



RESUMEN

El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento del desarrollo y funcionamiento de las comunidades de matorral xerófilo en el Noreste de México y su relación con factores bióticos y abióticos. Para esto se propuso estudiar la fenología y algunos aspectos reproductivos en 10 especies representativas del matorral xerófilo del Noreste de México como son *Cordia boissieri*, *Leucophyllum frutescens*, *Havardia pallens*, *Celtis pallida*, *Prosopis laevigata*, *Dyospiros texana*, *Zanthoxylum fagara*, *Helietta parvifolia*, *Acacia farnesiana* y *A. rigidula*. Este estudio tuvo como área de estudio principal la comunidad de matorral tamaulipeco presente en el campus de la Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. en Linares, N. L., y una pequeña parte del trabajo (para efectos comparativos) se realizó en la parte baja de la Sierra de las Mitras en Monterrey, N. L. Para el estudio fenológico se seleccionaron y marcaron 10 ejemplares de cada una de las especies estudiadas. El estado de cada planta fue medido cada 10 días durante un periodo de 30 meses (febrero 2000 a julio 2002), de manera cuantitativa en términos porcentuales. Los parámetros estudiados fueron: desarrollo vegetativo, floración y fructificación. Además de lo anterior se realizó un estudio sobre la morfología de los frutos y semillas de *A. farnesiana*, *A. rigidula*, *P. laevigata*, *C. pallida*, y *C. boissieri* durante un periodo de dos años; para el caso de *C. boissieri* este estudio se realizó en dos localidades y en dos épocas del año. En las especies de la familia Leguminosae se estudio también la eficiencia reproductiva en función de la floración y fructificación. Para *C. boissieri* y *C. pallida* se estudió además la composición química de los frutos en dos años, considerando además para la primera especie dos localidades y dos épocas del año. Se incluyó también un estudio acerca de la morfología de las flores de *C. boissieri* y *L. frutescens* en dos localidades y dos épocas del año.

Entre los principales resultados tenemos que en la mayoría de las especies el desarrollo vegetativo se presenta en dos épocas del año, primavera y otoño con un notable receso en los meses de julio y agosto. La caída y renovación de las hojas en la mayoría de las especies fue gradual y solo en *C. boissieri*, *H. pallens* y *Z. fagara* se apreciaron ejemplares sin hojas por breves periodos, estos casos se presentaron en la primavera y



verano del año 2000. La floración de las especies se presenta en dos épocas del año, finales de invierno- inicios de primavera y otoño, siendo la primera la época con mayor número de especies en floración. Se identificaron dos grupos principales de especies respecto al número de eventos de floración, el primero con seis especies, con un solo evento en el año y el segundo con cuatro especies, y dos o más eventos de floración. Se observaron eventos de aborción de flores en *H. pallens* y *Z. fagara*. La fructificación fue el evento mas largo para la mayoría de las especies. Las especies de la familia Fabaceae así como *D. texana* y *C. pallida* mostraron mayor constancia en los eventos fenológicos de un año a otro. Se observó también una fuerte relación entre las respuestas fenológicas de algunas especies, como el cenizo y la anacahuita, con variables ambientales como precipitación. Por otra parte se encontraron diferencias estadísticas entre las medidas morfológicas de las flores, frutos y semillas de las especies estudiadas. Estas diferencias se presentaron tanto temporal como espacialmente. Igualmente se encontró variación en la composición química de los frutos de *C. boissieri* y *C. pallida*. En cuanto a la eficiencia reproductiva en las especies de leguminosas. Se observó la mayor eficiencia (3.67%) en *A. rigidula* y la menor en *A. farnesiana* (2.19%), en tanto que *P. laevigata*, que presentó la mayor cantidad de botones por inflorescencia, mostró un 2.73 % de botones florales convertidos en fruto.



INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las regiones del planeta, el cambio en las condiciones climáticas a través del año y la variación interanual de las mismas es una constante. Sin embargo, estos cambios tienden a ser predecibles lo cual les da un carácter estacional. Esta variación estacional ocasiona cambios en la disponibilidad de recursos, y es precisamente esta estacionalidad la que ha entrenado los ciclos de respuesta de las plantas para adaptarse a estos cambios mediante mecanismos de cambio en morfología y fisiología para sobrevivir (Vázquez-Yáñez, 1999). El ciclo de respuesta de las plantas a la variación estacional permite identificar una diversidad de fenofases que están, en mayor o menor grado reguladas por esta estacionalidad (Battey, 2000).

Los cambios en el ambiente ejercen diferentes presiones en las plantas e influyen en forma prácticamente única en el desarrollo de cada una de las especies, dando como resultado diversas formas de crecimiento, las cuales pueden interpretarse como caminos distintos que han seguido las plantas para adaptarse a un determinado ambiente (Montenegro y Ginocchio, 1999). No obstante es posible identificar especies o grupos de especies de plantas que responden de manera similar a un conjunto dado de condiciones ambientales; a estos grupos se les conoce como tipos o grupos funcionales de plantas, así por ejemplo, se han propuesto tipos funcionales para plántulas (Ibarra-Manríquez et al., 2001), características foliares (Garnier et al., 2001), mecanismos de polinización, fisonomía, dispersión de semillas, vía fotosintética, ciclo de vida (Smith et al., 1993) e incluso fenología (Westoby y Leishman, 1997). Sobre esto último sabemos que existen especies que independientemente de las condiciones climáticas, año con año presentan eventos fenológicos con precisión casi cronológica (posiblemente su desarrollo está relacionado con la duración del día); en tanto que otras especies dependen de un determinado umbral de temperatura o precipitación, e incluso factores bióticos tales como filogenia, competencia, herbivoría, polinización y dispersión de semillas que afectan el desarrollo de los eventos fenológicos (Murali y Sukumar, 1994; Grimm, 1995; Pavón y Briones, 2001), aunque la forma específica en que estos factores influyen en la fenología es aún poco entendida (Bawa et al., 1991, Smith-Rámírez y Armesto, 1994)



Los estudios fenológicos proveen información sobre los ritmos funcionales de plantas y comunidades vegetales (Ralhan et al., 1995 en Abd El-Ghani, 1997), donde los eventos fenológicos pueden ser determinados por condiciones bióticas o abióticas ambientales. Las plantas del desierto exhiben fenologías fuertemente relacionadas a la disponibilidad de humedad y temperatura, así como fotoperíodo y disponibilidad de nutrientes. De acuerdo a lo anterior, podemos decir que los ciclos fenológicos pueden representar adaptaciones morfológicas y fisiológicas de las especies para la utilización de los recursos (Kemp y Gardeto, 1982 en Abd El-Ghani, 1997). En este sentido, los patrones fenológicos pueden indicar que los recursos son utilizados por diferentes especies en épocas diferentes del año.

Por otra parte desde hace algunas décadas el planeta ha experimentado un significativo cambio climático global, caracterizado principalmente por un incremento en la temperatura global y un incremento en la concentración de CO₂ atmosférico (Hansen et al., 2000, 2002; Wigley et al., 1997). Estas alteraciones afectarán las condiciones climáticas en todas las regiones del mundo y afectarán la estacionalidad ambiental y con ello las respuestas de los organismos al ambiente (Hughes, 2000), y de forma muy particular la fenología de las plantas (Farnsworth et al., 1995; Thorhallsdottir, 1998; Spano et al., 1999). Ante la inminencia de estos cambios la fenología puede ser un excelente parámetro para evaluar los efectos de los mismos en los ecosistemas (Linkosalo, 1999; Peñuelas y Filella, 2001). Para utilizar la fenología como una herramienta de comprensión del cambio climático es necesario conocer la fenología actual, a fin de poder determinar la magnitud de los cambios e incluso poder predecirlos.

La variación en las condiciones ambientales, además de modelar los patrones fenológicos de las especies afectan significativamente aspectos morfológicos, anatómicos y de composición química de las plantas, sus flores y sus frutos. Ocasionando con ello diferencias temporales y estacionales en el tamaño, cantidad y características de las flores, frutos y/o semillas. Esta variación puede ser también afectada por factores bióticos, tales como polinizadores, dispersores y/o animales herbívoros (Watson, 1995), los cuales pueden también afectar el éxito reproductivo de las especies (Gómez, 1996).



Los estudios científicos formales de la fenología de las plantas de zonas áridas apenas han comenzado en México (Challenger, 1998) y los pocos trabajos existentes se circunscriben en su mayoría a las dos últimas décadas (Cantú, 1990; Cantú y Reid, 1991; Grimm, 1995; León de la Luz et al., 1996; Golubov et al., 1999). El matorral del Noreste de México han recibido escasa o nula atención, particularmente las relaciones que guardan las plantas con los parámetros ambientales, su fenología, y su interacción con la fauna y con otras plantas, sin embargo, si se han estudiado en mayor o menor grado aspectos tales como: diversidad de especies, estructura, dinámica poblacional, etnobotánica, y patrones de germinación, además de algunos aspectos físicos como clima, topografía y geología (Marroquín et al., 1964; Heiseke y Foroughbakhch, 1985; Jurado y Reid, 1989; Foroughbakhch y Heiseke, 1990; Reid et al., 1990; Alanís, 1993; Jurado et al., 1998, 2000, 2001; Flores y Jurado, 1998).

En el presente trabajo se analiza detalladamente el comportamiento fenológico de 10 especies ecológicamente importantes y comunes en el matorral del Noreste de México durante un periodo de 30 meses (Febrero, 2000 – Julio, 2002). El principal objetivo de este trabajo es contribuir al entendimiento de los patrones fenológicos y algunos aspectos reproductivos en las comunidades de matorral xerófilo.



REVISIÓN DE LITERATURA

Características Generales del Matorral del Noreste de México

Rzedowski (1966 en González-Murguía, 1995) hace un análisis detallado de los factores que influyen en la distribución de la vegetación, y atribuye el papel de factores determinantes a geología, edafología, fisiografía, hidrología, climas y actividades humanas. En función de las diferencias de altitud, de exposición y de algunos otros factores, las condiciones de clima difieren en forma notable, de un sitio a otro.

Las zonas áridas y semiáridas comprenden la más extensa zona ecológica de México, con una superficie de casi la mitad del territorio mexicano. Estas zonas se caracterizan por la escasez de precipitación pluvial. Esta zona ecológica está distribuida en los estados del norte y centro de México, con un territorio cercano a 100 millones de hectáreas y aloja a más de 20 tipos de matorral xerofítico y gran variedad de pastizales y vegetación halófila (Toledo y Ordoñez, 1998). Los autores también reportan que de las aproximadamente 100 millones de hectáreas que ocupa el matorral xerófilo en nuestro país, hacia 1989 alrededor de 8 millones de hectáreas habían sido transformadas en áreas agrícolas y más de 9 millones se consideraban ganaderas; sin embargo, la superficie ganadera es mucho mayor, ya que en este dato no fueron consideradas las áreas de ganadería extensiva donde el ganado se alimenta directamente de las especies del matorral, pero se puede mencionar que hacia 1980, el ganado en esta zona ecológica sobrepasaba los 8 millones de cabezas y ocupaban un área calculada de 57 millones de hectáreas. Otro factor que afecta esta zona son las actividades forestales de carácter extractivo.

En las zonas áridas y semiáridas del norte de México, las plantas han sufrido una profunda evolución, dando origen a una flora moderadamente rica (alrededor de 6000 especies), de sello propio y con una variedad de formas biológicas que solo tiene paralelo en Sudáfrica (Rzedowski, 1998). Además menciona que la abundancia de endemismos en los rangos de familia y género está positiva y notablemente correlacionada con la aridez, concentrándose en la vegetación xerófila.



Por su parte Marroquín et al. (1964) efectuaron un estudio ecológico-dasonómico de las zonas áridas de la Altiplanicie de México, mencionando que la aridez climática manifiesta su influencia en el aspecto, composición florística y distribución geográfica de las especies. Además del factor suelo, las variaciones en la intensidad de los elementos climáticos pueden determinar cambios cualitativos y cuantitativos en la masa vegetal, lo que puede dar por resultado la dominancia, migración, invasión o reducción de las especies.

El matorral ha sido sometido a diversas presiones degradativas, particularmente en las últimas 3 décadas, con lo cual se ha visto reducido su potencial productivo, a causa del desarrollo urbano y actividades de extracción forestal. Por otra parte, el incremento de las actividades antropogénicas, entre las cuales destacan los desmontes masivos que transforman los matorrales en terrenos agropecuarios, acentuando el proceso de pérdida de este recurso; más aún cuando estas zonas no reúnen las características climáticas, edáficas ni topográficas que les permitan mantener una producción agropecuaria sostenida (Synnott, 1986 en Medina, 1995).

Heiseke y Foroughbakhch (1985) analizaron 2 tipos de matorral mediano subinermes en Linares, N. L. para la obtención de datos básicos sobre su uso forestal, para lo cual registraron aspectos estructurales de la vegetación, tales como frecuencia, abundancia, dominancia y valor de importancia; también realizaron mediciones de biomasa, volúmenes aprovechables y productividad de ambas comunidades de matorral, ya que este recurso representa fuentes de ingreso para los pobladores del área rural.

Jurado y Reid (1989) describen la composición y estructura de una porción de matorral espinoso tamaulipeco, en el noreste de México y evalúan la importancia de los factores edáficos, topográficos y antropogénicos en la distribución de las especies vegetales. Registran la presencia de 51 especies, principalmente arbustivas y suculentas; la vegetación tiene una altura promedio de 4 m, distinguiéndose tres estratos en la misma. El análisis de asociación mostró que la distribución de 37 % de las especies se asocia con uno o más de los factores ambientales considerados.

Foroughbakhch y Heiseke (1990) mencionan que desde el punto de vista de la productividad y bajo los esquemas de aprovechamiento actuales, el matorral presenta un rendimiento muy bajo, lo cual constituye la causa principal de su degradación y destrucción



en favor de terrenos agrícolas y praderas artificiales. Ellos realizaron un estudio acerca de la aplicación de métodos y técnicas de manejo silvícola del matorral con el fin de aumentar la producción forestal y pecuaria, manejando técnicas como el raleo, el enriquecimiento y regeneración controlada en una zona de matorral tamaulipeco en Linares, N. L.

El matorral espinoso tamaulipeco es la comunidad dominante en la Planicie Costera del Golfo, y está presente en la porción Norte de los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas en México, así como en el Sur de Texas. De acuerdo a Müeller (1947, citado por Alanís, 1993) el matorral espinoso tamaulipeco es un sistema ecológico de gran diversidad florística, con especies espinosas de porte alto.

