



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“INFLUENCIA DEL BANCO Y LLUVIA DE SEMILLAS EN  
EL PROCESO DE SUCESIÓN VEGETAL EN DEPÓSITOS  
LAHÁRICOS RECIENTES; VOLCÁN POPOCATÉPETL”**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGO**

**PRESENTA:**

**ALANÍS ANAYA ROCÍO MARISOL**

**TUTOR**

**DR. ARTURO GARCÍA ROMERO.**

2008





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

Antes que nada quiero agradecer a los proyectos “Contexto cultural y consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques templados del centro-sur de México” (PAPIIT, clave: IN309108) y “Recursos hídricos y prevención de riesgos hidrovulcánicos en estratovolcanes tropicales activos”, sin los cuales este trabajo no habría podido realizarse. También agradezco al Dr. Arturo García Romero, por haber confiado en mí, además de darme ánimos para seguir a pesar de todas las adversidades (que han sido muchas) y por fin concluir este trabajo. Las instituciones que contribuyeron de manera fundamental a las cuales hago un importante reconocimiento son los Institutos de Geografía y Geofísica de la UNAM, el Herbario Nacional y el Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan, gracias por toda la infraestructura que en su momento fue prestada a esta investigación. Igualmente agradezco a la respetable Facultad de Ciencias, en especial a todos los profesores que contribuyeron en mi formación y de igual forma inspiraron la realización de este estudio con la transmisión de sus conocimientos. Asimismo, agradezco a Laura Escobar, Gilda Ortiz, Dra. Irma Trejo y Dr. José López por todo su notable apoyo e interés al revisar este trabajo y de manera especial al Dr. Julio Muñoz-Jiménez por todo su apoyo en el trabajo de campo.

Y como sin la familia no somos nada, gracias Ma por aguantarme todos estos años, gracias Alfonso por aguantar todas mis bromas sin siquiera darte los buenos días, gracias Toño por el apoyo económico y moral, gracias David por tus chistes, gracias Alberto por tu compu y sobre todo gracias a ustedes mis 7 sobrinitos por quitarme tanto tiempo y al mismo tiempo hacerme sonreír, ah y ti Malu por esos excelentes licuados durante seis meses.

Por otro lado los amigos son el mas grande regalo que podemos elegir, por eso te agradezco a ti que aunque lo dudes eres un excelente ser humano, por llevarme al Popo y hacer que me doble de risa... Amiel gracias por estar ahí siempre!!!. Por otro lado, Mani aunque se que hice que nadie sepa como te llamas, también se que has estado ahí para oír como me quejo por horas del mismo asunto y te hiciste muchas heridas al coleccionar mis semillas... gracias!!!. Nancy sabes que eres mi mejor amiga aunque lo niegues. Gracias Lala por todo tu apoyo en las situaciones difíciles. Gracias miguis-miguis por todos esos momentos faculteños que hicieron que todo haya sido mas ligero gracias otra vez Mani, gracias Wevita, gracias Monincesa y gracias Mirn!!!. Por ultimo, gracias al buen Heavy (Gerardo) y al buen Tonatiuh por su importante contribución en la logística de este trabajo.

*“Para todas las cosas hay sazón y todo lo que se quiere debajo del cielo tiene su tiempo, todo tiene su tiempo...”*

*Eclesiastés 3:1*

# CONTENIDO

RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
<b>1 La sucesión primaria y la lluvia de semillas como procesos de regeneración de ambientes.....</b>	<b>5</b>
1.1 Características de la colonización y sucesión vegetal.....	5
1.2 Lluvia y banco de semillas.....	13
1.3 Sucesión vegetal y la lluvia de semillas en depósitos volcánicos.....	14
<b>2 Cronología e historia de eventos laháricos del Volcán Popocatepetl.....</b>	<b>17</b>
2.1 Actividad histórica; formación y destrucción de antiguos edificios.....	17
2.2 Reactivación en 1994 y eventos piroclásticos hasta la fecha.....	17
SITIO DE ESTUDIO.....	22
JUSTIFICACIÓN.....	23
OBJETIVO.....	23
HIPÓTESIS.....	24
METODOLOGÍA.....	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
<b>1 Comportamiento de las especies pioneras en el periodo de 2002 a 2007.....</b>	<b>26</b>
1.1 Características de las especies pioneras dentro de la Barranca Huilóac.....	26
1.2 Comportamiento de los parámetros de la vegetación en el proceso de sucesión vegetal.....	32
<b>2 Variabilidad del comportamiento de los parámetros de la vegetación.....</b>	<b>48</b>
2.1 Riqueza promedio.....	49
2.2 Abundancia promedio.....	51
2.3 Talla máxima promedio.....	53
2.4 Cobertura promedio.....	56
<b>3 Banco y Lluvia de semillas y su relación con otros factores de la Sucesión Vegetal.....</b>	<b>60</b>
3.1 Características del banco y lluvia de semillas.....	60
3.2 Influencia del banco y lluvia de semillas en la sucesión vegetal.....	70
3.3 Factores biofísicos que controlan el proceso de sucesión vegetal.....	73
3.4 Relación del banco y la lluvia de semillas con otros factores del proceso de sucesión vegetal.....	80
CONCLUSIONES.....	86
REFERENCIAS.....	88
APÉNDICE.....	90

# **“INFLUENCIA DEL BANCO Y LLUVIA DE SEMILLAS EN EL PROCESO DE SUCESIÓN VEGETAL EN DEPÓSITOS LAHÁRICOS RECIENTES; VOLCÁN POPOCATÉPETL”**

## **RESUMEN.**

El Volcán Popocatepetl tiene una fase actual de actividad caracterizada por la formación de productos piroclásticos que afectan a la biota circundante. El 30 de junio de 1997 se formó un lahar frío y el 22 de enero de 2001 un flujo piroclástico que produjo un lahar; ambos descendieron por la parte NE del cráter, el primero por la Barranca Tenenepanco y el segundo sobre las Barrancas Tenenepanco y La Espinera, principalmente. En torno a la cota de 3700msnm los dos alcanzaron la intersección en la Barranca Huilóac y llegaron a zonas cercanas a Santiago Xalitzintla; debido a lo cual la vegetación de dichas barrancas fue afectada y actualmente se presenta un proceso de sucesión primaria. La sucesión primaria que se da después de eventos volcánicos, como los antes mencionados, en el Volcán Popocatepetl resulta muy interesante, ya que brinda un gran aporte a los estudios ecológicos y a las investigaciones en sitios perturbados, las cuales se enriquecen debido a las características climáticas, topográficas y edafológicas propias del lugar. Dentro de los procesos de sucesión primaria, una parte muy importante es la lluvia y formación de bancos de semillas, los cuales son indicativos de la reestructuración de ambientes después de un disturbio. En este estudio se identificó la variación temporal de la sucesión primaria en un periodo comprendido entre los años 2002 y 2007, así como la influencia que el banco y lluvia de semillas tiene en dicho proceso, mediante el muestreo en diversos puntos establecidos en superficies marginales, levées, márgenes subverticales y en el fondo de la Barranca Huilóac, en los cuales están presentes tanto depósitos del lahar de 1997, como del 2001, mismos en los que se refleja una serie de factores biofísicos (microclimáticos y topográficos) que pueden interferir con el proceso de sucesión. En cinco años de muestreo de la sucesión vegetal se encontraron 77 especies distribuidas en 25 familias y 51 géneros, siendo las más destacadas *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Bacopa chamaedryoides*, *Castilleja arvensis*, *Eupatorium glabratum*, *Gnaphalium Bourgovii*,

*Gnaphalium liebmannii*, *Hieracium comatum*, *Nassella mucronata*, *Ribes ciliatum*, *Roldana lobata*, *Senecio barba-johannis*, *Senecio cinerarioides*, *Senecio procumbens* y *Trisetum kochianum*. Por otro lado, en el muestreo de 10 meses de lluvia de semillas se encontraron 29 especies concernientes a 23 géneros y 9 familias; en tanto que, en dos muestreos del banco de semillas se encontraron 13 especies pertenecientes a 13 géneros y 7 familias, en ambos casos las especies mas destacadas fueron *Alnus firmifolia*, seguida de *Abies religiosa*. Asimismo, el hábitat de mayor distribución dentro de la barranca es el del lahar de 2001 presentando los valores más altos de riqueza y abundancia de especies; por su parte el hábitat de lahar de 1997 es el de mayor estabilidad mostrando los valores más altos de talla máxima y cobertura de especies. Cabe destacar que este estudio permite relacionar los procesos geológicos con los biológicos para así poder entender el desarrollo de los organismos en ambientes laháricos.

## **INTRODUCCIÓN.**

### **1 La sucesión primaria y lluvia de semillas como proceso de regeneración de ambientes**

#### **1.1 Características de la colonización y sucesión vegetal.**

##### a) Colonización.

La colonización se puede definir como la capacidad de invasión de individuos a nuevos hábitats, ocurre cuando una área de terreno queda desprovista de su vegetación original, entonces es colonizada rápidamente por diversas especies pioneras que provienen de áreas próximas a ella, modificando poco a poco los factores ambientales y preparando así el terreno para el establecimiento de nuevas especies (Krebs, 1978).

Las especies pioneras son aquellas que colonizan fácilmente ambientes vacíos, no poseen una continuidad espacial y tienen una duración de vida limitada en dichos ambientes (Margalef, 1989). La gran mortandad que las caracteriza favorece la acumulación de materia orgánica y nutrimentos para las nuevas especies (Margalef, 1989).

La colonización es un suceso que está muy ligado a la actividad volcánica, ya que sus patrones y procesos dependen del tipo de material sobre el que se desarrolla (Del Moral, 1999). Mediante la colonización las poblaciones de microorganismos, hongos, plantas y animales lentamente comienzan a establecerse, ocupando espacios vacíos en los paisajes recién formados, en los cuales se iniciarán procesos de pedogénesis por medio de la actividad química, física y biológica por parte de dichos organismos y bajo la influencia de las características propias del ambiente (Cano-Santana y Meave, 1996).

## b) Sucesión vegetal

La sucesión es la serie de cambios que experimenta un ecosistema en la composición de sus especies vegetales a través del tiempo. Resulta de la modificación del medio físico y culmina en un ecosistema estabilizado en el que se mantiene por la energía disponible un grado máximo de biomasa (Odum, 1972). Para ello intervienen procesos de diseminación y establecimiento al azar de cada uno de los individuos dentro del ecosistema (Gleason, 1927).

Existen dos tipos de sucesión:

- La sucesión primaria, que ocurre en áreas que no han sido colonizadas anteriormente, como rocas desnudas, lavas y arenas depositadas por cambios en las corrientes marinas. Los líquenes y musgos son los colonizadores o pioneros que disuelven los minerales y favorecen la formación de suelo, haciendo posible el soporte de nuevos organismos. Durante la sucesión primaria la estructura trófica es simple, la diversidad de especies es mínima y la disponibilidad de luz y nutrientes es grande. Por lo tanto, los organismos colonizadores poseen atributos morfológicos y fisiológicos peculiares, que les permiten establecerse y sobrevivir en condiciones inhóspitas para otras especies más complejas (Odum, 1972).
- Por otra parte, la sucesión secundaria ocurre en sitios que fueron afectados por algún tipo de disturbio de origen natural o antrópico, principalmente por especies pioneras, pero con la existencia de restos orgánicos y semillas viables para la regeneración del ambiente (Odum, 1972). Los disturbios consisten en destrucciones irregulares o al azar en los elementos estructurales de los ecosistemas, dejando en la periferia del área todos los elementos necesarios para la regeneración. Los elementos más importantes para la restitución del lugar son las semillas enterradas en el suelo, las cuales proceden de las comunidades antiguas y de la vegetación circundante con mayor desarrollo jerárquico en la comunidad. Una vez establecida la vegetación, se le puede observar como manchones menos desarrollados dentro de los ecosistemas (Turner *et al.*, 1998).



Por lo tanto, la sucesión primaria se diferencia de la sucesión secundaria por ausencia de restos orgánicos viables (Clements, 1916).

Por ende la sucesión está muy relacionada con los disturbios, los cuales dependiendo de su tipo e intensidad pueden dejar restos orgánicos, conocidos como herencia biológica constituida por propágulos y bancos de semillas, la cual puede tener una influencia sustancial en los procesos de sucesión y regeneración de ambientes (Turner *et al.*, 1998). Sin embargo, en disturbios muy fuertes como los ocasionados por la actividad volcánica, los productos piroclásticos como lahares y los flujos de escombros destruyen todo rastro de materia orgánica, por lo que no es común encontrar herencia biológica viable dentro de ellos (Turner *et al.*, 1998).

