

ESTUDIOS DENDROCLIMÁTICOS EN MONTAÑAS DEL SUROESTE DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA Y DEL NORTE DE MÉXICO

José Villanueva Díaz¹ y Guy R. McPherson²

RESUMEN

Se generaron cronologías de árboles para reconstrucción climática en montañas del suroeste de los Estados Unidos (Animas Mountains, Nuevo México) y del noreste de México (Sierra los Ajos, Sonora), utilizando oyamel rojo (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) y pino ponderosa (*Pinus ponderosa* var. *arizonica* Shaw), ya que fueron las especies más adecuadas para este propósito. La precipitación del periodo octubre-enero y PDSI de julio se reconstruyó para Animas Mountains; mientras que para la Sierra los Ajos, se reconstruyó la precipitación anual para el periodo julio-julio y PDSI para el mes de julio. La presencia de incendios en Animas Mountains fue precedido por condiciones de baja precipitación, en especial dos años antes de la fecha del incendio ($p < 0.05$), pero para la Sierra los Ajos, no se detectó ninguna relación significativa entre incendios y precipitación. Esta falta de significancia quizás fue debida a la escasa información disponible de los incendios que ocurren en esta montaña, así como a la presencia de diversos aprovechamientos que pudieran haber enmascarado una posible relación. Al comparar entre montañas, el crecimiento radial de una misma especie, este fue diferente ($p < 0.05$) para ciertos periodos, lo que sugiere, que las diferencias de uso del suelo entre montañas, influyó de manera marcada en dicho comportamiento.

Palabras clave: Año de incendio, crecimiento radial, cronologías de anillos de árboles, especies arbóreas, PDSI, reconstrucción climática.

ABSTRACT

Chronologies were developed for climate reconstruction in the southwestern mountains of the United States (Animas Mountains, New México) and

Fecha de recepción: 24 de julio de 1997

Fecha de aceptación: 10 de septiembre de 2002

¹ INIFAP, CENID-RASPA, Km. 6.5 Canal Sacramento, C.P. 35150 Gómez Palacio, Durango. Correo-e: jvilladi@prodigy.net.mx

² Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad de Arizona, Tucson, AZ.

northwestern México (Sierra de Ajos, Sonora), with Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) and ponderosa pine (*Pinus ponderosa* var. *arizonica* Shaw) as better species for this purpose. Seasonal precipitation (October-January) and current July Palmer Drought Severity Index (PDSI) were reconstructed for Animas Mountains, and annual precipitation (July - July) and current July PDSI were reconstructed for Sierra los Ajos. Fire events in the Animas mountains were preceded by relatively wet conditions two years before the fire-year, suggesting that on this region, the build-up of fine fuels is important for the starting and spreading of fires. However, not significant relationship was found between climatic variables and fire occurrence in Sierra los Ajos, apparently as consequence of different land-uses. The increase in radius length for similar taxa differed between mountain ranges suggesting that annual growth was influenced by differences in land-use history.

Key words: Fire-year, radial growth, tree-ring chronologies, tree species, PDSI, climate reconstruction.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las condiciones climáticas que existieron en el pasado, así como de frecuencia de incendios y de otras actividades de uso del suelo son cada vez más relevantes para entender e interpretar la composición y estructura del bosque. El registro de observaciones meteorológicas es limitado en tiempo o no existente en muchas áreas del suroeste de los Estados Unidos y del noreste de México. La inferencia y extensión de registros climáticos a través de técnicas dendrocronológicas, facilita la interpretación de la influencia de variables climáticas en el desarrollo de comunidades forestales. Esta información, aunada al conocimiento del historial del uso del suelo, puede ayudar a los técnicos y administradores forestales a inferir la influencia que diversos factores climáticos han tenido en la dinámica del bosque.

Los árboles capturan las condiciones climáticas que limitan sus procesos fisiológicos, y almacenan tal información en la estructura de sus anillos de crecimiento anual (Fritts, 1976; Schweingruber, 1988). Aunque el incremento en grosor de los anillos se rige por factores genéticos y fisiológicos, también refleja las variaciones climáticas anteriores y durante la estación de crecimiento. Por lo tanto, los anillos de árboles se han usado como fuente de información para determinar historiales hidrológicos y climatológicos, cambios ecológicos en comunidades forestales, reconstrucción del desarrollo de poblaciones de árboles y modelaje de eventos relacionados a la declinación y mortalidad arbórea.

La habilidad de fechar exactamente el año de formación de cada anillo de crecimiento de ciertas especies arbóreas, es lo que permite desarrollar estudios de

las condiciones climáticas que influyeron en su desarrollo. Al comparar patrones de crecimiento de árboles climáticamente sensitivos con patrones de información climatológica para un periodo similar de años, se puede derivar una relación estadística y aplicarse a periodos pasados, para los cuales no existen registros meteorológicos (Fritts, 1976; Conkey, 1979).

Diversos factores climáticos pueden limitar el crecimiento del árbol en diferentes estaciones del año. La influencia de estos factores en el desarrollo del cambium se prolonga por uno o más años (Fritts, 1991); además, dependiendo del estado fenológico, condiciones microclimáticas, fertilidad de suelo y otros factores del sitio (Kramer y Kozlowski, 1979), puede variar marcadamente de una estación de crecimiento a otra.

Dada la importancia en determinar la influencia de los factores climáticos (precipitación) y sequía en la dinámica del bosque. Los objetivos de este estudio fueron: (1) Usar series de crecimientos anual (anillos) de árboles como "proxy" para reconstrucciones de clima, (2) Cuantificar las relaciones entre clima y ocurrencia de incendios; y (3) Estimar el papel de uso del suelo en el desarrollo radial y basal de los árboles.

Localización geográfica

Animas Mountains (AM) es la montaña más alta en el suroeste de Nuevo México y se localiza al oeste del Río Grande y al sur de la Planicie Mogollon, a una latitud media de $31^{\circ} 35' N$ y a una longitud de $108^{\circ} 47' W$. El pico más alto en ésta montaña alcanza 2,600 m de elevación. Animas Mountains abarca una superficie de 100 km^2 en el Gray Ranch, Hidalgo County, Nuevo México.

Sierra los Ajos (SLA) se localiza en Sonora, México a una latitud media de $30^{\circ} 55' N$ y a una longitud de $109^{\circ} 55' W$, aproximadamente 100 km al suroeste de AM. Su pico principal alcanza una elevación de 2,600 m. Esta montaña tiene una superficie aproximada de 171 km^2 (Figura 1).

Geología y suelos

Animas Mountains es producto de intensa actividad volcánica generada en el periodo Terciario. En el periodo Cretácico se produjeron erupciones de basaltos seguidas por granadorita y a finales del Terciario la actividad volcánica se renovó con erupciones de riolita, tobas y basaltos (Arras, 1974; Wagner, 1977).

La Sierra los Ajos tiene una formación geológica muy compleja que se caracteriza por una composición lítica heterogénea (Aponte, 1974). Formaciones

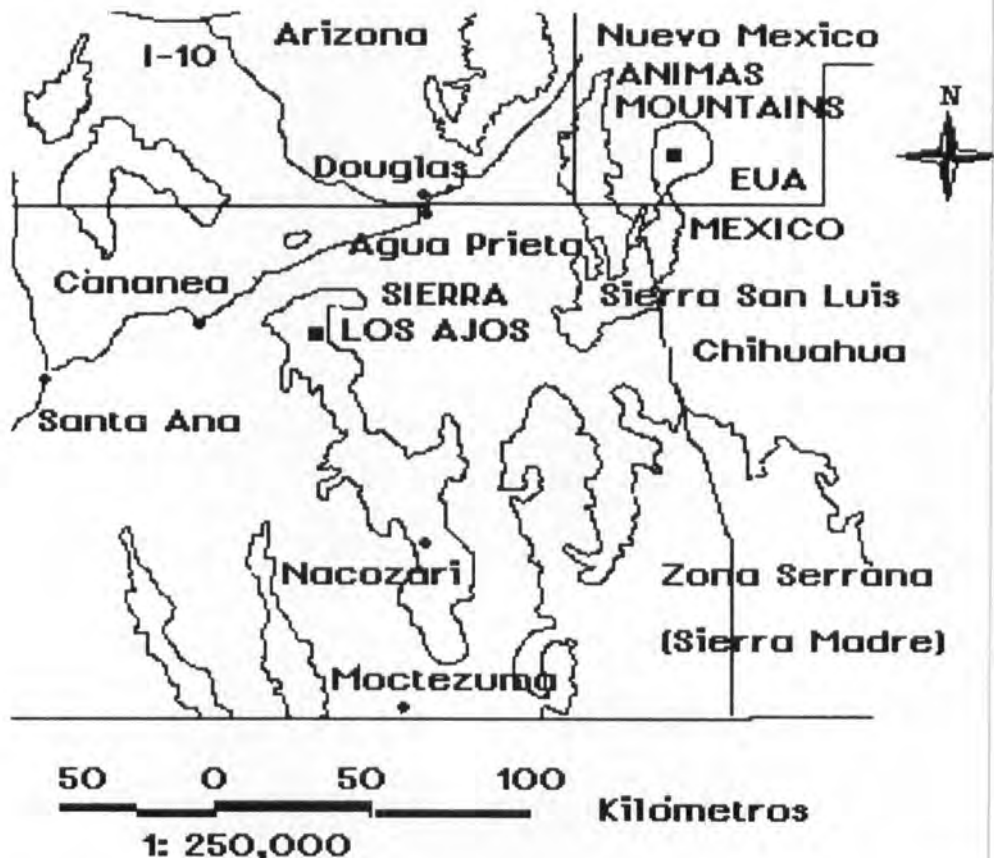


Figura 1. Localización geográfica de las montañas Animas Mountains, Nuevo México y Sierra los Ajos, Sonora.

rocosas del Precámbrico y del Holoceno se localizan a lo largo del gradiente altitudinal. AM y SLA poseen una topografía escarpada muy irregular, con suelos rocosos y poco profundos, generalmente menores a 50 cm (Soil Conservation Service, 1973; Garza-Salazar, 1993).