Reid et al. (1990) estudiaron la variación estructural y florística presente en el matorral espinoso tamaulipeco en el Noreste de México, llegando a la conclusión de que las variaciones regionales en clima, sustrato y topografía son las responsables de las principales diferencias en la vegetación, además encontraron evidencia de cambio en la vegetación a causa del sobrepastoreo, y no siendo así para el corte selectivo de especies maderables o combustibles.

Carrillo-Parra (1991) realizó un estudio en un área de matorral espinoso tamaulipeco de Linares, N.L. con el fin de determinar y comparar el efecto de algunos tratamientos silvícolas y de factores abióticos sobre la regeneración del matorral, a fin de obtener antecedentes que permitiesen implementar un programa de manejo para incrementar la productividad del matorral. Las prácticas silvícolas utilizadas fueron: 1.- corte raso, 2.- corte raso con plantación (especies introducidas), 3.- raleo del 20% más plantación, 4.- raleo del 40% más plantación y 5.- raleo del 60% más plantación. Se encontró que las heladas afectan por igual al matorral independientemente del tratamiento de raleo efectuado, pero la práctica de raleo efectuada si afecta la velocidad de recuperación de las plantas, siendo el raleo del 60% el que presenta una mejor recuperación.

Rodríguez (1994) realizó un estudio sobre la fitodiversidad de dos comunidades (perturbada y no perturbada) de matorral espinoso tamaulipeco en el municipio de Linares, N. L. Reportando que la comunidad no perturbada (matorral alto) presenta características relativamente prístinas, con mayor diversidad, mayor dominancia a nivel específico y mayor



complejidad estructural que la comunidad perturbada (matorral bajo), el cual se encuentra en un estadio sucesional anterior y con menor complejidad estructural.

González-Murguía (1995) llevó a cabo una interesante investigación en el parque nacional Cumbres de Monterrey, encaminada al desarrollo de una metodología para el mapeo rápido y adecuado de los tipos de cobertura vegetal en regiones montañosas, utilizando imágenes de satélite integradas con los principales factores abióticos que determinan su distribución mediante un sistema de información geográfica. En este trabajo se encontró que los factores abióticos con mayor influencia en la distribución de la vegetación son la elevación y la exposición (la cual genera condiciones microclimáticas de insolación y humedad muy marcadas).

Medina (1995) evaluó el efecto de la fragmentación de la vegetación natural sobre la biodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco en el municipio de Linares, N.L. No se detectó ningún efecto del tamaño de los fragmentos con relación a la fitodiversidad, sin embargo, la autora plantea que la similitud en la fitodiversidad se debe a lo reciente de la fragmentación, además de que el muestreo se realizó en el centro de los fragmentos y es posible que las condiciones de merma en la diversidad aún no se presentan en esa zona.

Rocha-Domínguez (1995) realizó una investigación en una comunidad de matorral espinoso tamaulipeco a fin de determinar la presencia de nodricismo para *Astrophytum asterias*. Como parte de este trabajo el autor determinó algunos parámetros ecológicos (abundancia, dominancia, valor de importancia, etc.) para esta comunidad reportando a *Opuntia leptocaulis* como la especie más abundante (46.9%), *Prosopis laevigata* como la de mayor dominancia (24.1%) y de mayor frecuencia (66.7%). En cuanto al valor de importancia indica que *O. leptocaulis* presentó un valor del 32.5%, seguido de *P. laevigata* con 24.2% y *Acacia rigidula* con un 20.7%. Por otra parte reporta para este matorral una cobertura global del 80%, siendo el estrato medio (1.5-3 m) el de mayor cobertura individual con un 57.5%. Se determinó un 30% de suelo con cobertura de materia orgánica y un 70% de suelo sin cobertura de materia orgánica.

González-Elizondo (1996) en un estudio sobre la vegetación secundaria del municipio de Linares, N.L., analiza la fisonomía, composición, diversidad florística, estructura y dinámica de la vegetación. Reporta una diversidad fisonómica y florística que incluye 64



especies leñosas. Los predios relacionados con períodos más largos de aprovechamiento agropecuario mostraron menor riqueza florística que los predios utilizados durante pocos años después del desmonte. Las comunidades secundarias estudiadas carecen de una estructura vertical bien definida, con excepción de un estrato inferior conformado por especies subarborescentes y un estrato superior continuo de especies arbustivo-arborescentes. La densidad y la cobertura totales son parámetros que varían ampliamente en los predios estudiados, la primera de ellas va de 1312-11313 individuos/ha y la segunda varía de 9 a 141%. *Acacia farnesiana* y *A. berlandieri* son las especies arbustivas que se presentan en las primeras fases de desarrollo, seguidas de *A. rigidula*.

Fenología

Los estudios de fenología vegetal son muy importantes para el análisis y manejo de sistemas ecológicos. Estos estudios pueden ser útiles para desarrollar programas de manejo, recuperación de pastizales y para explicar la adaptación de las especies al ambiente (Fresnillo-Fedorenko et al., 1996). Por ejemplo, Yan y Wallace (1998) elaboraron un modelo sobre la fenología vegetal, basado en la interacción genotipo-temperatura y fotoperíodo; mostrando ser exitoso para simular y predecir datos fenológicos de cinco especies cultivadas: chícharo, avena, trigo, frijol y maíz, las tres primeras de fotoperíodo largo y las dos restantes de fotoperíodo corto. Por su parte Baumgärtner y Hartmann (2000) reportan el uso exitoso de modelos fenológicos en programas de conservación vegetal; estos autores elaboraron un modelo fenológico para adecuar la fecha de corte del narciso (*Narcissus radiiflorus*), con lo cual se pretende conservar esta especie en la zona alpina Europea, ya que hasta la fecha el corte de esta especie se realizaba sobre bases empíricas; con el desarrollo de este modelo se pudo calcular una fecha confiable para el corte de la planta, asegurando la madurez de las semillas.

Los eventos fenológicos en las plantas del desierto son disparados principalmente por la precipitación y temperaturas adecuadas (Beatley 1974 en Rossi et al., 1999); por su parte Fournier y Salas (1966 en Rondon, 1992) sugieren que la baja precipitación y la alta radiación solar son los factores ambientales más importantes para la floración en el bosque tropical húmedo. La mayoría de las plantas leñosas tropicales producen nuevas hojas y



flores en periodos específicos mas que continuamente, y la mayoría de los bosques tropicales presentan variación estacional en la aparición de nuevas hojas, flores y frutos; este patrón sugiere que los cambios fenológicos representan adaptaciones a factores bióticos y/o abióticos, de estos últimos el clima es el factor principal (van Schaik et al., 1993).

El tiempo de floración puede influir fuertemente en el éxito reproductivo de una planta en varias formas (Rathcke y Lacey 1985 en McIntosh, 2002). Tales efectos pueden ser mediados por factores que operan dentro de las plantas (plantas que florecen demasiado jóvenes pueden no tener suficientes recursos almacenados para madurar los frutos), dentro de las poblaciones (plantas dioicas con floración asincrónica pueden no encontrar compañeros), dentro de especies (plantas que florecen en el momento equivocado pueden no ser visitadas por los polinizadores o pueden ser afectadas desproporcionadamente por los predadores de semillas), o por factores abióticos (plantas que florecen demasiado tarde en la estación pueden ser matadas por el hielo antes de madurar los frutos). De acuerdo con lo anterior, es evidente que la fenología de floración puede afectar la ecología de una planta en múltiples niveles, incluyendo el éxito reproductivo de una planta individual, las interacciones de la planta con otros organismos, la dinámica de la población de la planta y el funcionamiento del ecosistema (McIntosh, 2002).

Estudios fenológicos de comunidades

Hernández y Carreón (1987) describen los eventos reproductivos de los principales elementos arbóreos y algunas arbustivas y herbáceas de un bosque mesófilo de montaña; encontrando que la floración de los árboles es de carácter fuertemente estacional, con un marcado pico en la interfase sequía-lluvias y lluvias-sequia, mientras que las herbáceas y arbustivas florecieron básicamente durante la estación húmeda. La gran mayoría de las especies arbóreas poseen niveles altos de autocompatibilidad, lo cual se considera un mecanismo adaptativo que aumenta las posibilidades de éxito reproductivo en ausencia de polinizadores eficientes.

Bertiller et al. (1991, en Friedel et al., 1994) encontraron que la aparición de los eventos fenológicos en los arbustos de zonas áridas dependían principalmente de la



profundidad de los sistemas radiculares y el acceso a la humedad del suelo y nutrientes. Las especies con raíces más profundas fueron menos dependientes de la precipitación precedente inmediata. Reportan también respuestas diferenciales a la temperatura del aire. Friedel et al. (1994), mencionan que la fenología de las plantas puede también reflejar restricciones genéticas y que es posible que las diferencias fenológicas entre especies cercanamente emparentadas sean resultado de la historia evolutiva particular de las mismas. Estas diferencias pueden estar relacionadas con el origen geográfico de las especies y con la longevidad de las mismas. Las especies vegetales que habitan en ambientes áridos encuentran una alta variabilidad en la precipitación, tanto en tiempo como en espacio, además de una redistribución del agua de lluvia sobre una diversidad de paisajes y tipos de suelo. Esta variabilidad influye en el comportamiento fenológico de las especies. De hecho, cuando un ambiente árido es particularmente impredecible, es poco probable que cualquier estrategia fenológica particular sea universalmente exitosa. Así, tenemos que la floración oportunista no es poco común en las regiones áridas, incluso dentro del mismo género las especies pueden variar parcial o completamente su estación de floración y tal vez también la de fructificación (Friedel et al., 1994).

Cantú y Reid (1991) realizaron una de las primeras aproximaciones al conocimiento de la fenología en el matorral tamaulipeco al estudiar 58 especies del matorral tamaulipeco en Linares, N. L., reportando que la pérdida de follaje fue altamente variable entre las especies. La floración se concentró en la parte más cálida del año, particularmente en primavera y verano. Respecto al tipo de frutos, se encontró que la legumbre es el tipo más común (31%), drupas (28%), cápsulas (15%) y el resto presentó bayas, aquenios, folículos, sámaras, etc. En cuanto a la dispersión, 30 especies son dispersadas por agentes bióticos y 23 por factores abióticos y el resto son no asistidas. Las aves representan el principal agente dispersor (43%).

Rondón (1992) estudió los hábitos de floración y fructificación de 53 especies arbustivas en el Jardín Botánico de San Juan de Lagunillas en Mérida, Venezuela, reportando que el 80 % de las especies estudiadas comienzan la floración al final de la estación seca e inicio del período lluvioso (febrero-mayo y julio-agosto). El 66% de las especies tiene períodos largos de floración, en tanto que la fructificación ocurre casi simultáneamente con la floración.



Murali y Sukumar (1994) describieron la fenología reproductiva de un bosque seco tropical en el sur de la India, para ello utilizaron dos localidades con diferente precipitación anual (1100 y 600 mm); en ambas localidades la mayoría de las especies presentó la floración y desarrollo foliar simultáneamente; en cuanto a la polinización se observó que durante la fase seca hubo un mayor número de especies polinizadas por aves, en tanto que la polinización por el viento fue más común en la estación húmeda, la polinización por insectos solo mostró estacionalidad en la época húmeda de la localidad con precipitación de 600 mm.

Smith-Ramírez y Armesto (1994) analizaron el tiempo de aparición y abundancia estacional de flores y frutos en 61 especies y su relación con variables climáticas y ecológicas en la Isla de Chiloé, Chile. Para la mayoría de las especies, se encontraron patrones anuales unimodales para la floración y fructificación y solo algunas mostraron tendencias bimodales. La fructificación fue menos estacional y más variable que la floración. La longitud del tiempo de floración y fructificación mostraron una buena correlación con variables ecológicas tales como formas de polinización y dispersión. Las diferencias fenológicas entre diferentes formas de vida están asociadas con la familia a la que pertenecen y a los mecanismos de polinización y dispersión. La temperatura media mensual estuvo positivamente correlacionada con el número de especies en floración y fructificación.

Farnsworth et al. (1995) estudió la fenología y desarrollo de tres formas de vida de un bosque templado en respuesta al calentamiento artificial del suelo, como simulación de un cambio global del clima. Se encontró que la fenología de la emergencia de las hojas y producción de flores no resultó afectada, sin embargo, los árboles y arbustos maduros produjeron hojas más temprano y en mayor número en el tratamiento con calentamiento, igualmente sucedió con la floración. El calentamiento del suelo también provocó un ligero aumento en el diámetro de crecimiento de arbustos. La riqueza de especies fue menor en los tratamientos con calentamiento.

Wright y Calderón (1995) analizaron la floración en la Isla de Barro Colorado, Panamá, utilizaron datos cuantitativos para 217 especies y cualitativos para 1173 especies. Probaron diferentes hipótesis para explicar los tiempos de floración, llegando a la conclusión de que existe un fuerte patrón filogenético, ya que los tiempos de floración fueron similares



entre especies del mismo género y géneros de la misma familia, e incluso en las monocotiledóneas la floración se concentró en la estación húmeda.

El conocimiento de la fenología en especies de cultivo bajo condiciones de estrés puede llevar a un mejor entendimiento del desarrollo de los componentes de la cosecha bajo tales condiciones. Por ejemplo, Desclaux y Roumet (1996) mencionan que el estrés de sequía modifica la fenología de las plantas y afecta los componentes de la cosecha en plantas de cultivo. Para probar esto, realizaron un estudio en cultivares de soya (*Glycine max*), a los cuales se sometió a estrés hídrico durante diferentes etapas de desarrollo. De acuerdo a sus resultados, aparentemente el estrés de sequía disparó una señal que cambió el desarrollo vegetal de vegetativo a reproductivo. Así, la formación de nudos vegetativos que se estaba llevando cabo previo a la aplicación del estrés, fue retrasada para dar paso a la floración y fructificación. Las fases reproductivas fueron en general más cortas durante el estrés, con la lógica consecuencia de menor producción de materia seca en los frutos.

León de la Luz et al. (1996) registraron la fenología floral de una comunidad árido-tropical en Baja California y de acuerdo a su patrón de respuesta en la floración se agruparon en 3 clases: a) inducida por la precipitación, b) fuera de temporada de lluvias y c) con patrón irregular o sostenida. Es importante mencionar que durante el periodo de observación (2 años), las especies leñosas como grupo se mantuvieron en flor durante todo el tiempo.

Maya y Arriaga (1996) estudiaron los patrones fenológicos de seis especies en una comunidad desértica del noroeste de México (Península de Baja California). Sus resultados mostraron que las especies mostraban diferencias en el desarrollo de estructuras vegetativas en relación a la disponibilidad de agua, y a su vez, la producción de estructuras vegetativas también estuvo relacionada con la morfología foliar de las especies. Por otra parte, reportan que la producción de estructuras reproductivas (flores y frutos) mostró una clara dependencia de la temperatura y la humedad.