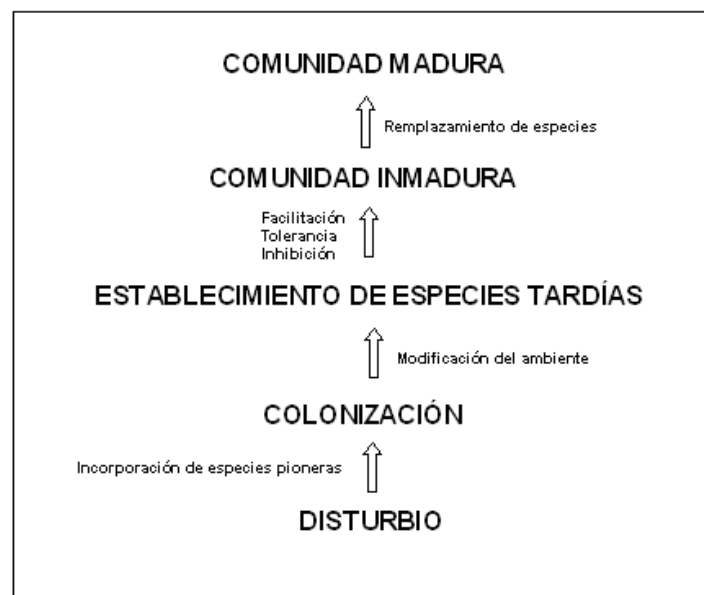
El establecimiento de especies pioneras favorece la síntesis de minerales y nutrimentos que se requieren para el establecimiento de otras especies. Un factor importante para que ésto ocurra es la disponibilidad de propágulos y semillas en el suelo, las cuales se pueden ver involucradas en procesos adaptativos para el aprovechamiento de los recursos.

Además, en las etapas tempranas de la sucesión la cantidad de materia orgánica y el desarrollo de suelo son mínimos, existe poca diversidad de especies y gran cantidad de luz disponible a nivel del piso. Estas características sólo pueden ser toleradas por algunas especies cuyos atributos morfológicos y fisiológicos les permiten establecerse y sobrevivir con éxito (Odum, 1972).

Frecuentemente se observa en la secuencia de reemplazo que el crecimiento de los organismos tiene una tendencia de comenzar con algas verde-azules, seguir con líquenes y musgos, helechos, herbáceas anuales, herbáceas perennes, arbustos, árboles sucesionales tempranos, árboles sucesionales tardíos, y así sucesivamente hasta alcanzar el estado de clímax, donde la comunidad es completamente madura y estable en composición y estructura (Cano-Santana y Meave, 1996).

Estos cambios en la composición de especies reflejan la disponibilidad de recursos y la historia de vida característica de relaciones inter-específicas; sin embargo, la competencia por los recursos es asumida como la base del remplazamiento de especies que determinará el curso de la sucesión (Halpern *et al.*, 1989).

En resumen, la sucesión vegetal comienza con la colonización de especies pioneras, las cuales modifican el ambiente generando condiciones más propias para otras especies denominadas tardías, mismas que se incorporan al sitio perturbado en función de la disponibilidad de recursos y posteriormente se van estableciendo de acuerdo a su longevidad y relación con otras especies para finalmente formar una relación estable dentro del sitio perturbado y madurar hasta alcanzar un clímax vegetal, en el cual, la comunidad es completamente madura y estable en composición y estructura (Figura. 1).



**Figura 1.** Patrón de Sucesión Vegetal.

c) Factores biofísicos

El suelo provee de nutrimentos y soporte físico a las plantas, influye en su forma de vida e interviene en muchas interacciones físicas y químicas con el sistema radicular (Bidwell, 1979).

Para su estudio, las partículas del suelo se dividen de acuerdo a sus características morfológicas en arenas, limos y arcillas (Bidwell, 1979), las cuales influyen en el tipo de absorción de nutrimentos y retención del agua. Las arcillas son las partículas de mejor calidad para un eficaz establecimiento vegetal, debido a la buena retención de agua y materia orgánica; las arenas se consideran las más estériles, ya que no retienen la cantidad suficiente de agua para el aprovechamiento de las plantas (Tabla 1).

**Tabla 1.** Textura del suelo (Bidwell, 1979).

Partículas	Características
Arcillas	Fragmentos coloidales de menos de 0.002mm de diámetro; retienen grandes cantidades de agua y materia orgánica; el drenaje y aireación son escasos por lo que tienden a convertirse en masas sólidas.
Limos	Fragmentos de 0.02 a 0.002mm de diámetro; son lisos en su superficie y comúnmente están cubiertos por arcillas; tienen un buen drenaje, aireación y retención de agua.
Arenas	Fragmentos de roca de 2 a 0.02mm de diámetro; percolan agua en grandes cantidades pero tienen poca retención; el drenaje y la aireación son buenos.

El agua es retenida debido a la presión hidrostática ejercida por las partículas del suelo, las cuales, de acuerdo al tipo (arcilla, limo y arenas) influyen en su evaporación, transporte y absorción por las raíces de las plantas (Bidwell, 1979). El proceso es muy importante para las plantas ya que constituye la parte fundamental en el transporte de los nutrientes presentes en el suelo hacia el resto de la planta por medio de un proceso osmótico, el cual se lleva a cabo por las células de las raíces, transportando el agua hacia las células del tallo y posteriormente a las de las hojas. El paso de agua al interior de la planta garantiza tanto la realización de reacciones metabólicas necesarias para su crecimiento como la turgencia de todas las células para mantener su posición erecta, con lo que se evita su marchitez o muerte (Mazliak, 1976).

Los minerales que se integran más comúnmente al suelo son el hierro, nitrógeno, boro, molibdeno, calcio, magnesio, manganeso, fósforo y zinc (Bidwell, 1979). Otros organismos que favorecen el enriquecimiento son los hongos, algas y animales invertebrados, ya que sus actividades fisiológicas liberan y disuelven nutrimentos, fijan nitrógeno e interactúan en

relaciones simbióticas con las raíces de las plantas; además contribuyen a la formación de humus (Bidwell, 1979).

Los disturbios también influyen en el suelo alterando el pH, el cual tiene un aumento en el suelo después de que ocurre un evento que cambia las condiciones edáficas, vegetativas y de temperatura, tal como ocurre en un evento lahárico, esto debido a la disponibilidad creciente de cationes y al consumo de ácidos orgánicos durante la oxidación de la materia orgánica del suelo (Turner *et al.*, 1998). Además, cuando ocurre un disturbio hay una variación importante en las concentraciones de nutrientes que, junto con las características fisiológicas de las plantas, contribuyen a la distribución de parches de vegetación y a los rápidos cambios de abundancia que se presentan durante las primeras etapas de la sucesión (Antos *et al.*, 2003). En ambientes volcánicos intervienen además otros factores tales como los gases emitidos en áreas cercanas a cráteres y fisuras de los edificios volcánicos, los cuales descienden al sustrato creando un ambiente ácido que no es tolerado por muchas especies (Antos *et al.*, 2003).

Por su parte, la caída de ceniza también resulta dañina para las especies colonizadoras de tamaño pequeño, complejas o que requieren de mayores recursos para sobrevivir (Antos *et al.*, 2003). Sin embargo, a cierta distancia del cono los eventos volcánicos no afectan directamente a los individuos, elevando la probabilidad de sobrevivencia en especies enterradas, los cuales tienen un papel indispensable en la recuperación de la vegetación (Del Moral, 1999).

De acuerdo con Mazliak (1976), la actividad de los organismos, además de enriquecer los suelos, afecta el intercambio iónico, por ejemplo al competir con las plantas por los iones que están en bajas concentraciones, cambiando el pH del suelo y la disponibilidad de algunos nutrimentos (Figura 2).

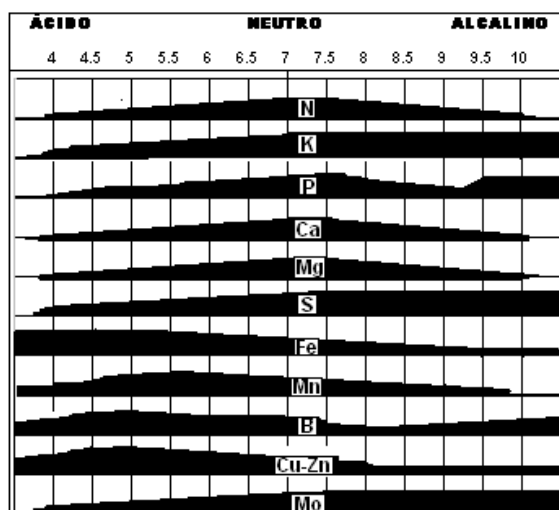


Figura 2. Influencia del pH en la disponibilidad de nutrimentos minerales (Modificado de Bidwell, 1979)

Un pH ácido favorece el decremento de las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y molibdeno, así como el aumento de hierro, manganeso, boro y zinc; en tanto que un pH alcalino favorece las concentraciones de fósforo, potasio, azufre, boro y molibdeno. Estos elementos se agrupan en macro y micronutrientes, siendo el calcio, magnesio, potasio, nitrógeno, fósforo y azufre los macronutrientes más requeridos por las plantas. El hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, molibdeno y cloro corresponden a los micronutrientes requeridos en bajas cantidades (Bidwell, 1979). Las funciones de cada elemento se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Características de los macro y micronutrientes (Bidwell, 1979).

Elemento		Función
MACRONUTRIENTES	Calcio (Ca)	Influye en la síntesis de pectina de la lámina media de la pared celular, el metabolismo y la formación del núcleo y mitocondrias. Su deficiencia favorece la formación de células multinucleadas al no haber paredes celulares en los meristemos, lo que se refleja en las estructuras soporte haciéndolas quebradizas o rígidas, observándose puntas marchitas, y raíces atrofiadas e incoloras.
	Magnesio (Mg)	Es un activador en transferencias de fosfatos, de enzimas involucradas a la síntesis de ácidos nucleicos y de transferencia de dióxido de carbono. Es determinante en reacciones de metabolismo energético y en la síntesis de los constituyentes del núcleo, cloroplasto y ribosomas, además de formar parte esencial en la molécula de clorofila necesaria para la fotosíntesis. La deficiencia se caracteriza por la aparición de manchas rojas, naranjas, amarillas o púrpuras en hojas maduras principalmente.
	Potasio (K)	Desempeña una función de catalizador en síntesis de proteínas, además de servir de enlace iónico a la piruvato-quinasa esencial en la respiración y metabolismo de carbohidratos, favoreciendo el metabolismo en las plantas. En deficiencia se observan las hojas maduras moteadas, necrosis en márgenes y puntas de las hojas, debilitamiento del tallo y baja resistencia a patógenos.

	Nitrógeno (N)	Constituyente de proteínas, moléculas catalíticas y ácidos nucleicos principalmente. Se forma debido a la actividad biológica. Su deficiencia se refleja en la palidez gradual de las hojas maduras, producción de antocianinas que se tornan en color rojo o púrpura en tallos, nervaduras foliares y pecíolos e inhibición de la ramificación debido al continuo letargo de yemas laterales.
	Fósforo (P)	Forma parte esencial en la estructura de ácidos nucleicos y fosfolípidos, además del metabolismo energético con la hidrólisis del pirofosfato y enlaces de fosfato orgánico para activación de reacciones químicas. Su deficiencia afecta el metabolismo y crecimiento vegetal, se da la pérdida de hojas maduras, desarrollo de antocianinas en tallos y nervaduras foliares, así como el desarrollo de necrosis en diversas partes de la planta, teniendo un lento desarrollo y achaparramiento.
	Azufre (S)	Forma parte de aminoácidos, proteínas y de compuestos de actividad biológica energética. La deficiencia expone amarillamiento de las hojas jóvenes, afecta el metabolismo al no producir proteínas.
MICRONUTRIENTES	Hierro (Fe)	Forma parte de enzimas oxido-reductoras, lípidos lamelares del núcleo, cloroplastos y mitocondria, también favorece la formación de la clorofila; es más requerido en la división celular que en la respiración. La deficiencia se exhibe en la pigmentación de hojas jóvenes, se denota achaparramiento y necrosis en la planta.
	Manganeso (Mn)	Se involucra en reacciones catalíticas, del metabolismo y fotosíntesis, activando enzimas respiratorias. Forma parte de las estructuras de cloroplastos. En su ausencia se presenta la formación de manchas necróticas en las hojas y en los cotiledones de las leguminosas.
	Boro (B)	Se relaciona al transporte y absorción de azúcares, siendo esencial en el crecimiento de las plantas. Estando deficiente en las hojas se engrosan y oscurecen, los meristemas de plántulas y raíces mueren, atrofiando y achaparrando a la planta.
	Cobre (Cu)	Se involucra en actividades catalíticas formando parte de enzimas y favoreciendo a la fotosíntesis. Su ausencia causa necrosis en hojas, marchitando y oscureciéndolas.
	Zinc (Zn)	Está implicado en la síntesis de proteínas. En muy bajas concentraciones se producen plantas atrofiadas y de baja altura, con hojas pequeñas.
	Molibdeno (Mo)	Reduce nitratos y ayuda a la fijación de nitrógeno. Su deficiencia expone marchitez y pigmentación en los márgenes de las hojas.
	Cloro (Cl)	Influye en la fotosíntesis. Su ausencia produce marchitamiento, las raíces atrofiadas y reducción de la producción del fruto.