Clima

Tanto AM como SLA se caracterizan por un patrón de precipitación estacional con aproximadamente 60% de la precipitación total anual (450 - 750

mm, dependiendo de la elevación) en el periodo julio-septiembre y 40% en el periodo invernal. Temperaturas superiores a 32 °C son comunes en el verano y fluctúan entre 12 y -5 °C en el invierno.

Vegetación

La proximidad de AM y SLA a la Sierra Madre Occidental y a las Montañas Rocallosas ha favorecido una alta diversidad florística en estas montañas, caracterizada por poseer elementos de ambas regiones fisiográficas (Wagner, 1977; Brown, 1982; Fishbein *et al.*, 1995).

La vegetación de AM se puede clasificar en tres tipos principales: encinar bajo, encinar alto y bosques de coníferas. El bosque de coníferas cubre aproximadamente 450 ha y está presente a una elevación de 1,980 a 2,600 m (Wagner, 1977; Hubbard, 1977). Las principales especies de esta comunidad son Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) (Mirb. Franco) pino fronterizo (*Pinus strobiformis* Sudw.), pino ponderosa (*Pinus ponderosa* var. *Arizona* Shaw), y pino real (*Pinus leiophylla* var. *Chihuahuana* Benth.). El bosque de pinos mixtos se desarrolla entre 2,300 y 2,600 m y está compuesto de pino ponderosa, pino fronterizo, pino real y pino Apache (*Pinus engelmannii*). La comunidad de pino piñonero-encino se localiza entre 2,300 y 2,450 m y está representada por pino piñonero (*Pinus discolor* Bailey y Hawks.), cedro chino (*Juniperus deppeana* Steud) y diversas especies de encino (*Quercus* spp.).

En la SLA se encuentran comunidades bióticas clasificadas como bosque de coníferas, chaparral, encinar y vegetación riparia. El bosque de coníferas está restringido a exposiciones norte entre 1,900 a 2,600 m (Garza-Salazar, 1993; Fishbein *et al.*, 1995). La exposición norte está dominada por oyamel rojo, asociado con encino Gambel (*Quercus gambelii*) y madroño (*Arbutus arizonica* (A. Gray) Sarg. Gard. & For.).

La asociación pino-encino se ubica de 1,500 a 2,000 m, y está integrada por una asociación de especies, entre ellas pino ponderosa, pino real, pino piñonero, encino emory (*Quercus emoryi* Torr.), encino blanco (*Quercus hypoleucooides* A. Camus) y encino roble (*Quercus arizonica* Sarg.).

Historia de uso del suelo

La historia de uso del suelo es importante para entender e interpretar los cambios en la composición y estructura del bosque. La ocupación humana de AM, en el suroeste de Nuevo México y sureste de Arizona se ha registrado por

más de 10,000 años (Martin, 1963). La colonización Española de la región ocurrió a principios del siglo XVII. Las actividades de los primeros colonizadores se limitaron a la agricultura, ganadería y en menor proporción la minería. Se desconoce la intensidad de pastoreo en esta montaña durante este periodo. El pastoreo a gran escala se inició a principios de 1890 cuando AM formó parte del histórico rancho ganadero Diamond A (Wagner, 1977; Tonne *et al.*, 1992).

Aunque, la mayor parte del pastoreo se desarrolló en la comunidad de pastizal, la presencia de cercos viejos, veredas y tanques de abrevadero en la parte alta de la montaña, indican actividad ganadera en esta comunidad.

El fuego como componente natural de ecosistemas forestales ha sido modificado significativamente durante el siglo XX. La combinación del sobrepastoreo y supresión de incendios, esta última actividad iniciada durante las primeras décadas de 1900, quizás provocó cambios en la vegetación y afectó otros procesos ecológicos, los cuales involucran la formación y expansión de arroyos, invasión del pastizal por arbustivas y sustitución de especies intolerantes a la sombra por especies más tolerantes (Archer y Smeins, 1991).

El régimen natural de incendios en AM antes de 1900 se caracterizó por una mezcla de incendios de baja intensidad, con una frecuencia de 3-15 años, seguidos de incendios de mayor intensidad a intervalos de 20 a 50 años (Baisan y Swetnam, 1995).

En lo referente a la SLA, el historial de uso del suelo es poco conocido. En la época Precolombina, la región fue habitada por tribus Opatas (Hasting y Turner 1965, West 1993). La colonización española de la región, se produjo un siglo después de que la zona fuera explorada con fines mineros. En el período comprendido entre 1614 y 1617, la orden católica de los Jesuitas estableció sus primeras misiones en Sonora. La economía de estas misiones se fundamentó en la explotación ganadera a gran escala; Aunque el mayor impacto en la vegetación herbácea, se produjo a consecuencia del establecimiento de ranchos ganaderos a principios de 1700. Por ejemplo, un ganadero en 1713 poseía 7,000 cabezas de ganado en el Valle Moctezuma. Al mismo tiempo, seis rancheros españoles pastoreaban alrededor de 12,000 cabezas de ganado en las montañas ubicadas entre Sonora y el Valle de Moctezuma (Harnes y Barber, 1964).

La actividad ganadera actual en SLA no está bien documentada. Varios permisos de pastoreo se expidieron en el periodo 1968 - 1984, aunque la intensidad de pastoreo, número de cabezas de ganado y aprovechamiento es desconocido o existe escasa información al respecto.

Las actividades de supresión de incendios ha ejercido poco efecto sobre la ocurrencia de este fenómeno. La frecuencia de incendios de baja intensidad para esta montaña varía de 4 a 5 años (Dieterich, 1983; Baisan y Swetnam, 1995).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el estudio, se establecieron parcelas permanentes de 20 x 50 m (0.1 ha), en cuatro parajes representativos de cada una de tres comunidades forestales, tanto en AM, Nuevo México, como en SLA, Sonora (Figuras 2 y 3). Las comunidades estudiadas fueron: (1) Douglas-fir, oyamel rojo o pinabete/encino Gambel, localizada a elevaciones mayores a 2,200 m; (2) Bosque de pinos mixtos, encontrada a elevaciones inferiores a 2,200 m y (3) Pino piñonero/cedro/encinar, localizada a bajas elevaciones bordeando los pastizales. Cada parcela se dividió en 10 subparcelas en las cuales se colectaron dos virutas o incrementos maderables (con taladro Pressler) para cada uno de dos árboles aleatoriamente seleccionados. El número total de árboles muestreados por parcela fue de 20; adicionalmente se muestrearon 5 árboles de apariencia vieja, cercanos a cada parcela con el fin de incrementar el tamaño de muestra.

Las muestras maderables o virutas, se procesaron y fecharon en el laboratorio con base a técnicas dendrocronológicas reconocidas (Stokes y Smiley, 1968, Fritts, 1976; Dean, 1978; Swetnam *et al.*, 1985). Con la ayuda de diversos programas del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona como COFECHA y ARSTAN se generaron cronologías para las especies arbóreas más representativas de cada comunidad estudiada.

La eliminación de la varianza en las series cronológicas, se minimizó tanto, mediante el ajuste con una curva exponencial negativa o una línea de regresión lineal simple. La cronología estandarizada (relación entre el ancho de anillos y el valor obtenido de la curva) se usó para relacionar las variaciones en el crecimiento anual de los árboles tanto con precipitación (PPT), como con el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI). Este índice se fundamenta en un balance mensual estimado de humedad disponible y demandado (Palmer, 1965).

Las relaciones entre las cronologías y clima se investigaron utilizando funciones de respuesta y análisis de correlación. El análisis de función de respuesta es un análisis modificado de regresión múltiple para estimar los efectos del clima en el crecimiento del árbol. Esta técnica involucra los componentes principales de crecimiento de árboles y de datos climáticos ortogonalmente transformados para remover los efectos resultantes de covarianzas entre las variables independientes (Fritts, 1976; Guiot *et al.*, 1982; Fritts, 1991). Para calcular la función de respuesta,