Steyn et al. (1996) evaluaron el efecto del estrés hídrico sobre la fenología de cinco especies efímeras en Namalandia, Sudáfrica. El estrés hídrico acortó el ciclo de vida y el periodo de floración de las cinco especies. Las plantas sujetas a estrés fueron más pequeñas y produjeron menor cantidad de flores por inflorescencia y menor cantidad de



órganos reproductivos durante el periodo de floración que las plantas control. El estrés hídrico no tuvo efecto significativo sobre el número de hojas en el tallo principal al inicio de la floración. Sin embargo, debido al estrés hídrico se observó una tendencia a retrasar la anthesis en las plantas de abril; mientras que la fecha de floración fue acelerada en las plantas de Junio y Julio incrementando la posibilidad de fructificación antes del final de la estación.

Abd El -Ghani (1997) estudió la fenología de 10 especies de plantas del desierto en el oeste de Arabia Saudita durante dos años. El autor detectó seis diferentes patrones de comportamiento fenológico entre las 10 especies, mencionando que durante casi todo el año algunas especies estuvieron en alguna fase de desarrollo vegetativo o reproductivo, aunque el desarrollo de la mayoría de las especies ocurrió a principios de la primavera y finales del verano. El autor concluye que los patrones fenológicos en el área de estudio parecen estar determinados por tres requerimientos: 1) el desarrollo vegetativo durante la larga estación seca utiliza la humedad del suelo acumulada durante la precipitación de invierno, 2) la floración se lleva a cabo durante un breve periodo favorable, y 3) la madurez de frutos y semillas antes de la llegada de la estación seca.

Villasana y Suárez (1997) realizaron una investigación acerca de la fenología de 16 especies forestales en la reserva forestal IMATACA en Venezuela; los resultados se analizaron mediante una variante del método de Fournier. Todas las especies presentaron hojas durante el año. La floración ocurrió en la época de sequía y la fructificación presentó 2 picos, correspondientes a los periodos más húmedos del año.

Castro-Díez y Montserrat-Martí (1998) estudiaron los patrones fenológicos de 15 especies fanerófitas en varios sitios de clima mediterráneo (semiárido) en el noreste de España. De acuerdo a sus resultados, los autores realizaron una clasificación funcional de las especies, separándolas en dos grupos, el primero de ellos presentó una concentración de las fenofases en un corto periodo de la primavera, traslapando el desarrollo vegetativo y reproductivo que tuvieron que competir por recursos dentro de la planta; mientras que las del segundo grupo presentan un arreglo secuencial de las fenofases y estas no están traslapadas, evitando con ello la competencia intraplanta, aunque tuvieron que desarrollar algunas etapas de su desarrollo en periodos no óptimos. Los autores concluyen que



posiblemente las especies del primer grupo poseen raíces más profundas, dependen de fuentes de agua más predecibles y ocupan etapas maduras de sucesión; en tanto que las especies del segundo grupo poseen sistemas radiculares menos profundos, dependen de fuentes impredecibles de humedad y ocupan estadios más tempranos en la sucesión ecológica. Los autores reportan también una baja variabilidad en la fenología intraespecífica.

Las plantas del desierto están expuestas a la sequía, alta irradiación solar y aire seco caliente, por lo que el estrés hídrico y el sobrecalentamiento son peligros inevitables. Debido a esto, las plantas del desierto tienen adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten sobrevivir bajo estas condiciones. Entre estas adaptaciones, el grupo de las suculentas constituye uno de las más exitosas. Sayed (1998) estudió la fenomorfología y ecofisiología de las plantas suculentas del este de Arabia. El autor reporta que las plantas suculentas con fotosíntesis C_3 fueron árido-pasivas que evitaron el estrés hídrico mediante la iniciación de una floración precoz mucho antes de la estación seca. Las suculentas con fotosíntesis C_4 y plantas intermedias C_3 -CAM que tuvieron una alta eficiencia en el uso del agua se beneficiaron de una mayor cantidad de recursos ya que fueron capaces de extender su crecimiento dentro de la estación seca. Las suculentas árido-activas sobrevivieron a la estación seca mediante una notable pérdida de hojas además del cierre estomatal al medio día o mediante el cambio a fotosíntesis C_4 -CAM lo que contribuyó a la conservación del agua.

Eamus (1999), analizó las características ecofisiológicas de especies leñosas deciduas y perennes en los bosques tropicales con sequía estacional, los cuales están presentes en América, África, India y Australia. De acuerdo con el autor, el análisis de costo-beneficio de las especies siempre verdes y deciduas, muestra que las hojas de las especies deciduas viven rápido y mueren jóvenes, en tanto que las hojas de los árboles siempre verdes viven lentamente pero por más tiempo. Por otra parte, el autor sugiere que el embolismo xilemático y la arquitectura hidráulica pueden ser cruciales en el comportamiento de los árboles y en su fenología.

Vidiella et al. (1999) describen los cambios en la cobertura vegetal, la riqueza de especies y la floración después de la precipitación en el desierto Atacama en Chile. Los autores reportan que un mes después de la lluvia, la vegetación estuvo dominada por



anuales y geófitas, las cuales se secaron después de 19 semanas. También reportan diferencias de 4 a 10 semanas en la longitud del periodo de floración entre las especies encontradas. La secuencia de floración de las especies pertenecientes a las familias Brassicaceae, Liliaceae, Onagraceae y Asteraceae se asemeja fuertemente a las descritas para especies de comunidades templadas, lo cual sugiere que este carácter fenológico está filogenéticamente determinado.

La fenología reproductiva, descrita en su forma más general como la época de floración y fructificación, es un factor relevante que determina el rendimiento reproductivo de las especies, ya que puede poner restricciones en el uso de los recursos estacionales, tales como luz, agua y polinizadores por parte de las plantas. El tiempo de floración y fructificación puede también ser importante para evitar la predación de flores y semillas. (Marco et al., 2000). La fenología reproductiva de los bosques tropicales se caracteriza por presentar una alta diversidad dentro y entre los bosques, este rango de variación sugiere el gran potencial de los estudios fenológicos tropicales para explorar las presiones selectivas que ejercen los factores bióticos y abióticos sobre las plantas (Sakai, 2001).

Mamolos et al. (2001) a fin de determinar el efecto del contenido de agua en el suelo sobre la productividad vegetal, evaluaron la fenología y los cambios en la biomasa aérea de cinco especies coexistentes en comunidades de pastizal en el norte de Grecia. Dos de las especies estudiadas eran de estación temprana, dos de tardía y una especie intermedia. Los autores reportan que las especies de estación temprana son más sensibles a la sequía que las especies de estación tardía y que su productividad y fenología estuvo fuertemente determinada por la variación en el contenido de humedad del suelo entre los años.

Pavón y Briones (2001) exploraron las relaciones entre factores ambientales y la fenología vegetativa y reproductiva durante dos años en nueve especies de plantas perennes dominantes en un ecosistema semiárido del centro de México. Los autores mencionan que a pesar de las condiciones ambientales altamente estacionales y un periodo de sequía relativamente largo en el área de estudio, en todo momento al menos una especie estuvo siempre en alguna fase de desarrollo o reproducción durante el estudio. Los autores reportan la presencia de dos patrones de desarrollo foliar entre las especies estudiadas, el de algunas especies arbustivas que mantuvieron sus hojas durante todo el año, mientras



que otras perdieron sus hojas durante la estación seca. Los autores identificaron también cuatro grupos de especies en base a la fenología reproductiva y las formas de vida, 1) arbustos con un sistema de raíz general (0-1 m de profundidad) y suculentas nanofanerofitas con raíces poco profundas las cuales florecieron y fructificaron durante la estación lluviosa (*Mimosa luisiana*, *Caesalpinia melanadenia*, y *Echinocactus platyacanthus*, 2) arbustos freatofíticos y mesonanerofitas suculentas con raíces poco profundas (*Prosopis laevigata*, *Cercidium praecox*, *Neobuxbaumia tetetzo* y *Cephalocereus columna-trajanti*) florecieron y fructificaron antes de la estación lluviosa, 3) *Castela fortuosa*, un arbusto con sistema de raíz general, la cual floreció y fructificó durante todo el año, y 4) el arbusto semisuculento con sistema de raíz general, *Ipomoea arborescens*, el cual floreció y fructificó después de la estación lluviosa. De acuerdo a los autores, estos patrones fenológicos estuvieron correlacionados principalmente con la humedad del suelo, la temperatura máxima y en un menor grado con la humedad relativa y el fotoperíodo.

Petit (2001) estudió la respuesta fenológica de tres especies simpátricas de cactáceas columnares a la precipitación inmediata durante 21 meses en la isla semiárida de Curacao en las Antillas Holandesas. De acuerdo a la autora, la precipitación es el factor climático que posiblemente afecta más la formación de botones en Curacao, y cada especie de cactácea responde de manera diferente a la misma. El autor menciona que existen pocos estudios acerca del efecto a corto plazo de la precipitación en la fenología de las plantas en zonas secas tropicales o subtropicales, por ejemplo, Guevara de Lampe et al. (1992 en Petit, 2001) encontró una fuerte sincronía entre la precipitación y la floración en las especies del matorral espinoso del noreste de Venezuela, lo cual puede ser debido a que el matorral espinoso comúnmente está sujeto a severas condiciones de sequía y debe responder a la precipitación cuando esta ocurre. Además de la precipitación, existen otros factores que determinan o disparan la floración en los trópicos como puede ser el fotoperíodo. Por otro lado, la temperatura es un factor importante para determinar la floración en plantas no tropicales. No obstante, la precipitación y la temperatura están fuertemente asociadas y sus efectos, difícilmente pueden ser aislados.

Tyler (2001) evaluó los efectos de la variación anual en precipitación, temperatura y humedad sobre la floración de ocho especies de plantas de bosques templados en el sureste de Suecia durante doce años. El autor reporta que la relación



precipitación/humedad por encima del promedio en el intervalo del verano tardío al otoño temprano del año precedente incrementó la abundancia en la floración de la mayoría de las especies estudiadas; sin embargo, dos de las especies mostraron una fuerte relación entre su floración y bajos valores de la relación precipitación/humedad en otoño y/o invierno del año precedente. Dos largos periodos de déficit en la precipitación coincidieron con una disminución en la abundancia de la floración, pero no afectaron el desarrollo vegetativo. Por otra parte, la variabilidad en la temperatura mostró poca relación respecto a la floración de estas especies.

De acuerdo a Borchert et al. (2002) el control de la fenología vegetativa en los árboles de los bosques tropicales con periodos de sequía prolongados no está bien entendido. En estos ecosistemas, la abscisión foliar puede estar resaltada por el avance en la edad foliar, incremento en el stress hídrico o declinación en el fotoperíodo. En un estudio realizado por dichos autores en un bosque tropical semi-decíduo en Costa Rica, ellos reportan que la edad de la hoja juega un papel fundamental en la senescencia y abscisión de la misma, así como una respuesta dependiente de la edad, de las hojas respecto al estrés hídrico. A este respecto, reportan de acuerdo a sus resultados, que el follaje de las especies estudiadas fue retenido durante la estación seca cuando las hojas eran jóvenes, en tanto que, cuando las hojas eran mas viejas, estas fueron tiradas en los primeros meses de la sequía.

Funch y Funch (2002) realizaron un estudio fenológico en bosques de galería y montano de las montañas Chapada Diamantina, en Bahía, Brasil. Estudiaron la fenología vegetativa y reproductiva de 54 especies arbóreas. De acuerdo a sus resultados, las especies de ambos bosques exhibieron un moderado pico en la caída de las hojas durante la estación seca (agosto-octubre), así como un incremento en el desarrollo foliar durante la estación lluviosa (Diciembre-Abril). En general la floración y fructificación fueron anuales, con picos de actividad durante la estación lluviosa. De acuerdo con sus resultados los autores concluyen que la fenología foliar observada en la mayoría de las especies estudiadas (siempre verdes) es más similar a la observada en bosques tropicales húmedos, en tanto que la floración y fructificación (principalmente anual) son más similares a los bosques secos.



Los patrones fenológicos de los bosques secos tropicales han sido relacionados con factores ambientales, principalmente precipitación, fotoperiodo y temperatura, y con factores endógenos inherentes a las plantas. Marco y Páez (2002) consideran que además de estos factores externos (ambientales) e intrínsecos, es posible que existan restricciones filogenéticas que contribuyen a moldear la fenología de las especies. Para probar esto, los autores realizaron un estudio acerca de la fenología y la filogenia de ocho especies de plantas dispersadas por animales en la zona árida del Chaco, Argentina. De acuerdo a sus resultados, los patrones de floración generales fueron condicionados fuertemente por el ambiente y con efectos secundarios por parte de las características intrínsecas a las especies. Sin embargo, la fenología de la fructificación, la filogenia predominó sobre las restricciones ambientales. Por su parte, McIntosh (2002) coincide en que la fenología de la floración frecuentemente tiene limitaciones de tipo filogenético, es decir que muchas especies vegetales cercanamente emparentadas presentan fenologías similares independientemente de factores externos, pero por otro lado, existen fenologías florales divergentes que pueden funcionar como mecanismos de aislamiento, los cuales pueden ser reforzados si las especies coinciden simpátricamente. Sobre esto último, la autora reporta el caso de dos especies de cactáceas cercanamente emparentadas *Ferocactus cylindraceus* y *F. wislizeni*, las cuales ocurren simpátricamente en el Desierto Sonorense. De acuerdo a sus observaciones, estas especies poseen fenologías florales marcadamente diferentes, a pesar de su historia evolutiva compartida. Estas fenologías diferentes parecen estar determinadas por factores climáticos más que por una selección que actúa sobre la época de floración.

Estudios Fenológicos Específicos

Cantú-Ayala (1990) realizó un estudio sobre la fenología del mezquite (*Prosopis laevigata*) y el efecto de las cabras en la dispersión de sus semillas. El autor reporta que durante la fase de floración el 95.9% de las inflorescencias se pierden debido a la abscisión natural, al efecto de las lluvias estivales y la actividad trófica de insectos. Al final de la fructificación se produjeron, de un total de 1000 y 500 inflorescencias estudiadas 203 y 46 frutos respectivamente; reporta además que solo un 2.8% de las semillas proporcionadas



como alimento a las cabras no sufrió daño a su paso por el tracto digestivo, y de estas, solo el 50.9% fueron viables.