En cuanto al clima, los elementos que influyen directamente en el desarrollo de las plantas son la precipitación, la temperatura y la iluminación. La precipitación constituye un factor importante para el desarrollo de las plantas, debido a que es el principal proveedor de humedad en el suelo, favoreciendo o inhibiendo el movimiento de nutrientes a través de las raíces de los individuos. En el caso de la temperatura, su influencia es directamente proporcional a la transpiración de las plantas, determinando la rapidez con que llegan los nutrientes a la parte superior de las plantas, ya que entre mayor sea la transpiración más rápido ascienden los nutrimentos (Daubenmire, 1974).

Por su parte, la intensidad de la luz influye en las reservas de carbonatos, la respiración y la transpiración, intensificando las reacciones metabólicas y los requerimientos de nutrientes de las plantas (Mazliak, 1976). La clorofila y otros pigmentos accesorios (carotenoides y ficobilinas) capturan las ondas luminosas, transformándolas en energía química de gran utilidad para la fotosíntesis (Devlin, 1975). Asimismo, el sistema fitocromo es un pigmento que se localiza en raíces, tallos, hipocótilos, cotiledones, coleótilos, limbos de hoja, pecíolos, yemas vegetativas,

frutos en desarrollo, receptáculos florales e inflorescencias (Devlin, 1975), activando o inhibiendo tanto la floración de los individuos como la germinación de las semillas (Devlin, 1975 y Naour, 2004). La falta de luz muestra un aspecto pálido, pocas o nulas inflorescencias, caída de hojas y marchitamiento en las plantas (Naour, 2004).

El clima también limita la formación del suelo, por ejemplo, en lahares y flujos de escombros el clima tropical favorece la recuperación y colonización de ambientes por especies de rápida reproducción y propagación (Eggler, 1963), mientras que, en climas templados la sucesión es más lenta y la diversidad es más alta. Así, los lahares pueden recuperarse rápidamente siempre y cuando la dispersión de semillas o propágulos sea mayor a las limitaciones en su establecimiento (Antos *et al.*, 2003).

## **1.2 Lluvia y banco de semillas.**

La lluvia de semillas es el reflejo del potencial reproductivo de un ecosistema al cuantificar la entrada de semillas en un área (Chabrierie y Alard, 2005). Está determinada básicamente por los procesos de dispersión donde la más alta proporción de semillas cae dentro de un radio de 40 a 50 metros del individuo de origen (Granados y López, 2001). En un ambiente perturbado la lluvia de semillas comienza con la dispersión por parte de especies pioneras que colonizan más rápidamente al intensificar la producción. Posteriormente se da la incorporación de especies competitivas que aseguran su establecimiento al utilizar sus recursos en la regeneración de follaje y la producción de propágulos (Grime, 1982). Sin embargo, los agentes de dispersión no garantizan una distribución amplia de las semillas, por lo que éstas han recurrido al uso de alas,

plumas, ganchos, cerdas o vilanos como adaptaciones estructurales que faciliten su transporte a lugares más alejados (Granados y López, 2001).

Una vez ocurrida la lluvia de semillas, podría darse la germinación en poco tiempo o el establecimiento de un banco, al incorporarse a un sustrato y entrar en estado de latencia hasta por varios años, esperando mejores condiciones para la germinación (Grime, 1982). El origen de un banco de semillas depende de las especies, la situación ecológica, el mecanismo de enterramiento, los factores que inducen la latencia y el periodo de viabilidad en el sustrato (Granados y López, 2001).

La respuesta de las semillas al enterramiento depende del origen y características de la semilla, de las propiedades del sustrato, así como de la profundidad a la cual haya sido enterrada (Kent *et al.*, 2001). Al ser enterradas pierden todo contacto con la luz, manteniéndose a bajas temperaturas que inducen a un estado de latencia. Muchas semillas –de tamaño medio a grande– tienen la capacidad de reaccionar a las fluctuaciones de temperatura del sustrato, pudiendo germinar sin la presencia de luz (Grime, 1982). Los bancos de semillas actúan como filtro evolutivo determinando a los genotipos que pueden sobrevivir en condiciones desfavorables y funcionan como reservorios de información genética de varias generaciones y su cuantificación ayuda a determinar mediante datos fenológicos el nivel de mortalidad de las semillas a diferentes tiempos durante la estación de crecimiento (Granados y López, 2001).

### **1.3 Sucesión vegetal y lluvia de semillas en depósitos volcánicos.**

La actividad volcánica juega un papel muy importante en la destrucción y formación de ambientes, generando cambios a nivel de biota y determinando el rumbo que toman las comunidades vegetales después de un disturbio.

#### **a) Volcán Xitle.**



Localizado al sur de la ciudad de México, el Volcán Xitle hizo erupción hace 2000 años aproximadamente, produciendo un gran derrame de lava (15km de longitud y 80km<sup>2</sup> de superficie) que destruyó por completo la vegetación preexistente (Cano-Santana y Meave, 1996).

Desde entonces, la sucesión vegetal ha dependido principalmente de la variación altitudinal de la acumulación y humedad de sedimentos (Cano-Santana y Meave, 1996). Debido a estos factores se han formado parches de antiguos bosques y matorrales actuales entre los 2200 y 2500msnm (Rzedowski, 1986). La urbanización de la zona ha afectado este proceso por lo que se creó en el año de 1983 La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (17ha) (Castillo *et al.*, 2004), donde se han encontrado 265 especies de plantas angiospermas y 21 especies de pteridofitas (Castillo *et al.*, 2004). La vegetación de la reserva fue caracterizada por Rzedowski (1954) como matorral xerófilo, ubicado típicamente en ambientes de aridez con suelos salinos, alcalinos o yesosos de escaso drenaje, sin embargo, el hecho de que este tipo de vegetación se encuentre en un clima templado subhúmedo; se debe a la composición basáltica y escasez de suelo (Castillo *et al.*, 2004).

#### b) Volcán Parícutín.

Durante el periodo comprendido del 20 de febrero de 1943 al 4 de marzo de 1952 el Volcán Parícutín tuvo una intensa actividad eruptiva (Eggler, 1963) que generó grandes cantidades de ceniza y flujos de lava (Inbar. *et al.*, 1994) en un área de 25km<sup>2</sup> (Rejmanek *et al.*, 1982).

La sucesión primaria compuesta por arbustos y herbáceas comenzó en 1950 sobre los flujos de lava cerca del cráter, alcanzando 52 especies en 1960 (Eggler, 1963), en tanto que la sucesión secundaria se observó en áreas afectadas por la caída de ceniza con la presencia de 41 especies. (Gómez *et al.*, 2006). En ambos casos, en 1957 las primeras plantas vasculares que se observaron fueron *Gnaphalium* y *Eryngium*, mientras que, en el periodo de 1958 a 1960 se incorporaron de una a cuatro especies por año (Eggler, 1963).

Se consideran tres etapas clave en la sucesión vegetal del Volcán Parícutín (Rejmanek *et al.*, 1982). La primera etapa se caracteriza por *Mühlenbergia minutissima* y *Aster exilis* como especies dominantes en depósitos de ceniza fina; en tanto que la segunda etapa dominan las comunidades de *Aegopon cenchroides* y *Gaultheria parviflora* en depósitos de ceniza gruesa; finalmente la tercera etapa esta constituida principalmente por comunidades de *Crusea sp* y *Eragrostis ciliaris* en sitio expuestos a fumarolas.

Después de 50 años del periodo eruptivo, los campos de ceniza volcánica se han reducido a menos del 10%, siendo tres especies de arbustos los que dominaron la regeneración vegetal: *Eupatorium glabratum* que cubre el 23%, *Senecio stoechadiformis* el 14% y *Senecio salignus* el 12%; asimismo, la leguminosa *Lupinus elegans* estuvo presente con menos del 1%. Estas especies se consideran como muy importantes porque bajo su dosel crecieron otras 33 especies, incluso en depósitos con poca ceniza (Gómez *et al.*, 2006).

#### c) Volcán Chichón.

El 28 de marzo de 1982 el Volcán Chichón tuvo una fuerte erupción que generó una columna eruptiva de 20km con abundante lluvia de ceniza y flujos piroclásticos que afectaron un área de 25km<sup>2</sup>. Dentro de un radio de 10km desapareció completamente la vegetación típica de selvas altas y medianas perennifolias. Las condiciones climáticas beneficiaron la dinámica de la regeneración florística, siendo lenta los primeros cinco años y más rápida durante los siguientes diez (Ramos, 2002).

#### d) Volcán Santa Helena

La erupción del 18 de mayo de 1980 generó lahares, flujos piroclásticos, ceniza y avalanchas que fueron registrados en la parte sur del cráter con 5 a 20cm de téfra (Wood y Del Moral, 2000). La sucesión inició con la especie *Lupinus lepidus* que modificó el microclima fijando nitrógeno que facilitó la formación de parches, en los cuales quedaron semillas atrapadas, lo que favoreció el establecimiento de otras especies (Del Moral y Wood, 1993). La riqueza de la

especies disminuyó notablemente con la distancia al borde del bosque (Halpern, 1989), en tanto que la diversidad fue favorecida por el humus, las semillas, la materia orgánica y los sitios seguros. Las limitaciones en nutrientes inhibieron las tasas de crecimiento de las coníferas, con lo que *Pseudotsuga menziesii* llegó a ser la más común (Del Moral y Wood, 1993).

Además de los estudios de sucesión, se han analizado datos de lluvia de semillas, que fueron muestreados en dos periodos (1982 a 1986 y 1989 a 1990), de los cuales se obtuvieron 34 semillas en 0.1 m en sitios estériles, 1.083 semillas en sitios con vegetación y 2 semillas en sitios estériles subalpinos. En total se obtuvieron 33 especies, las cuales en su mayoría coincidieron con las registradas en la sucesión vegetal.

## **2 Cronología e historia de eventos laháricos del Volcán Popocatépetl**

### **2.1 Actividad histórica; formación y destrucción de antiguos edificios.**

La historia del Volcán Popocatépetl comienza hace un millón de años cuando se originó el Volcán Nexpayantla, el cual se colapsó hace 200 mil años (Macias, 2005). Posteriormente sobre los restos del Nexpayantla se formó el Volcán Ventorrillo, que también se colapsó al Suroeste hace 30 000 años (Espinasa-Pereña y Martin-Del Pozzo, 2006; Macias, 2005), ocasionando una avalancha de escombros hacia el lado S-SW del cráter, seguida de una erupción pliniana, que produjo caída de fragmentos de pómez y flujos piroclásticos al sur del volcán (Macias, 2005).