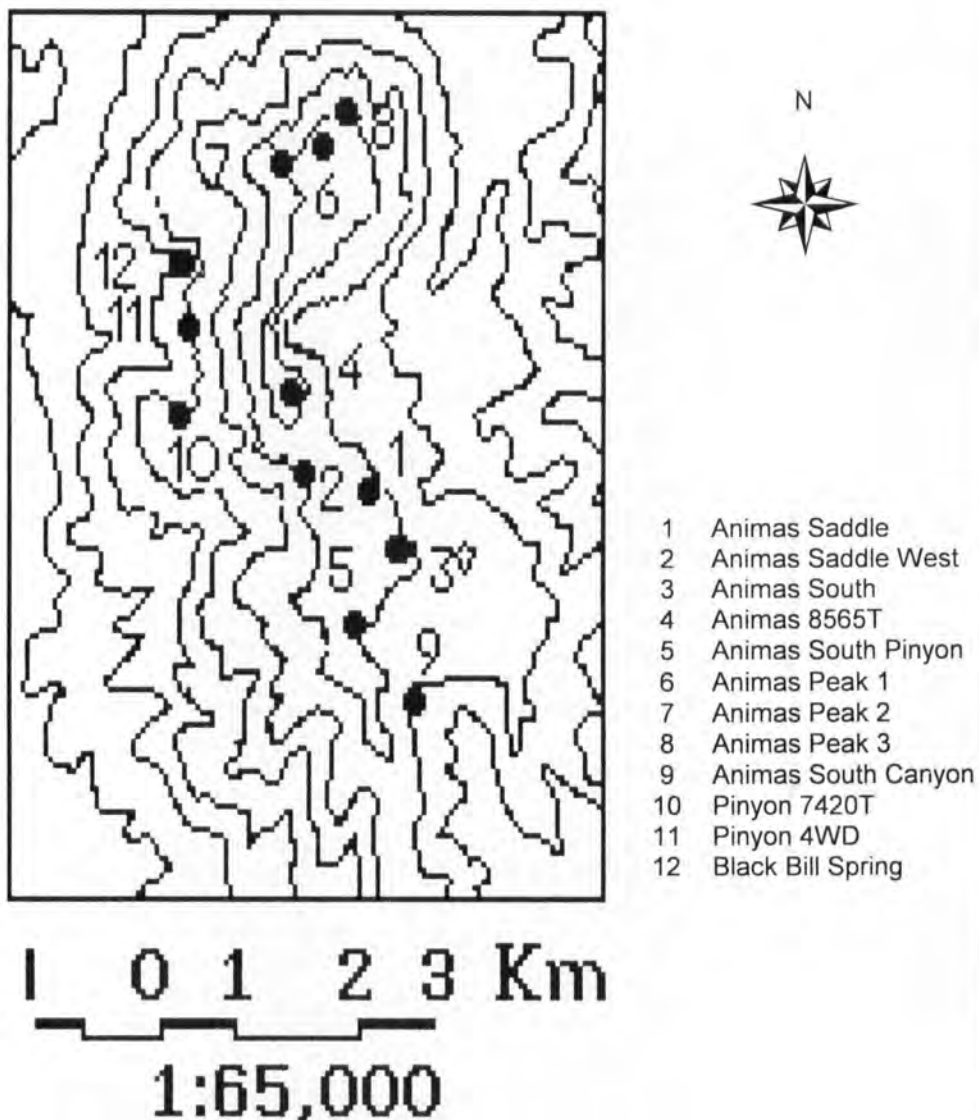


Figura 2. Distribución geográfica de los sitios de muestreo en Animas Mountains, Nuevo México. Los sitios 1, 2, 3 y 4 se ubicaron en una comunidad de pinabete / encino Gambel (DF); los sitios 6, 7, 8 y 9 se ubicaron en una comunidad de pinos mixtos (PM) y los sitios 5, 10, 11 y 12 se ubicaron en una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

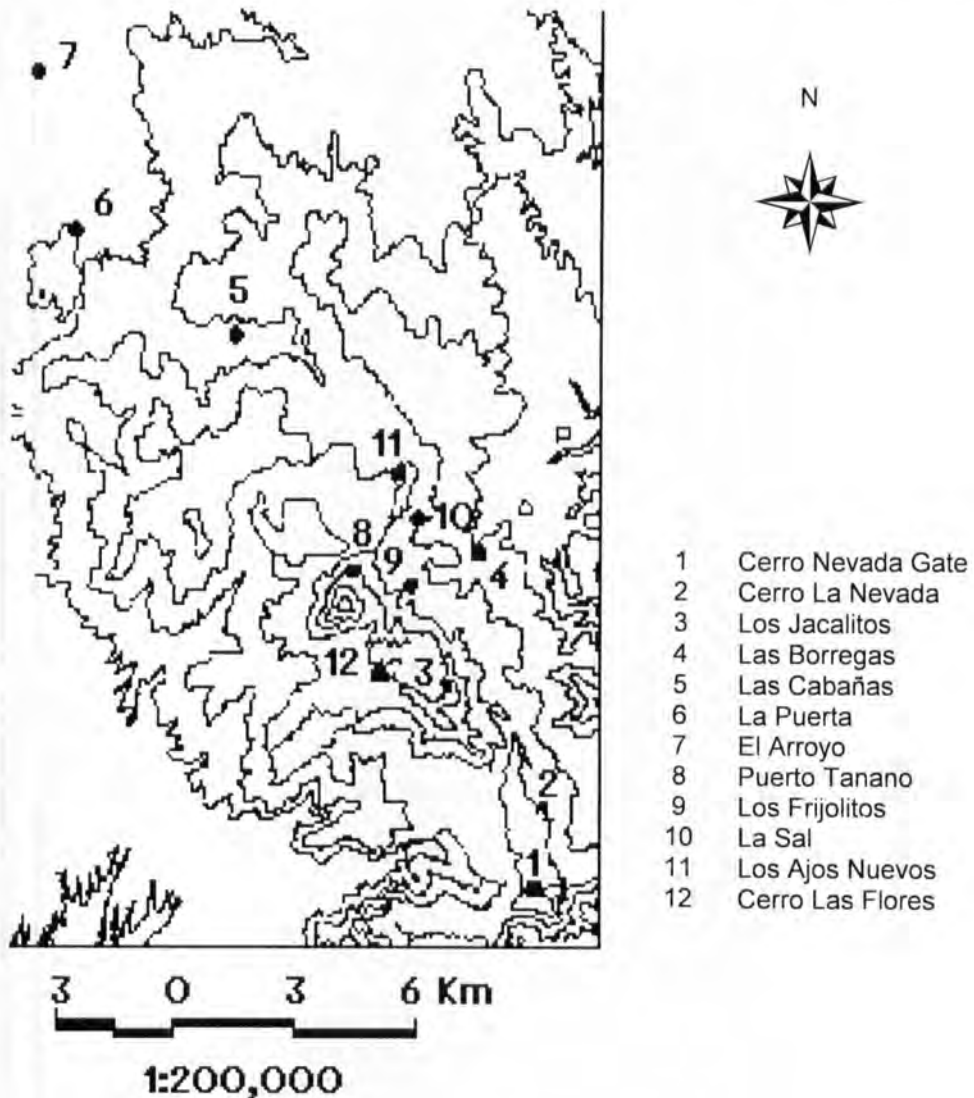


Figura 3. Localización geográfica de los sitios muestreados en la Sierra los Ajos, Sonora. Los sitios 8, 9, 11 y 12 se ubicaron en una comunidad de pinabete / encino Gambel (DF); los sitios 5, 6, 7 y 10 se ubicaron en una comunidad de pinos mixtos (PM) y los sitios 5, 6, 7 y 10 se ubicaron en una comunidad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

los datos se transformaron inicialmente en vectores ortogonales con el fin de remover la intercorrelación y proporcionar un medio para identificar los factores climáticos más correlacionados con el crecimiento del árbol.

La selección de los meses en los cuales la PPT y PDSI estuvieron más correlacionados con el crecimiento del árbol, se obtuvo utilizando datos meteorológicos de la División Climática Regional 09 (periodo 1896-1993) y División Climática 07 (periodo 1896-1993) para AM y SLA, respectivamente. Varias combinaciones estacionales de PPT y de PDSI se correlacionaron con el ancho de los anillos para encontrar el mejor período de asociación. La información derivada de los análisis de correlación entre PDSI y ancho de anillos, es de particular importancia en el crecimiento del árbol, ya que este índice se fundamenta en un balance de agua, el cual integra los efectos del clima (precipitación, temperatura, evaporación), factores edáficos (profundidad de suelo, capacidad de retención de agua, infiltración) y escurrimiento (Palmer, 1965; Karl, 1986). El índice generalmente fluctúa entre -6 y +6, los valores negativos generalmente denotan periodos secos, valores de cero condiciones promedio y valores positivos periodos húmedos.

Para propósitos de reconstrucción climática se requiere calibrar y verificar previamente los datos climáticos y la cronología estandarizada. La calibración involucra el desarrollo de una función de transferencia estadística o matemática, la cual se usa para extraer la señal climática de los anillos de los árboles. En este estudio las funciones de respuesta y los coeficientes de correlación se usaron para establecer el período estacional más adecuado para su reconstrucción. El parámetro climático a reconstruirse (variable dependiente) se expresa algebraicamente como función del ancho de los anillos (variable independiente). Con el uso de un análisis de mínimos cuadrados, se generaron ecuaciones de calibración para predecir PPT y PDSI de la cronología, para los subperiodos (1896-1930 y 1931-1993).

Generalmente la mitad de los datos meteorológicos disponibles se utilizan en la calibración y la otra mitad en la verificación. Sin embargo, para el presente estudio, los subperiodos 1896-1930 y 1931-1993 se eligieron debido a diferencias en el procedimiento utilizado para calcular los datos climáticos divisionales. El PDSI se calibró en el periodo 1931-1983. Datos extremos que resultan normalmente de años muy húmedos, especialmente de tormentas de corta duración, se removieron con el fin de incrementar el coeficiente de determinación (r^2).

Cuando no se encontró incremento significativo en el valor de r^2 , entonces, el modelo se consideró satisfactorio para propósitos de verificación. El proceso de verificación involucra la comparación de datos climáticos estimados con los correspondientes datos instrumentales y el cálculo de un estadístico que mida su similitud (Fritts, 1976; Lofgren y Hunt, 1982; Schweingruber, 1988; Fritts, 1991).

El programa VFY, que está incluido en el Banco de Programas del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona (DPL), se utilizó para el proceso de verificación. Los datos generados con las ecuaciones de calibración se verificaron con el período de datos meteorológicos no utilizados en el período de calibración. El papel de los dos subperíodos se revirtió y el modelo se calibró en el segundo subperíodo y se verificó en el primero. Los valores climáticos predichos se compararon con los valores actuales usando análisis de correlación, la prueba no paramétrica de signos, la prueba de "t" y la prueba de reducción de error (Fritts, 1976; Conkey, 1976; Gordon, 1982).

Debido a que el procedimiento calibración-verificación demostró ser estadísticamente significativo ($p < 0.05$) para ambos subperíodos, entonces el período total (1896-1993) se utilizó para generar una nueva ecuación de regresión lineal para reconstruir PPT y PDSI en la longitud total de la cronología.

