ITEA (2000), Vol. 96V N.° 2, 103-115

IMPACTO DEL APROVECHAMIENTO FORESTAL EN LA PÉRDIDA DE NUTRIENTES DEL SUELO EN LOS BOSQUES DE DURANGO, MÉXICO

R. Serrato Sánchez*, A. Pérez García, M. Sosa Cerecedo**, J. Jiménez Castro****

* Profesor-investigador, Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, México

** Profesor-investigador, Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua, México

RESUMEN

A pesar de la importancia económica que representan los bosques y selvas del Estado de Durango, no hay muchas evidencias sobre investigaciones básicas realizadas con profundidad en las cuales se hayan aplicado, para su análisis ecológico, herramientas estadísticas que permitan analizar y relacionar características de vegetación y suelo impactadas por aprovechamiento forestal. En base a estos hechos los objetivos de este trabajo fueron: conocer la interrelación de variables de vegetación, suelo, hidrología y fisiografía y detectar las variables del suelo que se están afectando por el aprovechamiento forestal en los bosques del estado de Durango, México.

Se evaluaron cuarenta y dos variables en 80 sitios distribuidos en 20 predios: 19 variables de vegetación, 16 de suelo, 3 de fisiografía y 4 de hidrología. Las unidades de muestreo fueron ubicadas en áreas que habían sido aprovechadas por lo menos 2 años atrás.

Se utilizó la correlación canónica para obtener modelos en donde se conociera la magnitud de las interrelaciones entre las variables de la vegetación, consideradas como dependientes, con las del suelo, fisiografía e hidrología, tomadas como independientes, medidas en tres clases de condición del bosque.

En base a la producción, los 80 sitios se dividieron en tres clases de condición: 21 sitios con producción mayor a 100 m^3/ha, (Clase 1, sin impacto), 27 sitios con producción entre 50 y 100 m^3/ha (Clase 2, impacto medio) y 32 sitios con producción inferior a 50 m^3/ha (Clase 3, impacto severo). En cada una de esas clases se obtuvieron modelos que indicaron, en general, correlación lineal alta y positiva (,94; ,95 y ,96 respectivamente) con niveles de significación muy bajos (,0002; ,0051 y ,0000 en ese orden). Las variables dependientes que mostraron consistencia en los tres modelos fueron: producción de pino, producción de encino y potencial de incendios: en tanto que las independientes fueron: fósforo, nitrógeno, pH, pendiente, altitud y arcilla.

Los valores promedio de las variables, que fueron consistentes en los modelos de correlación canónica de las tres clases de condición, se compararon mediante la prueba de *t* Student para detectar si había diferencias significativas que indicaran qué variables específicas estaban siendo impactadas por el aprovechamiento del bosque.

En los sitios que mostraron impacto medio y severo, las características del suelo y la densidad de plantas jóvenes de pino prometen una buena reforestación natural en

el futuro, pero al comparar los valores de las variables que mostraron consistencia en los modelos de correlación canónica se observó que en los sitios con mayor impacto el suelo es menos ácido (pH = 5,9) y el contenido de fósforo (2,3 ppm) y de nitrógeno (0,23%) es inferior.

Palabras clave: Pino-encino, pH, Fósforo, Nitrógeno, Correlación canónica, Reforestación natural.

SUMMARY

IMPACT OF THE FOREST UTILIZATION IN SOIL NUTRIENT LOSSES IN THE FOREST OF DURANGO, MEXICO

Nevertheless the economical importance of the forests and jungles in the state of Durango, there is no evidence about basic research carried out in detail to which statistical analysis have been applied for ecological analysis that allow us to analyze and to relate characteristics of the vegetation and soil impacted due to the forestry utilization, therefore, the objetives of this trial were to know interrelation existent among variables of: vegetation, soil, hydrology and phisiography, and to detect which variables of the soil are affected due to the forestry utilization in the forests of Durango State, México.

Forty two variables were evaluated in 80 sites distributed in 20 properties : nineteen vegetation variables, sixteen soil variables, three physiographic variables and four hydrological variables. Sampling units were located in areas that had been used for at least 2 years before.

Canonical correlation was used to obtain models to determine the magnitud of the relationship among the vegetation variables (dependent variables), and the soil, physiographic, and hydrological variables (independent variables) measured in three different condition of forestry.