Puentes et al. (1993) realizaron un estudio acerca de la fenología y estructura floral de *Trichilia havanensis*; se comprobó el carácter dioico en esta especie, no obstante presentar los órganos masculinos y femeninos en la misma flor. Los autores reportan que los principales agentes polinizadores son himenópteros del grupo de las abejas; por otra parte se apreció que las principales diferencias sexuales en las flores se encuentran en los caracteres del verticilo estaminal que presenta una mayor longitud del tubo y anteras desarrolladas de color amarillo en las flores masculinas, y tubo estaminal más pequeño y anteras carmelitas y arrugadas en las flores femeninas.

Aronson et al. (1994) investigaron el comportamiento fenológico de *Acacia caven* a lo largo de gradientes ecológicos y climáticos en una zona con clima mediterráneo en el centro de Chile. De acuerdo a sus resultados, la fenología de esta especie no está relacionada con los patrones de precipitación de la zona de estudio y se encuentra desfasada con respecto al resto de las especies coocurrentes. Según los autores, la fenología de esta especie es más bien parecida a la de muchos árboles de sabanas subtropicales estacionalmente secos que a las plantas típicas del clima mediterráneo.

Friedel et al. (1994) mencionan que existen diversos factores que afectan la floración y fructificación de las especies de *Acacia* en la zona árida del centro de Australia. De acuerdo con sus observaciones en tres localidades de estudio, la humedad del suelo fue el mejor predictor de la floración, en tanto que la fructificación tuvo como principales predictores la humedad del suelo, diferencias entre sitios y fotoperíodo. Por otra parte, y de acuerdo a registros de periodos prolongados de tiempo y en una mayor cantidad de especies, los autores reportan que existen diferencias en los patrones fenológicos dentro del género *Acacia*, ya que por ejemplo, una sección del género muestra un patrón de floración constante de primavera (típico de zonas templadas), este patrón fue también más común en las especies de vida más corta. En tanto que las especies de vida más larga y de otras secciones mostraron un patrón de floración más oportunista. En cuanto a la fructificación, esta ocurrió generalmente en la segunda mitad del año, alcanzando su pico más alto en octubre, independientemente de si la floración fue oportunista o estacional. Los autores



concluyen que los patrones fenológicos de las especies del género *Acacia* en Australia son mixtos, lo cual es congruente con la impredecible precipitación y la diversidad ambiental de las zonas áridas Australianas.

Fresnillo-Fedorenko et al. (1996) realizaron un estudio acerca de la fenología de *Medicago minima* var. *minima* y *Erodium cicutarium* en dos localidades de la zona semiárida del centro de Argentina. Los sitios de estudio fueron diferentes básicamente en que uno de ellos fue protegido del pastoreo, tanto doméstico como natural; en tanto que el otro sitio estuvo sujeto a pastoreo intensivo durante los seis años anteriores. De acuerdo a los autores, el ciclo de crecimiento de ambas especies fue similar en ambos sitios. El inicio del ciclo ocurrió en otoño y mostró una aparente asociación con la disponibilidad de agua en el suelo. La etapa reproductiva se inició más temprano y fue más rápida en *E. cicutarium* que en *M. minima*. El fin de la época de crecimiento se presentó al final de la primavera, en concordancia con las temperaturas altas máximas. Sus resultados sugieren que estas especies aceleran su desarrollo cuando la temperatura del aire se incrementa y la disponibilidad de agua del suelo disminuye.

Brink (1997) llevó a cabo un experimento para determinar la influencia de la temperatura y el fotoperíodo sobre el desarrollo fenológico del árbol *Vigna subterranea* en Botswana, Zimbawe y Mali. En todos los tratamientos la floración estuvo influenciada por la temperatura y no por el fotoperíodo, mientras que el desarrollo del fruto estuvo influenciado por ambos factores.

Keya (1997) estudió los patrones de germinación, emergencia de plántulas, crecimiento y fenología de dos especies de plantas en la zona árida de Kenya bajo condiciones de laboratorio y de campo. De acuerdo a sus resultados, ambas especies (*Leptothrium senegalense* e *Indigofera spinosa*) mostraron notables adaptaciones a las condiciones ecológicas de su hábitat; con rápidas respuestas de desarrollo vegetativo incluso a los menores eventos de precipitación, y la rápida reproducción, con un ciclo reproductivo completo en 14 a 30 días. El desarrollo vegetativo puede ser mantenido después de la estación húmeda gracias a la humedad del suelo en las capas inferiores.

Bell y Cresswell (1998) investigaron la fenología floral de *Brassica napus* en un experimento donde se expuso la planta a polinizadores. Los autores reportan que esta



planta presenta un sistema de economía óptima en relación a la senescencia de la flor, ya que esta permanece abierta por un tiempo casi igual al mínimo necesario para cubrir las funciones sexuales, además se observó que la remoción del polen de las anteras acelera la senescencia en las flores y no siendo así para el depósito del polen en el estigma, por lo que aparentemente la remoción del polen gobierna la longevidad de la flor.

Hegazy (1998) reporta que la planta *Avicenia marina*, única especie de manglar en el Golfo Árabe, presenta un ciclo fenológico en el que el período reproductivo se extiende de abril a octubre, mientras que la actividad vegetativa se presenta durante todo el año con un mínimo crecimiento durante la parte final del otoño y principios de invierno.

Antos y Allen (1999) monitorearon durante un período de 6 años la floración y fructificación de plantas masculinas y femeninas de *Oemleria cerasiformis* en Canadá y estimaron datos sobre la fructificación y el esfuerzo reproductivo (gramos de tejido reproductivo por gramo de hoja). En las plantas masculinas el esfuerzo reproductivo estuvo directamente relacionado con los niveles de luz y en las femeninas no sucedió así para la floración, pero sí para los frutos.

Rossi et al. (1999) estudiaron los patrones fenológicos y etapas florales de las especies arbustivas de desierto *Larrea divaricata*, *L. cuneifolia* y *L. nitida* en el desierto Monte en Argentina. Los autores reportan que los eventos de precipitación y/o las condiciones microclimáticas de los sitios resultaron en diferencias fenológicas para la especie entre los sitios y los años. También mencionan que de acuerdo a otros autores (Cunningham et al., 1979; Bowers y Dimmit, 1994) el crecimiento vegetativo de las especies de *Larrea* ocurre siempre que las condiciones sean favorables, en tanto que el desarrollo reproductivo toma lugar en respuesta a los eventos de precipitación. Por otro lado, las diferencias fenológicas pueden reflejar las variaciones genéticas y condiciones microgeográficas, además de estar altamente influida por la variabilidad climática interanual.

Del Pozo et al. (2000) estudiaron las respuestas fenológicas a la temperatura y fotoperíodo en nueve ecotipos de *Medicago polymorpha* en una zona de clima mediterráneo en el centro de Chile. Los autores detectaron la presencia de un gradiente en la precocidad de la floración entre los ecotipos, siendo los ecotipos de zonas más áridas los que mostraron la más temprana floración en tanto que los de la zona más húmeda fueron los últimos. Los



autores reportan que la floración en los ecotipos de floración temprana, esta estuvo determinada por la temperatura y el fotoperiodo; en tanto que en los ecotipos del extremo húmedo, la floración respondió básicamente al fotoperiodo.

Se sabe que los patrones de floración y fructificación pueden diferir entre poblaciones de una misma especie en hábitat diferentes. Por ejemplo, Marco et al. (2000) analizaron los patrones de floración, fructificación y producción de semillas en tres poblaciones de *Larrea divaricata* en la zona semiárida del Chaco, Argentina. De acuerdo a sus resultados, tanto la época como la producción de flores, frutos y semillas fueron diferentes en las poblaciones analizadas durante 9 meses. De acuerdo con los autores, la amplia distribución de esta especie en Sudamérica puede estar relacionada con su habilidad para mantener su éxito reproductivo en hábitats con condiciones contrastantes.

Chmielewski y Rötzer (2001) evaluaron el impacto de los recientes cambios climáticos en el desarrollo de las plantas en Europa mediante el uso de datos fenológicos. Para esto utilizaron los datos de desarrollo foliar en cuatro especies de árboles (*Betula pubescens*, *Prunus avium*, *Sorbus aucuparia* y *Ribes alpinum*). De acuerdo a los autores, el cambio climático ocurrido en los últimos 30 años ha provocado que la estación de crecimiento de estas especies inicie más temprano en el calendario, aproximadamente ocho días en promedio.

Tandon et al. (2001) estudiaron la fenología, biología de polinización y sistema reproductivo de *Acacia senegal* en el noroeste de la India. Respecto a la fenología, los autores reportan que todos los árboles de una población en particular mostraron sincronización en los eventos fenológicos. Los árboles permanecieron parcial o completamente sin hojas durante cuatro meses del año, desde marzo a la mitad de junio. La floración se inicio en julio con la llegada del monzón. El desarrollo de los frutos se inició durante el pico de la floración y continuó hasta finales de septiembre; los frutos alcanzaron su tamaño total en 20-25 días, y maduraron en enero. En cuanto a la caída de las hojas, esta empezó en enero y para marzo los árboles ya estaban sin hojas aunque los frutos aún estaban en la planta; la dehiscencia de los frutos ocurrió en marzo, pero las semillas continuaron unidas a las paredes de la vaina hasta junio, julio y agosto en que fueron dispersadas por el viento y las precipitaciones.



Debandi et al. (2002) estudiaron los patrones fenológicos y reproductivos de la especie *Bulnesia retama* en la reserva de la biosfera de Ñacuñán en el desierto Monte en Argentina. Los autores reportan que en esta especie la floración es relativamente breve, empezando a finales de octubre, un mes después de las primeras lluvias de primavera y durando solo 4 a 5 semanas, en tanto que la fructificación y maduración de las semillas fue mas prolongada, ya que presentó hasta 10 semanas de duración.

El Efecto de la Herbivoría sobre la Fenología

Numerosos estudios muestran que las plantas difieren en la extensión en que son consumidas por los herbívoros y en la forma en que estas responden a la herbivoría. Las teorías tradicionales afirman que existen altos costos asociados con la herbivoría, pero las plantas también pueden beneficiarse cuando un nuevo crecimiento debido a la pérdida de tejido resulta en sobrecompensación. La vasta literatura sobre las respuestas de las especies agrícolas al ataque de los insectos, y la más reducida literatura acerca de los efectos de la diversidad de herbívoros sobre el desempeño de las especies nativas, indica que la dirección de las respuestas de las plantas (p.ej. sobrecompensación, compensación o subcompensación) son una función de importantes factores. Estos factores incluyen variabilidad ambiental en luz y nutrientes, los cuales pueden determinar la calidad nutricional de la planta, el sitio de ataque y el modo de acción del herbívoro.

Sin embargo, un elemento particularmente importante en determinar como las plantas responden a la herbivoría es la época de herbivoría dentro del ciclo de desarrollo fenológico de la planta. Por ejemplo, la herbivoría al inicio de la estación de crecimiento o durante el desarrollo de las inflorescencias puede causar que las plantas se ramifiquen más debido a la liberación de la dominancia apical; al incrementarse la ramificación, el número de tallos y por lo tanto el número de flores producidas también se incrementa al igual que el número de semillas potenciales. Sin embargo, si la herbivoría es experimentada por la planta al final de la época de crecimiento, las respuestas de la planta son generalmente más limitadas y producción de semillas generalmente reducida (Watson, 1995).



Gómez (1996) en un trabajo sobre el efecto de la herbivoría sobre la producción de semillas de la planta *Moricandia moricandioides*, evaluó la fenología reproductiva de esta especie reportando que esta es consumida por insectos y mamíferos, de estos últimos particularmente ovejas; de acuerdo a sus resultados la herbivoría por parte de las ovejas constituye un factor que afecta fuertemente el éxito reproductivo de la especie.

Fenología y Cambio Climático

La fenología es el estudio de el ciclo de los eventos biológicos a través del año, "es una lectura del pulso de la vida". La repetición de los eventos fenológicos tales como floración, fructificación, migración de aves o reproducción animal es frecuentemente utilizada para definir las secuencias estacionales. El uso de los eventos fenológicos como registro del avance de los meses y las estaciones ha sido utilizado desde hace siglos, como por ejemplo en el calendario fenológico chino, lo cual ilustra la forma en que los cambios biológicos están sincronizados con los cambios climáticos estacionales (Battey, 2000). Los estudios fenológicos también han mostrado utilidad en la predicción de las etapas de producción en cultivos y en la medición de la respuesta de las plantas a cambios en la temperatura. La fenología ha emergido recientemente como un importante enfoque de la investigación ecológica, esto principalmente debido a su considerable potencial en la investigación sobre cambio global. El desarrollo tecnológico de los sensores remotos también ha contribuido al resurgimiento de la fenología, mediante la generación de extensas bases de datos sobre la biosfera y que requieren cuidadosa calibración e interpretación. El factor principal para concretar su contribución en el estudio del cambio global dependerá del desarrollo sistemático de redes de observación a escala nacional y global en los próximos años (Schwartz, 1999).

Las observaciones fenológicas constituyen uno de los indicadores más sensibles para determinar como las plantas responden a las condiciones climáticas regionales y por tanto a los cambios climáticos. En las zonas templadas, el desarrollo vegetativo y la floración dependen fuertemente de la temperatura del aire, por lo que al incrementarse las temperaturas, el desarrollo vegetal en primavera puede iniciar anticipadamente en el año (Chmielewski y Rötzer, 2002). Se espera que el calentamiento global tenga impacto sobre



las secuencias fenológicas. Si los registros fenológicos se realizan durante periodos razonables de tiempo, ellos pueden reflejar el cambio climático. Con la amplia evidencia de que el calentamiento global ha ocurrido durante los últimos 40 años, los registros fenológicos a largo plazo pueden reflejar este cambio.

Los cambios en la fenología vegetal constituirán unas de las primeras respuestas a un rápido cambio climático global y podrían potencialmente tener serias consecuencias tanto para las plantas como para los animales que dependen de la disponibilidad periódica de los recursos vegetales. Los patrones fenológicos son más diversos y menos entendidos en los trópicos. En aquellas partes de Asia tropical donde las bajas temperaturas o la sequía imponen un periodo estacional de descanso, los ciclos anuales de crecimiento y reproducción predominan a nivel de individuos, poblaciones y comunidades. En tanto que en regiones no estacionales, los individuos y las poblaciones muestran un rango de periodicidad en los eventos que va de sub a supra-anual, en tanto que a nivel de comunidad predomina una periodicidad supra-anual (Corlett y LaFrankie, 1998).