Una vez realizada la reconstrucción de PPT y PDSI en cada montaña, los valores, se representaron esquemáticamente mediante curvas flexibles suavizadas de 10 años. Estas curvas enfatizan episodios climáticos en décadas, considerados como procesos de baja frecuencia, que pueden producir información relacionada a períodos húmedos o secos y así entonces relacionarse a dinámica del bosque (Fritts, 1976; Fritts y Swetnam, 1989).

Para analizar la influencia de las condiciones de precipitación media y de sequía antes y después de un incendio, se utilizó un Análisis Superpuesto Estacional (SEA). Esta técnica describe las relaciones existentes entre las condiciones climáticas pasadas y la presencia de incendios en comunidades forestales del suroeste de los Estados Unidos y California (Baisan y Swetnam, 1990; Swetnam y Betancourt, 1992; Swetnam, 1993; Grissino-Mayer, 1995). En el programa SEA, las condiciones climáticas prevalecientes antes, durante y después de los años de ocurrencia de incendios, se traslapan, lo que resulta en un período de años donde se involucra el incendio (año cero en el período). Las características climáticas, se promedian para el año del incendio, así como para un determinado número de años antes y después del incendio y se obtienen intervalos de confianza (Grissino-Mayer, 1995; Mooney y Duval, 1993).

En este estudio y en años en los que hubo presencia de incendios, SEA examinó el crecimiento de pinabete en AM para el período 1762-1992 y para pino ponderosa en SLA en el período 1838-1972.

Los valores reconstruidos de precipitación para el período octubre-enero en AM y precipitación anual (julio-julio) en SLA se traslaparon para años con presencia de incendios. Los valores reconstruidos de PDSI en ambas montañas, para el mes de julio, también se analizaron siguiendo un procedimiento similar.

Para una especie en particular y para cada montaña, la descripción de la relación entre los usos históricos del suelo y su crecimiento, se obtuvo al promediar el ancho de anillos en árboles establecidos en fechas similares, con lo cual se produjo series promedio de crecimiento anual (promedio de ancho de anillos).

Los valores anuales promediados de ancho de anillos para especies similares entre montañas, se compararon estadísticamente con una prueba de "t". Así mismo, al considerar intervalos de confianza, se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre promedios de ancho de anillos para un año o para una serie de años. Cuando los valores promedio se ubicaron fuera del intervalo, los valores se consideraron significativos.

RESULTADOS

Se generaron cronologías simples y combinadas de pinabete, pino fronterizo, pino ponderosa y pino piñonero, presentes en cada una de las montañas (Cuadros 1 y 2).

La asociación más significativa entre clima y crecimiento de árboles se generó con información climática divisional. Los periodos climáticos, deducidos de las funciones de respuesta y de análisis de correlación, estuvieron altamente correlacionados con el ancho de anillos. El periodo de precipitación octubre-enero y julio-julio fueron significativos ($p < 0.05$) para el crecimiento de árboles en AM y SLA, respectivamente. El PDSI para el mes de julio también fue significativo en ambas montañas, para el crecimiento de las especies arbóreas consideradas (Cuadro 3).

Después de la remoción de eventos extremos, los modelos finales de calibración fueron significativos ($p < 0.05$) para todas las variables climáticas. La prueba de verificación indicó, que tanto PPT como PDSI fueron significativos para predecir el crecimiento de árboles (Cuadro 4). La habilidad de estas variables para simular el crecimiento de árboles (indicado por las pruebas de calibración y verificación) sugirió que un nuevo modelo podría ser desarrollado para el periodo total conteniendo información climática (1896-1993). Las comparaciones entre los datos actuales y reconstruidos indicaron que el modelo de calibración simuló adecuadamente la variabilidad de PPT y PDSI en ambas montañas (Figura 4). En consecuencia estos modelos de calibración se usaron para estimar PPT y PDSI para el periodo 1762-1992 y 1838-1992 en AM y SLA, respectivamente.

Con base en la reconstrucción, se puede decir que, en AM se han experimentado fluctuaciones substanciales en precipitación en los últimos 250 años. Periodos de precipitación por encima o por abajo de la normal en SLA, generalmente correspondieron con periodos análogos en AM (Figura 5 y Cuadro 5). La

Cuadro 1. Cronología estándar de pinabete procedente de Animas Mountains, Nuevo México. Para un año en particular el valor expresado proviene de la relación entre ancho de anillos y el valor obtenido de la curva.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1760			1.042	0.541	1.195	0.924	1.411	1.151	0.620	0.857
1770	1.148	1.397	0.599	0.890	1.228	0.799	0.877	0.722	1.098	1.163
1780	1.211	1.091	0.649	1.895	2.055	0.688	1.011	1.367	1.294	0.759
1790	1.098	1.270	1.439	1.502	0.875	1.217	1.224	1.150	1.002	1.750
1800	1.518	1.123	1.295	0.808	1.162	0.822	0.779	0.641	0.386	0.849
1810	1.084	0.545	0.703	0.566	0.820	1.315	1.464	0.721	0.325	0.530
1820	0.641	0.531	0.433	0.512	0.880	0.608	0.842	0.753	1.315	1.122
1830	0.974	0.863	0.897	1.161	0.833	1.022	0.601	1.119	1.195	1.469
1840	1.061	0.530	0.344	0.810	1.031	1.299	1.495	0.775	0.983	1.599
1850	1.365	0.847	1.244	0.888	0.356	1.078	1.150	0.556	0.990	0.901
1860	0.772	0.703	0.906	0.567	0.732	0.896	0.660	1.229	1.088	1.419
1870	1.536	0.310	0.528	1.050	1.019	1.174	1.678	1.478	1.375	1.251
1880	1.287	1.089	1.057	1.125	0.983	0.804	0.590	0.660	0.928	0.855
1890	0.789	0.973	0.633	0.934	0.798	0.641	1.004	1.096	1.170	0.995
1900	0.867	1.100	0.689	1.128	0.320	1.422	1.451	1.211	1.467	0.907
1910	0.680	0.918	0.977	0.955	1.083	1.148	1.111	0.949	0.920	1.259
1920	1.377	0.966	0.952	1.037	1.094	0.677	1.109	1.516	1.114	1.129
1930	1.370	1.168	1.065	1.096	0.455	1.071	0.481	0.840	0.776	0.451
1940	1.132	1.673	0.974	1.066	1.467	1.276	1.163	0.638	0.751	1.252
1950	0.830	0.574	1.464	0.677	0.337	0.770	0.291	0.837	1.145	1.009
1960	1.193	0.380	1.203	0.717	0.752	0.955	1.137	1.020	1.367	0.902
1970	1.043	0.407	1.055	1.424	0.183	1.514	0.807	1.042	1.087	1.555
1980	0.752	1.192	0.408	1.196	1.148	1.593	1.297	1.489	1.262	0.603
1990	0.687	1.269	1.256							

Cuadro 2. Cronología estándar combinada procedente de Sierra los Ajos, Sonora. Para un año en particular el valor expresado proviene de la relación entre ancho de anillos y el valor obtenido de la curva.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1830									1.263	0.815
1840	0.870	0.339	0.445	0.744	0.966	1.505	0.944	1.294	0.953	2.406
1850	0.971	0.898	1.448	0.959	0.712	0.846	1.298	1.219	1.647	1.359
1860	1.512	1.304	1.055	0.432	0.406	1.097	1.136	1.105	1.039	0.892
1870	0.993	0.717	0.706	0.527	1.056	0.938	1.233	1.009	0.959	1.038
1880	0.796	0.646	1.005	0.736	0.702	0.832	0.495	0.437	0.807	0.769
1890	0.662	0.973	0.779	0.677	0.670	0.513	0.786	0.953	1.150	0.778
1900	0.641	1.021	0.423	0.994	0.195	1.278	1.317	1.482	1.538	1.628
1910	0.656	1.348	1.389	1.651	1.549	1.647	1.528	1.731	1.217	1.855
1920	1.852	1.117	1.709	1.272	1.630	0.689	0.946	1.049	0.887	0.790
1930	0.818	0.877	0.884	0.953	0.613	0.909	0.674	0.706	0.945	0.676
1940	0.852	1.094	1.288	0.706	1.388	1.174	0.710	0.796	0.725	1.067
1950	0.884	0.517	0.974	0.755	0.251	0.687	0.297	0.527	0.934	0.862
1960	1.099	0.593	0.860	0.717	0.940	1.013	0.982	0.758	1.105	1.082
1970	1.128	0.320	1.110	1.152	0.794	1.418	1.237	1.166	1.151	0.926
1980	1.047	1.552	0.943	1.081	1.134	1.775	1.412	1.232	1.270	0.984
1990	0.679	1.224	0.713	1.662						

reconstrucción de PDSI para el mes de julio en ambas montañas, fue muy parecido a la precipitación reconstruida, con valores bajos de PDSI en periodos secos y valores altos en periodos húmedos (Figura 6).

El crecimiento de árboles, PPT y PDSI en AM, fueron significativamente mayores ($p < 0.05$) dos años antes de un incendio, y significativamente menores durante el año del incendio. Este patrón de comportamiento es típico de sitios con vegetación de pinos mixtos encontrados en el suroeste de los Estados Unidos (Swetnam y Baisan, 1996). No se encontró una relación significativa ($p > 0.05$) entre incendio-sequía para las comunidades forestales de la SLA (Figura 7).

Cuadro 3. Correlaciones entre valores anuales de la cronología y datos climáticos divisionales procedentes de Arizona y Nuevo México. Todas las correlaciones son significativas ($p < 0.01$).