Based on production, the 80 sites were divided in three condition classes, twenty one sites with production above 100 m^3/ha were classified as class 1 (no impact), twenty seven sites with production between 50 and 100 m^3/ha, were classified as class 2 (medium impact), and thirty two sites with a production of 50 m^3/ha or less were classified as class 3 (severe impact). Models obtained on each one of those classes showed a high and positive linear correlation (.94, .95 and .96 respectively) with very low significance levels (.0002, .005 and .0000 respectively) indicating reliable results. The dependent variables, which were consistent in the three models were : pine tree production, oak production and fire potential, meanwhile the independent variables were : phosphorus, nitrogen, pH, slope, altitude and clay.

The average of the variables that were consistent in the models of canonical correlation for the three condition classes were compared by using the "t" Student test to identify statistically significant differences between specific variables to determine wich variables were impacted due to the forestry utilization.

In the sites with medium and severe impact, the soil characteristics and pine plantule density show promise a good natural reforestation in the future, but when the values of the variables that showed consistency in the canonical correlation models were compared it was observed that in the sites with severe impact the soil is less acid (pH = 5.9) and phosphorous (2.3 ppm) and nitrogen (0.23%) content is lower.

Key words: Pine-oak, pH, Phosphorous, Nitrogen, Canonical correlation, Natural reforestation.

Introducción

A pesar de la importancia económica que representan las 2'305,873 hectáreas de bosques del Estado de Durango (INEGI, 1991), no se encontraron muchas evidencias sobre investigaciones básicas realizadas en los ecosistemas de bosques de pino en las cuales se hayan aplicado análisis de correlación canónica para conocer cómo están interrelacionadas las distintas variables, de suelo, vegetación y clima. Un estudio efectuado por la Secretaría de Desarrollo Social y la Universidad Autónoma de Chihuahua sobre el seguimiento del impacto provocado por el aprovechamiento del bosque de pino-encino de los estados de Chihuahua y Durango al norte de México (SEDESOL, 1992) aplicó la correlación canónica para conocer las relaciones entre variables de fisiografía-hidrología-suelo con la vegetación en bosques creciendo en distintas exposiciones. Sin embargo, se consideró pertinente profundizar en los modelos de correlación canónica entre grupos de variables dentro de diferentes niveles de producción de madera con el fin de sentar las bases que pudieran detectar el comportamiento que guardan algunas variables de interés particular. Por ello, los objetivos de esta investigación fueron: conocer la interrelación existente entre variables de: vegetación, suelo, hidrología y fisiografía; y detectar qué variables del suelo se están afectando por el aprovechamiento forestal en los bosques de pino-encino del estado de Durango.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la primavera de 1992 en 20 predios forestales seleccionados dentro de la región de bosque de pino-encino del Estado de Durango ubicado dentro de los 22° 10' y 26° 50' latitud norte y entre los 105° y 107° longitud oeste. En cada predio se distribuyeron selectivamente 4 unidades de muestreo para representar un total de 80 sitios forestales.

La unidad de muestreo dentro de cada sitio fue una parcela circular de 1.000 m^2 con compensación por pendiente (GONZÁLEZ y MEDINA, 1977) para obtener los registros de: composición florística a nivel de especie, diámetro normal de la corteza (cm), altura del arbolado (m), altura del estrato dominante (m), y densidad (árboles/ha). Con las variables de diámetro y altura se obtuvieron las variables de producción (m^3/ha) e índice de producción total (%) para pino y encino (SARH, 1982).

En el centro del área de muestreo se estableció una parcela circular de 50 m^2 con compensación por pendiente para evaluar el renuevo arbóreo: composición florística y densidad (individuos/ha) a nivel de género, y dentro del estrato arbustivo: composición florística a nivel de género y cobertura aérea (%) con una línea de intercepción de 20 m (GONZÁLEZ y MEDINA, 1977).

Siguiendo la metodología de PIEPER (1978) se tendieron al azar dos líneas de puntos por unidad de muestreo con una longitud de 20 m y 20 cm entre lecturas para evaluar del estrato herbáceo: composición florística a nivel de familia, cobertura basal (%), cobertura de mantillo (%) y suelo desnudo (%).

También al azar se tendieron dos líneas de intercepción de 20 m para, de acuerdo a la técnica de CÓRDOVA y CERECERO (1983), estimar el peso total de la cantidad de material combustible adicionando el peso promedio de la acumulación de mantillo.

Para la clase de estabilidad del suelo se utilizó la guía que se basa en el índice de suelo desnudo y el disturbio de suelo dándoles a ambos un valor máximo de 50 puntos, en una combinación clasificada de 100 puntos (NMSU, sin fecha). El disturbio del suelo se obtuvo mediante un examen ocular de acuerdo al ordenamiento de HOMER y PARKER (1973).