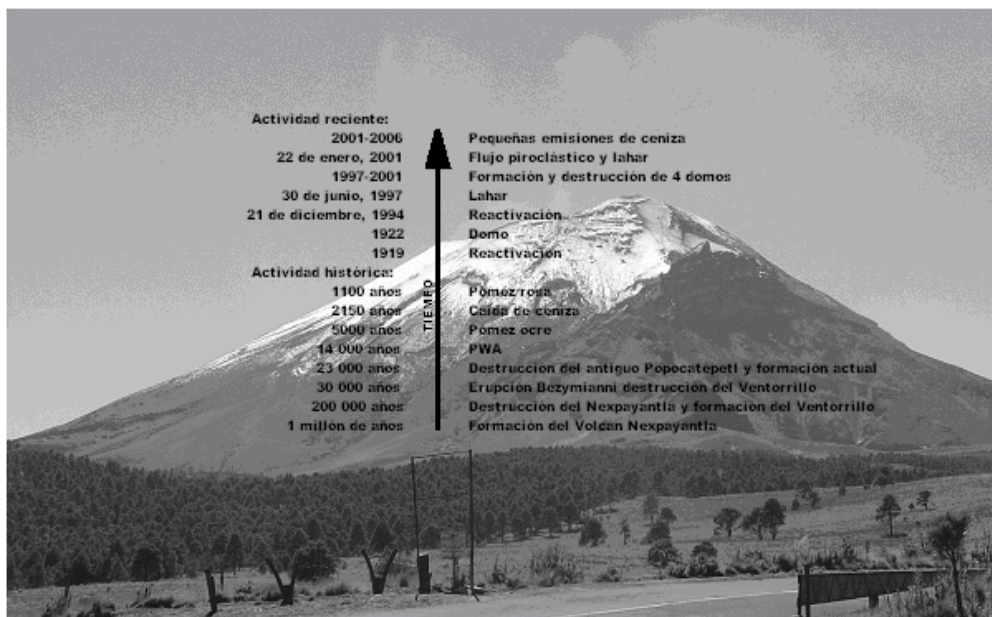
Posteriormente se formó el antiguo Popocatépetl, el cual se colapsó y dió paso al cono actual que tiene menos de 23,000 años (Robin *et al.*, 1984). Dentro de los eventos registrados se observa una erupción pliniana de hace 14,000 años, mejor conocida como PWA -nombrada así por Mooser en 1967-, la cual cubrió con ceniza y pómez a la cuenca de México. Después, se registró una serie de erupciones importantes acompañadas de ceniza datadas en 5000, 2150 y 1100 años (Martin-Del Pozzo *et al.*, 2003 y Macias, 2005). Por último, antes de su reciente reactivación en 1994, tuvo una erupción en 1919 (Macias, 2005).

### **2.2 Reactivación en 1994 y eventos piroclásticos hasta la fecha.**

Después de setenta años de inactividad el 21 de diciembre de 1994 el Volcán Popocatépetl produjo una columna de ceniza que se dirigió al flanco noreste del cráter (Valdés *et al.*, 2002). Desde abril de 1996 a junio de 1997 tres domos fueron destruidos, y la actividad continuó de manera fluctuante hasta el 30 de junio de 1997 cuando se formó una columna de ceniza de 8km, la cual fue dispersada hacia la ciudad de México (Capra *et al.*, 2004). Posteriormente se formó un lahar frío por la fusión parcial de los hielos del glaciar Ventorrillo, debido a la acumulación

sobre él de material piroclástico (García y Muñoz, 2002). Durante 1998 se observaron emisiones explosivas y ocasionales incandescencias hacia los últimos meses del año (Valdés *et al.*, 2002).

A mediados del año 2000 se observó el crecimiento de un domo y continuas emisiones de ceniza y para el 5 de agosto se registró una columna de ceniza de 5km. Desde los primeros días de diciembre se registraron constantes caídas de ceniza reportadas en los alrededores del volcán. El 25 de diciembre se registró una emisión de 5km sobre el nivel del cráter, acompañada de fragmentos incandescentes. Asimismo, en los inicios del año 2001 la actividad disminuyó, presentando ocasionales caídas de ceniza, sin embargo, el 22 de enero se registró una columna de 18km de altura, que produjo un flujo piroclástico. Desde abril de 1996 a la fecha se ha observado la formación y destrucción de más de 20 domos (Macias, 2005).



**Figura 1.** Cronología de los eventos más importantes del Volcán Popocatépetl.

Los eventos mas importantes que se registraron en esta última etapa eruptiva son:

a) Lahar del 30 de Junio de 1997.

Durante la actividad previa al evento lahárico del 30 de junio de 1997 se observaron emisiones de ceniza más explosivas a las que venían ocurriendo desde el 5 de enero de ese año (Valdés *et al.*, 2002). El 13 de junio, después de fuertes explosiones que emitieron grandes y continuas caídas de ceniza sobre el glaciar; el calor generado por la ceniza derritió parte del glaciar lo que provocó la generación de los dos lahares (Palacios *et al.*, 2001).

El 30 de junio a las 3:56 de la tarde se registró una serie de eventos vulcanotectónicos con una intensidad de 2-2.7 en la escala Richter durante 13 minutos. A las 4:17 inició una fase de explosiones continuas que duraron 135 minutos, y a las 6:26 inició otra fase de 90 minutos, la cual generó una enorme columna de gas y ceniza de 13km (Capra *et al.*, 2004). También se observaron fragmentos piroclásticos de 0.1–0.2mm y espesores de ceniza de más de 10cm a 6km del cráter (Palacios *et al.*, 2000). Al día siguiente del evento piroclástico se formaron varios lahares, debido a la acumulación de material piroclástico y a la fusión parcial de los hielos del glaciar (García y Muñoz, 2002). El lahar más importante ocurrió a las 3:30 de la tarde y descendió por la Barranca Tenenepanco, para posteriormente incorporarse a la Barranca Huilóac, destruyendo la vegetación presente en las partes bajas de las paredes y fondo de la barranca (García y Muñoz, 2002).

b) Flujo piroclástico y formación de lahar del 22 de enero de 2001.

Durante los meses de octubre a diciembre del año 2000 se registró un aumento considerable en la actividad volcánica, con material incandescente y columnas de ceniza de hasta 5.5km de altura. Posterior a esta fase disminuyó la actividad a pequeñas emisiones de ceniza de no más de 2.5km de altura (Valdés *et al.*, 2002). El 22 de enero de 2001 a las 14:58 se presentó un evento sísmico de magnitud 2.8; a las 15:15 tuvo lugar una emisión de vapor de agua de 1km de altura y siendo las 16:23 se presentaron fragmentos incandescentes. Finalmente a las 16:40 se observó una emisión de ceniza de 18km de altura que al colapsarse formó un flujo piroclástico, el cual

recorrió aproximadamente 6km sobre la Barranca Tenenepanco, llegando hasta la intersección en la Barranca Huilóac y a zonas cercanas a Santiago Xalitzintla (Martin-Del Pozzo *et al.*, 2003).

El flujo piroclástico, compuesto de ceniza, escoria negra andesítica con poco sílice y pómez blanca andesítica con mucho sílice (Martin-Del Pozzo *et al.*, 2003), derritió parte del glaciar generando un lahar. El total de la masa removida fue de aproximadamente  $1.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ , de la cual cerca de  $4 \times 10^5 \text{ m}^3$  fue agua-nieve, presentando en más del 50% material púmitico (Julio *et al.*, 2005), indicando que el origen del lahar correspondió a un flujo piroclástico que se transportó como un flujo de escombros (Julio *et al.*, 2005). Entre las afectaciones se reportaron 30 hectáreas de cultivo de ciruela con daños por la caída de ceniza, además de que la Secretaría de Salud atendió 42 casos de conjuntivitis y 13 de dermatitis, vinculadas con la actividad volcánica durante este periodo (El Universal, 2000).

En el evento del 2001 con el derretimiento del glaciar por el calor emitido por el flujo piroclástico se formó un lahar (Capra *et al.*, 2004), el cual descendió por la Barranca Huilóac presentando la siguiente estratigrafía:

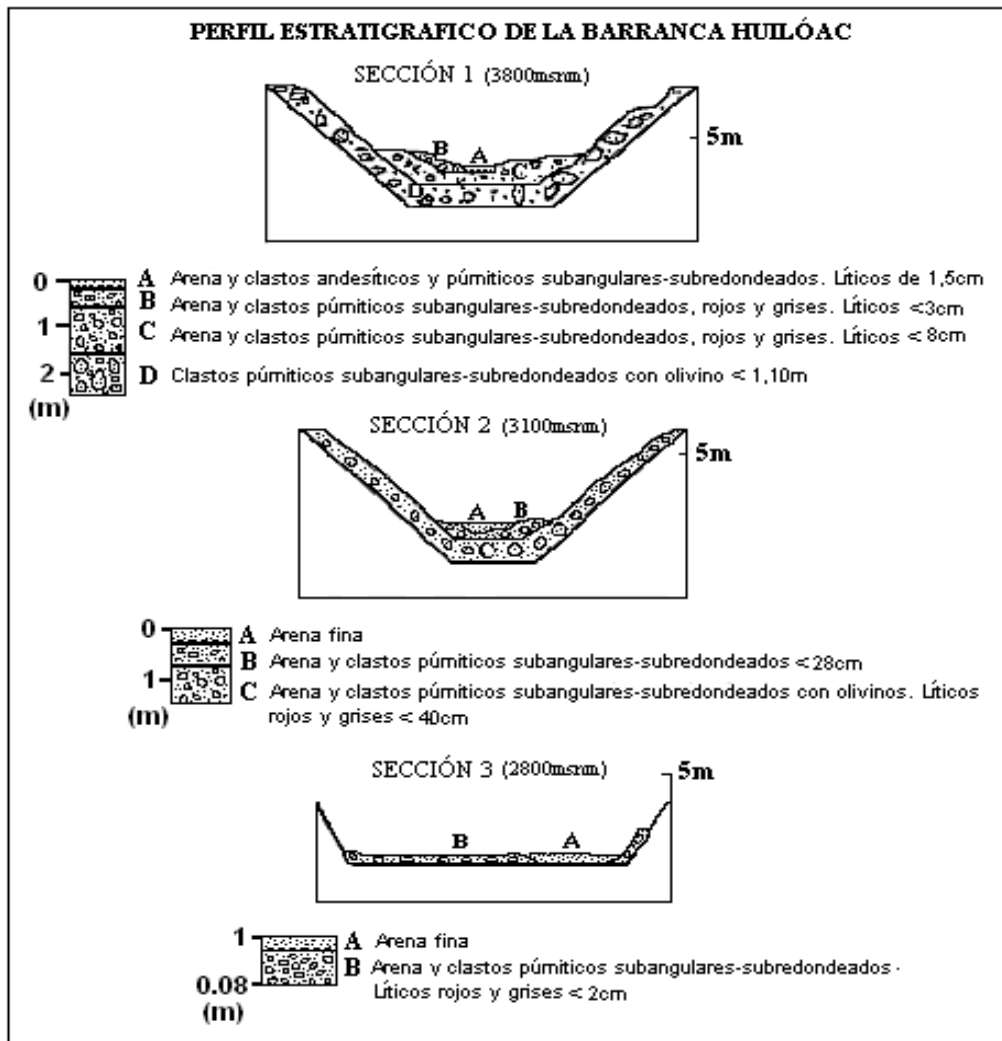
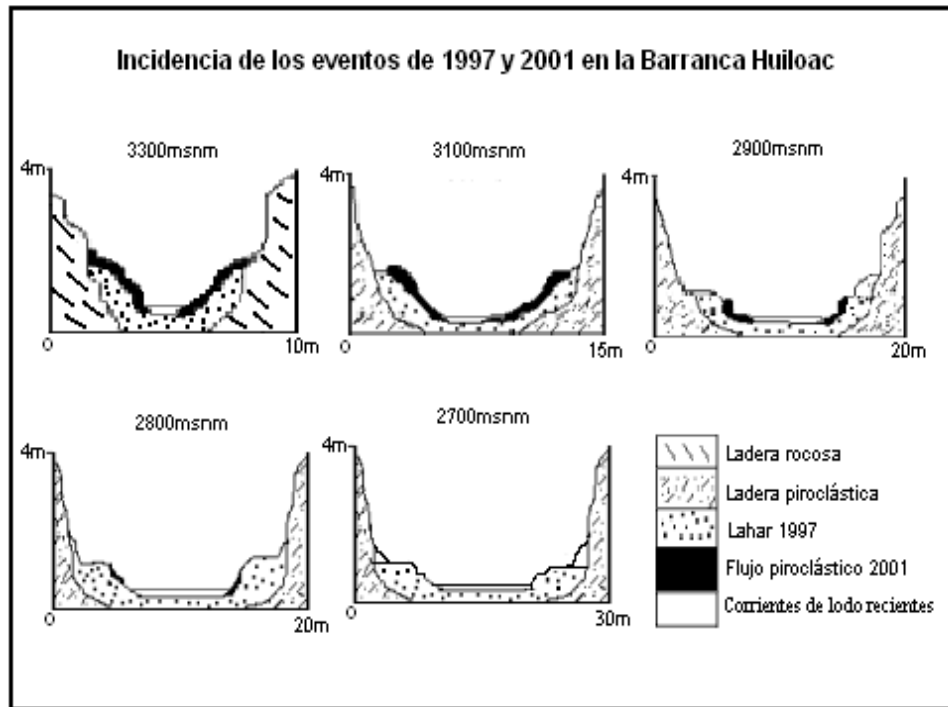


Figura 2. Perfil estratigráfico de la Barranca Huilóac tomado entre los 3800 y 2800msnm (modificado de Julio *et al.*, 2005).