Montaña ¹	Estación o Mes ²	r
AM	PPT de octubre previo - enero actual	0.62
AM	PPT de octubre previo - febrero actual	0.60
AM	PPT de noviembre previo - marzo actual	0.57
AM	PPT de noviembre previo - febrero actual	0.54
AM	PPT de diciembre previo - abril actual	0.53
AM	PPT de diciembre previo - marzo actual	0.52
AM	PPT de noviembre previo - enero actual	0.50
AM	PDSI de julio actual	0.64
AM	PDSI de junio actual	0.61
AM	PDSI de abril actual	0.60
AM	PDSI de mayo actual	0.59
SLA	PPT de julio previo - julio actual	0.60
SLA	PPT de mayo previo - julio actual	0.59
SLA	PPT de junio previo - julio actual	0.59
SLA	PPT de julio previo - junio actual	0.51
SLA	PPT de octubre previo - julio actual	0.51
SLA	PPT de mayo previo - junio actual	0.51
SLA	PPT de junio previo - junio actual	0.51
SLA	PDSI de julio actual	0.67
SLA	PDSI de abril actual	0.57
SLA	PDSI de marzo actual	0.56
SLA	PDSI de mayo actual	0.53

¹AM = Animas Mountains, Nuevo México; SLA = Sierra los Ajos, Sonora.

²PPT = Precipitación; PDSI = Índice de Severidad de Sequía de Palmer.

Cuadro 4. Pruebas de verificación entre datos climáticos actuales y estimados para las montañas de Animas Mountains, Nuevo México y Sierra los Ajos, Sonora. Todos los valores fueron significativos ($p < 0.05$).

Montaña ¹	Variable Climática ²	Periodo de Calibración	Periodo de Verificación	r	Error de Reducción	Prueba de Signo	t
AM	PPT	1896 - 1930	1931 - 1992	0.49	0.15	9.0	1.2
AM	PPT	1931 - 1992	1896 - 1930	0.68	0.46	15.0	0.5
AM	PDSI	1931 - 1992	1896 - 1930	0.75	0.53	11.0	3.8
AM	PDSI	1895 - 1930	1931 - 1992	0.48	0.15	12.0	3.9
SLA	PPT	1896 - 1930	1931 - 1993	0.74	0.55	8.0	3.4
SLA	PPT	1931 - 1993	1896 - 1930	0.51	0.25	21.0	4.0
SLA	PDSI	1931 - 1993	1895 - 1930	0.57	20.00	20.0	4.5
SLA	PDSI	1895 - 1930	1931 - 1993	0.71	0.49	0.5	4.7

¹AM = Animas Mountains, Nuevo México; SLA = Sierra los Ajos, Sonora.

²PPT = Precipitación; PDSI = Índice de Severidad de Sequía de Palmer

Comparativamente el crecimiento radial (ancho de anillos promedio) de pinabete, antes de 1890 fue similar en ambas montañas. Entre 1890 y 1935, el crecimiento de esta especie fue mayor en AM y después de 1935 fue mayor en SLA. Las especies de pino fronterizo y pino ponderosa, mostraron patrones similares de crecimiento radial antes de 1900. El pino fronterizo y el ponderosa, exhibieron patrones similares en crecimiento radial antes de 1900. En los siguientes 40 años, la tasa de crecimiento promedio de pino fronterizo en AM fue mayor que la de pino ponderosa en SLA. Las diferencias anuales en crecimiento radial, deducidas de una prueba de "t" para especies similares entre montañas, se ilustra en la figura 8.

DISCUSIÓN

Las cronologías desarrolladas para AM y SLA, indicaron respuestas similares al clima lo cual se evidenció por la presencia de patrones similares de pequeños y

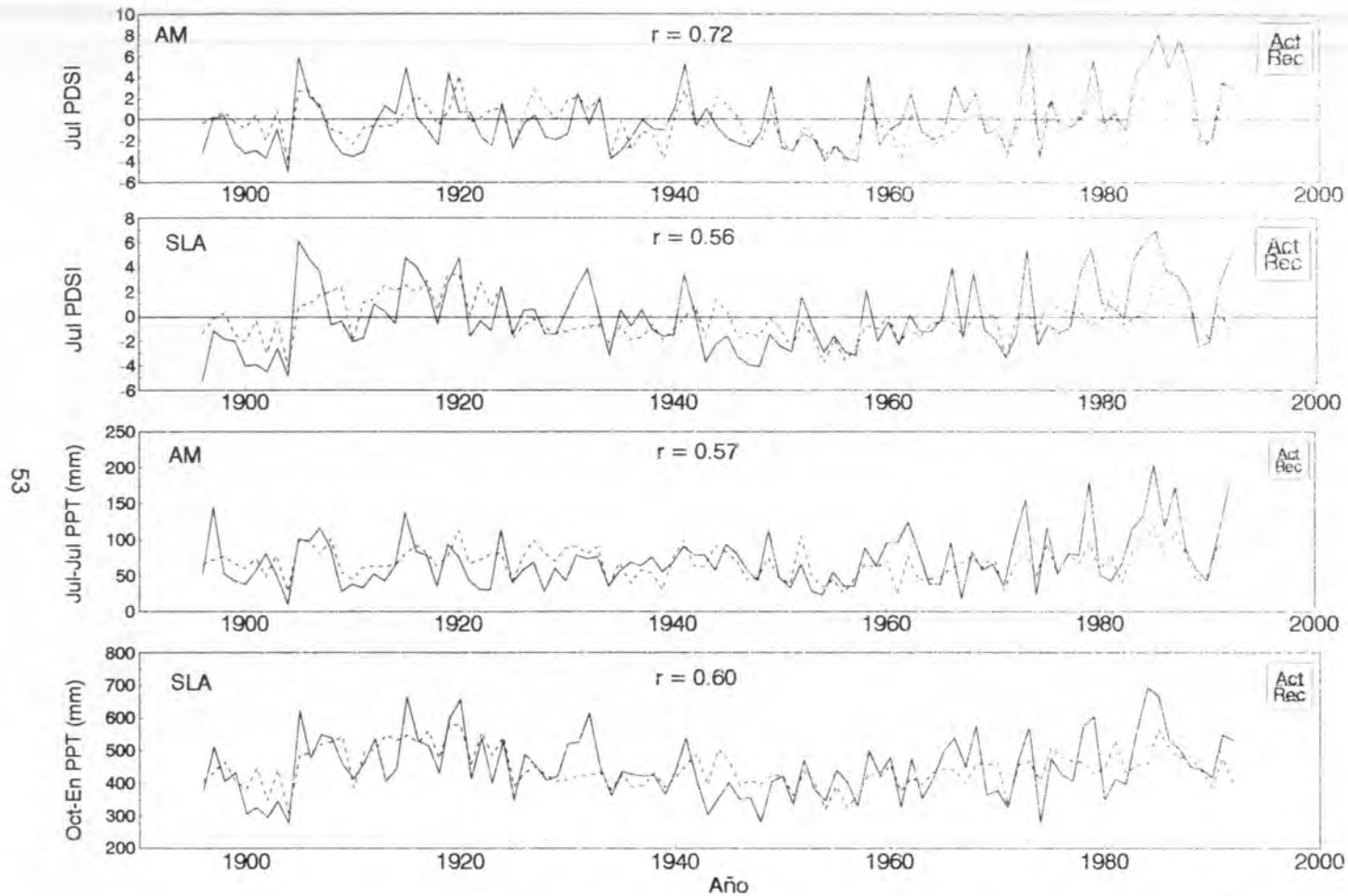


Figura 4. Comparación entre precipitación actual (act), reconstruida (rec) e Índice de Sequía de Palmer (PDSI) para Animas Mountains, Nuevo México (AM) y Sierra Los Ajos, Sonora (SLA).