Se obtuvieron tres muestras de suelo de cada unidad de muestreo en los que se incluyó material representativo de cada horizonte. Las variables medidas fueron: $N\text{-}NO_3$ (%); P (ppm); K (kg/ha); materia orgánica (%), pH, y mediante la técnica del hidrómetro de boyoucos se obtuvo la textura del suelo (arena, limo y arcilla) (FOTH *et al.*, 1974).

De un cuadrante circular de ,25 m^2 se tomó y pesó el mantillo para conocer su acumulación.

Se tomaron tres muestras de suelo, excluyendo el horizonte "C", para los análisis de: protozoarios (KUDO, 1976), bacterias, hongos y levaduras (Harrigan y McCance, 1976).

De acuerdo al método descrito por CUANALO (1981) se evaluaron las siguientes variables: elevación (asnm), profundidad por horizonte Ao y A_1 (cm), pedregosidad (%), y raíces (No/dm^2).

Los diferentes parámetros que caracterizaron la condición hidrológica fueron: espesor de arrope de suelo (cm) constituido por hojas, ramas, corteza y otros residuos de vegetación no descompuesta, espesor de humus (cm), humus crudo o capa "H" (cm) formado por materia orgánica prácticamente irreconocible, humus incorporado o capa "A" (cm) constituido por una capa íntima de materia orgánica y suelo mineral (CAMPOS, 1987), y compactación de humus dada por la técnica de penetrómetro tipo Lang (LANG, 1987).

En total se evaluaron cuarenta y dos variables en cada uno de los 80 sitios: 19 variables de vegetación, 16 de suelo, 3 de fisiografía y 4 de hidrología (cuadro 1).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el proyecto de SEDESOL (1992) para los bosques de Chihuahua y Durango en donde se encontró una producción mínima no impactante de 50 m^3/ha para pino y a la consideración de las unidades de desarrollo forestal de las Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, 1982) en donde se menciona que un predio con una producción mayor de 100 m^3/ha se puede considerar en buena condición, los 80 sitios comprendidos en este estudio se dividieron en tres clases de condición, 26 se agruparon en una clase (C1) con una producción superior a 100 m^3/ha llamándole "sin impacto", 21 se agruparon en otra clase (C2) con una producción entre 50 y 100 m^3/ha llamándoles "con impacto medio" y 33 quedaron en otra clase (C3) con menos de 50 m^3/ha denominándosele "con impacto severo", atribuyendo esto al aprovechamiento forestal.

Los datos se analizaron usando la técnica de correlación canónica para detectar el grado de asociación entre un conjunto de variables consideradas como independientes (topografía, suelo, e hidrología) y otro conjunto consideradas como dependientes (vegetación) de acuerdo al modelo sugerido por HAIR *et al.* (1992):

$$Y_1 + Y_2 + ... Yn = X_1 + X_2 + ... Xn$$

Donde:

Y_1 ... Yn : Variables dependientes.

X_1 .. Xn : Variables independientes.

Cuadro 1
Variables medidas en cada uno de los 80 sitios en los bosques de pino-encino del estado de Durango, México
Table 1
Measured variables within each one of the 80 sites in the pine-oak forest in the State of Durango, Mexico

Variables de fisiografía	Variables de hidrología
Exposición	Espesor de arrope de suelo
Pendiente	Espesor de humus en el horizonte h
Altitud	Profundidad horizonte Ao
Compactación de humus	
	Variables del suelo
PH	Nitrógeno
Limo	Materia orgánica
Hongos	Arcilla
Protozoarios	Bacterias
Disturbio	Profundidad total
Acumulación de mantillo	Índice de suelo desnudo
Pedregosidad	Densidad de raíces
Clase de estabilidad	Profundidad del horizonte A1
	Variables de la vegetación
Densidad de pino	Producción de pino
Cobertura basal de pino	Altura del arbolado
Producción de encino	Potencial de incendios
Densidad de encino	Producción de encino
Cobertura basal de encino	Índice de producción total
Índice de producción de pino	Cobertura del suelo
Índice producción encino	Cobertura herbácea
Cobertura arbustiva	Densidad de plántulas encino
Cobertura mantillo	Densidad de plántulas de pino
Densidad del renuevo establecido de pino	Densidad del renuevo establecido de encino

Con la prueba de "t Student" (GIARDIÑA, 1972) se compararon los valores promedio de las variables que aparecieron en los modelos de correlación canónica en sitios con tres magnitudes de impacto para detectar si había diferencias significativas.

