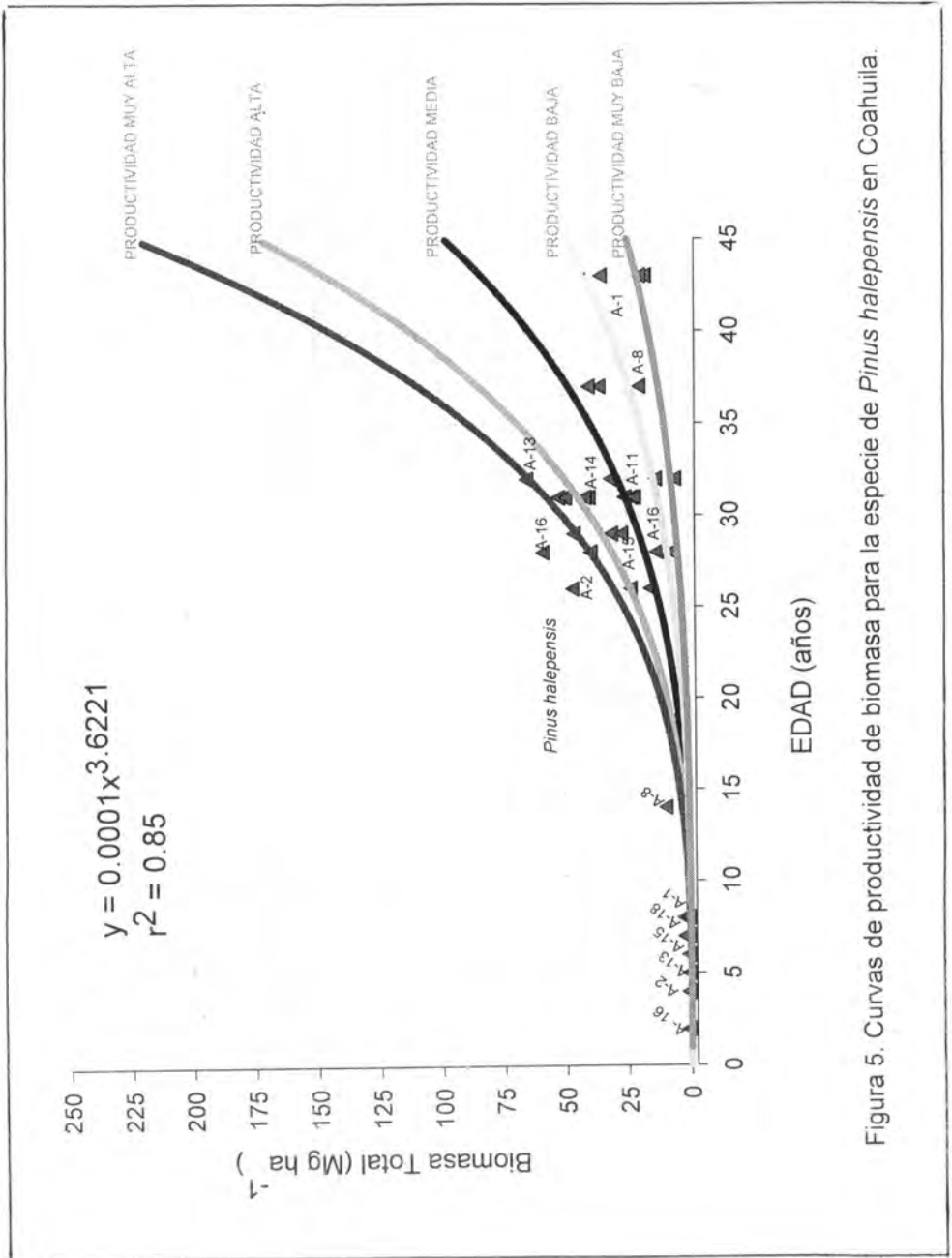


Figura 5. Curvas de productividad de biomasa para la especie de *Pinus halepensis* en Coahuila.

