INFLUENCIA DEL USO DEL SUELO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE SUELOS FORESTALES EN EL SUROESTE DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA Y NORTE DE MEXICO.

Villanueva Díaz José[1]
McPherson Guy, R.[2]

RESUMEN

Un estudio comparativo de la influencia del uso del suelo en las características físico-químicas de suelos en ecosistemas forestales, se llevó a cabo en Animas Mountains, Nuevo México y Sierra de los Ajos, Sonora. Variaciones en el uso del suelo entre ambas montañas aparentemente afectaron muchas de sus características edáficas. Las diferencias observadas con relación a profundidad de mantillo orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, pH, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables (Mg^{+2}, Na^{+}, Ca^{+2}, K^{+}), fosfato y iones solubles (Ca^{+2}, Mg^{+2}, CO_3^{-2}, HCO_3^{-}, SO_4^{-2}, Cl^{-}) pudieran explicarse en términos de intensidad y frecuencia de incendios, aprovechamientos maderables y frecuencia e intensidad de pastoreo. Algunos de los efectos esperados como consecuencia de incendios frecuentes y de baja intensidad en la Sierra de los Ajos pueden haber sido enmascarados o disminuidos debido a la erosión del suelo que se vio favorecida por el sobrepastoreo, aprovechamientos forestales y actividades mineras. Dentro de una montaña variaciones en precipitación como consecuencia de cambios en elevación, explicó la gran mayoría, aunque no todos los patrones físico-químico de suelos observados en montañas ecológicamente similares del suroeste Americano. Un conocimiento mas detallado de los usos históricos del suelo, ayudaría a entender y a interpretar con mayor claridad los patrones observados en este estudio.

Palabras clave: Uso del suelo, incendios, sobrepastoreo, composición química.

---

[1] Ph.D. Investigador del Campo Experimental San Luis Potosí. CIR-Noreste, INIFAP, SAGAR

[2] Ph.D. Profesor Asociado, School of Renewable Natural Resources. University of Arizona, Tucson, AZ.

ABSTRACT

A comparative study to determine the influence of land-use history on the physical and soil chemical characteristics of forest ecosystems was developed. The study was located in two mountain ranges, one in Animas Mountains, New Mexico and the other one in Sierra de los Ajos, Sonora, Mexico. Land-use differences between mountain ranges apparently affected many soil characteristics such as duff depth, organic matter, total nitrogen, pH, cation exchange capacity, exchangeable cationes (Mg^{+2}, Na^{+}, Ca^{+2}, K^{+}), phosphates, and soluble ions (Ca^{+2}, Mg^{+2}, CO_3^{-2}, HCO_3^{-}, SO_4^{-2}, Cl^{-}). Soil characteristic differences could be explained in terms of differential fire frequency, timber harvesting, and cattle grazing. Some of the expected effects of frequent fires on soil characteristics in Sierra de los Ajos may have been negated or overriden by effects of soil erosion as related to livestock grazing, timber harvesting, and mining activities. Within a mountain range, precipitation-induced differences in elevation explained many, but not all, soil physical and chemical patterns. More detailed knowledge of historical land uses and a richer comparative literature would strengthen the ability to interpret patterns observed in this study.

Key words: Land-use history, fires, overgrazing, and soil chemical composition.

INTRODUCCIÓN

El historial de manejo al que ha estado sujeto un ecosistema forestal es fundamental para entender e interpretar los cambios en las propiedades edáficas del suelo y derivar acciones de manejo. La habilidad de los suelos para proporcionar nutrientes disponibles a las plantas, está influenciada por la concentración relativa de elementos en la fracción de intercambio del suelo (arcilla, materia orgánica) y por la velocidad a la que esos iones son liberados a la solución del suelo. En condiciones naturales los incendios forestales desempeñan un papel preponderante en el ciclo de nutrientes, liberando iones que estarían de otra manera fuertemente ligados a componentes orgánicos por periodos de tiempo indefinidos.

Mucha investigación se ha realizado para estudiar los efectos posteriores de incendios naturales e incendios prescritos en los nutrientes del suelo (DeBano *et al.*, 1979[3];

[3] DeBano, L.F. *et al.* 1979. Effects of burning in chaparral soils: I. Soil nitrogen. pp. 504-514.

Covington and Sackett, 1984[4]; Ryan and Covington, 1986[5]; Wienhold and Klemmedson, 1992[6]). Sin embargo, no existen estudios enfocados a determinar la composición química de suelos en bosques con diferentes historiales de uso del suelo; es decir sitios forestales sujetos a la supresión de incendios y pastoreo en comparación a sitios sin control o con escaso control de incendios, aprovechamientos forestales, minería y pastoreo.

La hipótesis en este estudio es que en condiciones equivalentes de clima y de fisiografía, la concentración de nutrientes variará entre sitios con diferente historial de uso del suelo. Se espera que la concentración de nutrientes cambie entre sitios como consecuencia de diferencias climáticas producidas por cambios en elevación, independientemente de diferencias en el uso del suelo. En consecuencia, los objetivos de este estudio son: (1) comparar la composición de ciertos componentes morfológicos y químicos de sitios similares en ambiente ecológico pero con diferente historial de uso del suelo y (2) comparar la composición química de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en montañas localizadas en el área fronteriza de Nuevo México, E.U.A., y Sonora, México.

REVISIÓN DE LITERATURA

El conocimiento del ciclo de nutrientes es de vital importancia para un adecuado manejo de los ecosistemas forestales. La capacidad de un suelo para proporcionar nutrientes en cantidad necesaria para satisfacer los requerimientos de las plantas es determinado no solamente por la concentración relativa de elementos en las partículas (arcillas, materia orgánica) y solución del suelo, sino también por las tasas a las cuales esos elementos son regresados al suelo debido al ciclo de nutrientes. En condiciones naturales los incendios forestales juegan un papel preponderante en el ciclo de nutrientes, liberando iones que estarían de otra manera fuertemente ligados a componentes orgánicos por periodos de tiempo prolongados. La acumulación ininterrumpida de materia orgánica en el piso forestal es indeseable para propósitos de manejo de ecosistemas forestales, debido a que el ciclo de nutrientes se hace mas lento y se incrementa el peligro de incendios (Cooper, 1960[7]; Dodge, 1972[8]; Covington and Sackett, *op. cit*)

[4] Covington, W. W. and S. S. Sackett. 1984. The effect of a prescribed burn in southwestern ponderosa pine on organic matter and nutrients in woody debris and forest floor. Forest Science 30:183-192.

[5] Rayn, M.G. and W.W. Covington. 1986. Effect of prescribed burn in ponderosa pine on inorganic N concentrations of mineral soils.

[6] Wienhold, B.J. and J.O. Klemmedson. 1992. Effect of prescribed fire on N and phosphorous in Arizona chaparral soil-plant systems. pp. 285-296.

[7] Cooper, C.F. 1960. Changes in vegetation, structure and growth of ponderosa pine forests since white settlement. pp. 129-164.

En la época Prehispánica la presencia de incendios forestales de baja intensidad fue un denominador común en la región del suroeste de los Estados Unidos de Amérca y del norte de México, lo cual contribuyó a un bosque con una apariencia abierta tipo parque y abundantes gramíneas en el estrato herbáceo (Weaver, 1951[9]; Cooper, *op. cit.*; Dieterich, 1983[10]; Dieterich and Swetnam,1984[11]; Covington and Moore, 1994[12]; Swetnam and Baisan,1996a[13], 1996b[14]). Las actividades de los colonizadores en esta región afectaron seriamente el régimen natural de incendios y en consecuencia influenciaron el ciclo de nutrientes. Los árboles fueron cortados y usados como material de construcción, pilotes para minería y como leña; la construcción de caminos interrumpió la continuidad del material combustible y el sobrepastoreo por ganado bovino y ovino redujo drásticamente en determinados sitios el mantillo orgánico más fino importante para el proceso de ignición y dispersión de incendios (Cooper, *op. cit.*; Dodge, *op. cit.*).

El Servicio Forestal de los Estados Unidos de América y Agencias Estatales iniciaron el control de incendios a partir de 1904, sin embargo, esta práctica se eficientó solo hasta después de la Segunda Guerra Mundial cuando se mejoró la tecnología utilizada y se implementó nuevo equipo para su control (Allen, 1995)[15]. Actualmente la mayoría de los incendios forestales en dicho país son apagados cuando han afectado una superficie menor a una hectárea.

El control de incendios a largo plazo ha originado una acumulación excesiva de materia orgánica en el piso forestal, incrementando de esta manera el peligro de incendios de alta intensidad; desacelerando el ciclo de nutrientes, alterando las condiciones ecológicas y cambiando la composición florística y dinámica del bosque. Durante el presente siglo, ciertos bosques dominados por especies intolerantes a la sombra y adaptadas al incendio como pino ponderosa (*Pinus ponderosa* var. *Arizonica*) han sido gradualmente reemplazados por especies tolerantes a la sombra pero menos resistentes al fuego como Douglas-fir o pinabete (*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*) y pino fronterizo (*Pinus strobiformis*) (Peet, 1981[16]; Villanueva and McPherson, 1995[17]).

---

[8] Dodge, M. 1972. Forest fuel accumulation: a growing problem. pp. 139-141.
[9] Weaver, H. 1951. Fire as an ecological factor in the southwestern ponderosa pine forests. pp. 93-98.
[10] Dieterich, J.H. 1983. Historia de los incendios forestales en la Sierra de los Ajos.
[11] Dieterich, J.H. and T.W. Swetnam. 1984. Dendrochronology of a fire-scarred ponderosa pine. pp. 238-247.
[12] Covington, W.W. and M.M. Moore. 1994. Southwestern ponderosa forest structure: changes since Euro-American settlement. pp. 39-47.
[13] Swetnam, T.W. and C. Baisan. 1996a, in press. Historical fire regime patterns in the SW United States since AD 1700.
[14] Swetnam, T.W. and C. Baisan. 1996b. Fire history of montane forests in the Madrean Borderlands. pp. 15-36
[15] Allen, L.S. 1995.Fire management in the sky islands. pp. 19-23.
[16] Peet, R.K. 1981. Forest vegetation of the Colorado Range. pp. 3-75.
[17] Villanueva, D.J. and G.R. McPherson. 1995. Forest structure in mountains of Sonora, México and New Mexico. pp. 416-423.