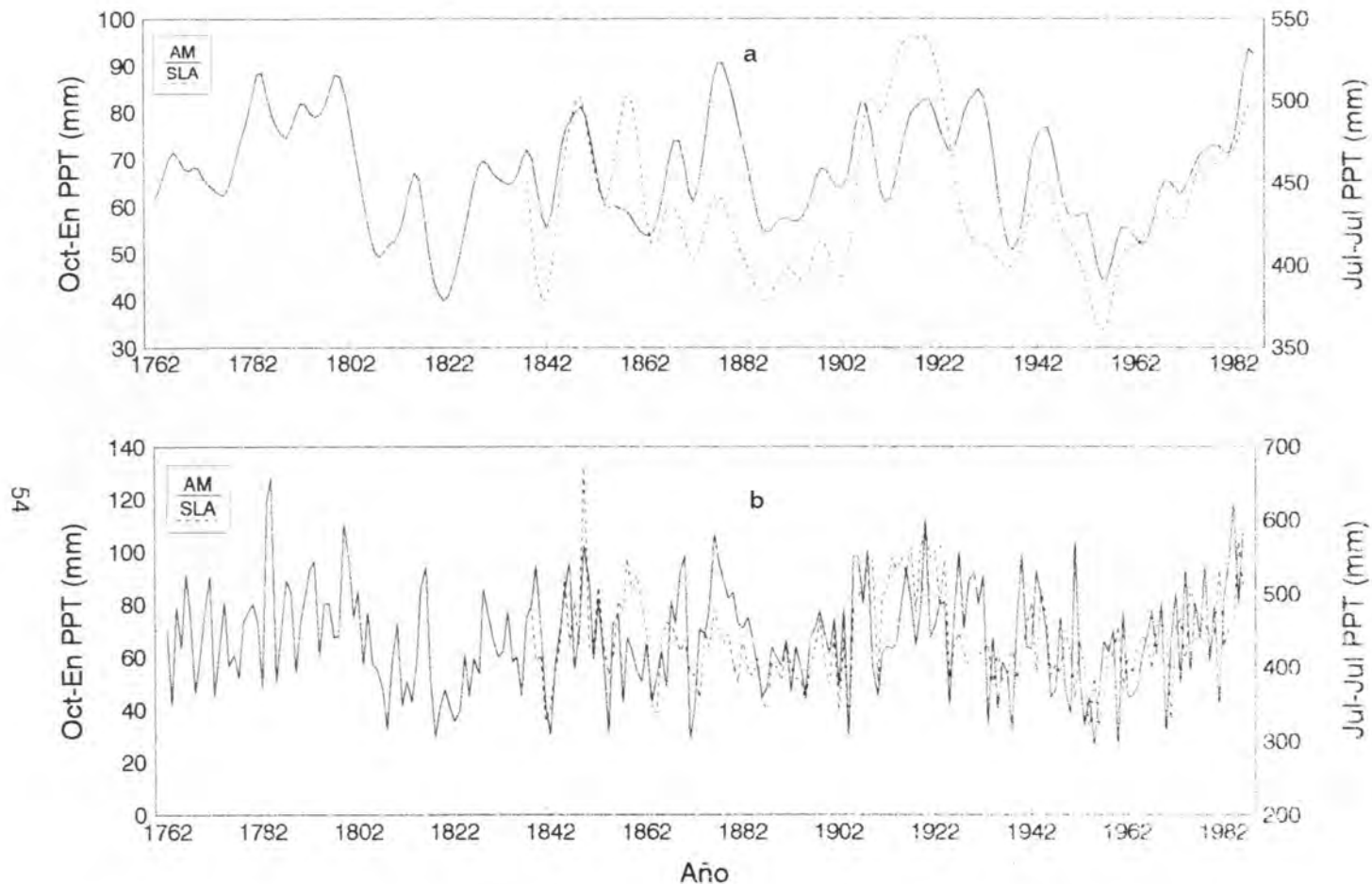


Figura 5. Precipitación reconstruida enfatizando diferencias en precipitación a nivel decenal (a) y fluctuaciones anuales de precipitación (b). Los valores de precipitación en el eje vertical izquierdo, corresponden a las Animas Mountains (AM) y los que se encuentran en el eje vertical de la derecha son para la sierra Los Ajos (SLA).

Cuadro 5. Periodos húmedos (superior a la normal) y secos (inferior a la normal) reconstruidos para Animas Mountains, Nuevo México y Sierra los Ajos, Sonora.

Montaña ¹	Eventos extremos ²	Período	PPT (mm)	Duración (años)
AM	Superior a la normal	1781 - 1802	82	22
		1847 - 1850	81	4
		1875 - 1881	86	7
		1905 - 1908	80	4
		1916 - 1922	81	7
		1927 - 1932	83	6
		1983 - 1988	88	6
AM	Inferior a la normal	1806 - 1812	51	7
		1818 - 1825	45	8
		1860 - 1864	54	5
		1936 - 1939	53	4
		1953 - 1965	51	13
SLA	Superior a la normal	1847 - 1850	496	4
		1857 - 1860	497	4
		1906 - 1924	489	19
		1984 - 1987	492	4
SLA	Inferior a la normal	1840 - 1843	387	4
		1884 - 1889	384	6
		1893 - 1896	393	4
		1951 - 1958	383	8

¹AM = Animas Mountains, Nuevo México; SLA = Sierra los Ajos, Sonora.

²Precipitación Media \pm 1.1 desviaciones estándar.

grandes anillos durante ciertos años. Este resultado fundamenta la hipótesis, de que la respuesta de los árboles a condiciones climáticas extremas (años húmedos y secos) se presenta aun en sitios geográficamente distantes.

En general, la precipitación reconstruida fue muy similar entre las montañas estudiadas. Los periodos húmedos y secos más importantes durante los últimos 150 años, se presentaron en los periodos 1847-1850, 1905-1922 y 1983-1988. Sin embargo, en general, los periodos secos difirieron, pero coincidieron para los años secos de 1904, 1936 y 1955. Las diferencias detectadas entre reconstrucciones, se

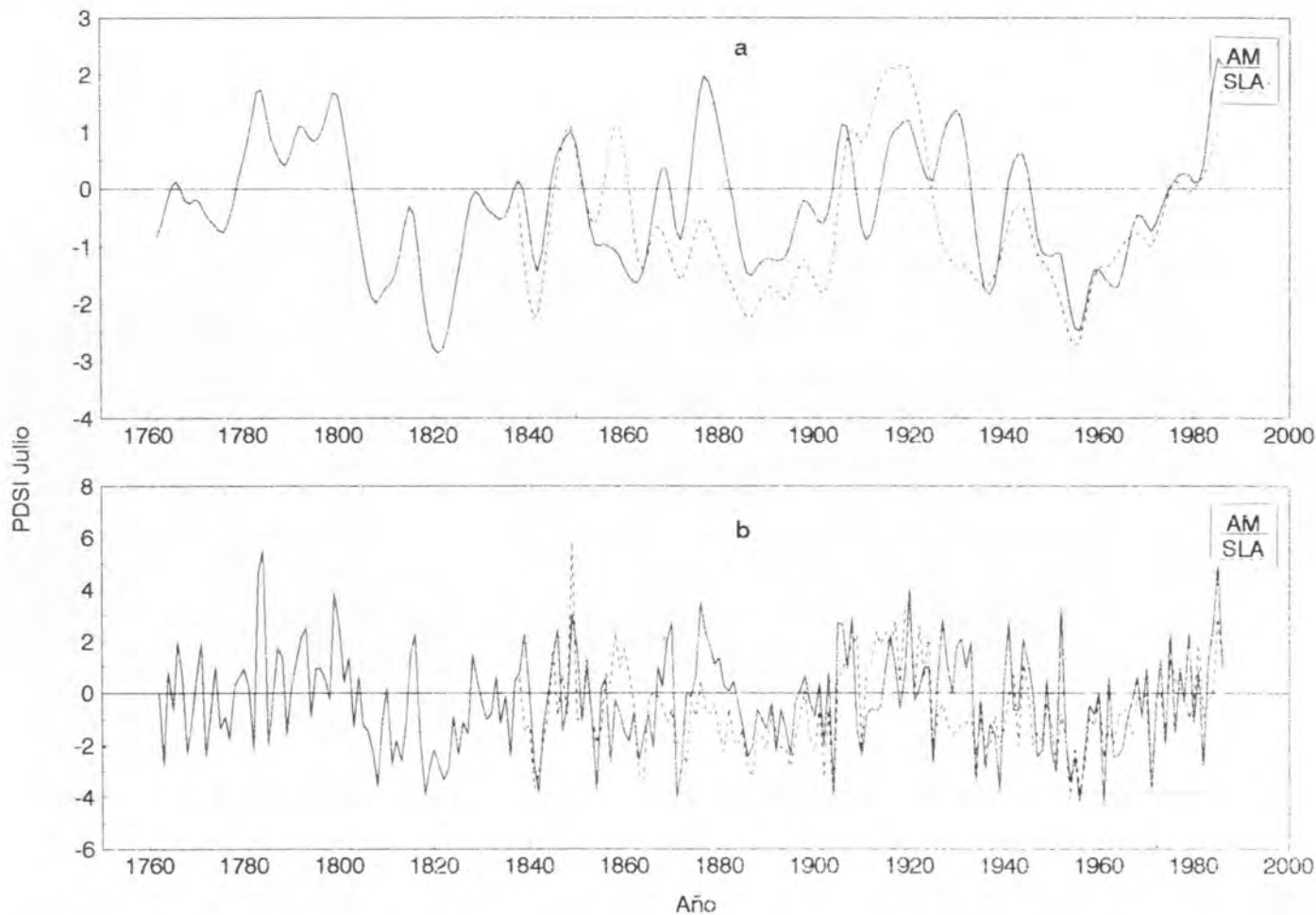


Figura 6. Índice de Sequía de Severidad de Palmer (PDSI) para Animas Mountains, Nuevo México (AM) y Sierra Los Ajos, Sonora (SLA), enfatizando diferencias de PDSI a escala decenal (a) y fluctuaciones anuales de PDSI (b).