Cuadro 5. Productividad de biomasa área de plantación, especie y edad de la plantación en el estado de Durango.

		Plantaciones de Coahuila				Biomasa Arbórea (Mg ha <sup>-1</sup> )					
Loc	Predio	Especie	D.	Edad	Fuste	Ramas	Hojas	Raíces	Nec.		
1	Área 1-Zapalinamé	<i>P. halepensis</i>	875	43	8.831	5.355	2.791	5.921	11.044		
2			381	43	4.737	3.244	1.583	3.190	3.537		
3			69	43	6.821	1.930	0.659	4.353	4.761		
4	150		26	3.197	1.452	0.652	2.124	6.986			
5	Área 2-Zapalinamé		300	26	6.528	4.109	1.752	4.338	5.615		
6			575	26	13.144	6.284	2.648	8.669	14.865		
7	Área 8-Zapalinamé		206	37	11.636	4.505	1.643	7.538	9.432		
8			150	37	6.145	2.832	1.085	4.026	4.563		
9			675	37	13.988	6.719	3.032	9.319	5.883		
10	Área 11-Zapalinamé		300	31	21.769	7.475	2.630	13.864	3.172		
11		425	31	21.106	7.516	2.853	13.564	6.078			
12		425	31	10.370	4.542	1.959	6.861	0.955			
13		275	31	10.071	4.154	1.621	6.534	2.080			
14	Área 13-Zapalinamé	475	31	8.986	3.666	1.676	5.948	1.634			
15		181	32	5.167	2.175	0.914	3.403	0.610			
16		294	32	0.755	0.655	0.483	0.518	2.253			
17	Área 14-Zapalinamé	700	32	28.797	9.703	3.889	18.871	2.643			
18		550	32	11.449	5.840	2.586	7.632	2.707			
19	Área 14-Zapalinamé	725	31	20.669	8.700	3.655	13.613	1.569			
20		525	31	16.052	7.085	2.927	10.566	2.221			

continúa...

continuación Cuadro 5.

21	Área 15-Zapalinamé	525	31	17.107	6.849	2.806	11.226	2.456
22	Área 14-Zapalinamé	350	31	5.941	3.072	1.448	3.978	6.341
23	Área 15-Zapalinamé	550	29	9.660	5.668	2.594	6.463	5.585
24		625	29	17.134	9.092	3.762	11.324	3.599
25		675	29	9.106	6.999	3.302	6.131	4.210
26		775	29	8.218	4.807	2.557	5.567	4.708
27	Área 16-Zapalinamé	450	28	21.563	8.201	3.119	13.962	10.629
28		350	28	15.663	5.536	2.182	10.031	4.831
29		306	28	3.374	2.631	1.255	2.272	2.310
30		294	28	1.417	1.056	0.638	0.968	2.023
31	Área 1-Zapalinamé	236	19	0.772	0.055	0.029	0.007	1.617
32	Área 2-Zapalinamé	183	2	0.003	0.001	0.000	0.001	0.000
33	Área 5-Zapalinamé	617	8	0.283	0.034	0.017	0.009	1.247
34	Área 8-Zapalinamé	275	14	4.814	0.219	0.121	0.013	2.054
35	Área 11-Zapalinamé	315	7	0.022	0.004	0.002	0.003	0.000
36	Área 13-Zapalinamé	380	8	0.038	0.007	0.003	0.004	0.000
37	Área 15-Zapalinamé	559	7	0.239	0.030	0.015	0.008	1.160
38		340	5	0.003	0.001	0.000	0.001	0.000
39	Área 16-Zapalinamé	363	4	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000
40	Área 18-Zapalinamé	300	6	0.004	0.001	0.001	0.001	0.000
Promedio		418.10	25.83	8.64	3.81	1.62	5.57	3.63
Desviación Estándar		192.42	11.45	7.60	3.07	1.27	5.03	3.37
Intervalo de Confianza		55.60	3.31	2.20	0.89	0.37	1.45	0.97

Loc. = localidad; D. = densidad; Nec. = necromasa.

repentinos cambios de temperatura (Figura 4). No obstante que estos árboles se ubican en sitios con suelos profundos, su rendimiento es muy pobre; son plantaciones que se tenían como ensayos de procedencia y se les daba seguimiento en su desarrollo para fines de investigación (Dominguez y Nívar, 2000).