En contraste al régimen de incendios forestales en el sudoeste de los Estados Unidos de América, los bosques del norte de México no han experimentado con la misma intensidad y efectividad la supresión de incendios (Baisan and Swetnam,1995[18]; Minnich y Bahre, 1995[19]; Swetnam y Baisan, 1996a, *op cit.*). De esta manera, la apariencia abierta de muchos bosques del norte de México se ha conservado (Fulé y Covington, 1995)[20]. Presumiblemente el ciclo de nutrientes tampoco ha sido interrumpido.

El material parental es uno de los factores que influye en el tipo de suelo, vegetación, propiedades del ecosistema y su influencia es particularmente notable en suelos inmaduros, es decir suelos forestales del suroeste Americano. Los suelos derivados de diferente material parental se comparan frecuentemente con respecto a su fertilidad. Rocas ígneas ácidas como la riolita desarrollan suelos relativamente infértiles comparadas con rocas ígneas básicas que originan suelos fértiles (Welch, 1973)[21]. El material parental influencia la productividad del bosque a través de sus efectos en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo pero su influencia puede ser modificada por el clima.

Las arcillas desempeñan un papel importante en muchas propiedades físicas y químicas del suelo, por ejemplo, afectando tasas de infiltración, capacidad de intercambio catiónico, retención del agua y pueden influenciar significativamente el desarrollo de comunidades vegetales (Bohn *et al.*, 1985[22]; Jury *et al.*, 1991[23]). Las arcillas tipo 1:1 tales como caolinita generalmente ocurren en climas cálido-húmedos con alta precipitación provocando alta lixiviación de bases (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}) y sílica soluble. En contraste, arcillas tipo 2:1 pertenecientes al grupo de las esmectitas como montmorillonita son más dominantes en climas áridos. Finalmente, las arcillas tipo 2:1:1 como la clorita ocurren ampliamente en muchos tipos de suelos (Birkeland, 1974[24]; Barnhisel, 1977[25]; Borchardt, 1977[26]; Bohn *et al.*, *op. cit.*; Reheis, 1990[27]; Alexander *et al.*, 1993[28]).

---

[18] Baisan, C.H. and T.W. Swetnam. 1995. Historical fire occurrance in remote mountains of southwestern NM and northern Mexico. pp. 153-156.

[19] Minich, R.A and C.J. Bahre. 1995. Wildland fire and chaparral sucession along the California-Baja California boundary. pp. 13-24.

[20] Fulé, P.Z. and W.W. Covington. 1995. Changes in fire regime. pp. 408-415.

[21] Welch, T.G. 1973. Distribution of N and C in ponderosa pine ecosystems as function of parent material.

[22] Bohn, H.L. *et al.* 1985. Soil Chemestry. 2nd. Edit.

[23] Jury, W.A. *et al.* 1991. Soil Physics. 5th. Edit.

[24] Birkeland, P.W. 1974. Pedology, Weathering and Geomorphological Research

[25] Barnishel, R.I. 1977. Chlorites and hydroxy interlayered vermiculite and smectite. pp. 331-356.

[26] Borchardt, G.A. 1977. Montmorillonite and other smectite minerals. pp. 293-330.

[27] Reheis, M.C. 1990. Influence of climate and eolian dust on the major-element chemistry and clay mineralogy of soils in the northern Bighorn Basin, USA. pp. 219-248.

[28] Alexander, E.B. *et al.* 1995. Soil elevation relationships on a volcanic plateau in the southern Cascade range. northern, California, USA. pp. 113-128.

El efecto del incendio en las arcillas es mínimo por dos razones: primero la mayoría de las arcillas se localizan en el horizonte B, donde las temperaturas que en la superficie del suelo pueden alcanzar entre 400 a 800° C difícilmente logran penetrar mas allá de los 15 cm y segundo en el caso de que en la superficie del suelo existieran arcillas como aquellas derivadas de depósitos sedimentarios u horizontes B truncados, solo los incendios de mayor intensidad alcanzarían la temperatura suficiente para alterar esas arcillas. El resultado en tal situación sería la formación de partículas de mayor dimensión debido al efecto cementante de las partículas de arcilla, lo cual incrementaría la erodibilidad de estos suelos (Chandler *et al.*, 1983)[29].

Los fragmentos de rocas (partículas mayores a 2 mm) tienen una influencia significativa directa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Childs and Flint, 1990)[30]. Las gravas (0.2 - 7.6 cm), guijarros (7.6 - 25.4 cm) y rocas (> 25.4 cm) toman espacio que de otra manera sería ocupado por las partículas del suelo menores a 2 mm en diámetro. Los fragmentos rocosos en la superficie y dentro del perfil del suelo afectan la compactación, infiltración, escurrimiento y erosión. Los suelos con grandes cantidades de fragmentos rocosos retienen menos humedad por unidad de volumen que los suelos de textura fina, pero la penetración del agua es más rápida y más profunda. En consecuencia el agua se almacena a mayor profundidad en el perfil del suelo donde puede ser utilizada por árboles con sistema radical profundo. De esta manera, algunas relaciones biofísicas entre la proporción de fragmentos rocosos y productividad de las plantas se pueden relacionar a los atributos físicos y químicos del suelo, así como a contenido de humedad, temperatura y condiciones microambientales (Boyles and Tajchman, 1984[31]; Childs and Flint, *op. cit.*).

El color del suelo es usado para su identificación y clasificación (Soil Survey Staff, 1975)[32]. El sistema Munsell usa tres elementos (matiz, valor y tonalidad) para describir un color específico. El color del suelo es un factor de poca importancia para el desarrollo del árbol, sin embargo, sirve como indicador de varias de sus características, tales como origen geológico y grado de mineralización del material madre. Relaciones cuantitativas entre color y contenido de materia orgánica se han usado para explicar el contenido de nitrógeno total y mineralizable en suelos forestales (Fernández *et al.*, 1988[33]; Quian *et al.*, 1993[34]; Schulze *et al.*, 1993[35]).

[29] Chandler, C.P. *et al.* 1983. Fire in Forestry. Vol. 1. John Wiley & Sons.
[30] Childs, S.W. and A.L. Flint. 1990. Physical properties of forest soils containing rock fragments. pp. 95-121.
[31] Boyles, R.L. and S.J. Tajchman. 1984. Stonine.and rockiness of a forested Appalachian catchment. pp. 311-322.
[32] Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy. Handbook 436. 754 p.
[33] Fernandez, R.N. *et al.* 1988. Color, organic matter, and pesticide adsorption relationships in a soil landscape. pp. 1023-1026.
[34] Qian, H.K. *et al.* 1993. Relationship between color value and nitrogen in forest mineral soils. pp. 61-72.
[35] Schulze, D.G. *et al.* 1993. Significance of organic matter in determining soil colors. pp. 71-89.

La productividad de un suelo forestal es función de una combinación de factores físico-químicos y del clima. La densidad aparente, textura y profundidad de suelo afectan muchos fenómenos físicos de transporte como son la infiltración, percolación profunda, intercambio de gases y procesos de retención como son la capacidad de almacenamiento de agua y capacidad de intercambio catiónico. Incrementos en la profundidad del suelo tienden a asociarse con incrementos tanto en el suministro de nutrientes como en la capacidad de retención de agua.

La materia orgánica (MO) es importante en suelos forestales ya que representa un depósito de varios elementos esenciales, favorece buena estructura del suelo, es una fuente de cationes intercambiables, evita cambios bruscos de pH, promueve buena aireación e incrementa la cantidad de agua disponible en el suelo. En las montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y del norte de México el contenido de MO está muy correlacionado a gradientes altitudinales. La MO aumenta conforme se incrementa en elevación (Whittaker *et al.*, 1968[36]; Hanawalt and Whittaker, 1977[37]; Barton, 1994[38]).

El efecto del incendio en los suelos es una reducción neta de la MO. Sin embargo, la cantidad de MO perdida durante un incendio es altamente variable y depende de la frecuencia e intensidad del incendio, clima prevaleciente durante el incendio y de las características fisiográficas del sitio (DeBano and Conrad, 1978[39]; DeBano *et al.*, *op. cit.*; Chandler *et al.*, *op. cit.*; Covington and Sackett, *op. cit.*).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se refiere a la habilidad de los suelos para absorber e intercambiar cationes (Rhoades, 1982)[40] y está influenciada por la presencia de cargas negativas en las arcillas y en la MO. La productividad de los bosques en Norte América generalmente se relaciona positivamente a la CIC de los suelos. La CIC de un suelo puede disminuir por los incendios y permanecer baja por más de un año, debido a la destrucción de sitios de intercambio presentes en la MO (Christensen and Muller, 1975)[41].

El pH, el grado de ionización del agua, es uno de los mejores indicadores de las propiedades químicas del suelo (McLean, 1982)[42]. La disponibilidad de la mayoría de

[36] Whitting, L.D. *et al.* 1968. X-ray diffraction techniques. pp. 331-359.
[37] Hanawalt, R.B. and R.H. Whittaker. 1977. Altitudinal patterns of Na, K, Ca, and Mg in soils and plants, in the San Jacinto Mountains, CA. pp. 25-36.
[38] Barton, A.M. 1994. Gradient analysis of relationships among fire, environment, and vegetation in a southwestern USA mountain range. pp. 251-265.
[39] DeBano, L.F. and C.E. Conrad. 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. pp. 489-497.
[40] Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. pp. 167-179.
[41] Christensen, N.L. and C.H. Muller. 1975. Effects of fire on factors controlling plant growth in *Adenostoma* chaparral. pp. 29-55.
[42] McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirements. pp. 199-209.

los macronutrientes y micronutrientes esenciales depende del pH. En las montañas del suroeste Americano, el pH generalmente disminuye conforme se incrementa la elevación, influenciado por un gradiente de precipitación. Mayor precipitación lixivia los cationes básicos a profundidades donde las raíces de las plantas difícilmente pueden aprovecharlos. Alternativamente, el pH se incrementa como resultado de la combustión de la MO. El incremento en pH depende de la cantidad de ceniza liberada, composición química de la ceniza y aridez del clima (Wells *et al.*, 1979[43]; Chandler *et al.*, *op. cit.*).