Los eventos laháricos del 30 de junio de 1997 y del 22 de enero de 2001, descendieron por las Barrancas Tenenepanco y La Espinera posteriormente se incorporaron a la Barranca Huilóac (García y Muñoz, 2002). Su incidencia de espesor a diferentes altitudes es la siguiente:





**Figura 3.** Incidencia del espesor de los eventos de 1997 y 2001 a diferentes altitudes dentro de la Barranca Huiloac (Modificado de García y Muñoz, 2002).

Dentro de la Barranca Huiloac se puede observar una mayor incidencia del evento lahárico de 1997 con respecto al evento de 2001, el cual solo se registra en las partes más altas de la barranca y con un espesor muy inferior al del evento de 1997. Mientras que con el lahar de 1997 se perdió toda la vegetación, incluyendo árboles que se incorporaron a la carga sólida del lahar, en el caso del flujo piroclástico de 2001, su impacto fue a nivel herbáceo y subarbustivo, producto de la regeneración ocurrida después del evento de 1997 (García y Muñoz, 2002).

## SITIO DE ESTUDIO.

En el fondo de la Barranca Huilóac se observan los depósitos de dos eventos laháricos de reciente formación: uno ocurrido el 30 de junio de 1997 por la fusión parcial de los hielos del glaciar debido a la acumulación de material piroclástico (García y Muñoz, 2002), y otro del 22 de enero de 2001 originado a partir de un flujo piroclástico.

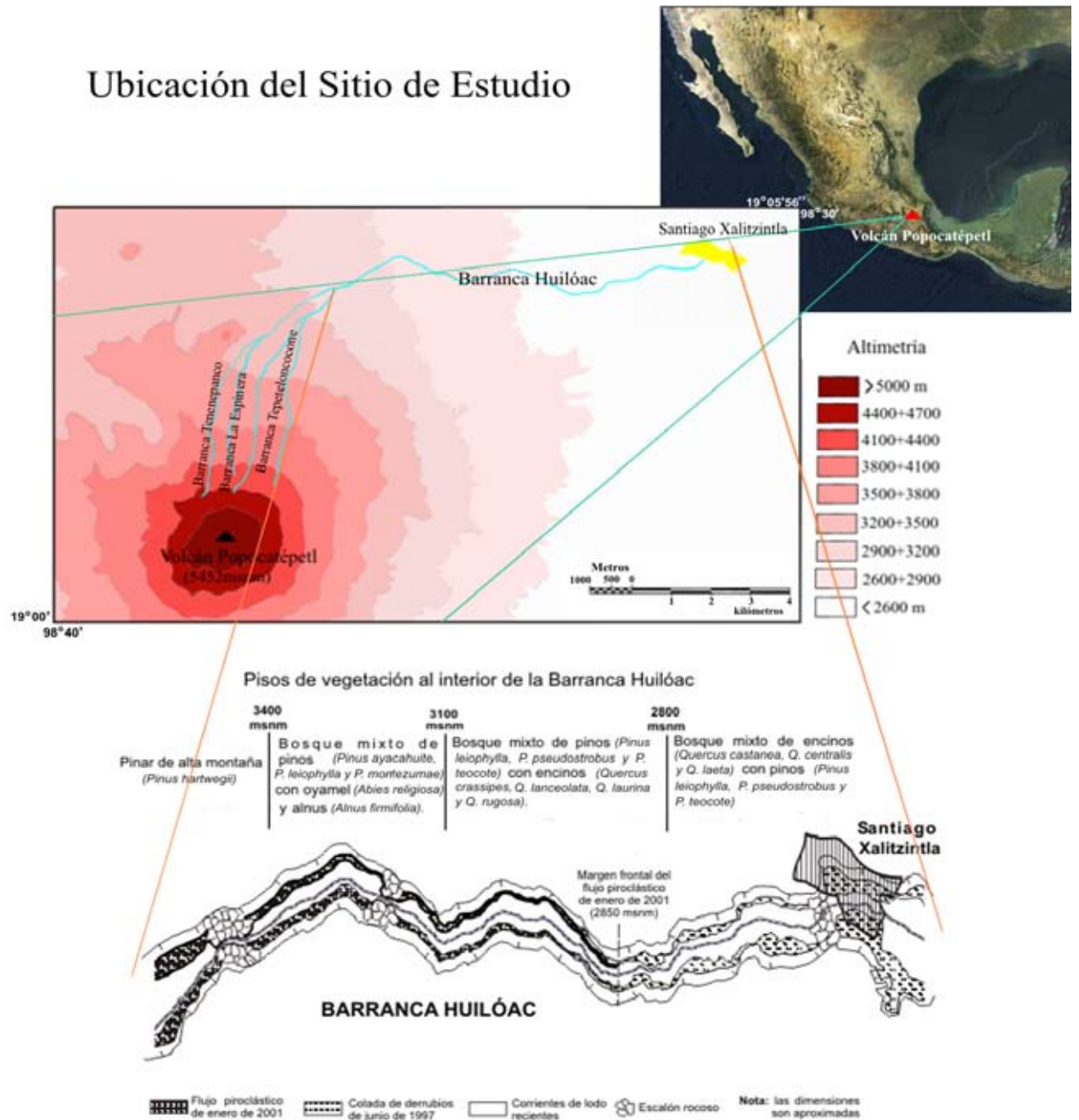


Figura 1. Ubicación y distribución de los eventos laháricos de 1997 y 2001 (modificado de Muñoz *et al.*, 2005).

## **JUSTIFICACIÓN.**

El registro biológico de áreas volcánicas activas es de gran interés, sobre todo en lo referente a la respuesta de regeneración y sucesión primaria tras disturbios (Vitousek *et al.*, 1981; Uhl y Jordan, 1984; Pimm, 1999; y Lawrence y Ripple, 2000). Dicha capacidad puede ser determinada a partir del monitoreo y el análisis de la estructura y composición vegetal, la productividad, la biomasa aérea y subaérea y la acumulación de nutrientes en el suelo (Vitousek *et al.*, 1981; Uhl y Jordan, 1984; Pimm, 1999). En esta investigación se pretende determinar el desarrollo del proceso de sucesión vegetal, identificando los distintos hábitats que ahí se encuentran, así como los factores ambientales que controlan los procesos de la regeneración vegetal. Es por ello que la realización de este estudio permitirá relacionar los procesos geológicos con los biológicos, y determinar la influencia del impacto volcánico en la biota circundante, así como la respuesta de la vegetación ante disturbios de tipo geomorfológico.

## **OBJETIVO.**

Determinar la variabilidad interna del banco y la lluvia de semillas, así como su influencia en los procesos de sucesión primaria.

Objetivos específicos:

- Documentar cómo se ha llevado a cabo el proceso de sucesión primaria en la Barranca Huilóac.
- Cuantificar la variación del banco y lluvia de semillas en diferentes comunidades vegetales asociadas a las características biofísicas y de la actividad geomorfológica del sitio de estudio.
- Identificar cual es la contribución del banco y lluvia de semillas a la sucesión vegetal.
- Identificar si factores relacionados con la morfología, procesos erosivos y acumulativos, intensidad lumínica y aporte hídrico, pueden influir en el proceso de sucesión y abundancia de semillas.

## **HIPÓTESIS.**

Debido a las condiciones morfosedimentológicas y a la actividad geomorfológica del área en estudio; habrá una variación espacio-temporal de la composición florística de las comunidades que colonizan los depósitos laháricos; lo cual se verá reflejado en el proceso de sucesión vegetal.

## **METODOLOGÍA.**

Dentro de la Barranca Huilóac se colocaron 68 parcelas, en las cuales se realizó un muestreo tanto de la sucesión primaria como la lluvia y banco de semillas, tomando en cuenta diversos puntos establecidos en superficies marginales, levées, márgenes subverticales y en el fondo de la Barranca Huilóac, mismos en los que se presentan depósitos del lahar de 1997 y 2001.

- ***Sucesión Primaria.***

Para determinar el tamaño de las parcelas de muestreo se utilizó el método de área mínima, el cual toma en cuenta la variación en el número de especies obtenidas en círculos cada vez más grandes, hasta que se establezca el número de individuos (Matteucci y Colma, 1982). Para el reconocimiento de cada punto de muestreo se colocaron postes metálicos pintados de rojo brillante, los cuales actuaron como punto central de la parcela. Ya determinados los puntos de muestreo, se registró la riqueza de especies, el número de individuos, la cobertura (porcentaje del área ocupada por la proyección perpendicular de las partes aéreas de los individuos para cada especie) y la altura de tallo del individuo más alto de cada especie. Posteriormente las especies fueron colectadas y determinadas mediante claves taxonómicas en el Herbario Nacional de México.

Análisis de los datos obtenidos.

Una vez obtenidos los datos de campo se procedió al análisis estadístico de cada parámetro y se determinaron los puntos de muestreo más representativos y los menos favorecidos en cuanto a riqueza y densidad de individuos.

- ***Muestreo de la lluvia y banco de semillas.***

Los muestreos del banco y la lluvia de semillas se realizaron en un período de 10 meses que abarcó dos temporadas la de secas y la de lluvias, de principios del mes de febrero a principios del mes de diciembre.

a) Lluvia de semillas.

Se colocaron 68 trampas de semillas de 10cm de diámetro en la superficie del suelo. Estas trampas permanecieron un periodo de 10 meses, durante el cual se realizaron colectas mensuales, a fin de evitar el daño y pérdida de información, debido a las actividades de animales o condiciones climáticas adversas. Finalmente las semillas colectadas se contaron e identificaron taxonómicamente.

b) Banco de semillas.

Para poder contabilizar la incorporación de semillas enterradas en suelo y hojarasca en determinado tiempo, se realizaron dos colectas de 20cm<sup>2</sup> de sustrato, uno al inicio y otro al término del muestreo de la lluvia de semillas. El sustrato colectado se puso a secar al aire, se tamizó y se identificaron las semillas obtenidas.

- ***Factores explicativos.***

Para determinar los factores involucrados en la sucesión vegetal se usó un análisis multifactorial (Análisis de Componentes Principales; Kendall, 1980); basándose en el registro de 5 variables ambientales: altitud, distancia al cauce, altura al cauce, exposición lumínica (Amprobe LM-80) y pH (ExStik pH100), en cada parcela establecida.

Finalmente, se utilizó el método estadístico de regresión para conocer la relación entre los factores de estudio y diversos parámetros de la vegetación: abundancia, riqueza, frecuencia y densidad de individuos tanto en el banco como en la lluvia de semillas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1 Comportamiento de las especies pioneras en el periodo de 2002 a 2007.

#### 1.1 Características de las especies pioneras dentro de la Barranca Huilóac.

Dentro del sitio en estudio de la Barranca Huilóac, correspondiente a 68 parcelas, se encontraron un total de 77 especies distribuidas en 25 familias y 51 géneros, las cuales se han registrado del periodo de 2002 a 2007, exceptuando el año 2003. Para comprender la dinámica de colonización y sucesión, las 77 especies localizadas se agruparon según su forma de vida, forma de crecimiento y ciclo de vida (Tabla 1).

**Tabla 1.** Clasificación florística de las especies presentes dentro de la Barranca Huilóac, según su forma de vida, forma de crecimiento y ciclo de vida (Raunkiaer, 1934 y Rzedowski, 1954).