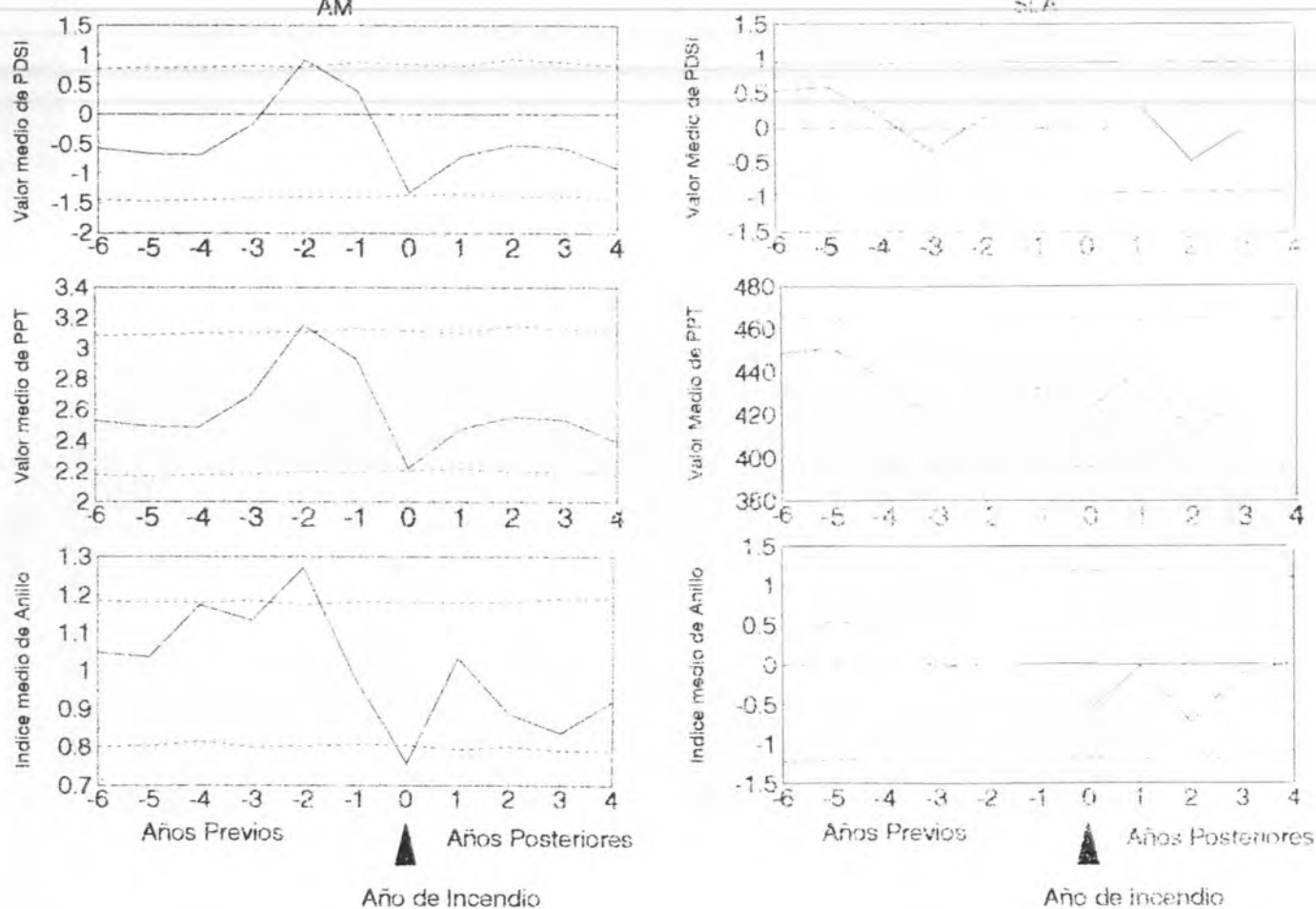


Figura 7. Análisis Superpuesto Estacional mostrando el Índice de Severidad de Palmer (PDSI), precipitación (PPT) e índice medio de ancho de anillos. Los promedios (líneas sólidas) se calcularon como la diferencia entre la media general para esas variables y sus respectivos valores medios observados antes, después y durante el incendio para Animas Mountains (AM) y Sierra Los Ajos (SLA). Las líneas punteadas representan intervalos de confianza al 95%.

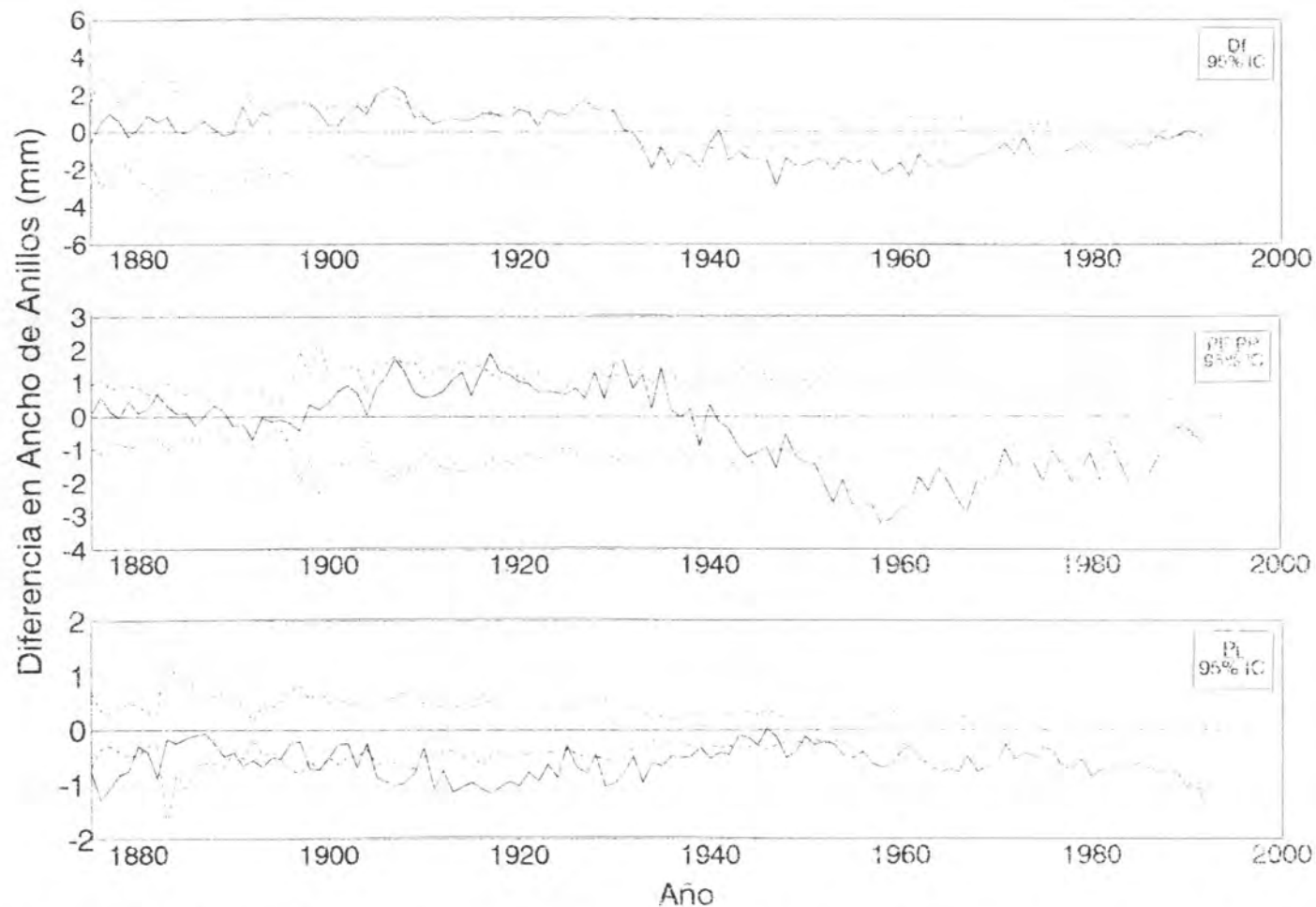


Figura 8. Prueba de t para comparar diferencias anuales en el ancho de anillos de especies similares (líneas sólidas) en Animas Mountains (AM) y Sierra Los Ajos (SLA). Pino Piñonero (Pi); Pino Fronterizo (Pf) y Pino Ponderosa (PP); Douglas fir (Df). Las líneas discontinuas representan intervalos de confianza (IC) al 95%.

podieran atribuir a diferencias en los periodos reconstruidas. En AM, la precipitación se reconstruyó para el periodo octubre-enero, mientras que para la SLA se hizo para el periodo anual julio-julio.

Los periodos 1899-1904 y 1950-1960, se clasifican entre los periodos cortos de sequía más extremos durante los últimos 1000 años (D'Arrigo y Jacoby; 1992, Betancourt *et al.*, 1993; Grissino-Mayer, 1995). A pesar de que la severidad de la sequía ha variado entre reconstrucciones, para el noroeste de Nuevo México, la reconstrucción de precipitación, permite sustentar la idea, de que el periodo seco 1950-1960 fue el más severo de todos. Sin embargo, es importante señalar que las diferencias entre montañas, pudo haber contribuido a influenciar la variabilidad en la respuesta observada.

En resumen, los valores reconstruidos de precipitación en ambas montañas, simularon correctamente las fluctuaciones de alta frecuencia, lo que coincide con otras reconstrucciones de precipitación para el suroeste de los Estados Unidos. De esta manera, las diferencias observadas entre reconstrucciones climáticas se pueden atribuir a distancias entre montañas, diferencias en características fisiográficas, así como de uso del suelo.

La presencia de incendios en AM estuvo asociada a condiciones de precipitación superior a lo normal, dos años previos a la fecha del incendio. La interacción clima-incendio en esta montaña, es consistente con el punto de vista de que la producción de biomasa fácilmente degradable, es esencial para crear condiciones que faciliten la ignición y dispersión de incendios en esta región (McPherson, 1995).

Una mayor probabilidad de presencia de incendios se ha relacionado con un incremento en la producción de herbáceas anuales invernales y a patrones de precipitación (McLaughlin y Bowers, 1982; Rogers y Vint, 1982; Baisan y Swetnam 1990; Swetnam y Betancourt, 1992, Swetnam y Baisan, 1996).

En contraste a la interacción clima-incendio ampliamente reportada en el suroeste de los Estados Unidos, no se evidenció un patrón en SLA. La ausencia de un patrón clima-incendio en esta montaña, puede atribuirse entre otros factores, al corto periodo analizado (1838-1972). La carencia de información más completa de los incendios en esta montaña, presencia de incendios relativamente frecuentes en la actualidad y disturbios como aprovechamiento forestal, minería y sobrepastoreo, los cuales pudieron haber enmascarado la relación previamente descrita (Villanueva y McPherson, 1995; Swetnam y Baisan, 1996).

El promedio del ancho de anillos de pinabete, pinos mixtos y de pino piñonero difirió entre las montañas estudiadas. En general, las tasas de crecimiento fueron

menores en AM en comparación a SLA. Estas diferencias en crecimiento, pudieran atribuirse a condiciones climáticas locales, así como a diferencias en el uso del suelo.

Las comunidades forestales en AM experimentaron incendios menos frecuentes en comparación a las mismas comunidades en la SLA, especialmente después de 1870 (Baisan y Swetnam, 1995). En AM, la relativa baja frecuencia de incendios, aunado a condiciones climáticas más favorables, quizás favorecieron un incremento en el establecimiento de plántulas, e incrementó en la competencia interespecífica e intraespecífica; lo que provocó una disminución en las tasas de crecimiento anual. En contraste, la mayor frecuencia de incendios en SLA, aunado a los aprovechamientos forestales, probablemente mantuvieron bajas las densidades de árboles, lo que pudo influir en mejores tasas de crecimiento anual.