Tanto los cationes intercambiables (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}, NH_4^{+}, Al^{3+}, H^{+}) como los cationes solubles (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}) disminuyen con incrementos en altitud en las montañas del suroeste Americano. Este patrón resulta de gradientes de precipitación, evapotranspiración y lixiviación producidos por cambios en elevación (Whitttaker *et al.*, *op. cit.*; Hanawalt and Whittaker, *op. cit.*). La exposición y dirección de la pendiente influencia la temperatura del suelo, tasa de evapotranspiración, MO y disponibilidad de nutrientes. Exposiciones norte y este generalmente muestran menores tasas de evapotranspiración comparadas a las exposiciones sur y oeste producido por menores tasas de energía solar recibida. De esta manera, incrementos en el contenido de humedad afectan la disponibilidad de cationes solubles e intercambiables (Pritchett, 1979[44]; Bohn *et al.*, *op. cit.*).

Los cambios en las propiedades químicas de los suelos durante los incendios están relacionados principalmente a la rápida conversión u oxidación de nutrientes contenidos en materiales orgánicos presentes en la superficie del suelo. El nitrógeno total y el fósforo disminuyen directamente en relación a la severidad del incendio, estos componentes a su vez pueden volatilizarse especialmente en incendios de alta intensidad (DeBano and Conrad, *op. cit.*; DeBano *et al.*, *op. cit.*; Chandler *et al.*, *op. cit.*; Covington and Sackett, *op. cit.*; Raison *et al.*, 1985[45]). El nitrógeno amoniacal se incrementa debido a la descomposición térmica de las proteínas y aminoácidos presentes en la materia orgánica y aumenta la disponibilidad de potasio, calcio y magnesio (Raison *et al.*, *op. cit.*). Los incrementos en disponibilidad de nutrientes son mayores después del incendio y su efecto para ciertos iones pude perdurar por mas de cinco años (Wells *et al.*, *op. cit.*).

[43] Wells, C.G. *et al.* 1979. Effects of fire on soil: a state-of-knowledge review. 34 p.
[44] Pritchett, L.W. 1979. Properties and Management of Forest Soils. 500 p.
[45] Raison, R.J. *et al.* 1985. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. pp. 132-140.

SITIOS DE ESTUDIO

Animas Mountains y Sierra de los Ajos

Animas Mountains (AM) es la montaña más alta en el sudoeste de Nuevo México, (E.U.A.), con una extensión de 100 km^2 dentro del Gray Ranch. Se localiza en la parte sur del condado Hidalgo, con dos picos principales aproximadamente 28 km al norte de la frontera de los Estados Unidos de América con México. El pico más alto de esta montaña alcanza una altura de 2,600 m.

La Sierra de los Ajos (SLA) se localiza en el estado de Sonora, México, aproximadamente 100 km al suroeste de AM. Su elevación máxima es de 2,600 m, con una superficie total de 171 km^2 (Figura N° 1).

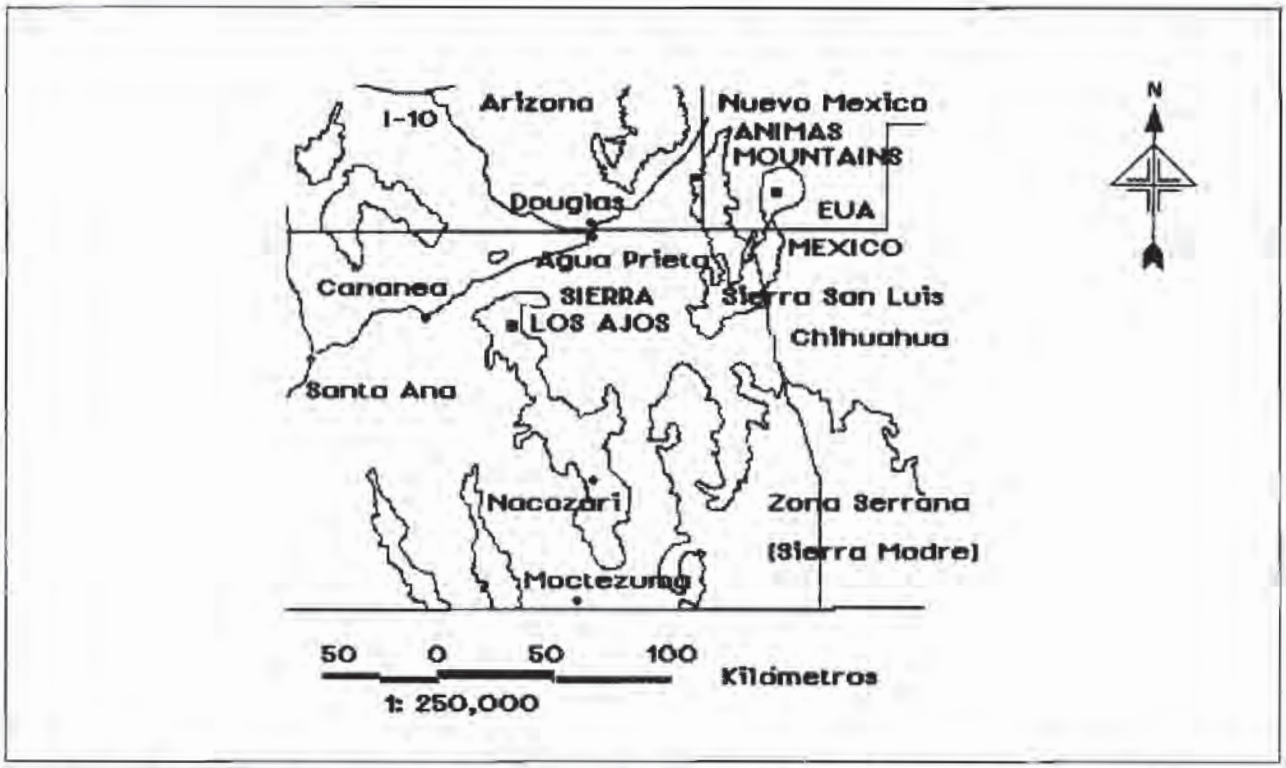

Figura N° 1. Localización geográfica de las montañas Animas Mountains, Nuevo México y Sierra de los Ajos, Sonora.

Geología y suelos. AM y la SLA se formaron durante la época Terciaria, con formaciones rocosas de riolita, basaltos y tobas. La topografía de estas montañas es

muy escarpada, dominando los suelos someros menores de 50 cm de profundidad (Soil Conservation Service, 1973[46]; Aponte, 19974[47]).

Clima. AM y la SLA se caracterizan por un patrón de precipitación bimodal, aproximadamente 60% de la precipitación anual (450-750 mm) se presentan en el periodo julio-septiembre y el 40% se recibe durante el periodo invernal. La temperatura es muy variable, registrándose temperaturas mayores a 32° C durante los meses de verano y de 12 a -5° C durante los meses de invierno.

Vegetación. La cercanía de AM y de SLA a la Sierra Madre Occidental y a la parte sur de las Montañas Rocallosas ha resultado en una composición florística muy rica (Wagner, 1977[48]; Brown, 1982[49]; Fishbein *et al.*, 1995[50]).

La vegetación de la parte alta de AM, se clasifica en tres categorías: encinar bajo; encinar alto y bosque de coníferas. El bosque de coníferas cubre aproximadamente 450 ha entre los 1,980 y 2,600 m (Hubbard 1977[51], Wagner, *op. cit.*). Las principales especies en esta comunidad son Douglas-fir o pinabete, localizado en cañones y laderas de montañas. preferentemente en exposición norte. Otras especies presentes son pino fronterizo, pino ponderosa y pino chihuahuense(*Pinus leiophyla* var. *chihuahuana*). Entre 2,300 y 2,600 m se localiza pino ponderosa, pino fronterizo y pino apache (*Pinus engelmannii*) (Wagner, *op. cit.*). La comunidad de piñón-junípero se encuentra entre 2,300 y 2,450 m y esta compuesta de pino piñonero (*Pinus discolor*), cedrillo (*Juniperus deppeana*) y diversas especies de encino (*Quercus* spp.).

En la SLA habitan comunidades bióticas clasificadas como bosque mixto de coníferas, chaparral montano, encinar y vegetación riparia (Garza-Salazar, 1993[52]; Solís *et al.*, 1993[53]; Fishbein *et al.*, *op. cit.*). El bosque mixto de coníferas se encuentra restringido a exposiciones norte entre 1,900 a 2,600 m de altura. Las especies dominantes son Douglas-fir o pinabete asociado con encino gambel (*Quercus gambelii*) y madroño (*Arbutus arizonica*). La asociación pino-encino se encuentra entre 1,500 a 2,000 m de altura. Las especies dominantes son pino chihuahuana, pino piñonero, encino emory (*Quercus emoryi*), encino hoja plateada (*Quercus hypoleucoides*) y encino arizonica (*Quercus arizonica*).

[46] Soil Conservation Service. 1973. Soil Survey of Hidalgo County, NM. 754 p.
[47] Aponte, M.B. 1974. Estratigrafía del Paleozoico (Cámbrico-Pensilvánico) del centro de Sonora.
[48] Wagner, W.L. 1977. Floristic affinities of Animas Mountains, southwestern New Mexico. 180 p.
[49] Brown, D.E. 1982. Madrean evergreen woodlands. pp. 59-65.
[50] Fishbein, M. *et al.* 1995. Another jewel in the crown: a report on the flora of the Sierra de los Ajos, Sonora, Mexico. pp. 126-124.
[51] Hubbard, J.P. 1977. A biological inventory of the Animas Mountains, Hidalgo County, New Mexico. 56 p.
[52] Garza-Salazar, F. 1993. Sistemas de áreas naturales protegidas del estado de Sonora (SANPES). 97 pp.
[53] Solis-Garza, G. *et al.* 1993. Riparian plant communities on the Rio los Ajos, Sonora, Mexico. pp. 13-22.

Historia de Uso del Suelo

Animas Mountains. El historial del uso del suelo es importante para entender e interpretar los cambios en la composición del bosque y su influencia en el ciclo de nutrientes. La ocupación humana del suroeste de Nuevo México y del sureste de Arizona se ha registrado por más de 10,000 años (Martin, 1963)[54]. A principios del siglo XVII los Españoles iniciaron la colonización de esta región. Sus actividades principales se fundamentaron en la agricultura y ganadería y en menor escala la minería. La intensidad de pastoreo durante este periodo no es muy conocido aunque esta actividad se incrementó de manera explosiva a principios de 1890, con altibajos de 1900 a 1930 y posteriormente el pastoreo se ajustó acorde a la capacidad de carga del área (Wagner, *op. cit.*; Tonne *et al.*, 1992[55]). El efecto del pastoreo fue mayor en el área de pastizal que en la parte alta de la montaña con vegetación boscosa.