Resultados y discusión

El cuadro 2 presenta los modelos para las tres clases de condición: En el modelo obtenido para la clase 1, sitios sin impacto,

se obtiene un alto valor de correlación canónica (r = ,94) y un bajo nivel de significación (,0002). Se destaca la participación de la cobertura herbácea (1,14) y la producción de pino (0,18) asociada a: altitud (0,81), pendiente (0,67), hongos (0,46), pH (0,29) y nitrógeno (0,05); y producción de encino (-0,54) y potencial de incendios (-0,14) asociada a profundidad total (-0,56). En este modelo, inexplicablemente no se presentan como importantes ninguna de las variables de textura del suelo.

Los sitios de la clase 2, con impacto medio, arrojaron un modelo en el que las variables que intervienen muestran su fuerza de asociación con un r = ,95 con significación de ,0051. En este modelo se destaca la producción de pino (-0,64) y la altura del arbolado asociados negativamente a pH (-0,45), pendiente (-0,43) y fósforo (-0,13); y potencial de incendios (0,78) y producción de encino (0,15) asociada positivamente a pedregosidad (0,67), clase de estabilidad (0,31), raíces (0,29) y arcilla (0,28).

El modelo obtenido para la clase 3, sitios con impacto severo, tiene la mayor fuerza de asociación con r = ,96 con ,0000 de significación, mostrando la participación positiva principal de: índice de producción de pino (0,72), producción de encino (0,63) y cobertura herbácea (0,39) asociados a: raíces (0,56), altitud (0,29), arcilla (0,26), arena (0,25), espesor de arrope (0,23) y fósforo (0,21); la participación principal negativa está dada por altura del arbolado (-0,44) y potencial de incendios (-0,12) con clase de estabilidad (-0,58) y exposición (-0,26). En estos sitios en que la producción de pino es baja se tiene una influencia negativa de la clase de estabilidad y la pedregosidad, aunque existen elementos químicos (nitrógeno y fósforo) y buena textura (arena y arcilla) que balancean la situación e indican buena potencialidad para el establecimiento de plántulas.

Como se puede observar en el cuadro 2, todos los modelos de correlación canónica mostraron altos grados de asociación, sin embargo, fue notorio que la participación de las variables independientes aumentó a medida que disminuía la producción forestal, aunque algunas de ellas cambiaron su linearidad de positiva a negativa como fue el caso de pendiente y pH. Esta última fue reportada como importante por VALENCIA (1995) al investigar la relación existente entre variables relativas a la vegetación arbórea y al suelo en distintas exposiciones de los bosques de pino-encino de Chihuahua, México.

Las variables dependientes: cobertura herbácea y cobertura de arbustos no tuvieron una participación estable en las diversas correlaciones canónicas lo cual proporciona una alternativa de selección para análisis ecológicos posteriores. Igualmente, dentro de las variables independientes, sólo 12 de 23 se presentaron en al menos uno de los modelos obtenidos. De las variables de fisiografía, altitud y pendiente fueron consistentes en los tres modelos, en tanto que de las variables de hidrología, sólo el espesor de arrope se presentó como importante en los sitios de clase 3. Con la presencia de variables como la pedregosidad y la clase de estabilidad del suelo se manifiesta la necesidad de tomar en cuenta a este tipo de variables en estudios posteriores de las comunidades forestales.

Mención especial merece la ausencia de la variable materia orgánica puesto que a propósito se excluyó de los modelos en los cuales ya existiera el nitrógeno, cuyos valores siempre fueron más altos para, evitar en lo posible, problemas de colinearidad. La misma situación se consideró en las varia-

Cuadro 2
Modelos de correlación canónica obtenidos en los grupos de variables vegetación-(suelo-fisiografía-hidrología)
Table 2
Canonical correlation models obtained for the variables group vegetation-(soil-topography-hydrology)