La fría y corta estación de crecimiento que caracteriza los climas árticos pone severas restricciones a los ciclos de vida y reproducción en la flora ártica. El periodo de floración es particularmente crítico y puede afectar los sistemas reproductivos a través de fuertes restricciones asociadas sobre todo con la floración tardía. En un estudio de 11 años sobre la floración de 75 especies en Islandia se observó que el inicio de la floración varía grandemente entre años. El número de especies en flor tuvo una fuerte correlación con la temperatura del aire en las 5 semanas previas. Se considera que las especies estudiadas tendrán una inmediata respuesta en su fenología a primaveras más cálidas y tempranas. Los patrones fenológicos anticipados pueden alterar la distribución de recursos en las plantas, tener implicaciones en los sistemas de polinización y pueden incrementar el tamaño, la riqueza de especies y la diversidad genética intraespecífica del banco de semillas del suelo (Thorhallsdottir, 1997).

Intensa investigación se está llevando a cabo sobre la variabilidad y cambio climático y la estimación de los efectos antropogénicos. Para esto se han utilizado métodos estadísticos, aunque el uso de plantas como indicadores biológicos se está haciendo mas popular dada su sensibilidad a las condiciones ambientales. En un estudio sobre la fecha de



floración de *Robinia pseudoacacia* entre 1851 y 1994, se encontraron notables cambios en las fechas, de aproximadamente 3-8 días mas temprano. El modelo desarrollado permite estimar la temperatura media de la primavera usando datos fenológicos de *R. pseudoacacia* con una precisión de 0.2 °C (Walkovszky, 1998).

Bradley et al. (1999) estudiaron la fenología primaveral de 55 fenofases en Wisconsin durante 61 años, encontrando que 19 de los eventos fenológicos han ocurrido en fechas cada vez mas tempranas, lo cual de acuerdo con ellos es resultado del incremento en la temperatura. Reportan también que 20 fenofases no mostraron este comportamiento, lo cual indica que son fenofases controladas por fotoperiodo o señales fisiológicas, mas que por la temperatura.

Pocos estudios se han hecho para pronosticar el efecto del calentamiento global sobre interacciones multiespecies (Buse et al., 1999).

Spano et al. (1999) evaluaron la sensibilidad natural de 9 especies a la variabilidad climática en Sardinia, Italia durante el periodo 1986-1996. 5 de las especies son típicas mediterráneas y 4 son típicas de altas latitudes. Se encontró una buena relación entre la aparición de las fenofases y la temperatura en las especies mediterráneas, las cuales estuvieron poco afectadas por variaciones en la precipitación en tanto que el desarrollo fenológico de las especies no nativas por los patrones de precipitación primaverales.

A través del siglo XX En el oeste de Canadá se han observado inviernos y primaveras con temperaturas mas cálidas, así mismo en décadas recientes en Europa se ha reportado desarrollo en las plantas en fechas mas tempranas. En un estudio reciente en Alberta, Canadá utilizando datos históricos y recientes se observó una tendencia de floración más temprana en *Populus tremuloides*, la cual es de casi 26 días, y se encontró una fuerte relación de este evento con las temperaturas del océano Pacífico (Beaubien y Freeland, 2000).

Incrementos en la temperatura del aire debida a factores antropogénicos puede ser detectada fácilmente con los datos fenológicos de Europa de las últimas cuatro décadas, esto sobre todo porque los eventos fenológicos de primavera son particularmente sensibles a la temperatura. Datos de Europa entre 1959 y 1996 revelan que los eventos fenológicos



de primavera se han adelantado en promedio 6.3 días, mientras que los de otoño se han retrasado 4.5 días en promedio. De esta manera tenemos que la estación de crecimiento se ha alargado 10.8 días en promedio desde principios de los 60s. Estos datos son consistentes con medidas satelitales de índices de vegetación de 1981 a 1991 y con medidas de concentración de CO₂ en Hawai y Alaska (Menzel, 2000).

Curie (2001) menciona que los modelos de circulación generales predicen el incremento de los niveles de CO₂ atmosférico y otros gases de invernadero, lo cual puede llevar a dramáticos cambios en el clima. Es sabido que la riqueza de especies está fuertemente relacionada con el clima contemporáneo, asumiendo que esta relación persista los modelos predicen que la riqueza de vertebrados ectotérmicos se incrementará en los Estados Unidos, disminuirá la riqueza de mamíferos y aves en el sur de los EUA y se incrementará en las áreas montañosas. Es posible que la riqueza de plantas leñosas se incremente en el Norte, Este (Iverson y Prasad, 2001) y Oeste y disminuya en el suroeste; estos cambios son predicciones a muy largo plazo, en tanto que a corto plazo se espera que los cambios sean principalmente negativos. De acuerdo a un estudio realizado por Rusterholz y Erhardt (1998) la concentración elevada de CO₂ afecta de manera diferente la fenología de floración, la producción de néctar y el contenido de aminoácidos de 5 especies de plantas de pastizales.

Los bosques tropicales juegan un papel importante en la determinación de la cantidad de CO₂ atmosférico, ya que son fuente de C después de la deforestación y almacenes de carbono debido a la fotosíntesis. Actualmente los investigadores están tratando de cuantificar su papel con resultados que sugieren que la productividad de los bosque tropicales es mayor que la estimada y por tanto el papel de la deforestación en la concentración de CO₂ atmosférico es también mayor que lo previsto (Malhi y Grace, 2000).

Sigurdsson (2001) investigó el efecto del incremento en CO₂ sobre plantas de *Populus trichocarpa* en Islandia, reportando que no se observaron cambios en la fenología de primavera, sin embargo afectó notablemente la fenología de otoño de las plantas, las cuales mostraron cambios similares a los de las plantas que crecen en ambientes con poca disponibilidad de nutrientes.



Peteet (2000) señala en base a evidencia paleontológica que las respuestas de la vegetación a rápidos cambios climáticos se han expresado mejor cerca de los ecotonos, donde la sensibilidad al cambio climático es mayor y las respuestas se manifiestan en menor tiempo.

Roetzer et al. (2000) realizaron un estudio en 10 regiones de Europa central para examinar el impacto del cambio climático a gran escala y a pequeña escala (efecto del clima urbano) sobre el desarrollo de las plantas en el periodo 1951-1995. Los resultados en general indican que a pesar de las diferencias regionales en casi todos los casos las especies estudiadas mostraron una floración mas temprana en las áreas urbanas que en las rurales. Al analizar solamente el periodo 1980-1995 se encontró una notable tendencia a una floración mas temprana tanto en áreas rurales como urbanas, siendo mayor esta en las áreas rurales.

De acuerdo a un estudio realizado en las Islas Británicas (Sparks, 2000) sobre la floración de 11 especies en un periodo de 58 años, encontrando que la floración estuvo fuertemente relacionada con la temperatura y predicen que la floración se presentará progresivamente mas temprano en climas más cálidos; sin embargo, el límite inferior para la fecha de floración probablemente esté mejor determinado examinando la fenología de las especies en el límite sur de distribución.

La fenología de los bosque boreales está principalmente controlada por la temperatura, afectando el periodo de inicio de la estación de crecimiento y por lo tanto su duración, afecta también la dureza del hielo y por lo tanto el follaje y la capacidad fotosintética. En los bosques templados es la también la temperatura el factor determinante de los patrones fenológicos; en estas zonas los bosques están compuestos por mezclas de especies deciduas y diferencias en las respuestas fenológicas pueden afectar la competencia de las especies. Por otra parte la fenología de las especies coníferas mediterráneas está principalmente afectada por la disponibilidad de agua, lo cual afecta el desarrollo de área foliar mas que el desarrollo de los eventos fenológicos. En estudio de simulación sobre el efecto de un cambio climático en estos tipos de bosque mostró que la fenología de cada tipo de bosque afecta significativamente la respuesta en el desarrollo de las plantas a un escenario de cambio climático dado (Kramer et al., 2000).



Loik et al. (2000) realizaron un estudio acerca de la respuesta fotosintética a calentamiento climático en dos especies, un arbusto y una hierba, reportando que el calor parece afectara las plantas mediante cambios en el contenido de agua del suelo mas que incrementando la temperatura foliar, se observó también un incremento en la biomasa de la planta arbustiva y disminución en la planta herbácea, lo cual parece estar relacionado con diferencias en procesos bioquímicos de las especies estudiadas.

En los últimos años se ha propuesto una gran cantidad de modelos predictivos del cambio climático a corto, mediano y largo plazo, considerando cada uno de ellos una diversidad de variables y con lo cual se han obtenido una gran diversidad de posibles escenarios, muchos de ellos contrastantes. En un estudio de múltiples escenarios para Estados Unidos (Bachelet et al., 2001) reportan que un moderado incremento en la temperatura produciría un incremento en la densidad de vegetación y secuestro de carbono en la mayor parte de Estados Unidos y habría pequeños cambios en los tipos de vegetación. En tanto que grandes incrementos en la temperatura causarían perdida de carbono, modificaciones en la precipitación, grandes cambios en los tipos de vegetación, pudiendo desaparecer los bosques y convertirse en sabanas.

En Suiza se ha implementado un sistema de observaciones fenológicas en todo el país desde 1951 a la fecha. Además se cuenta con observaciones en las localidades de Geneva desde 1808 y en Liestal desde 1894. De acuerdo a su información han determinado que en general existe una clara tendencia hacia la aparición temprana en primavera de eventos fenológicos y una ligera tendencia hacia una prolongación tardía en otoño, es decir empiezan antes y terminan después. Es importante mencionar que esto es una generalidad pero cada especie y cada fenofases en particular exhibe una respuesta diferente a las influencias ambientales (Defila y Clot, 2001).

Schwartz et al. (2001) afirman que las futuras migraciones de árboles a diferencia de las del pasado estarán correlacionadas espacial y temporalmente como resultado de efectos climáticos y la canalización a través de limitadas regiones con disponibilidad de hábitat. Shafer et al. (2001) concuerdan con los investigadores anteriores en cuanto a los grandes efectos que tendrán los cambios climáticos sobre la distribución de árboles y arbustos en Norteamérica.



IMPORTANCIA

Los matorrales xerófilos cubren más de tres cuartas partes de la superficie del estado de Nuevo León, estos matorrales están siendo sujetos a diversas presiones degradativas de muy variable intensidad, lo cual está mermando significativamente su superficie. Estos ecosistemas guardan un delicado equilibrio con el clima y la fauna regionales y existen interacciones bióticas aún desconocidas; por otra parte, se sabe que estamos ante inminentes cambios climáticos, debido al sobrecalentamiento de la tierra, propiciados por las altas concentraciones de CO_2 en la atmósfera, por lo que es de gran importancia el estudio del matorral, más allá de la descripción fisonómico florística del mismo, a fin de poder detectar futuros efectos de estos cambios climáticos sobre las plantas y comprender mejor el funcionamiento de este singular ecosistema. Otro beneficio implícito en el conocimiento de las respuestas adaptativas de la fenología del matorral, es su utilización en el manejo de agroecosistemas y recursos forestales.

ORIGINALIDAD Y JUSTIFICACIÓN

Los estudios sobre fenología del matorral son escasos para México y particularmente para la región y más aún estudios integrales que involucren la fenología, la biología floral, mecanismos de polinización y dispersión. Este tipo de estudios son de gran relevancia científica y urgen en nuestro país para marcar la pauta en la comprensión del funcionamiento de las comunidades y el mejor aprovechamiento de los recursos.



HIPÓTESIS

- Las especies del matorral xerófilo presentan diferentes patrones fenológicos los cuales están determinados por factores abióticos ambientales, intrínsecos a la planta y filogenéticos.
- Factores climáticos tales como precipitación y temperatura determinan significativa y diferencialmente el comportamiento fenológico de las especies vegetales en el matorral xerófilo.
- Las flores y frutos de las especies de matorral xerófilo del noreste de México presentan una variación morfológica y de composición química espacial y temporal.



OBJETIVOS

General:

Contribuir al conocimiento de la ecología de las comunidades de matorral xerófilo en el noreste de México mediante el estudio de la fenología y algunos aspectos reproductivos en especies selectas.

Específicos:

- Análisis fenológico de 10 especies del matorral espinoso tamaulipeco durante un periodo de 30 meses en el municipio de Linares, N. L.
- Determinación de la relación entre los patrones fenológicos observados en 10 especies del matorral espinoso tamaulipeco y factores climáticos como precipitación y temperatura.
- Caracterización morfológica y química de los frutos de *Cordia boissieri* en dos localidades del noreste de México y en dos épocas del año.
- Caracterización morfológica y química de los frutos de *Celtis pallida* en el matorral espinoso tamaulipeco de Linares, N. L. en dos épocas del año.
- Caracterización morfológica de los frutos y evaluación de la eficiencia reproductiva en tres especies de leguminosas (*Prosopis glandulosa*, *Acacia farnesiana* y *A. rigidula*) en el matorral espinoso tamaulipeco de Linares, N. L. en dos épocas del año.
- Caracterización morfológica de las flores de dos especies representativas del matorral xerófilo del noreste de México, *C. boissieri* y *Leucophyllum frutescens*, en dos localidades y dos épocas del año.



ÁREA DE ESTUDIO

Localidad A (Linares)

El área de estudio principal se encuentra en el matorral tamaulipeco, único en el noreste de México y de acuerdo a la WWF se encuentra en un estatus de conservación crítico/amenazado (Ricketts et al., 1999).

Ubicación: Dentro del campus de la Fac. de Ciencias Forestales de la U.A.N.L. en el municipio de Linares, en el centro-sur del estado de Nuevo León. Sus coordenadas son 24° 47' latitud Norte y 99° 32' longitud Oeste y a aproximadamente 10 km al sur de la cabecera municipal (Figura 1).

Fisiografía y Topografía: El municipio de Linares, N. L. se encuentra en la Región Fisiográfica denominada Planicie Costera del Golfo Norte, más específicamente en la subprovincia de llanuras y lomeríos, con sistemas de toposformas tales como lomerío suave, lomerío suave con bajadas y lomerío suave con llanuras. La elevación va de 300 a 450 msnm (Anónimo, 1986).

Clima: el clima en el campus universitario de Linares, N. L. es principalmente del tipo semicálido subhúmedo (A) C (Wo) con lluvias en verano con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2% (figura 2), además presenta una marcada condición de canícula. La temperatura promedio anual es de 22.3°C y la precipitación es del orden de los 700 mm anuales. (Anónimo, 1981; Anónimo, 1986).

Geología y Edafología: Esta región esta caracterizada por presentar materiales aflorantes dominados por sedimentos marinos no consolidados (arenas, arcillas y conglomerados) cuya edad aumenta conforme su distancia respecto a la costa. El tipo de suelo en el área de estudio van del vertisol pélico, castañozem cálcico, regosol calcárico, feozem calcárico y lúvico, rendzina y litosol. En general, los suelos que predominan son los vertisoles de color negro o bien gris oscuro (Anónimo, 1981, 1986).