El fuego como componente natural de ecosistemas forestales ha sido particularmente afectado durante el presente siglo. A principios de 1900 el sobrepastoreo y el inicio del control de incendios en la parte suroeste de los Estados Unidos de América, aparentemente fueron los detonadores de cambios en vegetación, lo que involucró problemas de erosión, invasión de pastizales por especies arbustivas y substitución de especies intolerantes a la sombra por especies más tolerantes (Archer and Smeins, 1991)[56].

El régimen de incendios en AM se caracterizó por una mezcla de incendios superficiales frecuentes de baja intensidad (3 a 15 años) e incendios mas intensos a mayor intervalo (20 a 50 años). La frecuencia de incendios después de 1900 ha sido reportado por Baisan y Swetnam (*op. cit*).

El uso actual del suelo en AM se caracteriza por pastoreo controlado en la parte baja de la montaña (pastizal) y completa exclusión de esta actividad en las comunidades boscosas de la parte media y alta de la montaña. El control de incendios es muy efectivo en todas las comunidades vegetales presentes y no existen aprovechamientos minerales.

Sierra de los Ajos. El historial de uso del suelo para la SLA es poco conocida. La región fue habitada por tribus Ópatas en la época Precolombina (Hasting and Turner, 1965[57]; West, 1993[58]). La colonización Española de esta región, se realizó un siglo

[54] Martin, P.S. 1963. The Last 10,000 Years. 87 p.
[55] Tonne, P. *et al.* 1992. The natural and historic role of fire on the Gray Ranch, Hidalgo County, New Mexico. 44 p.
[56] Archer, E. and F.E. Smeins. 1991. Ecosystem-level processes. pp. 109-139.
[57] Hastings, J.R and R.M. Turner. 1965. The Changing Mile. 317 p.
[58] West, R.C. 1993. Sonora its Geographical personality. 191 p.

después de que el área fuera explorada en búsqueda de yacimientos minerales. De 1614 a 1617, la orden religiosa de los Jesuitas inició su establecimiento en Sonora. Dentro de las actividades principales de esta orden religiosa se encontraba la ganadería, sin embargo el incremento en esta actividad y su consecuente impacto en la vegetación se debió al surgimiento de ranchos ganaderos a principios de 1700. Por ejemplo, en 1713, un ranchero poseía 7,000 cabezas de ganado en el Valle Moctezuma, simultáneamente seis Españoles contaban cada uno con al menos 12,000 cabezas de ganado ubicadas entre los valles de Sonora y Moctezuma (Harness and Barber, 1964)[59].

Durante el siglo XX las actividades de pastoreo en la SLA no se han documentado eficazmente. Varios permisos de pastoreo se expidieron en el periodo 1968-1984, aunque se desconoce la carga animal y el período de explotación. Actualmente la ganadería extensiva es la actividad dominante en esta montaña, especialmente en la comunidad de pastizal y área de transición de pastizal a encinal.

En el presente siglo, la ocurrencia de incendios en la SLA aparentemente no se ha reducido por actividades de control humano. La frecuencia de incendios para esta montaña varía entre 4 a 5 años (Dieterich, *op cit.*; Baisan and Swetnam, *op. cit.*, Swetnam and Baisan, *op cit.*).

MATERIALES Y MÉTODOS

En cada montaña tres comunidades forestales fueron estudiadas: (1) Douglas-fir (DF), (2) pinos mixtos (PM) y (3) asociación pino piñonero-encino (PE). En el verano de 1992 y 1993 cuatro rodales representativos de cada comunidad en cada montaña fueron seleccionados para estudios detallados de suelo y vegetación (24 rodales en total) (Figuras Nos. 2 y 3).

Una parcela permanente de 20 X 50 m (0.1 ha) se seleccionó por rodal y esta fue subdividida en 10 subparcelas de 10 X 10 m. Se abrió un perfil de suelo en cada parcela para medir directamente la profundidad de suelo. Muestras de roca fueron colectadas y procesadas en laboratorio para su clasificación mineralógica. Adicionalmente se colectaron muestras de suelo para determinación cuantitativa de arcillas minerales usando el método de difracción con rayos X (Whitting and Alladice, 1986)[60]. Visualmente se estimó el porcentaje de fracciones rocosas presentes en la

[59] Harness, V.L. and C.H. Barber. 1964. Cotton in Mexico. United States Department of Agriculture, Foreign Agriculture Service.

[60] Whitting, L.D. and W.R. Allardice. 1986. X-ray diffraction techniques. pp. 331-359.

superficie y dentro del perfil de suelo. Las fracciones rocosas consistieron de gravas(0.2 - 7.6 cm), guijarros (7.6 - 25.4 cm) y rocas (> 25.4 cm). En cada subparcela se colectó una muestra de suelo de los primeros 25 cm. Las muestras se tamizaron en un cedazo de 2 mm con el fin de remover las fracciones rocosas y materiales orgánicos. Aproximadamente un kilogramo de suelo tamizado se almacenó en bolsas plásticas para determinaciones morfológicas y químicas. En laboratorio, las muestras de suelo fueron secadas al aire y retamizadas para remover remanentes de material orgánico. El suelo fue analizado con respecto a densidad aparente (Blake and Hartge, 1986)[61], textura (Gee and Bauder, 1986)[62] y color. Los componentes del color (matiz, valor y tonalidad) se obtuvieron usando un colorímetro modelo CR-200, las lecturas de este aparato se corrigieron usando ecuaciones de regresión como lo reporta Post *et al.* (1993)[63].

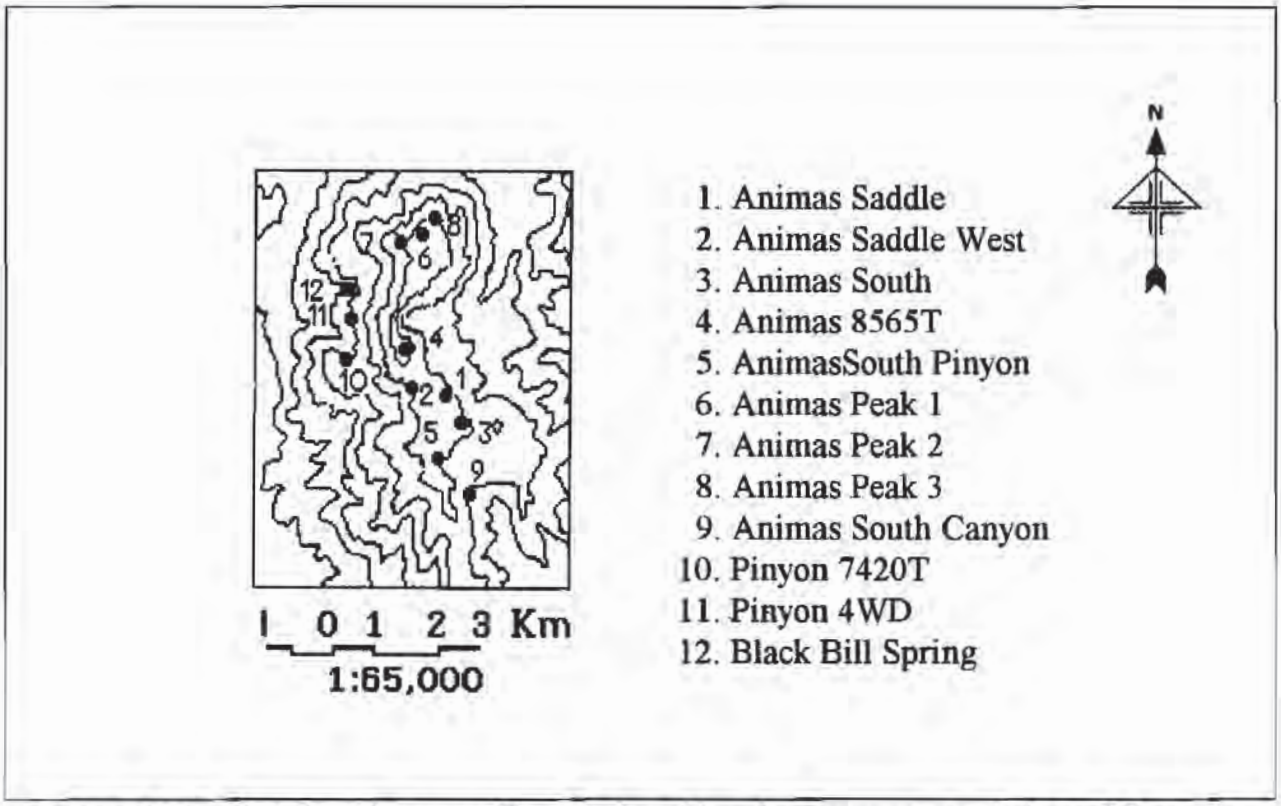

Figura N°2. Distribución geográfica de los sitios de muestreo en Animas Mountains, Nuevo Mexico. Los sitios 1, 2, 3 y 4 se ubicaron en una comunidad de pinabete/encino Gambel (DF); los sitios 6, 7, 8, y 9 se ubicaron en una comunidad de pinos mixtos (PM) y los sitios 5, 10, 11 y 12 se ubicaron en una comunidad de pino piñonero/encinal (PE).

[61] Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Particle density. pp. 377-382.
[62] Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-411.
[63] Post, D.F. *et al.* 1993. Correlations between field and laboratory measurements of soil color. pp. 35-49.