Variables dependientes		Correlación entre variables	Variables independientes	
26 sitios sin impacto: clase 1 (producción mayor a 100 m^3/ha)				
Producción de pino	0,18		Pendiente	0,67
Producción de encino	-0,54		pH	0,29
Cobertura herbácea	1,14	*r = ,94*	Nitrógeno	0,05
Cobertura arbustiva	-0,19	*Signif. = ,0002*	Hongos	0,46
Potencial de incendios	-0,14		Profundidad total	-0,56
			Altitud	-0,81
21 sitios con impacto medio: clase 2 (producción entre 50 y 100 m^3/ha)				
Producción de pino	-0,64		Clase de estabilidad	0,31
Producción de encino	0,15		Pendiente	-0,43
Altura del arbolado	-0,23	*r = ,95*	Altitud	0,19
Potencial de incendios	0,78	*Signif. = ,0051*	Arcilla	0,28
			pH	-0,45
			Fósforo	-0,13
			Nitrógeno	0,003
			Hongos	0,13
			Pedregosidad	0,67
			Raíces	0,29
33 sitios con impacto severo: clase 3 (producción menor a 50 m^3/ha)				
Índice producción pino	0,72		Exposición	-0,26
Producción encino	0,63		Arcilla	0,26
Altura del arbolado	-0,44		Altitud	0,29
Cobertura herbácea	0,39	*R =,96*	Pendiente	-0,17
Cobertura arbustiva	0,18	*Signif. =,0000*	Pedregosidad	-0,42
Potencial de incendios	-0,12		Espesor de arrope	0,23
			Densidad de raíces	0,56
			Clase estabilidad	-0,58
			pH	-0,11
			Fósforo	0,21
			Nitrógeno	0,16
			Arena	0,25

bles de textura eliminándose la que presentó menor valor individual siendo el limo el que se excluyó de todos los modelos. Resultados contrarios fueron obtenidos por SERRATO *et al.* (1999) en una investigación realizada en la región semiárida del Desierto Chihuahuense, en donde materia orgánica, limo y arcilla, además de sulfatos, nitratos y fósforo mostraron la mayor fuerza de asociación con las variables químicas proteína, calcio y fósforo de las gramíneas.

VILLANUEVA y MCPHERSON (1997) resaltaron la importancia de nitrógeno total, pH y elevación en modelos de correlación de suelo y comunidades de bosque coincidiendo completamente con los resultados de este estudio pues aquí las variables independientes que mostraron mayor constancia en los modelos de correlación canónica fueron: nitrógeno, pH, pendiente, altitud y arcilla, presentándose el fósforo en los modelos con medio y severo impacto. Dentro de las variables dependientes, la producción de pino se presentó sólo en los sitios sin impacto y con impacto medio, no siendo importante, lógicamente por la baja producción encontrada en el modelo para los sitios impactados por el aprovechamiento lo cual debe considerarse como un grave problema ya que es el aprovechamiento mal aplicado el que causa disturbios y cambios en la distribución espacial del bosque (KIMMINS, 1997); la producción de encino estuvo presente en los tres modelos (cuadro 3), lo cual también se antojó lógico,

Cuadro 3

Coeficientes primarios de las variables que mostraron constancia en los modelos de correlación canónicas para las tres clases de impacto por aprovechamiento forestal en los bosques de Durango, México

Table 3

Primary coefficients for the variables that showed consistency in the canonical correlation models for the three impact classes for forestry utilization at Durango, Mexico

	Clases de impacto[1]		
	1	2	3
Variables independientes			
Fósforo	-0,13	+0,21	
Nitrógeno	+0,05	+0,003	+0,16
pH	+0,29	-0,45	-0,11
Pendiente	+0,67	-0,43	-0,17
Altitud	+0,81	+0,19	+0,29
Arcilla		+0,28	+0,26
Variables dependientes			
Producción de pino	+0,18	-0,64	
Producción de encino	-0,54	+0,15	+0,63
Potencial de incendios	-0,14	0,78	-0,12

(1) Clases de impacto: 1 = Sin impacto (Producción mayor a 100 m^3/ha); 2 = Impacto medio (Producción entre 50 y 100 m^3/ha); 3 = Impacto severo (Producción menor a 50 m^3/ha).

puesto que el aprovechamiento forestal está encaminado a la extracción de pino.

La variable que siempre apareció en los modelos, ya sea con valores altos o bajos y casi siempre con relación positiva fue el nitrógeno, lo cual se esperaba puesto que es el elemento más crítico en el crecimiento de las plantas, es un constituyente de las proteínas, de la clorofila y de los ácidos nucleicos (DONAHUE *et al.*, 1981) lo cual concuerda con los resultados encontrados por SEELY *et al.*, (1999) en un estudio realizado sobre la simulación de un modelo de ecosistema de bosque, pues concluyeron que el nitrógeno disponible en el suelo y en el área foliar de los pinos fue el factor más importante para predecir el crecimiento.