Nombre científico	Familia	Forma de vida	Forma de crecimiento	Ciclo de vida
<i>Abies religiosa</i>	Pinaceae	Fanero fita	Árbol	Perenne
<i>Alchemilla procumbens</i>	Rosaceae	Came fita	Hierba postrada	Perenne
<i>Alnus firmifolia</i>	Betulaceae	Fanero fita	Árbol	Perenne
<i>Arenaria lanuginosa</i>	Caryophyllaceae	Hemicriptofito	Hierba rastrera	Perenne
<i>Arenaria reptans</i>	Caryophyllaceae	Hemicriptofito	Hierba rastrera	Perenne
<i>Arracacia sp.</i>	Apiaceae	Criptofita	Hierba erecta	Perenne
<i>Baccharis conferta</i>	Compositae	Fanero fita	Arbusto	Perenne
<i>Baccharis sp.</i>	Compositae	Fanero fita	Arbusto	Perenne
<i>Bacopa sp.</i>	Scrophulariaceae	Fanero fita	Hierba postrada	Perenne
<i>Bidens ostrutioides</i>	Compositae	Came fita	Hierba postrada	Perenne
<i>Bidens triplinervia</i>	Compositae	Came fita	Hierba postrada	Perenne
<i>Bidens triplinervia subespecie</i>	Compositae	Came fita	Hierba postrada	Perenne
<i>Buddleia cordata</i>	Loganiaceae	Fanero fita	Árbol	Perenne
<i>Castilleja arvensis</i>	Scrophulariaceae	Fanero fita	Hierba erecta	Anual
<i>Cirsium ehrenbergii</i>	Compositae	Fanero fita	Hierba erecta	Perenne
<i>Claytonia perfoliata</i>	Portulacaceae	Criptofita	Hierba erecta	Anual
<i>Conyza schiedeana</i>	Compositae	Terofita	Hierba erecta	Anual
<i>Dugesia mexicana</i>	Compositae	Fanero fita	Hierba rastrera	Perenne
<i>Echeveria secunda</i>	Crassulaceae	Came fita	Hierba arrossetada	Perenne
<i>Eryngium monocephallum</i>	Umbelliferae	Fanero fita	Hierba erecta	Perenne
<i>Eupatorium cardiophyllum</i>	Compositae	Fanero fita	Hierba erecta	Perenne
<i>Eupatorium glabratum</i>	Compositae	Fanero fita	Arbusto	Perenne
<i>Fuchsia thymifolia</i>	Onagraceae	Fanero fita	Arbusto	Perenne
<i>Gaultheria sp.</i>	Ericaceae	Fanero fita	Arbusto	Perenne
<i>Geranium mexicanum</i>	Geraniaceae	Fanero fita	Hierba erecta	Perenne
<i>Gnaphalium sp.</i>	Compositae	Hemicriptofito	Hierba erecta	Anual
<i>Gnaphalium bourgovii</i>	Compositae	Hemicriptofito	Hierba erecta	Anual
<i>Gnaphalium leptophyllum</i>	Compositae	Hemicriptofito	Hierba erecta	Anual
<i>Gnaphalium liebmannii</i>	Compositae	Hemicriptofito	Hierba erecta	Anual
<i>Gnaphalium nuvicola</i>	Compositae	Hemicriptofito	Hierba erecta	Anual
<i>Gnaphalium oxyphyllum</i>	Compositae	Hemicriptofito	Hierba erecta	Anual

<i>Gramineae sp.</i>	Gramíneae	Camefita	Hierba arrosetada	Perenne
<i>Hedyotis cervantessii</i>	Rubiaceae	Fanerofta	Hierba erecta	Perenne
<i>Heliotropium pringlei</i>	Boraginaceae	Camefita	Hierba erecta	Anual
<b>Nombre científico</b>	<b>Familia</b>	<b>Forma de vida</b>	<b>Forma de crecimiento</b>	<b>Ciclo de vida</b>
<i>Hieracium comatum</i>	Compositae	Camefita	Hierba erecta	Perenne
<i>Loeselia sp.</i>	Compositae	Fanerofta	Arbusto	Perenne
<i>Loeselia glutinosa</i>	Polemoniaceae	Camefita	Arbusto	Perenne
<i>Loeselia mexicana</i>	Polemoniaceae	Camefita	Arbusto	Perenne
<i>Lupinus campestris</i>	Leguminosae	Fanerofta	Hierba erecta	Anual
<i>Mühlenbergia ramulosa</i>	Gramineae	Camefita	Hierba arrosetada	Perenne
<i>Nassella mucronata</i>	Gramineae	Camefita	Hierba arrosetada	Perenne
<i>Notholaena aurea*</i>	Pteridaceae	Criptofita	Hierba erecta	---
<i>Pellaea ternifolia*</i>	Adiantaceae	Criptofita	Hierba erecta	---
<i>Penstemon gentianoides</i>	Scrophulariaceae	Fanerofta	Hierba erecta	Perenne
<i>Pinus sp.</i>	Pinaceae	Fanerofta	Árbol	Perenne
<i>Potentilla ranunculoides</i>	Rosaceae	Criptofita	Arbusto	Perenne
<i>Potentilla rubra</i>	Rosaceae	Criptofita	Arbusto	Perenne
<i>Ribes ciliatum</i>	Saxifragáceae	Camefita	Arbusto	Perenne
<i>Roldana lobata</i>	Compositae	Fanerofta	Arbusto	Perenne
<i>Rosaceae sp.</i>	Rosaceae	Criptofita	Arbusto	Perenne
<i>Rubus schiedeanus</i>	Rosaceae	Criptofita	Arbusto	Perenne
<i>Rumex acetosella</i>	Polygonaceae	Camefita	Hierba erecta	Perenne
<i>Salix oxylepis</i>	Salicaceae	Fanerofta	Árbol	Perenne
<i>Sedum moranense</i>	Crassulaceae	Camefita	Hierba arrosetada	Perenne
<i>Senecio barba-johannis</i>	Compositae	Fanerofta	Arbusto	Perenne
<i>Senecio callosus</i>	Compositae	Fanerofta	Hierba erecta	Perenne
<i>Senecio cinerarioides</i>	Compositae	Fanerofta	Arbusto	Perenne
<i>Senecio parayanus</i>	Compositae	Fanerofta	Hierba erecta	Perenne
<i>Senecio prenanthoides</i>	Compositae	Fanerofta	Arbusto	Perenne
<i>Senecio procumbens</i>	Compositae	Fanerofta	Hierba erecta	Perenne
<i>Senecio reticulatus</i>	Compositae	Fanerofta	Hierba erecta	Perenne
<i>Senecio roseus</i>	Compositae	Fanerofta	Hierba erecta	Perenne
<i>Sibthorpia repens</i>	Scrophulariaceae	Camefita	Hierba postrada	Anual
<i>Silybum marianum</i>	Compositae	Fanerofta	Hierba erecta	Anual
<i>Stellaria cuspidata</i>	Caryophyllaceae	Hemicriptofito	Hierba rastrera	Perenne
<i>Stellaria nemorum</i>	Caryophyllaceae	Hemicriptofito	Hierba rastrera	Perenne
<i>Stevia salicifolia</i>	Compositae	Fanerofta	Hierba erecta	Perenne
<i>Stevia tomentosa</i>	Compositae	Fanerofta	Hierba erecta	Perenne
<i>Stipa ichu</i>	Gramineae	Fanerofta	Hierba arrosetada	Perenne
<i>Trisetum irazuense</i>	Gramineae	Fanerofta	Hierba arrosetada	Perenne
<i>Trisetum kochianum</i>	Gramineae	Fanerofta	Hierba arrosetada	Perenne
<i>Tubiflorae sp.</i>	Tubiflorae (Orden)	Camefita	Hierba erecta	Anual
<i>Vaccinium caespitosum</i>	Ericaceae	Fanerofta	Arbusto	Perenne
<i>Vernonia sp.</i>	Compositae	Fanerofta	Hierba erecta	Anual
<i>Villadia batesii</i>	Crassulaceae	Camefita	Hierba erecta	Perenne
<i>Vulpia myurus</i>	Gramíneae	Camefita	Hierba arrosetada	Perenne
<i>Woodwardia spinulosa*</i>	Blechnaceae	Criptofita	Hierba erecta	---

\* Especies pertenecientes a la división Pteridophyta cuyas características no son comparables con el resto de las especies en cuanto a su ciclo de vida.

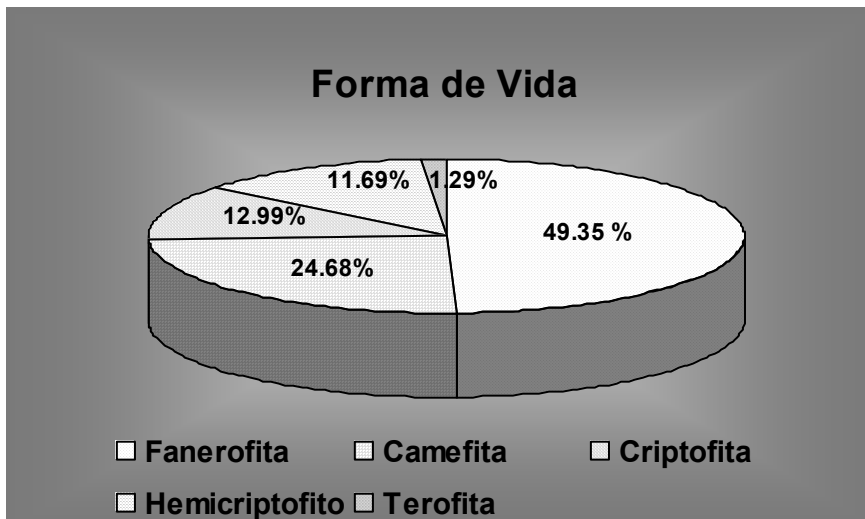
En la forma de vida las especies se clasificaron de acuerdo al Sistema Raunkiaer (1934) como:



- a) Fanerofitas; las cuales presentan yemas vegetativas por arriba de los 25cm de altura con respecto al nivel del suelo.
- b) Camefitas; sus yemas vegetativas son aéreas pero se encuentran por debajo de los 25cm.
- c) Hemicriptofitas; poseen yemas vegetativas al nivel del suelo.
- d) Criptofitas; las yemas vegetativas se encuentran por debajo del suelo.
- e) Terofitas; son plantas anuales que se mantienen en estado de semilla en condiciones adversas.

En cuanto a la forma de crecimiento, se determinó según los criterios de Rzedowski (1954), en Árbol, Arbusto o Hierba, teniendo para la Hierba una subclasificación en erecta, rastrera o arrosetada. Finalmente, el ciclo de vida de las especies se estableció mediante observación en campo y descripciones taxonómicas.

En la siguiente figura se observan los porcentajes de la forma de vida de las especies presentes en la Barranca Huilóac, las cuales reflejan la dominancia de la forma de vida fanerofita (Figura 1).



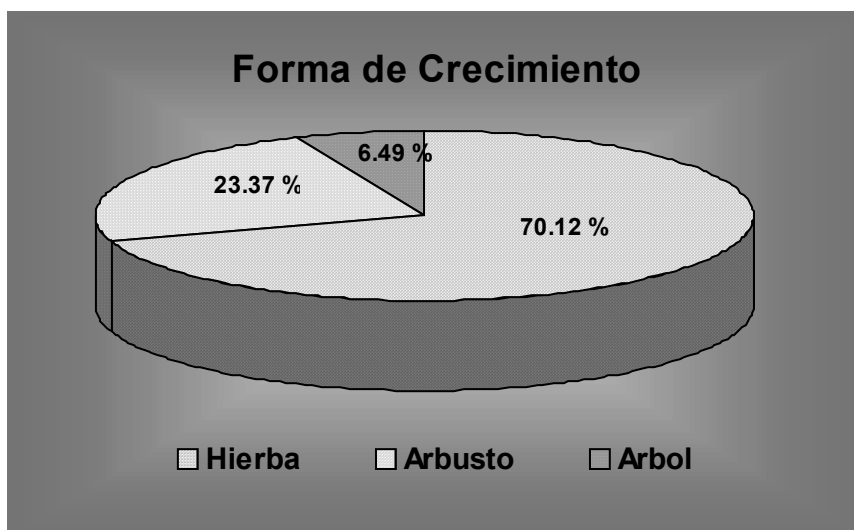
**Figura 1.** Porcentajes de forma de vida de las especies presentes dentro de la Barranca Huilóac.

De las 77 especies de plantas encontradas dentro de la Barranca Huilóac, 38 especies poseen una forma de vida fanerofita, 19 especies son camefitas, 10 son hemicriptofitas, mientras que las formas de vida criptofita tiene 9 especies y terófitas sólo está representada con 1 especie.

Las especies fanerofitas con mayor representación son las compuestas *Baccharis conferta* con un promedio de 70.92 parcelas por año -de las 68 que se muestrearon-, seguida de *Senecio barba-johannis* con un promedio de 69.19 parcelas. Con respecto a la forma de vida camefitas, la especie de mayor incidencia es *Alchemilla procumbens* de la familia Rosaceae, presente en un promedio de 29.61 parcelas; mientras que en la forma de vida hemicriptofita, se ubican las especies *Gnaphalium bourgovii* de la familia Compositae con un promedio de 41.08 parcelas y *Stellaria nemorum* de la familia Caryophyllaceae, observada en un promedio de 26.13 parcelas; asimismo en la forma de vida criptofita se ubica la especie *Pellaea ternifolia* de la familia Adiantaceae con un promedio de 15.72 parcelas. Finalmente en la forma de vida terófitas se encuentra la especie *Conyza schiedeana* registrada en un promedio de 17.18 parcelas por año.

Sin embargo, la incidencia de las formas de vida no es directamente proporcional a la incidencia individual de las especies, es decir, que el hecho de que la forma de vida fanerofita sea la más abundante no significa que todas las especies con esta forma de vida sean las de mayor representación dentro del sitio en estudio, ya que se encuentran especies con ésta característica que sólo se registraron en una sola parcela.