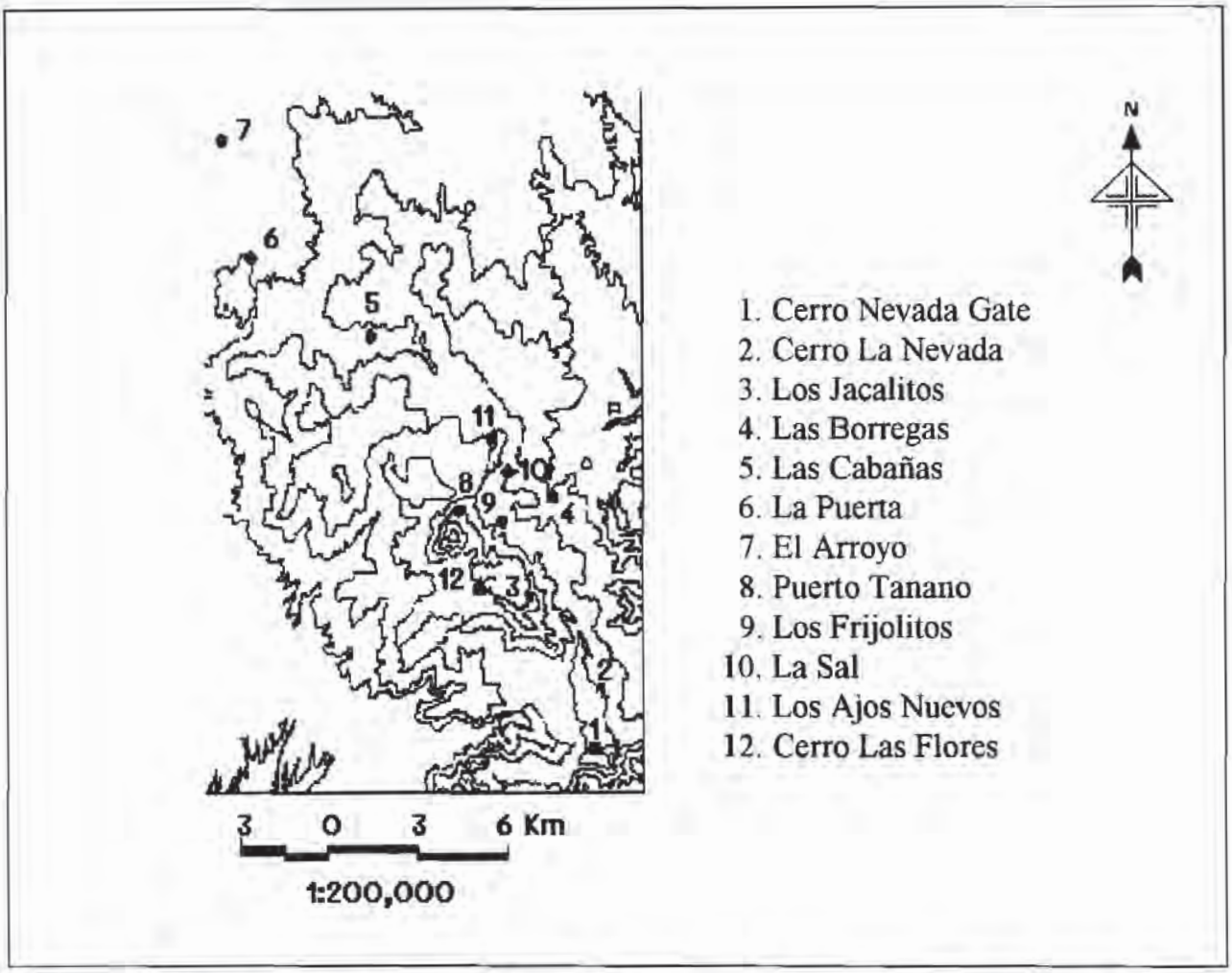

Figura N°3. Localización geográfica de los sitios muestreados en la Sierra de los Ajos, Sonora. Los sitios 8, 9, 11 y 12 se ubicaron en una comunidad de pinabete/encino Gambel (DF); los sitios 5, 6, 7 y 10 se ubicaron en una comunidad de pinos mixtos (PM) y los sitios 5, 6, 7 y 10 se ubicaron en una comunidad de pino piñonero/encinal (PE).

Los análisis químicos en la fracción < 2mm consistió de pH, conductividad eléctrica (CE), carbonatos totales, materia orgánica (MO), nitrógeno total, fósforo aprovechable, iones solubles (Ca^{2+}, Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}, CO_3^{2-}, HCO_3-, cl^{-}), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes intercambiables (Ca^{2+}, Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}). El pH se determinó en una solución de 1:2 como lo describe McLean (*op. cit.*) La conductividad eléctrica (mmhos/cm) y iones solubles (me/l) se determinaron en el extracto de saturación como lo describe Rhoades, 1982 *op. cit.*. Los carbonatos totales (%) se analizaron usando el método volumétrico (Nelson, 1982)[64]. La materia orgánica (%) se determinó mediante

[64] Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. pp. 181-197.

el método de Walkley-Black (Walkley, 1947)[65] y el nitrógeno total (%) usando el método Kjeldahl descrito por Bremner and Mulvaney (1982)[66]. La capacidad total de intercambio (me/100 g) se obtuvo según Polemio y Rhoades (1977)[67] y los cationes intercambiables (me/100 g) según Knudsen *et al.* (1982)[68].

Un análisis de varianza fue utilizado para estudiar la relación entre variables independientes (montaña, elevación) y sus interacciones y variables dependientes (atributos morfológicos y químicos). La separación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey, considerando una probabilidad del 95 % ($p<0.05$). La asociación entre elevación y algunas variables edáficas (profundidad de suelo, densidad aparente, arcilla, materia orgánica, CEC, valor) se describió mediante correlaciones y regresiones simples.

RESULTADOS

En AM el material madre dominante en las comunidades estudiadas fue roca volcánica riolita. En la SLA la roca volcánica riolita dominó en la mayoría de las comunidades pero en dos sitios de PM dominó esquisto y roca metamórfica y en un sitio con DF dominó roca sedimentaria (Cuadro N° 1).

En cada montaña el análisis mineralógico de arcillas minerales no indicó un patrón consistente de distribución a lo largo del gradiente altitudinal. Arcillas minerales típicas de partes altas de montañas como la caolinita se encontraron también en las partes bajas. Esmectita y vermiculita que con frecuencia dominan bajas elevaciones, se encontraron también en elevaciones altas. Cuarzo y feldespatos se localizaron en todo el rango de altitud y vermiculita y clorita se presentaron sólo a elevaciones superiores a 2,100 m. La composición mineralógica para comunidades similares entre montañas no difirió cualitativamente (Cuadro N° 2).

La profundidad de suelo, profundidad de mantillo orgánico, grava en la superficie, arena, limo, arcilla, valor, croma, materia orgánica, nitrógeno total, pH, CIC; Mg^{2+} y Na^{+} intercambiables, K^{+}, Na^{+} y SO_4^{2-} solubles fueron influenciados significativamente ($p<0.05$) por la interacción entre montaña y comunidad (Cuadro N° 3). No se encontró

[65] Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils. pp. 251-263.
[66] Bremner, J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen total. pp. 595-622.
[67] Polemio, M. And J.D. Rhoades. 1977. Determining cation exchange capacity. pp. 524-528.
[68] Knudsen, D. *et al.* 1982. Lithium, sodium and potassium. pp. 225-246.

interacción significativa ($p>0.05$) para las variables restantes. El efecto principal de montaña y comunidad en las características del suelo es indicado en el Cuadro N° 4.

Análisis de regresión simple indicaron una relación significativa ($p<0.05$) entre elevación, MO y valor en Animas Mountain, y MO, densidad aparente, contenido de arcilla y CIC en la Sierra de los Ajos (Figura N° 4).

Montaña[1]	Sitio Muestreado	Comunidad[2]	Material Original
AM	Animas Saddle	DF	Roca volcánica grano fino
AM	Animas Saddle West	DF	Roca volcánica riolita
AM	Animas South	DF	Roca volcánica riolita
AM	Animas 8565TN	DF	Roca volcánica riolita
AM	Animas Peak1	PM	Roca sedimentaria grano fino
AM	Animas Peak2	PM	Roca volcánica riolita
AM	Animas Peak3	PM	Roca volcánica riolita
AM	Animas South Canyon	PM	Roca volcánica riolita
AM	Animas South Pinyon	PE	Roca volcánica riolita
AM	Pinyon 7420T	PE	Roca volcánica riolita
AM	Pinyon 4WD	PE	Roca volcánica riolita, diosita
AM	Black Bill Spring SE	PE	Riolita de grano grueso
SLA	Puerto Tanano	DF	Roca volcánica riolita
SLA	Los Frijolitos	DF	Roca volcánica riolita
SLA	Los Ajos Nuevos	DF	Roca volcánica riolita
SLA	Cerro las Flores	DF	Roca sedimentaria grano fino
SLA	Cerro la Nevada	PM	Roca metamórfica esquisto
SLA	Cerro Nevada Gate	PM	Roca metamórfica esquisto
SLA	Los Jacalitos	PM	Roca volcánica riolita
SLA	Las Borregas	PM	Roca volcánica riolita
SLA	Las Cabañas	PE	Roca volcánica riolita y cuarzo
SLA	La Puerta	PE	Roca volcánica riolita
SLA	El Arroyo	PE	Roca volcánica riolita
SLA	La Sal	PE	Roca volcanica riolita

[1]**AM** = Sierra Animas; **SLA** = Sierra los Ajos.
[2]**DF** = Douglas-fir/Encino Gambel ; **MP** = pinar mixto; **PE** = pino piñonero-encino.

Cuadro N° 1. Composición del material madre de los sitios muestreados en Animas Mountains, Nuevo Mexico y en la Sierra de los Ajos, Sonora.

Comunidad[1]	Animas Mountains	Sierra de los Ajos
DF	Caolinita, mica, esmectita, cuarzo, Dolomita, vermiculita (traza), Clorita (traza).	Vermiculita, mica, caolinita, gibsita, calcita (indicios), geotita (traza)
PM	Esmectita, mica, caolinita, hematita.	mica, caolinita, cuarzo, esmectita (traza), hematita, geotita (traza)
PE	Mica, caolinita, cuarzo, esmectita, calcita, vermiculita (traza).	Mica, esmectita, caolinita, vermiculita (traza), geotita (traza)

[1]**DF**= Douglas-fir o pinabete/encino Gambel ; **PM**= pinar mixto ; **PE**= pino piñonero-encinar

Cuadro N° 2. Composición cualitativa de arcillas minerales de las comunidades forestales de Animas Mountains, Nuevo Mexico y Sierra de los Ajos, Sonora.