*Cupressus arizonica* se localiza fuera de su rango de distribución; sin embargo, su nivel de productividad fue medio en presencia de suelos poco profundos, calichosos, con poca humedad, y materia orgánica, pero se ha logrado adaptar a las características medioambientales prevalecientes en el área (Figura 4).

*Pinus pinceana* y *P. nelsonii* crecen en lugares pobres, degradados, pedregosos, con suelos someros y una humedad relativamente baja; su productividad es entre media y muy baja, lo que probablemente obedece a una difícil adaptación, pues son especies introducidas (Figura 4). Cuando alcanzan una edad de 20 años en la parte baja de la Sierra, donde los suelos son un poco más profundos, se puede advertir la presencia de semillas comestibles, aunque son escasas.

## Productividad en plantaciones del estado de Coahuila

Aun cuando *Pinus halepensis* es una especie originaria de las costas central y oeste del Mediterráneo, se introdujo en el estado de Coahuila para fines de reforestación en áreas degradadas y de protección a la Cuenca de la Sierra de Zapalinamé.

Las características edafológicas y climáticas de la región, que son semejantes a las originales, permitieron el establecimiento de la plantación, misma que desafortunadamente, presenta los valores de productividad más bajos. La escasa densidad está incidiendo sobre este factor; se reforestó a 3.5 x 4.0 m, 4.5 x 4.5 m y 6.0 x 6.0 m de distancia, pero no sobrevivieron muchos individuos. Según Oviedo (1980) la supervivencia en las áreas reforestadas de *Pinus halepensis* fluctuó entre 38 y 84% (183 a 559 árboles/ha), actualmente la densidad del arbolado es menor debido al ambiente poco favorable y a la repercusión de las actividades antropogénicas que predominan en los sitios. La escasa humedad en el sustrato, su condición calcárea, la poca acumulación de materia orgánica y de precipitación; así como las extremas temperaturas durante todo el año resultaron en bajos niveles de productividad con respecto a la del estado de Nuevo León (Figura 5).

El nivel de productividad de *P. halepensis* es entre alto y medio en las áreas A-11, A-14 y A-15, los suelos son calcáreos, no muy profundos y con poca materia orgánica. El arbolado en pie es de baja altura, pues su crecimiento se inhibe por la falta de humedad edáfica (Figura 5).

Las áreas A-1, A-2, A-8, A-13, A-16 se caracterizan por ser lugares degradados, pedregosos y secos, lo que ha contribuido a la eliminación de arbolado en pie, efecto del consecuente estrés hídrico, o por plagas o enfermedades; por lo tanto, los niveles de productividad son de bajos a muy bajos.

## Productividad en plantaciones del estado de Durango

En el estado de Durango, *P. cooperi* manifestó la máxima variación en los niveles de productividad. En la parte alta de la Sierra Madre Occidental (Alto de Latas, La Victoria, La Escondida, La Ciudad y Los Bancos) es la especie dominante, crece en lugares con exposición zenital, en suelos profundos, ricos en materia orgánica y en altitudes superiores a los 2600 m se genera la mayor productividad. En localidades caracterizadas por algún disturbio, su calidad productiva es intermedia. En sitios con altitudes inferiores a dicha cota, bajo condiciones locales pobres y cerca de áreas pobladas se desarrollan especies poco productivas (Agua Blanca, Miravalles y la Flor). Es decir, *P. cooperi* plantado en pastizales y posiblemente en condiciones de sobrepastoreo y ramoneo por animales domésticos presenta las cifras más bajas (Figura 3).