Vegetación y Uso del Suelo: El uso del suelo predominante en las zonas de estudio y áreas circundantes corresponde en el área de Linares a matorrales principalmente, entre los que destacan el matorral espinoso tamaulipeco, endémico del noreste del país y sur de Texas (figura 6). Otros tipos de vegetación presentes son pastizales de cultivo, agricultura temporal, agricultura de riego y pastizales inducidos, además de grandes áreas con vegetación secundaria (Anónimo, 1981; Anónimo, 1986).

Localidad B (Monterrey-Cumbres)

Ubicación: La segunda localidad esta ubicada en la parte baja de la sierra de Las Mitras (25°44' latitud Norte y 100°24' longitud Oeste) localizada al Noroeste del municipio de Monterrey, Nuevo León, a una altura aproximada de 650 msnm (Figura 1).

Fisiografía y Topografía: Esta localidad se encuentra en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, dentro de la subprovincia de Sierras y Llanuras Coahuilenses y en el sistema de topofomas de bajadas con lomerios.

Geología y Edafología: Presenta una naturaleza geológica de rocas sedimentarias de tipo calizas del Cretácico Inferior. Los suelos prevalecientes son de tipo rendzina y litosol de texturas gruesa y media (Anónimo 1981, 1986).

Clima: El clima prevaleciente es de tipo seco semicálido con lluvias en verano (Bs_hhw) con una temperatura promedio anual de 22.8 °C y una precipitación promedio anual de 478.6 mm (Anónimo, 1986). En la figura 3 puede apreciarse el climograma para esta zona.

Vegetación y Uso del Suelo: La vegetación predominante en la zona corresponde al tipo Matorral submontano (figura 7), con los subtipos matorral subinorme, inorme y crasirosulifolio espinoso (Ramírez-Alvarez 1984). En la actualidad la vegetación de esta zona está siendo sujeta a fuertes presiones degradativas debido a la rápida expansión de la zona urbana del área metropolitana de Monterrey, N. L.

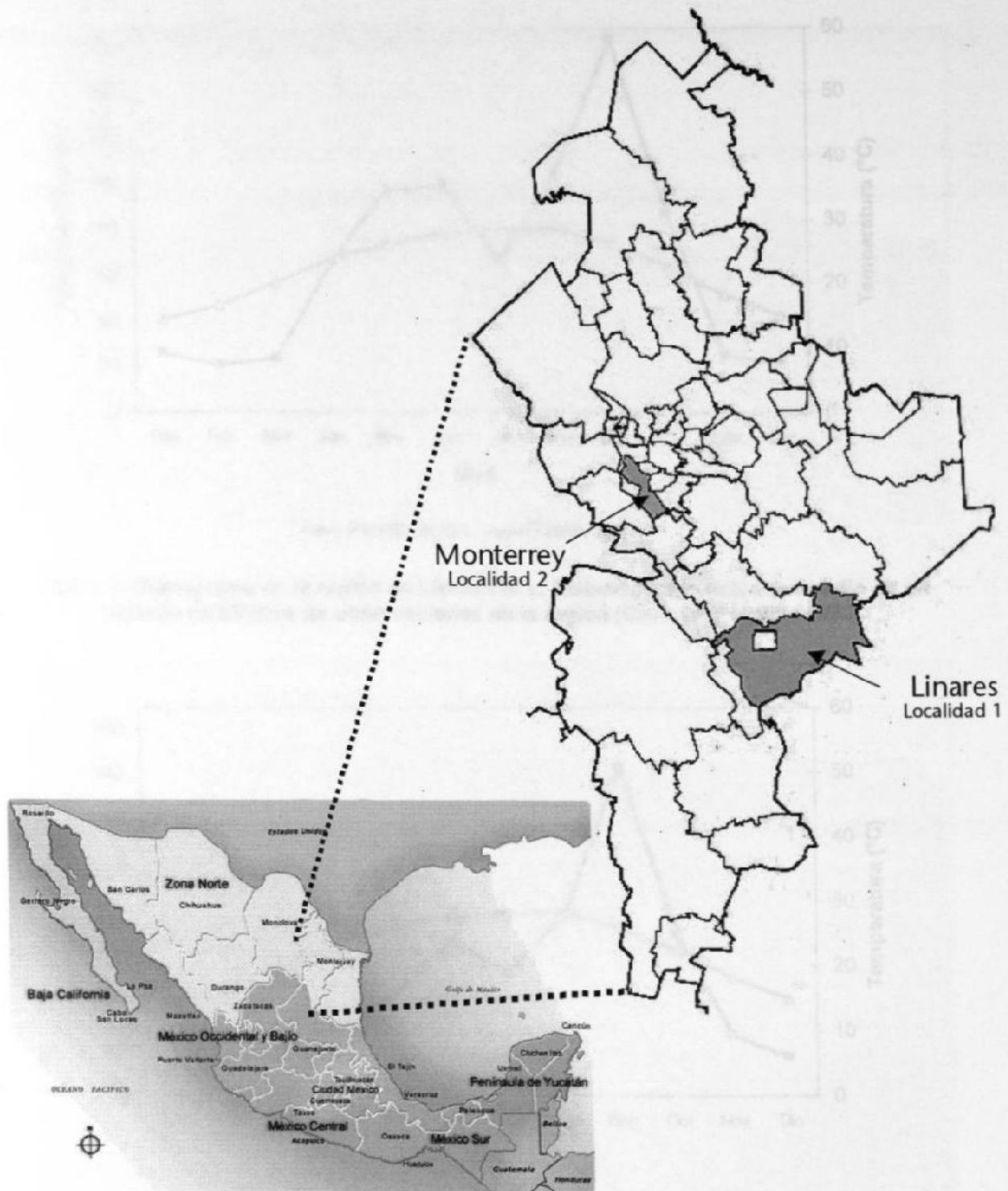


Figura 1. Localización de las áreas de estudio

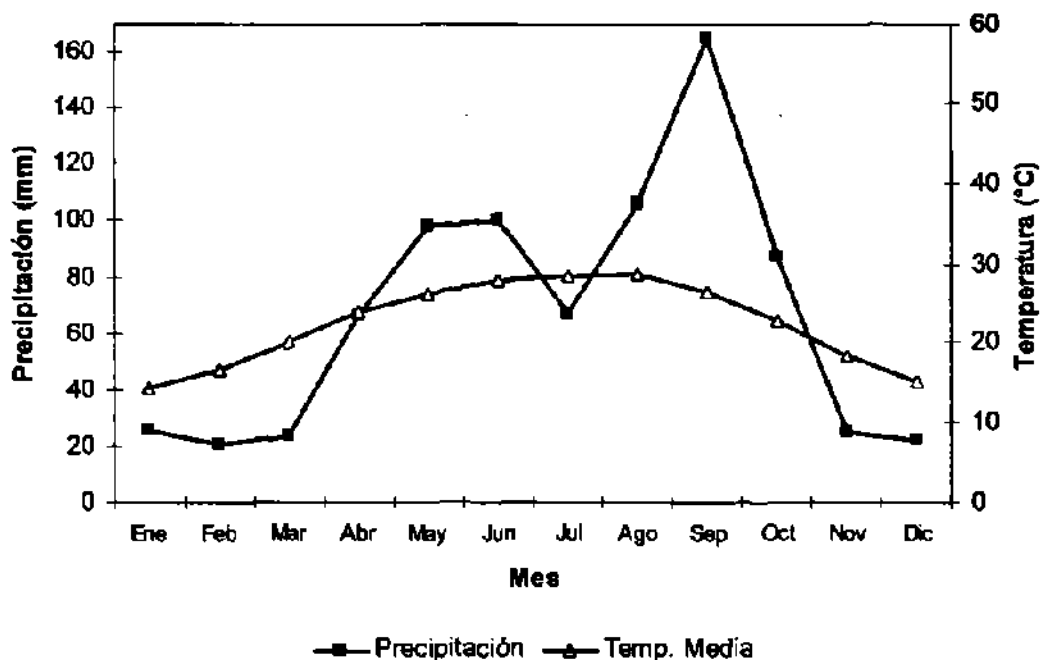


Figura 2. Climograma de la región de Linares N. L. Elaborado con datos promedio de un periodo de 65 años de observaciones en la región (Cavazos y Molina 1992).

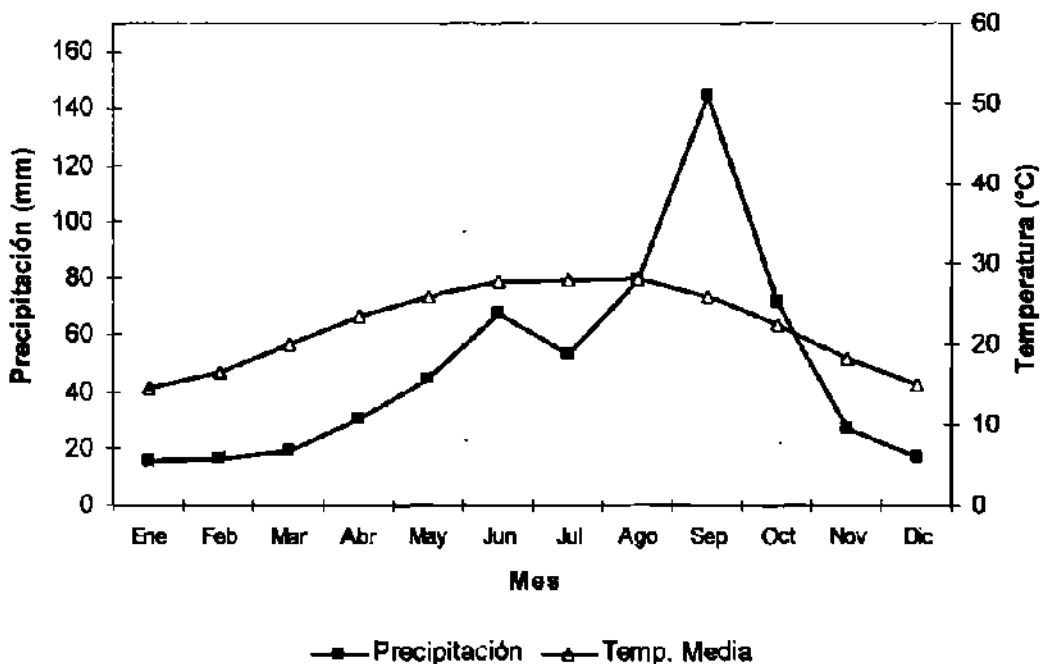


Figura 3. Climograma de la estación meteorológica "Monterrey". Elaborado con datos promedio de un periodo de 79 años (Anónimo 2002).



Figura 4. Vista general del área del jardín botánico "Efrain Hernández Xolocotzi" y sus alrededores en el campus de la Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L.



Figura 5. Vista parcial del jardín botánico "Efrain Hernández Xolocotzi"



Figura 6. Vegetación característica en el campus de la Facultad de Ciencias Forestales



Figura 7. Vegetación típica de la falda del Cerro de las Mitras (localidad 2) en su exposición Norte



METODOLOGÍA

El presente estudio constó de 5 fases:

I.- Estudio de la Fenología de 10 especies del matorral xerófilo en el noreste de México

II.- Estudio morfológico y químico de los frutos de Anacahuita (*Cardia boissieri*) en dos localidades y en dos épocas del año.

III.- Estudio morfológico y de eficiencia reproductiva en los frutos de Mezquite (*Prosopis glandulosa*), Huizache (*Acacia farnesiana*) y Chaparro prieto (*A. rigidula*) en dos años consecutivos.

IV.- Estudio morfológico y químico de los frutos de Granjeno (*Celtis pallida*) en una localidad en dos épocas del año.

V.- Estudio de la morfología floral en Cenizo (*Leucophyllum frutescens*) y Anacahuita (*C. boissieri*) en dos localidades en dos épocas del año.

I.- Estudio Fenológico de 10 especies del matorral xerófilo del Noreste de México

Para el estudio fenológico se seleccionaron 10 especies de importancia ecológica y representativas del matorral xerófilo en la localidad de Linares, N. L.; las especies son las siguientes:

Nombre Científico	Familia	Nombre Común
<i>Cardia Boissieri</i> A.DC.	Boraginaceae	"Anacahuita"
<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berl.) I.M. Johnston	Scrophulariaceae	"Cenizo"
<i>Celtis pallida</i> Torr.	Ulmaceae	"Granjeno"
<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britt. & Rose	Leguminosae	"Tenaza"
<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnston	Leguminosae	"Mezquite"
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd	Leguminosae	"Huizache"
<i>Acacia rigidula</i> Benth.	Leguminosae	"Chaparro prieto"
<i>Dyospiros texana</i> Scheele	Ebenaceae	"Chapote prieto"
<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Rutaceae	"Colima"
<i>Helietta parvifolia</i> (Gray ex Hemsl.) Benth.	Rutaceae	"Barreta"



De cada una de estas especies se seleccionaron y marcaron 10 ejemplares tomando en cuenta los criterios de Dorais y Ortiz (1991, citados por Villasana y Suárez 1997) para el establecimiento de áreas de observación fenológica, tales como: ejemplares sanos, adultos, de tamaño promedio, y sin daños o deformaciones visibles. El número total de ejemplares seleccionados y marcados fue de 100. A cada uno de los ejemplares marcados se les asignó un número único por especie, de tal manera que pudieran ser identificados individualmente. Durante la realización del trabajo de campo, dos de los ejemplares seleccionados murieron, por lo que fueron reemplazados por ejemplares de la misma especie y lo más cercano posible al sitio original. Los ejemplares reemplazados corresponden a las especies *Zanthoxylum fagara* (1) y *Acacia rigidula* (1).

El estado de cada planta fue medido cada 10 días durante un periodo de 30 meses (febrero 2000 a Julio 2002), para esto se utilizó un método de evaluación visual y cuantitativa en términos porcentuales, más que la presencia o ausencia del fenómeno y se cubrió todo el periodo de manifestación de la fenofase, inicio, plenitud y declinación (Villasana y Suarez, 1997). Los porcentajes utilizados fueron manejados en incrementos de 5 %. A fin de evitar sesgos de apreciación, el registro de las variables fenológicas durante todo el periodo fue realizado por la misma persona. Las fenofases consideradas son las siguientes:

Desarrollo vegetativo:

En esta fenofase se consideraron 3 etapas principales: hojas nuevas (%), hojas maduras (%), hojas seniles (%). Al realizar la visita se observó toda la planta y se cuantificó visualmente en términos porcentuales la cantidad de hojas nuevas, maduras y seniles, de tal forma que al sumar las 3 cantidades se obtiene el 100%, excepto en aquellos casos en que existía una ausencia total de hojas.