La presencia del fósforo como variable independiente que intervino en dos de los modelos manifiesta su importancia, ya que esta variable se considera crítica en el suelo y necesaria para la división y el crecimiento celular (DONAHUE *et al.*, 1981).

Las variables de la textura no mostraron la consistencia que se esperaba, pero al menos la arcilla estuvo presente en dos de las tres clases. La arcilla es la que le da la capacidad de intercambio catiónico a los suelos; altas capacidades de intercambio catiónico significan altas resistencias del suelo a cambios de pH y cationes, o sea, alta capacidad amortiguadora (DONAHUE *et al.*, 1981).

Aunque no tuvieron una relación definida, las variables de fisiografía (altitud y pendiente) demostraron su influencia en la vegetación en los sitios con y sin impacto por el aprovechamiento y coincide con lo encontrado por BARTON (1994) en un estudio en donde relaciona la altitud con condiciones medioambientales, características de vegetación y fuego.

A pesar de que la teoría (MANLY, 1992) recomienda que en el modelo de correlación canónica sólo permanezcan variables cuyo coeficiente no sea muy bajo (> ,1) en

Cuadro 4
Valores de la prueba de t Student para las variables indicadoras de las clases de impacto por aprovechamiento forestal en los bosques de Durango, México
Table 4
Values of t-Student test for indicators variables of impact classes for forestry utilization in Durango, Mexico

	C1 VS C2[1]	C1 VS C3	C2 VS C3
Pendiente	0,05	1,08	0,88
Altitud	0,7	3,23*	1,99
PH	0,2	2,35*	2,02
Fósforo	3,55*	2,54*	1,18
Nitrógeno	1,01	1,12	0,0

(1): C1 = Sin impacto; C2 = Impacto medio; C3 = Impacto severo.
(*) Diferentes estadísticamente (alfa = 0,05).

este estudio en los distintos modelos ocasionalmente aparecen variables con un valor en su coeficiente inferior a 0,1, sin embargo, al tratar de discriminarlas se afectaba drásticamente los valores de r y de significación con lo que quedaba establecida su fuerza de asociación con las demás variables.

El análisis del impacto por aprovechamiento forestal mostró una diferencia significativa entre los promedios de pH y fósforo del suelo cuando se comparó el impacto de la clase 3 (producción menor a 50 m^3/ha) contra la clase 1 (producción mayor a 100 m^3/ha) (cuadro 4), siendo menores las cantidades de nutrientes encontrados en la clase de condición inferior (clase 3) (cuadro 5), lo cual coincide con lo descrito por BEGON *et al.* (1990) quienes explican que los nutrientes son ganados y perdidos por una comunidad por varias formas como producto de la sucesión. En ecosistemas forestales la ganancia suele ser mayor a la pérdida aunque puede ser lo contrario si el área es sujeta a una alteración, como el fuego, plagas o la deforestación por el hombre.

TURK y TURK (1984) proporcionan cantidades de suelo perdido en algunas partes de Estados Unidos como producto de la deforestación y se atreven incluso a predecir que en un período menor a 250 años se perderá la capa arable de la mayoría de los terrenos de ese país. Sin embargo, esa opinión procede de estudios realizados en áreas de bosques abiertas al cultivo. OWEN (1984) es más específico en cuanto a la pérdida de nutrientes del suelo al proporcionar

Cuadro 5
Parámetros de las variables comunes en las correlaciones canónicas de las distintas clases de impacto por aprovechamiento forestal en los bosques de Durango, México
Table 5
Parameters of common variables in the canonical correlations of different impact classes for forestry utilization in Durango, Mexico

	Pendiente (%)	Altitud (m)	pH (mmhos)	P (ppm)	N	Arcilla (%)	Cobertura mantillo (%)	Mantillo (ton/ha)	Densidad*
Sin impacto									
Media	17,0	2.526	5,67	2,88	0,26	5,78	69,72	3,45	415,38
mín	2	2.328	4,7	1,7	0,07	3,6	35.1	1,01	0
max	43	2.820	6,8	5,5	0,44	9,6	96	10,04	3.600
Impacto medio									
Media	17,2	2.559	5,7	2,08	0,23	6,6	61,59	2,28	390
mín	0	2.188	4,4	1,4	0,05	3,9	19,58	,31	0
max	65	2.960	6,3	3,1	0,44	11,9	94	7,62	4.000
Impacto severo									
Media	13,0	2.660	5,9	2,3	0,23	5,9	52,04	1,79	287,5
mín	0	2.322	5	1,5	0,06	3,6	11,22	,13	0
max	65	2.900	6,4	4	0,4	9,9	90	6,24	4.000

(*) Densidad del renuevo establecido de pino (plantas /ha).

cifras encontradas después de algunos ventarrones que azotaron algunos Estados de la Unión Americana. Encontraron, en los suelos vecinos, hasta 10 veces más materia orgánica, 9 veces más nitrógeno y 19 veces más ácido fosfórico.