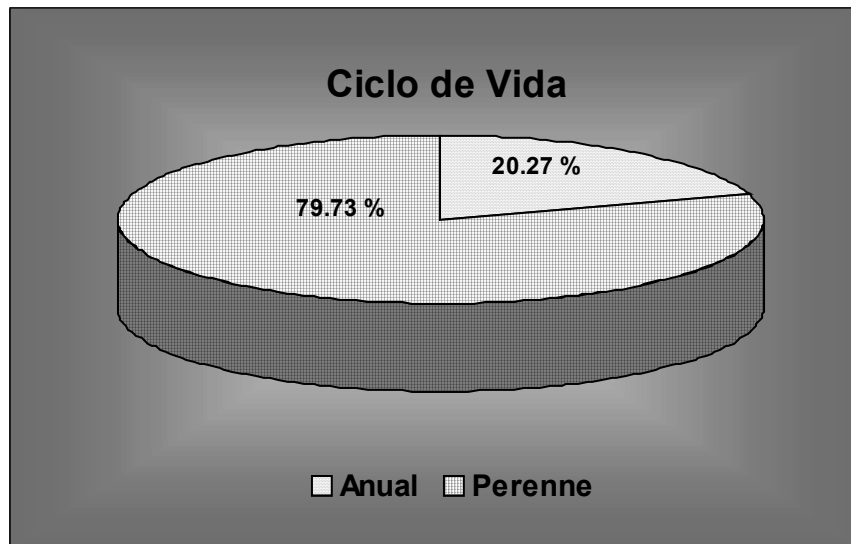
En la forma de crecimiento se registró una gran abundancia de especies del estrato herbáceo, registrando un 70.12% (Figura 2).



**Figura 2.** Porcentajes de formas de Crecimiento de las especies presentes dentro de la Barranca Huilóac.

La forma de crecimiento de mayor abundancia es la herbácea con 54 especies, seguida de la forma de arbustiva, con 16 especies y la forma arbórea que es la más escasa al sólo contar con 5 especies dentro de la barranca. Contrario a lo ocurrido con la forma de vida; en este caso las especies con mayor incidencia no pertenecen a la forma de crecimiento con mayor porcentaje (herbácea) sino a la forma de crecimiento arbustiva, siendo las especies *Baccharis conferta* y *Senecio barba-johannis*, ambas de la familia Compositae, las que obtuvieron los mayores promedios de 70.92 y 69.19 parcelas por año, respectivamente, por su parte las especies herbáceas con mayor incidencia son *Stipa ichu* de la familia Gramineae, ubicada en 39.98 parcelas y *Bacopa sp.* presente en 41.36 parcelas por año durante los cinco años de estudio. En el caso de la forma de crecimiento arbóreo la especie de más incidencia es *Abies religiosa* de la familia Pinaceae, la cual se presentó en un promedio anual de 21.71 parcelas durante el tiempo de registro para este estudio. Al igual que en la forma de vida, la incidencia individual de especies dentro de la Barranca Huilóac varía con respecto a los porcentajes de la incidencia de la forma de crecimiento.

Los ciclos de vida en las especies presentes en la Barranca Huilóac registran una mayor proporción de especies perennes con un 79.73%, mientras que las anuales representan un poco menos de la cuarta parte del total de especies (Figura 3).



**Figura 3.** Porcentajes del Ciclo de Vida de las especies presentes dentro de la Barranca Huilóac.

Dentro de la Barranca Huilóac, se observan 59 especies perennes y 15 anuales. Las especies perennes con mayor incidencia -en 68 parcelas y 5 años de estudio- son las compuestas *Baccharis conferta* presente en un promedio de 70.92 parcelas por año y *Senecio barbajohannis* ubicada en 69.19 parcelas; mientras que la especie anual de mayor incidencia es *Ribes ciliatum* de la familia Saxifragáceae, la cual fue localizada en un promedio de 39.83 parcelas.

El análisis de la forma de vida, forma de crecimiento y ciclo de vida muestra características típicas de ambientes perturbados. La abundancia de especies fanerofitas concuerda con la predominancia de especies de la familia Compositae, ya que al tener cuerpos fructíferos más elevados, la dispersión de semillas será mayor y por lo tanto su establecimiento se dará de manera más eficaz que el de especies de forma de vida de estratos más bajos (Rzedowski, 2001).

La Barranca Huilóac al ser un sitio perturbado tiene más posibilidad de que las especies se establezcan de forma continua, ya que la competencia entre ellas es mínima y no hay necesidad de que los individuos entren en latencia, contrario a lo que sucede en ambientes de mayor grado sucesional y menor estabilidad, que cuentan con la presencia de especies exóticas y afectaciones antrópicas que generan una mayor competencia por los recursos, tal y como sucede en la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel, donde existe un mayor número de especies terófitas y un menor número de fanerofitas (Castillo *et al.*, 2004)

La forma de crecimiento muestra que al ser un sitio renovado y relativamente reciente, existe en el fondo de la barranca un mayor espacio para el establecimiento de especies herbáceas. Efectivamente la Barranca Huilóac es un sitio con poco desarrollo vegetativo, ya que a partir del evento lahárico de 1997 se dió una lenta colonización que posteriormente con el evento piroclástico de 2001 se vió parcialmente afectada comenzando una nueva etapa de colonización (Muñoz *et al.*, 2005). Por ello, el estado actual de la vegetación muestra un mínimo desarrollo de especies del estrato arbóreo; mientras que en el estrato arbustivo se observa una situación intermedia entre el estrato herbáceo y el arbóreo, ésto se puede relacionar con la cantidad de especies de la familia Compositae que tienen forma de vida fanerofita tal y como se muestra en las figuras 1 y 2.

La Barranca Huilóac se encuentra dentro de un ecosistema de Bosque Templado, es decir, con más abundancia de especies perennes, las cuales se establecen de manera eficaz. Lo anterior concuerda con lo registrado en la figura 3, donde se observa que tres cuartas partes de las especies, tienen ciclos de vida perennes, mientras que en el resto son de ciclo de vida anual.

## **1.2 Comportamiento de los parámetros de la vegetación en el proceso de sucesión vegetal.**

A partir del evento lahárico del 22 de enero de 2001 dentro de la Barranca Huilóac se observó el establecimiento e intercambio de especies vegetales pioneras y secundarias en cinco años de

estudio, dando lugar al desarrollo de un proceso más complejo, conocido como sucesión vegetal (Tabla 1).

**Tabla 1.** Registro de la presencia de especies en cinco años (1= presencia, 0= ausencia).

<b>Especie</b>	<b>2002</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
<i>Abies religiosa</i>	0	1	1	1	1
<i>Alchemilla procumbens</i>	1	1	1	1	1
<i>Alnus firmifolia</i>	0	0	1	1	1
<i>Arenaria lanuginosa</i>	0	0	0	0	1
<i>Arenaria reptans</i>	0	1	1	1	1
<i>Arracacia sp.</i>	0	0	0	1	0
<i>Baccharis conferta</i>	1	1	1	1	1
<i>Baccharis sp.</i>	0	1	1	1	0
<i>Bacopa sp.</i>	1	1	1	1	1
<i>Bidens ostrutioides</i>	1	1	1	1	1
<i>Bidens triplinervia</i>	1	1	1	1	1
<i>Bidens triplinervia subespecie</i>	0	0	1	1	1
<i>Buddleia cordata</i>	0	1	1	0	0
<i>Castilleja arvensis</i>	1	1	1	1	1
<i>Cirsium ehrenbergii</i>	0	1	1	1	1
<i>Claytonia perfoliata</i>	0	1	0	0	0
<i>Conyza schiedeana</i>	1	0	1	1	1
<i>Dugesia mexicana</i>	0	0	0	0	1
<i>Echeveria secunda</i>	1	0	0	0	0
<i>Eryngium monocephallum</i>	1	1	1	1	1
<i>Eupatorium cardiophyllum</i>	0	1	1	1	1
<i>Eupatorium glabratum</i>	1	1	1	1	1
<i>Fuchsia thymifolia</i>	0	1	1	0	1
<i>Gaultheria sp.</i>	0	0	0	0	1
<i>Geranium mexicanum</i>	0	1	1	1	1
<i>Gnaphalium bourgovii</i>	1	1	1	1	1
<i>Gnaphalium leptophyllum</i>	0	0	0	1	1
<i>Gnaphalium liebmannii</i>	0	1	1	1	1
<i>Gnaphalium nuvicola</i>	0	0	0	0	1
<i>Gnaphalium oxyphilum</i>	0	0	0	1	1
<i>Gnaphalium sp.</i>	0	1	0	1	1
<i>Gramineae sp.</i>	0	0	1	1	1
<i>Hedyotis cervantessii</i>	0	1	1	1	1
<i>Heliotropium pringlei</i>	0	1	1	1	1
<i>Hieracium comatum</i>	1	1	1	1	1
<i>Loeselia sp.</i>	0	0	0	0	1
<i>Loeselia glutinosa</i>	0	1	0	0	0
<i>Loeselia mexicana</i>	0	1	1	1	0
<b>Especie</b>	<b>2002</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
<i>Lupinus campestris</i>	1	1	1	1	1
<i>Muhlenbergia ramulosa</i>	1	0	1	1	1
<i>Nassella mucronata</i>	1	1	1	1	1
<i>Notholaena aurea</i>	0	1	0	0	0
<i>Pellaea ternifolia</i>	0	1	1	1	1
<i>Penstemon gentianoides</i>	0	0	1	0	1
<i>Pinus sp.</i>	1	1	1	1	1
<i>Potentilla ranunculoides</i>	1	0	0	0	0
<i>Potentilla rubra</i>	1	0	0	0	0
<i>Ribes ciliatum</i>	1	1	1	1	1
<i>Roldana lobata</i>	1	1	1	1	1
<i>Rosaceae sp.</i>	0	1	1	0	0
<i>Rubus schiedeanus</i>	0	1	1	1	0
<i>Rumex acetosella</i>	1	1	1	1	1

<i>Salix oxylepis</i>	0	1	1	1	1
<i>Sedum moranense</i>	0	1	1	1	1
<i>Senecio barba-Johannis</i>	1	1	1	1	1
<i>Senecio callosus</i>	0	1	1	1	1
<i>Senecio cinerarioides</i>	1	1	1	1	1
<i>Senecio parayanus</i>	0	1	1	1	1
<i>Senecio prenanthoides</i>	0	1	0	0	1
<i>Senecio procumbens</i>	1	1	1	1	1
<i>Senecio reticulatus</i>	0	1	1	0	0
<i>Senecio roseus</i>	0	0	1	1	0
<i>Sibthorpia repens</i>	0	1	1	1	1
<i>Silybum marianum</i>	0	0	1	1	1
<i>Stellaria cuspidata</i>	0	1	0	0	0
<i>Stellaria nemorum</i>	0	1	1	1	1
<i>Stevia salicifolia</i>	1	1	1	1	1
<i>Stevia tomentosa</i>	0	0	1	1	1
<i>Stipa ichu</i>	0	1	1	1	1
<i>Trisetum irazuense</i>	0	1	1	1	1
<i>Trisetum kochianum</i>	1	1	1	1	1
<i>Tubiflorae</i>	0	0	0	0	1
<i>Vaccinium caespitosum</i>	0	0	1	0	0
<i>Vernonia sp.</i>	0	0	1	1	1
<i>Villadia batesii</i>	1	0	0	0	0
<i>Vulpia myurus</i>	1	0	1	1	1
<i>Woodwardia spinulosa</i>	0	1	0	0	0
<b>Total de especies</b>	<b>28</b>	<b>51</b>	<b>57</b>	<b>55</b>	<b>59</b>
Especies nuevas	28	35	10	3	7
Especies iguales		20	50	54	52
Especies desaparecidas		8	8	6	5

El intercambio de especies durante el tiempo de estudio, ha sido resultado de la capacidad de algunas especies para colonizar sitios con disturbios recientes y de la competencia interespecífica que impide el establecimiento de otras. Asimismo, cabe mencionar que durante los cinco años de estudio las especies *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Bacopa sp.*, *Bidens ostrutioides*, *B. triplinervia*, *Castilleja arvensis*, *Eryngium monocephallum*, *Eupatorium glabratum*, *Gnaphalium bourgovii*, *Hieracium comatum*, *Lupinus campestris*, *Nassella mucronata*, *Pinus sp.*, *Ribes ciliatum*, *Roldana lobata*, *Rumex acetosella*, *Senecio barba-johannis*, *S. cinerarioides*, *S. procumbens*, *Stevia salicifolia* y *Trisetum kochianum* se han mantenido desde el primer muestreo, lo que demuestra su gran capacidad para adaptarse a sitios perturbados al ser malezas.