Floración:

Aquí se consideraron cuatro etapas: botones florales (%), flores inmaduras (%), flores maduras (%) y flores seniles (%). El método de cuantificación fue similar al utilizado para el desarrollo vegetativo.



Fructificación:

Se consideraron tres etapas, frutos jóvenes (%), frutos inmaduros (%), frutos maduros (%), frutos en dispersión (%). Se empleó la misma metodología que en los casos anteriores.

II.- Estudio morfológico y químico de los frutos de Anacahuita (*Cordia boissieri*)

Para la realización de este estudio se utilizaron frutos de las dos localidades (Linares y Monterrey-Cumbres) y de dos épocas de fructificación (Otoño 2001 y Primavera 2002). En cada una de estas localidades y en las dos épocas del año se colectaron frutos maduros de 5 plantas, seleccionando ejemplares adultos, sanos, sin daños o deformaciones visibles, de altura similar. Se colectaron aproximadamente 100 frutos de cada árbol.

Para la realización del estudio morfológico se utilizaron 50 frutos de cada árbol a los que se les determinaron las siguientes variables:

- largo del fruto
- ancho del fruto
- largo del hueso (endocarpio y semillas)
- ancho del hueso
- peso fresco del fruto
- peso seco del hueso

Se obtuvieron 250 mediciones por variable en cada localidad, y un total de 500 para cada localidad en las dos épocas del año (un total de 1000 datos para ambas localidades). Las mediciones se realizaron utilizando un vernier (precisión 0.05 mm) y los pesos se determinaron en una balanza de precisión (A&D).

Para el análisis químico del fruto de anacahuita se utilizó el epicarpio y mesocarpio de los frutos, determinándose el contenido de humedad, ceniza, proteína, extracto etéreo y fibra cruda por los métodos de la AOAC (1997). También se determinó contenido de glucosa, fructosa y sacarosa por el método volumétrico Lane-Eynon (AOAC, 1997). Estas determinaciones se realizaron por triplicado.



Para el análisis de los datos se utilizó una prueba de ANOVA bifactorial a fin de comparar la morfología y química de los frutos en ambas localidades y ambas épocas del año. A los datos porcentuales de la composición química y de contenido de azúcares se les aplicó primeramente la transformación arcoseno (Zar 1998). Estos análisis se realizaron utilizando el programa estadístico SPSS v. 10.0.

III.- Estudio morfológico y de eficiencia reproductiva en los frutos de *Prosopis glandulosa*, *Acacia farnesiana* y *A. rigidula*

Para la realización de este estudio se utilizó material vegetal de la localidad Linares. Para cada una de las especies, durante la fructificación en dos años consecutivos (2001 y 2002) se colectaron 50 frutos (vainas) de 5 plantas. Se obtuvieron en total 250 frutos de cada especie para cada uno de los años.

Para el estudio morfológico de los frutos se consideraron las siguientes variables:

- Longitud de la vaina
- Ancho de la vaina
- Grosor de la vaina
- Peso fresco de la vaina
- Número de semillas por vaina
- Longitud de la semilla
- Ancho de la semilla
- Grosor de la semilla
- Peso seco de la semilla

Para cada una de estas variables se obtuvieron 50 mediciones por planta en 5 plantas de cada especie. Las mediciones lineales se realizaron utilizando un vernier con una precisión de 0.05 mm. Los pesos fueron determinados utilizando una balanza de precisión (A&D).



Además de esto se contabilizó *in situ* el número de vainas correspondientes a cada espiga floral. En este caso también se registraron 50 datos en cinco plantas, para un total de 250 datos por especie por año. Además, durante la floración se determinó el número de flores por espiga en las especies mencionadas. Se contabilizaron 20 espigas en cinco árboles de cada especie. Estos datos permitieron identificar el número de frutos que son producidos por cada una de las espigas florales y tener una estimación de la eficiencia reproductiva de las especies.

IV.- Estudio morfológico y químico de los frutos de granjeno (*Celtis pallida*)

Para la realización de este estudio se utilizaron solamente frutos de la localidad Linares en dos épocas de fructificación (Otoño 2001 y Primavera 2002). En cada una de estas épocas del año se colectaron frutos maduros de 5 plantas, seleccionando ejemplares adultos, sanos, sin daños o deformaciones visibles, de altura similar.

Para la realización del estudio morfológico se utilizaron 50 frutos de cada árbol a los que se les determinaron las siguientes variables:

- largo del fruto
- ancho del fruto
- largo de la semilla
- ancho de la semilla
- grosor de la semilla
- peso fresco del fruto
- peso seco de la semilla

Se obtuvieron un total de 250 mediciones por variable en cada época de fructificación y un total de 500 para ambas épocas. Las mediciones se realizaron utilizando un vernier (0.05 mm).

Para el análisis químico del fruto se utilizó el epicarpio y mesocarpio de los frutos, determinándose el contenido de humedad, ceniza, proteína, extracto etéreo y fibra cruda por los métodos de la AOAC (1997). También se determinó contenido de glucosa, fructosa y



sacarosa por el método volumétrico Lane-Eynon (AOAC, 1997). Estas determinaciones se realizaron por triplicado.

Para el análisis de los datos se utilizó la prueba "t" de student a fin de comparar los resultados de ambas épocas del año y en el caso de los datos porcentuales de la composición química y de contenido de azúcares se les realizó primeramente una transformación arcoseno (Zar 1998). Estos análisis se realizaron utilizando el programa estadístico SPSS v. 10.0.

V.- Estudio de la morfología floral en Cenizo (*Leucophyllum frutescens*) y Anacahuita (*C. baissieri*)

Para la realización de este estudio se utilizaron flores de las dos localidades (Linares y Monterrey-Cumbres) y de dos épocas de floración (Otoño 2001 y Primavera 2002). En cada una de estas localidades y en las dos épocas del año se colectaron flores maduras de 5 plantas, seleccionando ejemplares adultos, sanos, sin daños o deformaciones visibles, de altura similar.

Las variables morfológicas consideradas para las flores de Anacahuita y cenizo son:

Longitud total	Longitud del estigma
Diámetro superior	Número de divisiones del estigma
Diámetro inferior	Número de estambres
Número de pétalos	Longitud del estambre
Número de sépalos	Longitud del filamento
Longitud de pétalos	Longitud de filamento unido al pétalo
Ancho de pétalos	Longitud de filamento libre
Longitud de sépalos	Longitud de la antera
Longitud del gineceo	Ancho de la antera
Diámetro del ovario	



De cada una de estas variables se realizaron 25 mediciones en cinco flores por planta. Se utilizaron cinco plantas para cada localidad y para cada época de floración. Las mediciones fueron realizadas bajo el estereoscopio utilizando un vernier (0.05 mm).

Para el análisis de los datos se utilizó una prueba de ANOVA bifactorial a fin de comparar la morfología de las flores en ambas localidades y ambas épocas del año. Estos análisis se realizaron utilizando el programa estadístico SPSS v. 10.0.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.- Estudio Fenológico de 10 Especies del Matorral Xerófilo del Noreste de México

Los resultados de este estudio están dispuestos en dos secciones principales, la primera referente al desarrollo fenológico individual de cada una de las especies, y la segunda parte aborda los patrones fenológicos observados en la comunidad en base a las 10 especies estudiadas.

1.1 Desarrollo Fenológico Individual de las Especies Estudiadas:

A continuación se presenta una descripción y análisis detallado de la fenología de cada una de las especies estudiadas.

Acacia farnesiana (L.) Willd

“Huisache”

Desarrollo vegetativo

El huisache es una especie que no pierde completamente sus hojas en ninguna época del año, presentando un recambio gradual de hojas en diferentes épocas del año, aunque con una época de notable desarrollo vegetativo, en la que llega a alcanzar un renuevo de hojas del 40 a 50%, esto sucedió a finales del invierno y principio de la primavera (febrero – marzo) en los años 2000 y 2002, en tanto que en el 2001 este renuevo de hojas fue más discreto. Existe otra época de desarrollo vegetativo, aunque de menor intensidad, la cual coincide con las lluvias de primavera (mayo y junio) y en la cual se observó un renuevo de hojas de hasta un 20% (Figura 8a).



Floración

La floración de esta especie fue bastante constante durante el período de estudio, en el cual se observaron 3 eventos de desarrollo floral (uno por año). La etapa de formación de botones es la más larga, iniciando en el mes de noviembre y concluyendo en febrero. Posteriormente, e iniciando generalmente en el mes de enero, estos botones son rápida y gradualmente madurados hasta el mes de marzo o principios de abril. Es importante mencionar que en el primer año de estudio (2000) se presentó una pequeña floración adicional durante el mes de mayo, lo cual no ocurrió en el 2001 y 2002 (Figura 8b).

Fructificación

La fructificación, evento consecutivo a la floración mostró ser más o menos constante durante este estudio. Esta fase se inició durante los tres años en el mes de marzo con el desarrollo de frutos embrionarios, los cuales alcanzaron su madurez en los meses de junio y julio. Por último, las vainas fueron lentamente dispersadas desde el mes de junio, concluyendo alrededor del mes de octubre (Figura 8c). Las diferentes etapas de fructificación presentaron un fuerte grado de traslape temporal.

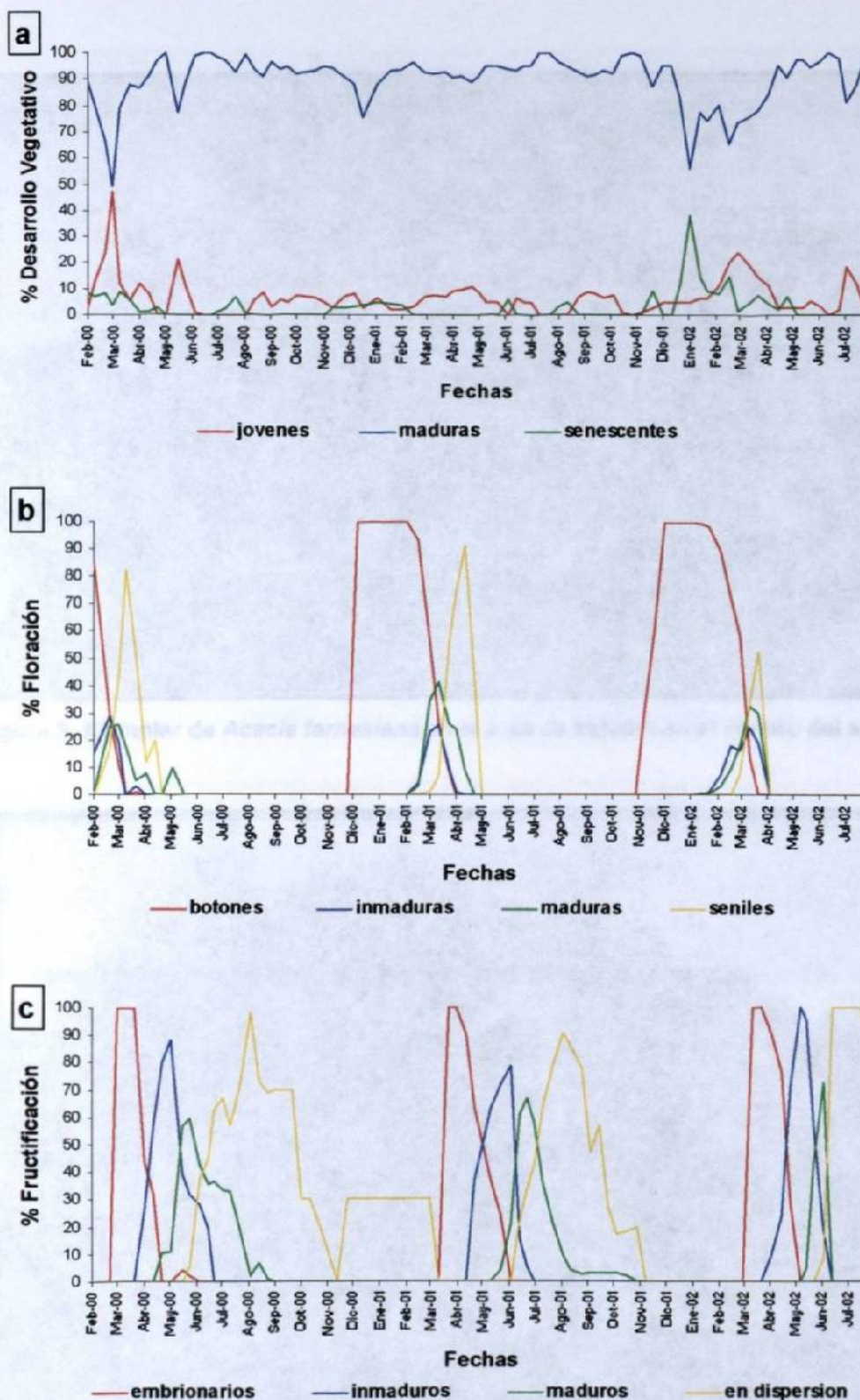


Figura 8. Fenología de *A. farnesiana*. a) desarrollo vegetativo, b) floración y c) fructificación.