Se esperaba que en los sitios en mala condición se manifestara la falta de mayor número de nutrientes debido a que al disminuir la cobertura vegetal se acelera la pérdida del suelo por la erosión hídrica principalmente (PIERROU, 1979; GAUDIE, 1990), pero sólo se vio una disminución en el contenido de fósforo y un aumento en la acidez de esos suelos, quizás porque en todos los sitios se contó con mas de un 50% de cobertura de mantillo, teniendo un promedio de acumulación de alrededor de las 2 toneladas por hectárea (cuadro 5). Esto permite establecer la diferencia de aquellas áreas boscosas que son deforestadas como producto de un aprovechamiento con las que son utilizadas para las actividades agrícolas, ya que las primeras, a pesar de no tener la masa arbórea que la proteja del viento y de la lluvia, sigue conservando la capa de mantillo que, además de proteger al suelo, le proporciona mayores probabilidades de que las plantas se establezcan y se reinicie el proceso de la sucesión.

De acuerdo a la cantidad de plántulas establecidas de pino (cuadro 5), se espera la recuperación de la masa forestal de los bosques de Durango, aunque SPURR y BARNES (1982) sostienen que se deben tener estudios de la sucesión en cada bosque en particular puesto que existen comunidades incapaces de recolonizar el área, permitiendo el establecimiento de especies no muy deseables por el hombre. Ante ello, REAMS *et al.* (1999) recomiendan un manejo forestal de acuerdo no sólo a las necesidades sociales y económicas, sino tomando en cuenta los principios de sustentabilidad.

En este estudio, los sitios evaluados siempre tuvieron una buena acumulación de mantillo por lo que se explica por qué no fueron tan notables las diferencias en contenido nutritivo entre las distintas clases de condición.

Sin embargo, los nutrientes que se manifestaron estadísticamente diferentes (pH y fósforo) son constituyentes químicos del suelo que juegan un papel trascendental para el desarrollo de la planta y la falta de ellos puede dificultar la recuperación de bosques que se explotan cuando aún no han alcanzado su plena madures, lo que está sucediendo cada vez con mayor frecuencia en México y, según la USDA-FS (1998), también en las tierras públicas de los Estados Unidos de Norteamérica.

Conclusiones

La mayoría de los sitios tuvieron una producción de madera que los califica como impactados por el aprovechamiento forestal aunque las características del suelo y la densidad de plantas jóvenes de pino prometen una buena reforestación natural en el futuro.

Al comparar los valores de las variables que mostraron consistencia en los modelos de correlación canónica se observó que en los sitios con mayor impacto el suelo es menos ácido (pH = 5,9) y es bajo el contenido de fósforo (2,3 ppm) y de nitrógeno (0,23 %).

Bibliografía

BARTON A.M. 1994. Gradient analysis of relationships among fire, environment, and vegetation in a

southwestern USA mountain range. Bulletin of the Torrey Botanical Club. 121:251p.

BEGON M., HARPER J.L. and TOWSEND C.R. 1990. Ecology. Individuals, populations and communities. Blackwell scientific publications. London, England. 945 p.

BOFINGER V.J. 1975. An introduction to some multivariate techniques with applications in field experiments. Commonwealth Agricultural Bureaux. Oxford. 196 p.

CAMPOS A.D.F. 1987. Procesos del ciclo hidrológico. Univ. Aut. San Luis Potosí. Vol. I Tomo 2.

CORDOVA J. y ZERECERO C. 1983. Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. INIF-SARH.

CUANALO H. 1981. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 2a ed. Colegio de Posgraduados, Chapingo, Mexico. 40 p.

DONAHUE R.L., MILLAR R.W. y SHICKLUNA J.C. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed. Prentice-Hill. Madrid, España. 624 p.

FOTH H.D., JACOBS H.S. and WITHEE Z.V. 1974. Laboratory manual for introductory soil science. 3th ed. W. M. C. C. Brown Co. Pub. Iowa. 104 p.

GAUDIE A. 1990. The human impact. On the natural environment. Buttler & Tanner Ltd. Oxford, England. 388 p.