Variable	Animas Mountains[1]			Sierra de los Ajos		
	DF[2]	PM	PE	DF	PM	PE
Profundidad de suelo	92.5aA	71.0bB	52.5cB	73.8aB	77.5*A	58.8bA
Mantillo orgánico (cm)	1.5aA	1.5aA	0.3bA	0.4aB	0.5Ab	0.3bA
Grava en la superficie (%)	27.2bA	46.0aA	53.6aA	33.5bA	46.3*A	36.0bB
Arena (%)	62.0aA	56.0bA	56.0bB	57.0bB	48.0cA	65.0aA
Limo (%)	17.0bB	25.0aA	24.0aA	25.0aA	27.0aA	18.0bB
Arcilla (%)	19.2abB	20.4aA	18.5bB	25.6aA	17.5bB	17.3bA
Valor (seco)	4.6bB	4.9abB	5.3aB	6.0bA	5.8bA	6.6aA
Tonalidad (seco)	1.7bB	1.7bB	2.0aA	3.0bA	2.8bA	2.3aA
Materia orgánica (%)	6.5abA	7.5aA	4.4bA	3.3aA	3.1abB	2.5bB
Nitrógeno total (%)	0.3bA	0.4aA	0.3abA	0.16aB	0.15*B	0.12bB
PH	6.6aA	6.5abA	6.4bA	6.5aA	5.7bB	6.2aB
CIC (me/100 g)	19.3aA	19.0abA	17.8bA	20.0aA	14.1bB	13.6bB
Mg^{2+} (me/100 g)	6.4abA	9.8aA	4.0bA	2.5bB	3.0abB	3.1aB
Na^{+} (me/100 g)	2.3aA	1.9bA	1.6bA	0.9aB	0.8abB	0.75bB
K^{+} (me/l)	1.7aA	1.2bA	1.0bA	0.6bB	0.8aB	0.77abB
Na^{+} (me/l)	1.8aA	1.3bA	1.2bA	0.8bB	1.0aB	0.8abB
SO_4^{2-} (me/l)	0.5bB	1.4aA	1.5aA	1.6aA	1.0bB	0.9bB

[1]Dentro de una montaña, valores medios seguidos por letras minúsculas no difieren significativamente (**p >0.05**) entre comunidades; dentro de una comunidad, valores medios seguidos por letra mayúscula no difieren entre montañas (**p >0.05**).
[2]DF = Douglas-fir/encino Gambel ; PM = pinar mixtos ; PE = piñonero-encino.

Cuadro N° 3. Efecto de la montaña y comunidad en las características de suelo en Animas Mountains, Nuevo Mexico y Sierra los Ajos, Sonora. Todas las variables indicadas estuvieron significativamente afectadas por la interacción Montaña X Comunidad.

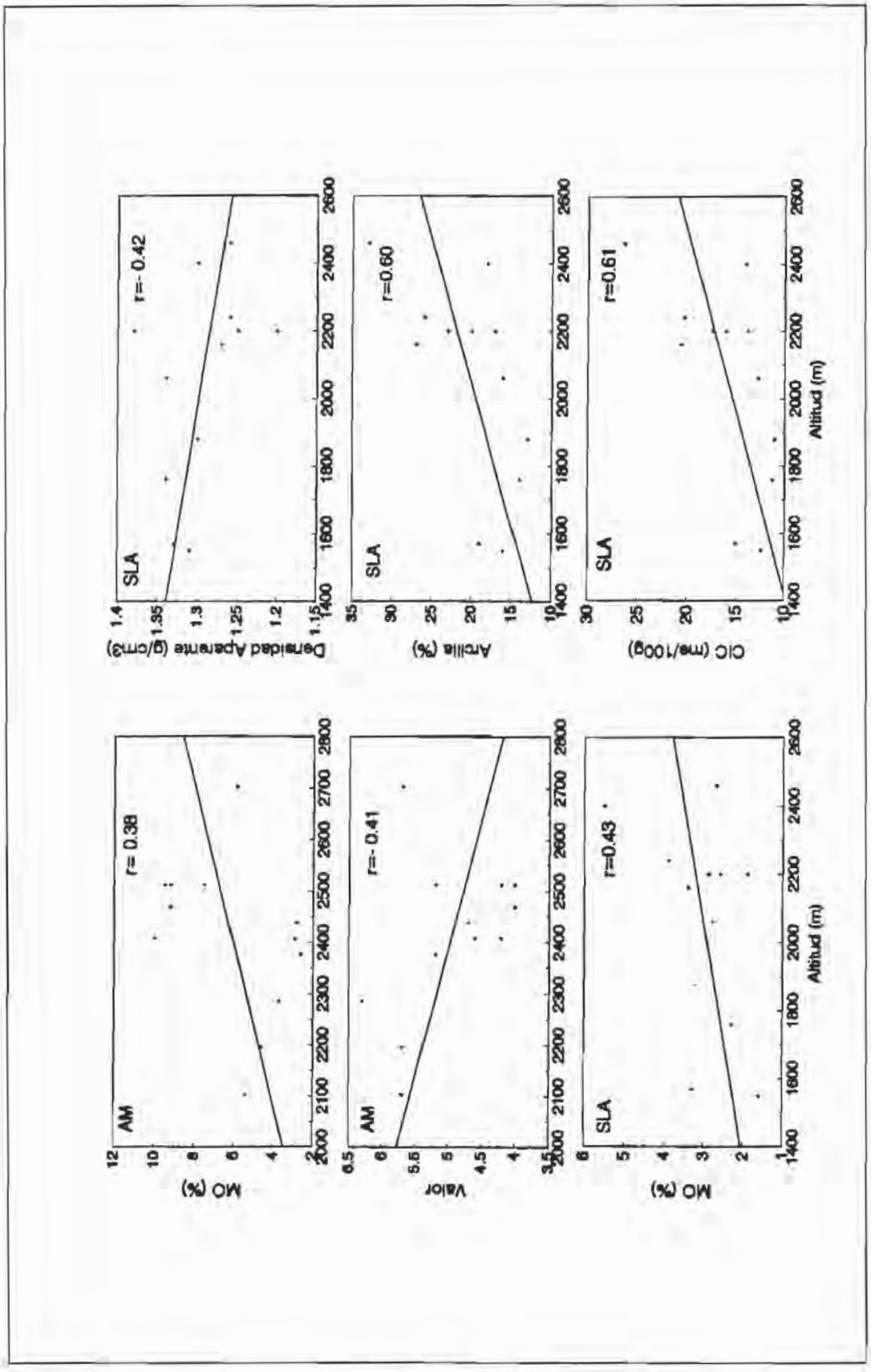

Figura N° 4. Relación entre altitud y algunas variables edáficas en Animas Mountains, NM (AM) y Sierra de los Ajos, Sonora, (SLA). Cada punto gráfico incluye el promedio de 10 valores. Todas las correlaciones son significativas ($p<0.05$).

DISCUSIÓN

La composición y similitud del material madre en estas montañas, soporta la interpretación de su origen volcánico (Maker *et al.*, 1970[69]; Soil Conservation Service, *op. cit.*; Aponte, *op. cit.*). Esto sugiere que la diferencia entre montañas con respecto a disponibilidad de nutrientes puede ser debida no a variaciones en el material original sino a otros factores climáticos que afectan las reacciones de intemperización y mineralización de la roca y reacciones químicas del suelo. El material original en todas las comunidades de AM y de la SLA estuvo dominada por roca volcánica riolita, que se caracteriza por originar suelos con baja fertilidad (Welch, *op. cit*).

El desarrollo de suelos en las montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y su influencia en otras características edáficas y composición vegetal frecuentemente se ha asociado a gradientes ecológicos (Herradine and Jenny, 1958[70]; Whittaker *et al.*, *op. cit.*) y a disturbios tales como el fuego (Barton, 1993)[71]. Para una montaña específica, las condiciones microclimáticas tales como exposición, pueden ejercer una acción preponderante en el desarrollo del suelo y composición vegetal. Por ejemplo, en las montañas estudiadas la comunidad de pino-encino típica de la zona de transición entre el pastizal y el bosque de pinar mixto, se encontró también en sitios más elevados pero ubicado en exposiciones sur y sureste. Aun y cuando la precipitación es más alta en esas elevaciones, la energía solar recibida es mayor favoreciendo incrementos en temperatura y mayores tasas de evaporación. Dichos factores limitan el establecimiento de comunidades forestales típicas de tales elevaciones como Douglas-fir y favorecen el establecimiento de otras comunidades con menor demanda hídrica tales como el piñonar.

Antecedentes de investigación indican que la composición mineralógica de arcilla depende del material madre y del clima prevaleciente (Birkeland, *op. cit.*). Una correlación directa entre la presencia de caolinita y halosita con un incremento en la precipitación y disminución en temperatura a lo largo de un gradiente altitudinal ha sido reportado por Hanawalt and Whittaker (*op. cit.*) para las montañas del sur de Arizona y California. Los minerales esmectíticos tales como la montmorillonita se han encontrado principalmente en sitios que reciben baja precipitación. Un patrón similar para un gradiente altitudinal en las montañas Santa Catalina del sur de Arizona ha

[69] Maker, H.J. *et al.* 1970. Soil association and land classification for irrigation Hidalgo County. 29 p.
[70] Harradine, F. And H. Jenny. 1958. Influence of parent material and climate on texture and nitrogen and carbon contents. pp. 235-243.
[71] Barton, A.M. 1993. Factors controlling plant distribution. pp. 367-397.

sido reportado por Al-Mazrouei (1995)[72]. De manera similar, el contenido de esmectita y mica decrecieron significativamente con cambios en elevación. Tales resultados aparentemente no son raros para suelos de las regiones áridas, donde las esmectitas se mineralizan a caolinita conforme la sílica necesaria para la preservación de las esmectitas es lixiviada (Ismail, 1970)[73], o bien la caolinita puede ser transladada a esos sitios debido a la deposición eólica o bien reflejar climas más húmedos (Hendricks, 1991)[74].

El contenido de fragmentos rocosos fue mayor en comunidades de baja elevación como PE y PM que en DF. Aparentemente los procesos de mineralización redujeron la cantidad de fragmentos rocosos a mayores elevaciones en estas montañas. El valor que es un componente del color diminuyó conforme se incrementó en elevación en Animas Mountains, aunque no difirió entre comunidades de DF y PM en la Sierra de los Ajos. El valor se ha usado con frecuencia para estimar el contenido de MO y como un índice de nitrógeno total y mineralizable (Qian *et al., op. cit.*). Diversos usos del suelo pueden haber enmascarado esta relación entre valor y contenido de MO en la Sierra de los Ajos.