Lo anterior implica que las diferencias entre montañas con relación al establecimiento, desarrollo y tasas de crecimiento de especies arbóreas, están influenciadas por variantes fisiográficas, climáticas, disturbios naturales y de uso del suelo.

CONCLUSIONES

Los anillos de árboles de especies climáticamente sensitivas como las usadas en este estudio, constituyen una fuente "proxy" incomparable para reconstruir por varios siglos el clima pasado. La reconstrucción de precipitación entre montañas adyacentes, muestra la variabilidad espacial y temporal de este componente climático, e indica que eventos extremos de alta y baja frecuencia, como períodos secos o húmedos, no se circunscriben a una montaña en particular, si no que a veces se extienden por varios cientos de kilómetros, influenciando el comportamiento de los ecosistemas a grandes distancias.

La dinámica forestal y el crecimiento de las especies en el área estudiada, están afectados tanto por fluctuaciones climáticas, cambios en el uso del suelo y presencia de incendios. Años húmedos seguidos por años secos tienden a favorecer la presencia de incendios, aunque esta relación puede ser modificada por acciones de aprovechamiento forestal, sobrepastoreo, supresión de incendios, etc., caso concreto se encontró en montañas del lado mexicano, donde acciones de cambio de uso del suelo han alterado la relación clima – incendio; así mismo, el control de incendios en montañas de Estados Unidos de América ha modificado la composición y densidad de especies y alterado el ciclo de nutrientes.

En particular, el crecimiento anual de las especies consideradas en este estudio, está influenciado por factores climáticos, de calidad de sitio, presencia de incendios y de otras acciones de disturbio. Para propósitos de restauración

forestal es importante analizar de manera aislada e integral cada una de estas variables y decidir cual o cuales requieren ser intervenidas para que el ecosistema logre la condición deseada.

REFERENCIAS

- Aponte, M. B. 1974. Estratigrafía del Paleozoico (Cámbrico-Pensilvánico) del centro de Sonora. Tesis profesional. Instituto Politécnico Nacional (IPN), Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Sonora, México. 85 p.
- Archer, E. and F.E. Smeins. 1991. Ecosystem-level processes. *In*: Heitschmidt, R. K. and J. W. Stuth (Eds.). *Grazing management: an ecological perspective*. Timber Press, Portland, Oregon. pp. 109-139.
- Arras, M.M. 1979. Geohydrological investigation in the Animas Valley, Hidalgo County, New México. M.S. Thesis, New México State University, Las Cruces. 57 p.
- Baisan, C. B. and T. W. Swetnam. 1990. Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness Arizona, U.S.A. *Can. J. For. Res.* 20: 1559-1569.
- Baisan, C. B. and T. W. Swetnam. 1995. Historical fire occurrence in remote mountains of southwestern New México and northern México. *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. pp. 153-156.
- Betancourt, J. L., E. A. Pierson, K. A. Rylander, J. A. Fairchild-Parks and J. S. Dean. 1993. Influence of history and climate on New México piñon-juniper woodlands. *In* Aldon, E. F. and D. W. Shaw (Technical Coordinators). *Managing piñon-juniper ecosystems for sustainability and social needs*. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-236, Fort Collins, Colorado. pp. 42-62.
- Brown, D. E. 1982. Madrean evergreen woodland. *Desert Plants* 4: 59-65.
- Conkey, L. E. 1979. Dendroclimatology in the northeastern United States. M.S. Thesis. University of Arizona, Tucson. 171 p.
- D'Arrigo, R. D. and G. C. Jacoby. 1992. A tree-ring reconstruction of New México winter precipitation and its relation to El Niño/Southern Oscillation events. *In*: Diaz, H.F. and V. Markgraf (Eds.). *El Niño: historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge University Press, New York. pp. 243-257.
- Dean, J. S. 1978. Tree-ring data in archeology. *Anthropology papers* 96. University of Utah Press, Salt Lake City, UT. 34 p.
- Dieterich, J. H. 1983. Historia de los incendios forestales en la Sierra de los Ajos, Sonora. Centro de Investigaciones Forestales del Norte. Nota Técnica No. 6. PR-04. México, D.F. 12 p.

- Fishbein, M., R. Felger and F. Garza-Salazar. 1995. Another jewel in the crown: a report on the flora of the Sierra de los Ajos, Sonora, México. *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 México. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264, Fort Collins, Colorado. pp. 126-134.
- Fritts, H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press. New York. 567 p.
- Fritts, H. C. and T. W. Swetnam. 1989. Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. *Advances in Ecological Research* 19: 111-118.
- Fritts, H. C. 1991. Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data. The University of Arizona Press, Tucson, AZ. 286 p.
- 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.
- Gordon, G. A. 1982. Verification of dendroclimatic reconstructions. *In*: Hughes, M. K., P. M. Kelly, J. R. Pilcher, and V. C. LaMarche, Jr. (Eds.). *Climate from tree rings*. Cambridge University Press, New York. pp. 58-61
- Grissino-Mayer, H. D. 1995. Tree-ring reconstructions of climate and fire history at El Malpais National Monument, New México. Ph.D. Dissertation. The University of Arizona, Tucson. 407 p.
- Guiot, J., A. L. Berger and A. V. Munaut, 1982. Response functions. *In*: Hughes, M. K., P. M. Kelly, J. R. Pilcher, and V. C. LaMarche, Jr. (Eds.). *Climate from tree rings*. Cambridge University Press, New York. pp. 38-45.
- Harness, V. L. and C. H. Barber. 1964. Cotton in México. USDA, Foreign Agriculture Service, FAS-M 163. Washington, D.C. 120 p.
- Hastings, J. R. and R. M. Turner. 1965. The changing mile. University of Arizona Press, Tucson, AZ. 317 p.
- Hubbard, J. P. 1977. A biological inventory of the Animas Mountains, Hidalgo County, New México. New México Department of Game and Fish Endangered Species Program. 56 p.
- Karl, T. R. 1986. The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to their calibration including potential evapotranspiration. *Journal of climate and Applied Meteorology* 25: 77-86.
- Krammer, P. J. and T. T. Kozlowski. 1979. *Physiology of woody plants*. Academic Press. New York. 257 p.
- Lofgren, G. R. and J. H. Hunt. 1982. Transfer functions. *In*: Hughes, M. K., P. M. Kelly, J. R. Pilcher, and V. C. LaMarche, Jr. (Eds.). *Climate from tree rings*. Cambridge University Press. New York. pp. 50-56

- Martin, P. S. 1963. The last 10,000 years. University of Arizona Press, Tucson, AZ. 87 p.
- McLaughlin, S. P. and J. E. Bowers. 1982. Effects of wildfire on a Sonoran Desert plant community. *Ecology* 63: 246-248.
- McPherson, G. R. 1995. The role of fire in the desert grassland. *In*: McClaran, M. P. and T. R. Van Devender (Eds.). The desert grassland. The University of Arizona Press, Tucson. pp. 130-151.
- Mooney, C. Z. and R. D. Duval. 1993. Bootstrapping: a nonparametric approach to statistical inference. Sage University paper series on quantitative applications in the social sciences 95. 72 p.
- Palmer, W. C. 1965. Meteorological drought, Research Paper No. 45. U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C. 58 p.
- Rogers, G. F. and M. K. Vint. 1987. Winter precipitation and fire in the Sonoran Desert. *Journal of Arid Environments* 13: 45-72.
- Schweingruber, F. H. 1988. Tree rings: basics and applications of dendrochronology. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland. 276 p.
- Soil Conservation Service. 1973. Soil survey of Hidalgo County, New México. United States Government Printing Office, Washington, D.C. pp. 90
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press, Chicago. 73 p.
- Swetnam, T. W., M. A. Thompson and E. K. Sutherland. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. USDA Forest Service, Agricultural Handbook 639. 39 p.
- Swetnam, T. W. and J. L. Betancourt. 1992. Temporal patterns of El Niño/Southern Oscillation Wildfire Teleconnections in the southwestern United States. *In*: Diaz, H. F. and V. Markgraf (Eds.). El Niño: historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation. Cambridge University Press, New York. pp. 259-270.
- Swetnam, T. W. 1993. Fire history and climate change in giant sequoia groves. *Science* 262: 885-889.
- Swetnam, T. W. and C. H. Baisan. 1996. Fire histories of montane forests in the Madrean Borderlands. *In*: Ffolliott, P. F., L. F. DeBano, M. B. Baker, Jr., G. J. Gottfried, G. Solis-Garza, C. B. Edminster, D. G. Neary, 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. pp. 15-36.
- Tonne, P., A. Cato and G. Babb. 1992. The natural and historic role of fire on the Gray Ranch, Hidalgo County, New México. Unpublished report on file with the Nature Conservancy. 44 p.
- Villanueva-Díaz, J. and G. R. McPherson. 1995. Forest structure in mountains of

- Sonora, México and New México, USA. *In*: DeBano, L. F., P. F. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G. J. Gottfried, H. R. Hamre, and C. B. Edminster (Tech. Coords.). Proceedings of the symposium on biodiversity and management of the Madrean Archipelago: the sky islands of the southwestern United States and northern México. USDA Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264, Fort Collins, Colorado. pp. 416-423.
- Wagner, W. L. 1977. Floristic affinities of Animas Mountains, southwestern New México. M.S. Thesis, University of New México. Albuquerque, N.M. 180 p.
- West, R.C. 1993. Sonora: its geographical personality. University of Texas Press. Austin. 191 p.
- Westoby, M., B. Walker and I. Noy-Meir. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal of Range Management* 42: 266-274.