Figura 9. Ejemplar de *Acacia farnesiana* en el área de estudio en el verano del año 2000

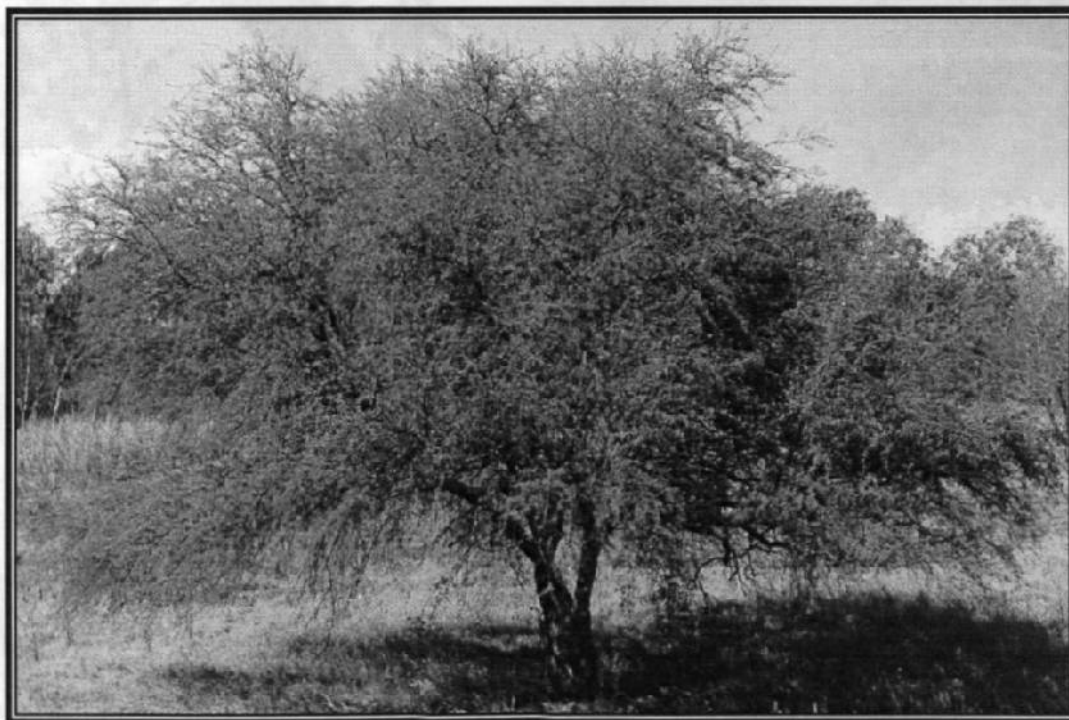


Figura 10. Ejemplar de *A. farnesiana* en floración en enero del 2001 en el área de estudio



Figura 11. Detalle de las cabezuelas florales de *A. Farnesiana*



Figura 12. Frutos de *A. farnesiana* en la primavera del 2001



***Acacia rigidula* Benth**

“Chaparro Prieto”

Desarrollo vegetativo

Esta especie, al igual que *A. farnesiana*, no perdió completamente sus hojas en ninguna época del año, aunque sí sufrió una notable merma en su follaje durante el invierno. El desarrollo vegetativo se presentó en dos épocas durante el año, la primera de ellas y de mayor intensidad ocurrió durante la primavera, época en que se pudo observar hasta más de un 60% de brotes foliares. La segunda época de desarrollo vegetativo coincidió con las lluvias de finales del verano y principios de otoño, aunque el desarrollo vegetativo observado es apenas cercano a un 10%, aunque en el 2002 se apreció un 20% de desarrollo vegetativo en el mes de julio, aunque este coincidió más con las lluvias de primavera verano (Figura 13a).

Floración

A. rigidula, en forma similar a *A. farnesiana*, presentó una floración de periodicidad anual (Figura 13b) y la cual se inició en los meses de noviembre o diciembre con la formación de botones florales, los cuales fueron desarrollados lentamente y mantenidos en latencia hasta el mes de enero (2000), o principios de febrero (2001 y 2002) en que se inició la antesis de los mismos, alcanzando la máxima floración en febrero (2000) o marzo (2001 y 2002).

Fructificación

La fructificación de *A. rigidula* inició con el desarrollo de frutos embrionarios en los meses de febrero (2000) y marzo (2001 y 2002). Estos frutos alcanzaron su pico de madurez durante el mes de mayo e iniciaron la dispersión de semillas en mayo y junio y prolongándose esta etapa hasta el mes de octubre, aunque la máxima dispersión ocurrió en los meses de junio y julio (Figura 13c).

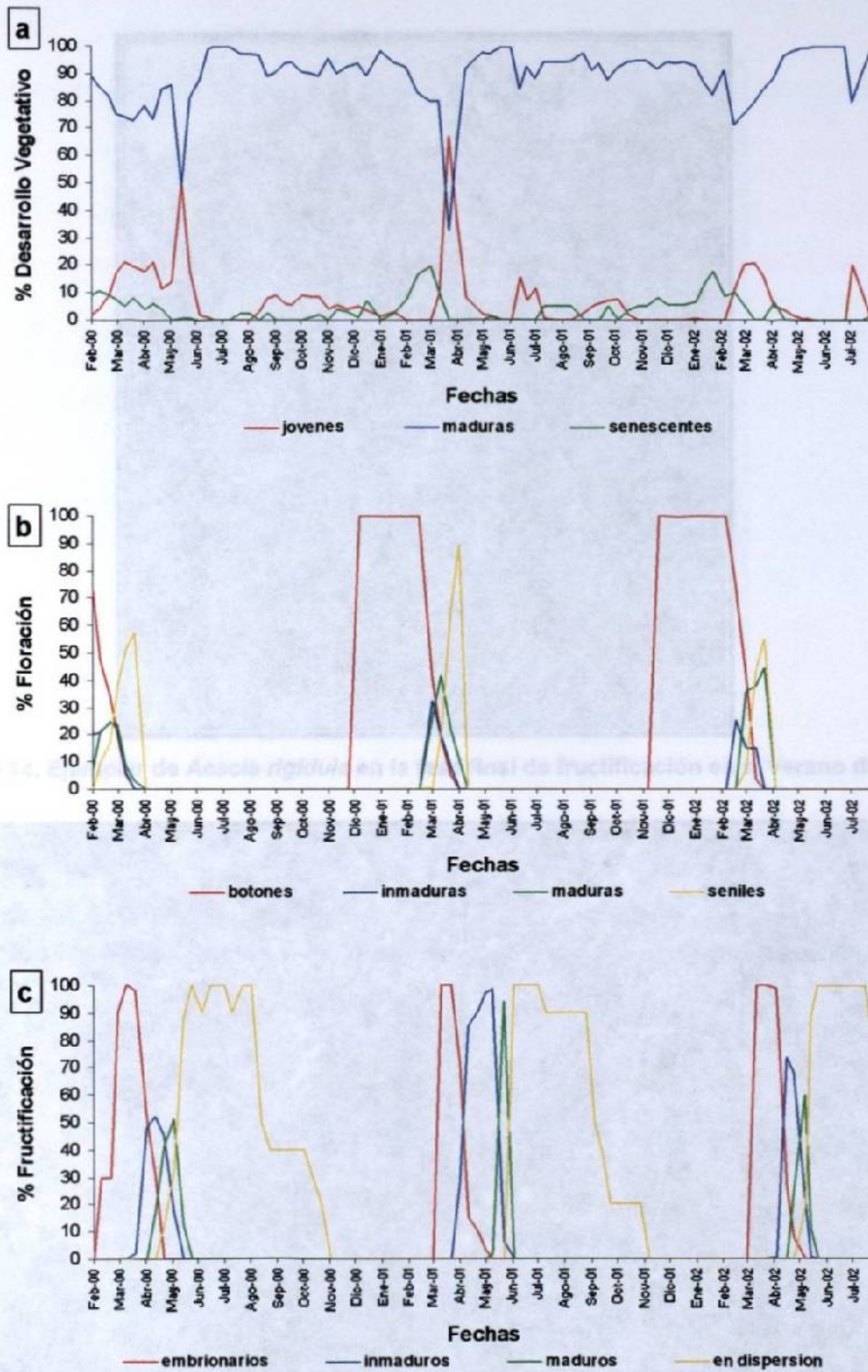
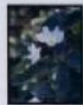


Figura 13. Fenología de *A. rigidula*. a) desarrollo vegetativo, b) floración y c) fructificación

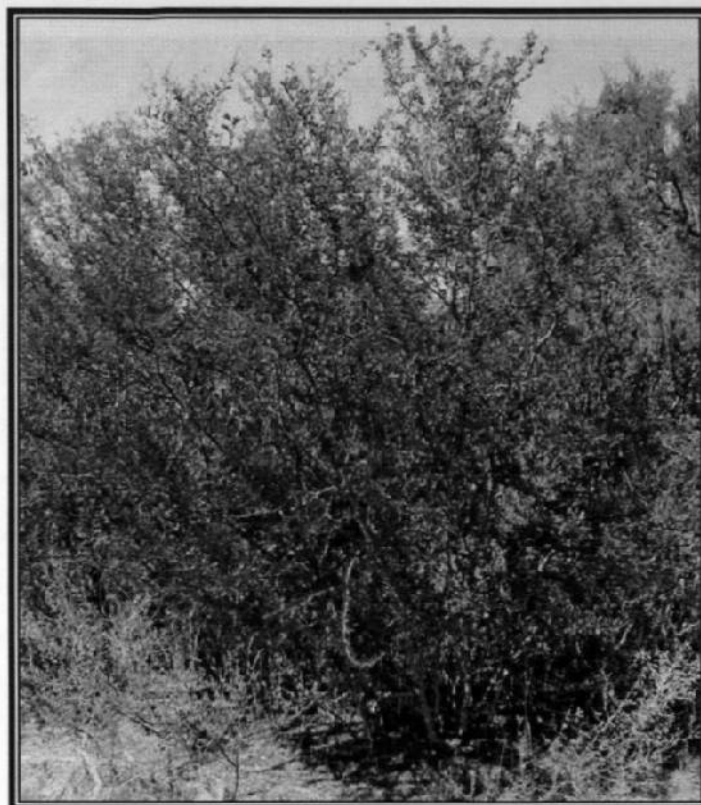


Figura 14. Ejemplar de *Acacia rigidula* en la fase final de fructificación en el verano de 2001



Figura 15. Frutos inmaduros de *A. rigidula* en la primavera de 2001 (verano 2001)



Figura 16. Inflorescencias de *A. rigidula* en la primavera de 2001



Figura 17. Dispersión de semillas mediante la acción del viento en *A. rigidula* (verano 2001)



Prosopis laevigata "Mezquite"

Desarrollo Vegetativo

P. laevigata a diferencia de las otras leguminosas estudiadas (*A. farnesiana*, *A. rigidula* y *H. pallens*), mostró una notable pérdida de hojas durante el invierno, aunque en ningún momento careció totalmente de ellas. En esta especie se apreció también un notable desarrollo vegetativo a finales del invierno y principios de la primavera (febrero y marzo) en que fue posible apreciar hasta un 90% de hojas nuevas (2001). Se observaron también otros pequeños periodos de desarrollo vegetativo, los cuales coincidieron con las lluvias de primavera (mayo-junio) y verano-otoño (septiembre). Estos periodos adicionales de desarrollo foliar fueron variables en duración y generalmente no superaron el 10% de hojas nuevas (Figura 18a).

Floración

La periodicidad de floración observada en esta especie es anual. Inició con el desarrollo de botones florales a finales del mes de febrero, el período de latencia de estos fue muy breve ya que la antesis se presentó a finales de febrero (2000) y marzo (2001 y 2002), alcanzando la máxima floración en abril (Figura 18b). Esta fenofase concluyó en el mes de mayo (2000 y 2001) y abril (2002).

Fructificación

La fructificación de *P. laevigata* inició en los meses de marzo y abril con la formación de frutos embrionarios, los cuales empezaron a madurar en el mes de mayo, alcanzando su máxima madurez en ese mes y a principios de junio, para posteriormente iniciar la dispersión a finales de mayo y principios de junio. La dispersión de los frutos concluyó en el mes de julio para los años 2000 y 2001, y en junio para el 2002 (Figura 18c).

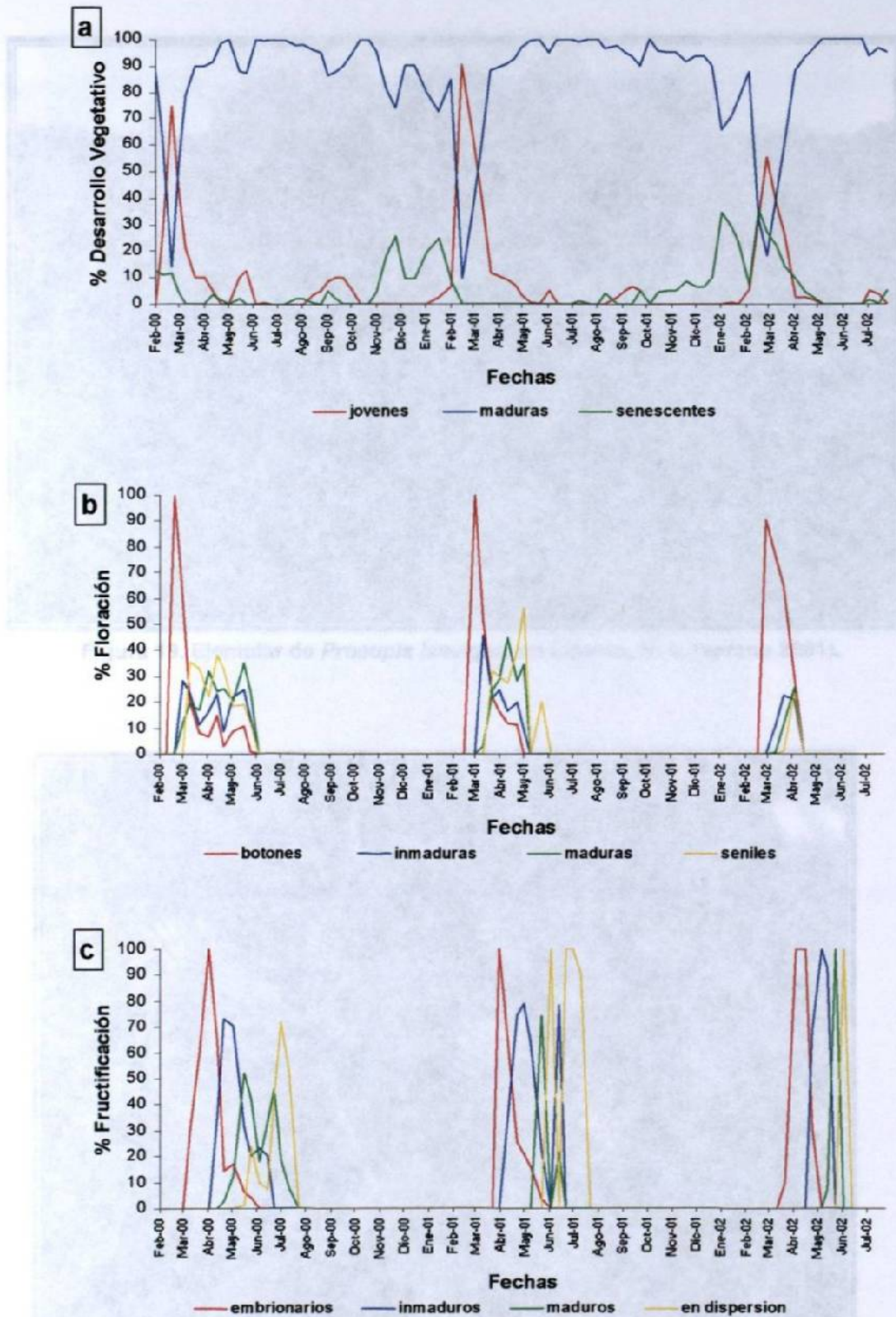


Figura 18. Fenología de *P. laevigata* a) desarrollo vegetativo, b) floración y c) fructificación