Incrementos en precipitación con decrementos en temperatura en gradientes altitudinales, generalmente contribuye a incrementar la producción primaria neta, afectando en consecuencia el contenido de MO, nitrógeno total, contenido de arcilla, profundidad de suelo y otras variables edáficas (Herradine and Jenny, *op. cit.*; Whittaker *et al., op. cit.*; Barton, *op. cit.*). Interacciones significativas entre comunidades y montañas producidas por ciertas condiciones microclimáticas y diferencias en el uso del suelo, aparentemente confundieron dicha tendencia.

El contenido de mantillo orgánico en comunidades de PM y DF en Animas Mountains fue mayor que para las mismas comunidades en la Sierra de los Ajos. Este resultado pudo deberse a la alta frecuencia de incendios (los incendios generalmente provocan una reducción en la materia orgánica por consumo directo como fuente de ignición) en SLA comparada con la baja frecuencia en AM. La profundidad de mantillo orgánico no difirió significativamente entre montañas para comunidades de PE. Esta falta de diferencia, quizás sea el resultado de la escasa productividad de estos sitios y al sobrepastoreo al cual han estado sujetos, así removiendo la vegetación herbácea, importante para la formación del mantillo orgánico.

[72] Al-Mazrouei, M.K. 1995. Soil clay mineral composition along an altitudinal transect in the Santa Catalina Mountains of Arizona.

[73] Ismail, F.T. 1970. Biotite weathering and clay formation in the arid and humid regions, California. pp. 257-261.

[74] Hendricks, D.M. 1991. Genesis and classification of arid region soils. pp. 38-79.

El contenido de MO y nitrógeno total fueron superiores en todas las comunidades de AM comparada con la de SLA. Este resultado pudo deberse a diferencias en el régimen de incendios, explotación maderable y pastoreo. Incendios muy frecuentes aunado a una periódica remoción de árboles en la SLA, pudo haber originado una reducción en el contenido de MO y nitrógeno total a relativamente bajos niveles. Dependiendo del contenido de humedad del mantillo orgánico y del suelo, un incendio puede volatilizar aproximadamente 65% de la MO y casi 70% del nitrógeno total (DeBano *et al.*, *op. cit.*; Covington and Sackett, *op. cit.*). Este efecto puede ser favorecido por un incremento en la actividad microbiana después del incendio, lo cual generalmente produce mayores tasas de mineralización (Klemmedson, 1975[75]; Covington and Sackett, 1984, 1992[76]). La cantidad de nitrógeno total removido por la explotación maderable depende en gran medida de la fertilidad del suelo, proporción de vegetación removida y tratamiento de los desechos orgánicos. En promedio 1% de nitrógeno total puede ser removido comúnmente en una explotación maderable (Little and Klock, 1985)[77], lo cual quizás no represente una pérdida significativa de nitrógeno durante el periodo en que se llevó a cabo esta actividad en la SLA. Contrariamente, la erosión producida por la apertura de caminos para extracción de madera, quizás fue causa importante de pérdida de materia orgánica y por ende de nitrógeno total.

En este estudio, la concentración de iones intercambiables y solubles en general fue mayor en las AM que en la SLA. Tal resultado probablemente fue provocado por diferencias en la frecuencia de incendios, que fue mayor para la SLA que para las AM. Aunque la explotación maderable quizás no haya afectado significativamente la pérdida de nutrientes en la SLA, sus efectos indirectos (erosion hídrica) evidentemente contribuyeron a los resultados observados.

En resumen, las diferencias observadas en el uso del suelo para las dos montañas estudiadas, aparentemente afectaron muchas características edáficas del suelo. Las diferencias en profundidad de mantillo orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, color, pH, CIC, cationes intercambiables (Mg^{2+}, Na^{+}, Ca^{2+}, K^{+}), fosfato y iones solubles (Ca^{2+}, Mg^{2+}, CO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}), pueden explicarse en términos de diferencial en frecuencia de incendios, explotación maderable y pastoreo. Algunos de los efectos esperados debido a los incendios más frecuentes en la SLA, aparentemente no fueron detectados debido a los problemas fuertes de erosión producidos por el sobrepastoreo, explotación maderable y minería.

[75] Klemmedson, J.O. 1975. Nitrogen and carbon regimes in an ecosystem of young ponderosa pine in Arizona. pp. 163-168.

[76] Covington, W.W. and S.S. Sackett. 1992. Soil mineral nitrogen changes following prescribed burning in ponderosa pine. pp. 175-191.

[77] Little, S.N. and G.O. Klock. 1985. The influence of residue removal and prescribed fire on distribution of forest nutrients. 12 p.

Dentro de una montaña, la cantidad de precipitación influenciada por un gradiente elevacional explicó muchos pero no todos los patrones físico-químico de suelos observados en otras montañas. Similarmente a las variaciones entre montañas, diferencias en el uso del suelo parecieran explicar algunos de estos patrones. Un conocimiento más detallado del historial de uso del suelo de estas montañas aunado a una mayor información bibliográfica en este respecto, indudablemente fortalecerá nuestra capacidad para interpretar con mayor objetividad los patrones observados en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Alexander, E. B.; J. I. Mallory, and W. L. Colwell. 1993. Soil elevation relationships on a volcanic Plateau in the southern Cascade range, northern California, USA. Catena. 20:113-128.

Allen, L. S. 1995. Fire Management in the sky islands. pp.19-23. ***In:*** DeBano, L. F.; P. F. Ffolliott; A. Ortega-Rubio; G. J. Gottfried; H. R. Hamre, and C. B. Edminster (technical coordinators) Proceedings of the Symposium on Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United States and Northern Mexico. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264, Fort Collins, Colorado.

Al-Mazrouei, M. K. 1995. Soil clay mineral composition along an altitudinal transect in the Santa Catalina Mountains of Arizona. M.S. Thesis. University of Arizona, Tucson. 75 p.

Aponte, M. B. 1974. Estratigrafía del Paleozoico (Cámbrico-Pensilvánico) del centro de Sonora. Tesis profesional I.P.N., Escuela Superior de Ingenieria y Arquitectura, Sonora, México.

Archer, E. and F. E. Smeins. 1991. Ecosystem-level processes. pp. 109-139. ***In***: Heitschmidt, R. K. and J. W. Stuth (eds.). Grazing management an ecological perspective. Timber Press, Portland, Oregon.

Baisan, C. H. and T. W. Swetnam. 1995. Historical fire occurrance in remote mountains of southwestern New Mexico and northern Mexico. pp.153-156. ***In***: Brown, J. K.; R. W. Mutch; C. W. Spoon, and R. H. Wakimoto (technical coordinators). Proceedings of the Symposium on Fire in Wilderness and Park

Management. USDA. Forest Service. General Technical Report INT-GTR-320. Ogden. Utah.

Barnhisel. R. I. 1977. Chlorites and hydroxy interlayered vermiculite and smectite. pp. 331-356. ***In***: Dixon. J. B.; S. B. Weed; J. A. Kittrick; M. H. Milford. and J. L. White (editors). Mineral in soil environments. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin.

Barton. A.M. 1993. Factors controlling plant distributions: drought. competition. and fire in montane pines in Arizona. Ecological Monographs. 63:367-397.

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. 121:251-265.

Birkeland. P.W. 1974. Pedology. weathering. and geomorphological research. Oxford University Press. New York. 285 p.

Blake. G. R. and K. H. Hartge. 1986. Particle density. pp. 377-382. ***In***: Klute. A. (editor). Methods of Soil Analysis. Part 1. Monograph 9. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin.

Bohn. H. L.; B. L. McNeal. and G. A O'Connor. 1985. Soil chemestry. Second edition. John Wiley & Sons. New York. 341 p.

Boyles. R. L. and S. J. Tajchman. 1984. Stoniness and rockiness of a forested Apalachian catchment. Forest ecology and Management. 7:311-322.

Borchardt. G. A. 1977. Montmorrillonite and other smectite minerals. pp. 293-330. ***In***: Dixon. J. B.; S. B. Weed; J. A. Kittrick; M. H. Milford. and J. L. White (editors). Mineral in soil environments. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin.

Bremner. J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. pp. 595-622. ***In***: Page. A. L.; R. H. Miller. and D. R. Keeney (editors). Methods of soil analysis. Part 2. Monograph 9. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin.

Brown. D. E. 1982. Madrean Evergreen Woodland. Desert Plants. 4:59-65.

Chandler. C.; P. Cheney; P. Thomas; L. Trabaud. and D. Williams. 1983. Fire in forestry. Volume I. Forest fire behavior and effects. John Willey & Sons. New York.

Childs, S. W. and A. L. Flint. 1990. Physical properties of forest soils containing rock fragments. pp. 95-121. *In*: Gessel, S. P.; D. S. Lacate; G. F. Weetman, and R. F. Powers (editors). Sustained productivity of forest soils. Seven North American forest soils conference, University of British Columbia, Vancouver, Canada.

Christensen, N. L. and C. H. Muller. 1975. Effects of fire on factors controlling plant growth in Adenostoma chaparral. Ecological Monographs. 45:29-55.

Cooper. C. F. 1960. Changes in vegetation, structure and growth of ponderosa pine forests since white settlement. Ecological Monographs. 30:129-164.

Covington, W. W. and S. S. Sackett. 1984. The effect of a prescribed burn in southwestern ponderosa pine on organic matter and nutrients in woody debris and forest floor. Forest Science. 30:183-192.

Covington, W. W. and S. S. Sackett. 1992. Soil mineral nitrogen changes following prescribed burning in ponderosa pine. Forest Ecology and Management. 54:175-191.

Covington, W. W. and M. M. Moore. 1994. Southwestern ponerosa forest structure: changes since Euro-American settlement. Journal of Forestry. 92:39-47.

DeBano, L. F. and C. E. Conrad. 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. Ecology. 59:489-497.

DeBano, L. F.; G. E. Eberlein, and P. H. Dunn. 1979. Effects of burning in chaparral soils: I. Soil nitrogen. Soil Science Society of American Journal. 43:504-514.

Dieterich, J. H. 1983. Historia de los incendios forestales en la Sierra de los Ajos, Sonora. Centro de Investigaciones Forestales del Norte. Nota Técnica N° 6 PR-04. México, D.F.