GIARDIÑA B. 1972. Manual de estadística. CECSA. México, DF. 560 p.

GONZÁLEZ M. y MEDINA R. 1977. Instructivo para la toma de datos con muestreo 3P. En: Memoria de la cuarta reunión nacional sobre invenario forestal contínuo. División General del Invenario Nacional Forestal-SFF-SARH. Pub. Núm. 33. 284 p.

HAIR Jr. J.F., ANDERSON R.E. TATHAM R.L. and BLACK W.C. 1992. Multivariate data analysis. McMillan Pub. Co. New York. 544 p.

HARRIGAN W. and McCANCE M. 1976. Laboratory methods in food and dairy microbiology. Academic Press. London. 319 p.

HOMER D. CH. y PARKER F.P. 1973. Método de análisis para suelos, plantas y agua. Ed. Trillas. México.

INEGI. 1991. Encuesta nacional agropecuaria ejidal 1988, del Estado de Durango. Aguscalientes, México.

JACKSON M.L. 1970. Analisis químico de suelos. Ediciones Omega S. A. 2a ed. Barcelona. 662 p.

KIMMINS J.P. 1997. Forest ecology: A foundation for-sustainable development. Upper Saddle River, N.J. Prentice-Hall.

KUDO R.R. 1976. Protozoología. CECSA. México, DF. 905 p.

LANG J.D. 1987. Penetrómetro tipo Lang. Gulf shores. Alabama, USA.

MANLY B.F.J. 1992. multivariate statistical methods. A primer. Chapman & Hall. New York. 158 p.

MILLER C.E., TURK L.M. y FOTH H.D. 1975. Fundamentos de la ciencia del suelo. CECSA. México, DF. 527 p.

NMSU. Sin Fecha. Guide to New Mexico range analysis. New Mexico State University. Report 7.

OWEN O.S. 1984. Conservación de los recursos naturales. Editorial Pax-México. S. A. México, D. F. 648 p.

PIEPER R.D. 1978. Measurement techniques for herbaceus and shrubby vegetation. NMSU. Las Cruces. New Mexico. 148 p.

PIERROU O. 1979. The phosphorus cycle: cuantitative aspects and the role of man. in: Trudinger P. A. y D. J. Swaine (Editors). Biogeochemical cycling of mineral-forming elements. Elsevier scientific pub. Co. New York. 612 p.

REAMS G.A., ROESCH F.A. and COST N.D. 1999. Annual Forest Inventory. Cornerstone of Sustainability in the South. J. of Forestry. Vol. 97. Num. 7. 21p.

SARH 1982. Manual de aplicación del método de desarrollo silvícola. SFF-División General para el Desarrollo Forestal. México, DF. 311 p.

SEDESOL 1992. Monitoreo de impacto ambiental en áreas bajo aprovechamiento forestal en el Estado de Durango. Instituto Nacional de Ecología-Universidad Autónoma de Chihuahua. 156 p.

SEELY B.J.P., KIMMNS, H., WELHHAM C. and Scoullar. K. 1999. Defining Stand-Level Exploring. J. of Forestry. Vol. 97. Num. 65 p.

SERRATO S.R., VALENCIA C.M. y DEL RÍO, F. 1999. Interrelaciones entre variables del suelo y de las gramíneas en el pastizal semiárido del norte de Durango. TERRA, 17(1):27-34.

SPURR S.H. y BARNES B.V. 1982. Ecología forestal. AGT EDITOR. S. A. 580 p.

THOMSON L.M. 1965. El suelo y su fertilidad.Ed. Reverté, S. A. México. 407 p.

TISDALE S.L. and NELSON W.L. 1975. Soil fertility and fertilizer. Mc Millan Pub. Co. New York. 694 p.

TURK J. and TURK A. 1984. Environmental science. Saunders College Publishing. New York. 544 p.

USDA-FS. 1998. Report of the Forest Service: Fiscal year 1997. Washington, D.C.

VALENCIA C.M. 1995. Impactos ecológicos de las regiones boscosas de Chihuahua a través de la simulación. Disertación. Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chih.

VILLANUEVA D.J. y MCPHERSON R.G. 1997. Influencia del uso del suelo en la composición química de suelos forestales en el soroeste de los estados Unidos de América y Norte de México. Ciencia Forestal en México. Vol. 22 Num. 82. 136 p.

VILLASEÑOR R. 1956. Los bosques de México. En: Mesas redondas sobre problemas forestales de México. IMRNR. México, DF.

(Aceptado para publicación el 1 de marzo de 2000)