*Pinus durangensis* tiene una alta variación aunque menor que *P. cooperi*. Alcanza niveles significativos de productividad en mesetas ubicadas en altitudes por arriba de los 2600 m, con suelos profundos y ricos en materia orgánica. Por el contrario, sobre suelos someros, pobres en materia orgánica y con algún disturbio antropogénico o ambiental, la respuesta productiva es baja o regular (Figura 3).

## CONCLUSIONES

Las diferentes características de las especies plantadas, así como de las fisiográficas, edáficas y biológicas prevalecientes en cada uno de los lugares en donde se localizan las plantaciones evaluadas en el norte de México, permitieron definir un modelo de estimación de curvas de productividad para cada una de las regiones estudiadas.

Las plantaciones de la Sierra Madre Occidental en el estado de Durango tienen mayores índices de productividad, debido a la presencia de especies nativas y condiciones favorables para su establecimiento.

En la Sierra Madre Oriental, las reforestaciones fueron de baja productividad porque en su mayoría se observaron especies exóticas y la calidad de sitio es menor. Las condiciones climáticas con mejor balance hidrológico están reunidas en Nuevo León y, por consiguiente, los sitios reforestados presentaron niveles de productividad más altos a los registrados en Coahuila.

A pesar de utilizar especies nativas en el caso de Durango, la productividad fue muy variable, lo que puede estar asociado a las condiciones de los sitios reforestados dados por el clima, la topografía, la pendiente, la exposición, entre otros factores.

Los resultados aplicables de esta investigación reflejan la necesidad de ajustar individualmente el desarrollo de modelos para las plantaciones de cada región.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores hacen patente su agradecimiento al fondo de investigación que otorgó el financiamiento para el proyecto de investigación CONAFOR-CONACYT COCO1 No. 6230.

## REFERENCIAS

- Brown, S. 1997. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. *In: Actas del XI Congreso Mundial Forestal: Recursos Forestales y Árboles.* Vol. 1. 13-22 de octubre de 1997. Anatolya, Turquía. pp. 107-108.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2004. Evaluaciones PRONARE 2000-2001. <http://www.conafor.gob.mx/programas/nacionales/forestales/evaluaciones/indexhtml>. (25 de Julio de 2004).
- Domínguez C., P. A. and J. Nívar. 2000. Einfluss der flanzqualität von *Pinus pseudoestrobis* Lindl. auf urlebensrate und uchsleitung bei aufforstungen in der ostlinchen Sierra Madre Mexikos. *Forstarchiv*, 71. Heft 1: 9-13.
- González B., N. 2001. Ajuste y validación de modelos para estimar biomasa y rendimiento e incremento en biomasa en plantaciones forestales del estado de Durango. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares, N. L. pp. 38-50.
- Mesera O., M. 1996. Servicios ambientales de las plantaciones comerciales: la captura de carbono. *Bosques y Plantaciones Forestales. Cuadernos Agrarios* 14 nueva época. México, D. F. pp. 79-81.
- Nívar J., N., D. González M., J. Graciano, V. Dale and B. Parresol. 2004. Additive biomass equations for pine species of forest plantations of Durango, Mexico. *Madera y Bosques* 10(2): 17-28.
- Nívar J., C. Estrada, J. Contreras, P. A. Domínguez and M. Using. 2001. Evaluation of the abundance, form of establishment, and the causes of variation of pine regeneration in coniferous stands of the western Sierra of Durango, Mexico. *Forstarchiv*, Heft 72: 175-179.

- Oviedo R., J. 1980. Inventario de las alternativas de transformación de especies forestales de la Sierra de Zapalinamé en Saltillo, Coahuila. Tesis de Ingeniero Agrónomo Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, pp. 4-58.
- Woerner, M. 1990. Los suelos del Bosque-Escuela de la UANL en al Sierra Madre Oriental, Iturbide, N L. Reporte Científico No. 20 Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. 90 p.