Dieterich, J. H and T. W. Swetnam. 1984. Dendrochronology of a fire-scarred ponderosa pine. Forest Science. 30:238-247.

Dodge, M. 1972. Forest fuel accumulation: a growing problem. Science. 177:139-141.

Fernández, R. N.; D. G. Schulze; D. L. Coffin, and G. E. Van Scoyoc. 1988. Color, organic matter, and pesticide adsorption relationships in a soil landscape. Soil Science Society of American Journal. 52:1023-1026.

Fishbein, M.; R. Felger, and F. Garza. 1995. Another Jewel in the Crown: Report on the Flora of the Sierra de los Ajos, sonora, Mexico. pp. 126-124. ***In***: DeBano, L. F.; P.F. Ffolliott; A. Ortega-Rubio; G. J. Gottfried; H. R. Hamre, and C. B. Edminster (technical coordinators). Proceedings of the Symposium on Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United States and Northern Mexico. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264, Fort Collins, Colorado.

Fulé, P. Z. and W. W. Covington. 1995. Changes in fire regimes and forest structures of unharvested petrean and Madrean pine forests. pp. 408-415. ***In***: DeBano, L. F.; P. F. Ffolliott; A. Ortega-Rubio; G. J. Gottfried; H. R. Hamre, and C. B. Edminster (technical coordinators). Proceedings of the Symposium on Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Souithwestern United States and Northern Mexico. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264, Fort Collins, Colorado.

Garza Salazar, F. 1993. Sistema de áreas naturales protegidas del Estado de Sonora (SANPES). Gobierno del estado de Sonora, Secretaría de Infraestructura Urbana y Ecología, Centro Ecológico de Sonora. Sonora, México. 97 p.

Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-411. ***In***: Klute, A. (editor). Methods of soil analysis, Part 1. Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Hanawalt, R. B. and R. H. Whittaker. 1977. Altitudinal patterns of Na, K, Ca, and Mg in soils and plants in the San Jacinto Mountains, California. Soil Science

Harness, V. L. and C. H. Barber. 1964. Cotton in Mexico. United States Department of Agriculture, Foreign Agriculture Service, FAS-M 163, Washington, D.C.

Harradine, F. and H. Jenny. 1958. Influence of parent material and climate on texture on texture and nitrogen and carbon contents of virgin California soils.I. Texture and nitrogen contents of soils. Soil Science, 85:235-243.

Hastings, J. R., and R. M. Turner. 1965. The changing mile. University of Arizona Press, Tucson. 317 p.

Hendricks, D. M. 1991. Genesis and classification of arid region soils. pp. 38-79. ***In***: Skujins, J. (editor). Semiarid Lands and Desert: Soil Resource and Reclamation. Marcel Dekker. New York.

Hubbard, J. P. 1977. A biological inventory of the Animas Mountains, Hidalgo County, New Mexico. New Mexico Department of Game and Fish Endangered Species Program. 56 p.

Ismail, F. T. 1970. Biotite weathering and clay formation in the arid and humid regions, California. Soil Science. 109:257-261.

Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill Book Company, New york. 281 p.

Jury, W. A.; W. R. Gardner, and W. H. Gardner. 1991. Soil Physics. Fifth edition. John wiley & Sons. 328 p.

Klemmedson, J. O. 1975. Nitrogen and carbon regimes in an ecosystem of young dense ponderosa pine in Arizona. Forest Science 21:163-168.

Knudsen, D.; G. A. Peterson, and P. F. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. pp. 225-246. ***In***: Page, A. L.; R. H. Miller, and D. R. Keeney (editors). Methods of soil analysis, Part 2. Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Little, S. N. and G. O. Klock. 1985. The influence of residue removal and prescribed fire on distributions of forest nutrients. USDA, Forest Service, Research Paper PNW-338. Portland, Oregon. 12 p.

Maker, H. J.; D. N. Cox, and J. U. Anderson. 1970. Soil association and land classification for irrigation Hidalgo County. Agricultural Experiment Station Research Report 177. New Mexico State University, Las Cruces. 29 p.

Martin, P. S. 1963. The last 10,000 years. University of Arizona Press, Tucson. 87 p.

McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirements. pp.199-209. ***In***: Page, A. L., R.H. Miller, and D. R. Keeney (editors). Methods of soil analysis, Part 2. Monograph 9. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.

Minnich, R. A. and C. J. Bahre. 1995. Wildland fire and chaparral sucession along the California-Baja California boundary. International Journal of Wildland Fire 5:13-24.

Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. pp. 181-197. ***In***: Page, A. L.; R. H. Miller; and D. R. Keeney (editors). Methods of soil analysis, Part 2. Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Peet, R. K. 1981. Forest vegetation of the Colorado Front Range: composition and dynamics. Vegetatio 45:3-75.

Polemio, M. and J. D. Rhoades. 1977. Determining cation exchange capacity: new procedure for calcareous and gypsiferous soils. Soil Science Society of American Journal, 41:524-528.

Post, D. F.; R. B. Bryant, A. K. Batchily, and A. R. Huete. 1993. Correlations between field and laboratory measurements of soil color. pp. 35-49. ***In***: Bigham, J. M. and E. J. Ciolkosz (editors) Soil color. SSSA Special Publication No. 31. Soil Science of America, Madison, Wisconsin.

Pritchett, L. W. 1979. Properties and management of forest soils. John Wiley & Sons, New York. 500 p.

Qian, H.; K. Klinka, and L. M. Lavkulich. 1993. Relationship between color value and nitrogen in forest mineral soils. Canadian Journal of Soil Science. 73:61-72.

Raison, R. J.; P. K. Khanna, and P. V. Woods. 1985. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. Canadian Journal of Forest Research. 15:132-140.

Rayn, M. G. and W. W. Covington. 1986. Effect of prescribed burn in ponderosa pine on inorganic nitrogen concentrations of mineral soils. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Research Note RM-464. 5 p.

Rehcis, M. C. 1990. Influence of climate and eolian dust on the major-element chemestry and clay mineralogy of soils in the northern Bighorn Basin, USA. Catena. 17:219-248.

Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. pp. 167-179. ***In***; Page, A. L.; R. H. Miller, and D. R. Keeney (editors). Methods of soil analysis, Part 2. Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Schulze, D. G.; J. L. Nagel; G. E. Scoyoc; T. L. Henderson, and M. F. Baumgardner. 1993. Significance of organic matter in determining soil colors. pp. 71-89. ***In***: Bigham, J. M. and E. J. Ciolkosz (editors). Soil color. SSSA Special publication No. 31. Soil Science of America, Madison, Wisconsin.

Soil Conservation Service. 1973. Soil survey of Hidalgo County, New Mexico. United States Goverment Printing Office, Washington, D.C. 754 p.

Soil Survey Staff. 1975. Soil taxonomy. Handbook 436. USDA. Soil Conservation Service. Washington. D.C. 754 p.

Solís-Garza. G.; W. Brady, and A. Medina. 1993. Riparian plant communities on the Rio los Ajos, Sonora, México. Ecológica. 3:13-22.

Swetnam. T. W. and C. Baisan. 1996a. Fire histories of montane forests in the Madrean Borderlands. pp. 15-36. ***In:*** Ffolliott. P. F.; L. F. DeBano; M. B. Baker Jr.; G. J. Gottfried; G. Solis-Garza; C. B. Edminster; D. G. Neray; L. S. Allen. and R. H. Hamre (technical coordinators). Proceedings of the Effects of Fire on Madrean Province Ecosystems Symposium, Tucson, Arizona. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-GTR-289. Fort Collins, Colorado.

Swetnam. T. W and C. Baisan. 1996b. In press. Historical fire regime patterns in the southwestern United States since AD 1700. ***In:*** Allen. C. D. (editor). Proceedings of the 2nd. La Mesa Fire Symposium, Los Alamos, New Mexico. USDA. Forest Service. General Technical Report RM-GTR-xxx. Fort Collins. Colorado.

Tonne. P.; A. Cato. and G. Babb. 1992. The natural and historic role of fire on the Gray Ranch, Hidalgo County, New Mexico. Unpublished report on file with The Nature Conservancy. 44 p.

Villanueva-Díaz. J. And G.R. McPherson. 1995. Forest structure in mountains of Sonora, Mexico and New Mexico. USA. pp. 416-423. ***In***: DeBano. L. F.; P. F. Ffolliott; A. Ortega-Rubio; G. J. Gottfried; H. R. Hamre, and C. B. Edminster (technical coordinators). Proceedings of the Symposium on Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United States and Northern Mexico. USDA, Forest Service. General Technical Report RM-GTR-264. Fort Collins. Colorado.

Wagner. W. L. 1977. Floristic affinities of Animas Mountains, southwestern New Mexico. M.S. Thesis, University of New Mexico, Albuquerque. 180 p.

Walkley. A. 1947. A critical examination of a srapid method for determining organic carbon in soils: effect of variation in digestion conditions and of inorganic soils constituents. Soil Science. 63:251-263.

Weaver, H. 1951. Fire as an ecological factor in the southwestern ponderosa pine forests. Journal of Forestry. 49:93-98.

Welch, T. G. 1973. Distribution of nitrogen and carbon in ponderosa pine ecosystems as function of parent material. Ph.D. Dissertation. University of Arizona, Tucson. 120 p.

Wells, C. G.; R. E. Campbell; L. F. DeBano; C. E. Lewis; R. L. Fredriksen; E. C. Franklin; R. C. Froelich, and P. H. Dunn. 1979. Effetcs of fire on soil: a state-of-knowledge review. USDA, Forest Service, General Technical Report WO-7. Washington, D.C. 34 p.

West, R. C. 1993. Sonora: Its goegraphical personality. University of Texas Press. Austin. 191 p.

Whittaker, R. H.; S. W. Boul; W. A. Niering, and Y. H. Havens. 1968. Soil and vegetation patterns in the Santa Catalina Mountains, Arizona. Soil Science. 105:440-450.

Whitting , L. D. and W. R. Allardice. 1986. X-ray diffraction techniques. pp. 331-359. *In*: Klute, A. (editor). Methods od soil analysis, Part 1. Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Wienhold, B. J. and J. O. Klemmedson. 1992. Effect of prescribed fire on nitrogen and phosphorous in Arizona chaparral soil-plant systems. Arid Soil Research and Rehabilitation. 6: 285-296.