Para entender como se ha realizado el proceso de sucesión vegetal, es necesario analizar los parámetros de la vegetación implicados en este proceso: frecuencia promedio, número de

individuos promedio, talla máxima promedio y cobertura promedio. A continuación se muestra el comportamiento de las especies para cada parámetro en los años 2002, 2004, 2005, 2006 y 2007.

#### **a) Frecuencia Promedio.**

En el año 2002 se encontraron 28 especies, siendo las de mayor incidencia dentro del total de parcelas muestreadas *Baccharis conferta*, *Bacopa sp.*, *Gnaphalium bourgovii*, *Hieracium comatum*, *Nasella mucronata*, *Senecio barba-johannis*, *S. cinerarioides*, *S. procumbens* y *Stevia salicifolia*, con valores entre 33.0 y 58.0 %. Las especies de menor incidencia fueron *Alchemilla procumbens*, *Bidens ostrutioides*, *B. triplinervia subsp.*, *Castilleja arvensis*, *Echeveria secunda*, *Eryngium monocephallum*, *Mühlenbergia ramulosa*, *Pinus sp.*, *Potentilla rubra*, *P. ranunculoides*, *Rumex acetosella*, *Villadia batesii* y *Vulpia myurus*, todas con un valor de 8.33%.

En el año 2004 se observó un avance importante en la riqueza con 51 especies -27 más que en 2002-, siendo *Baccharis conferta*, *Castilleja arvensis*, *Eupatorium cardiophyllum*, *Gnaphalium bourgovii*, *G. liebmannii*, *Roldana lobata*, *Senecio barba-johannis*, *S. procumbens* y *S. callosus* las especies de mayor incidencia con valores entre 43.0 y 73.0%. Por otro lado, las especies de menor incidencia fueron *Baccharis sp.*, *Gnaphalium sp.*, *Hedyotis cervantessii*, *Heliotropium pringlei*, *Loeselia glutinosa*, *Lupinus campestris*, *Notholaena aurea*, *Rubus schiedeanus*, *Stellaria cuspidata* y *Woodwardia spinulosa*, todas con 1.47%.

En el año 2005, la riqueza aumentó a 57 especies, siendo *Baccharis conferta*, *Castilleja arvensis*, *Eupatorium glabratum*, *Gnaphalium bourgovii*, *G. liebmannii*, *Hieracium comatum*, *Ribes ciliatum*, *Roldana lobata*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus*, *S. procumbens* y *Stipa ichu* las especies que obtuvieron la mayor frecuencia con valores que oscilan entre 42.18 y 79.68 %. Asimismo, las especies de menor incidencia fueron *Buddleia cordata*, *Mühlenbergia*



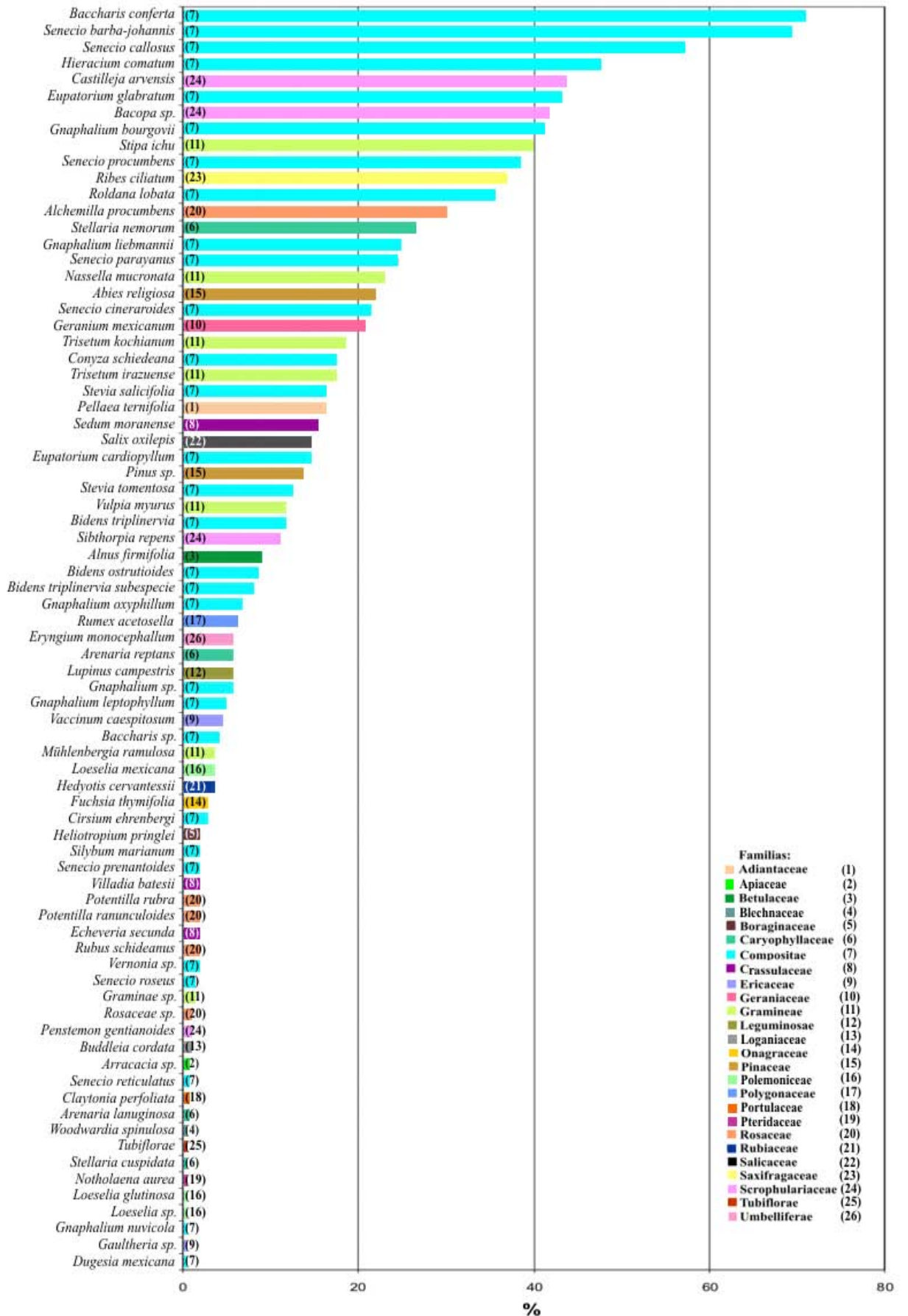
*ramulosa*, *Senecio reticulatus*, *Silybum marianum*, *Stevia salicifolia* y *Vernonia sp.*, todas ellas con una frecuencia promedio de 1.56%.

Para el año 2006 se observó un ligero descenso en la riqueza, con 55 especies -2 menos que en 2005-, de las cuales *Baccharis conferta*, *Bacopa sp*, *Castilleja arvensis*, *Eupatorium glabratum*, *Hieracium comatum*, *Roldana lobata*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus*, *S. parayanus* y *Stipa ichu* fueron las especies de mayor incidencia con valores de 41.26 a 85.71%. En tanto que las especies de menor incidencia fueron *Hedyotis cervantessii*, *Heliotropium pringlei*, *Loeselia mexicana*, *Mühlenbergia ramulosa*, *Rubus schiedeanus*, *Silybum marianum* y *Stevia salicifolia*, todas con un valor de 1.58%.

Finalmente, en el año 2007 se observó un ligero incremento en la riqueza con 59 especies, de las cuales las de mayor incidencia fueron *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Bacopa sp.*, *Castilleja arvensis*, *Eupatorium glabratum*, *Hieracium comatum*, *Ribes ciliatum*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus*, *S. parayanus*, *Stellaria nemorum* y *Stipa ichu*, registrando de 41.17 a 85.29% de frecuencia. Por otro lado *Arenaria reptans*, *Cirsium ehrenbergii* *Dugesia mexicana*, *Gnaphalium nuvicola*, *Loeselia sp.* y *Penstemon gentianoides* tuvieron la menor incidencia con 1.47%.

Estos datos reflejan la discrepancia en la incidencia de especies entre los cuatro años de estudio, con valores de frecuencia promedio muy altos o muy bajos en algunos casos, reflejando cambios en el grado de estabilidad en el tiempo para cada especie. Por ejemplo, *Stevia salicifolia*, que en el año 2002 obtuvo una incidencia de 33.0%, en el periodo de 2005 a 2006 solo alcanzó 1.58%, lo cual indica una pérdida de estabilidad en su distribución dentro del sitio de estudio.

Frecuencia Promedio (2002-07)



- Familias:
- Adiantaceae (1)
  - Apiaceae (2)
  - Betulaceae (3)
  - Blechnaceae (4)
  - Boraginaceae (5)
  - Caryophyllaceae (6)
  - Compositae (7)
  - Crassulaceae (8)
  - Ericaceae (9)
  - Geraniaceae (10)
  - Gramineae (11)
  - Leguminosae (12)
  - Loganiaceae (13)
  - Onagraceae (14)
  - Pinaceae (15)
  - Polemoniaceae (16)
  - Polygonaceae (17)
  - Portulacaceae (18)
  - Pteridaceae (19)
  - Rosaceae (20)
  - Rubiaceae (21)
  - Salicaceae (22)
  - Saxifragaceae (23)
  - Scrophulariaceae (24)
  - Tubiflorae (25)
  - Umbelliferae (26)

**Figura 4.** Promedio de la frecuencia de especies en el periodo de 2002 a 2007.

Como se muestra en la figura 4, durante los cinco años de estudio las especies que obtuvieron la mayor incidencia dentro de la Barranca Huilóac fueron *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Bacopa sp.*, *Castilleja arvensis*, *Eupatorium glabratum*, *Gnaphalium bourgovii*, *Hieracium comatum*, *Ribes ciliatum*, *Roldana lobata* *Senecio barba-johannis*, *S. callosus*, *S. procumbens* y *Stipa ichu*, con valores de 30.0 a 70.92%; en tanto que *Dugesia mexicana*, *Gaultheria sp.*, *Gnaphalium nuvicola*, *Loeselia sp.*, *Loeselia glutinosa*, *Notholaena aurea*, *Stellaria cuspidata* y *Woodwardia spinulosa* fueron las de menor incidencia con 0.29% del total de parcelas monitoreadas. Por lo tanto, el número de parcelas en que habita cada una de las especies es muy variado, desde un sólo punto hasta distribuirse de manera uniforme en todas las parcelas, tal como ocurre con las especies de las familias Compositae, Gramineae y Scrophulariaceae, lo que podría sugerir una mayor estabilidad por parte de especies con mayor distribución y una recién colonización de las especies con menor incidencia.

#### **b) Abundancia Promedio.**

En el registro del año 2002 se encontraron 637 individuos, de los cuales las especies de mayor abundancia fueron *Bacopa sp.*, *Hieracium comatum*, *Nassella mucronata*, *Senecio barba-johannis*, *S. procumbens*, y *Stevia salicifolia*, cuya abundancia promedio oscila entre 3.08 y 11.58 individuos por parcela. Por otro lado, *Eryngium monocephallum*, *Lupinus campestris*, *Ribes ciliatum*, *Pinus sp.*, *Potentilla rubra* y *Villadia batesii* fueron las especies de menor abundancia con menos de 2 individuos en el total de parcelas.

En el año 2004 se registraron 5443 individuos, siendo *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Eupatorium glabratum*, *Gnaphalium bourgovii*, *Hieracium comatum*, *Salix oxylepis*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus* y *S. procumbens* las especies de mayor abundancia promedio con 3.05 a 11.01 individuos por parcela. Asimismo, las especies *Baccharis sp.*, *Lupinus campestris*, *Rubus schiedeanus*, *Senecio reticulatus*, *Stellaria cuspidata* y *Woodwardia spinulosa* fueron las de menor abundancia con sólo 1 individuo en el total de parcelas.

En el muestreo del año 2005 se encontraron 5841 individuos -398 más que en 2004-, siendo *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Eupatorium glabratum*, *Gnaphalium bourgovii*, *Hieracium comatum*, *Nassella mucronata*, *Ribes ciliatum*, *Salix oxylepis*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus* y *S. procumbens* las especies de mayor abundancia con un promedio de 3.04 y 11.06 individuos por parcela. En tanto que las especies de menor abundancia fueron *Bidens ostrutioides*, *Heliotropium pringlei*, *Senecio roseus*, *Silybum marianum* y *Stevia salicifolia* con menos de 2 individuos por parcela.

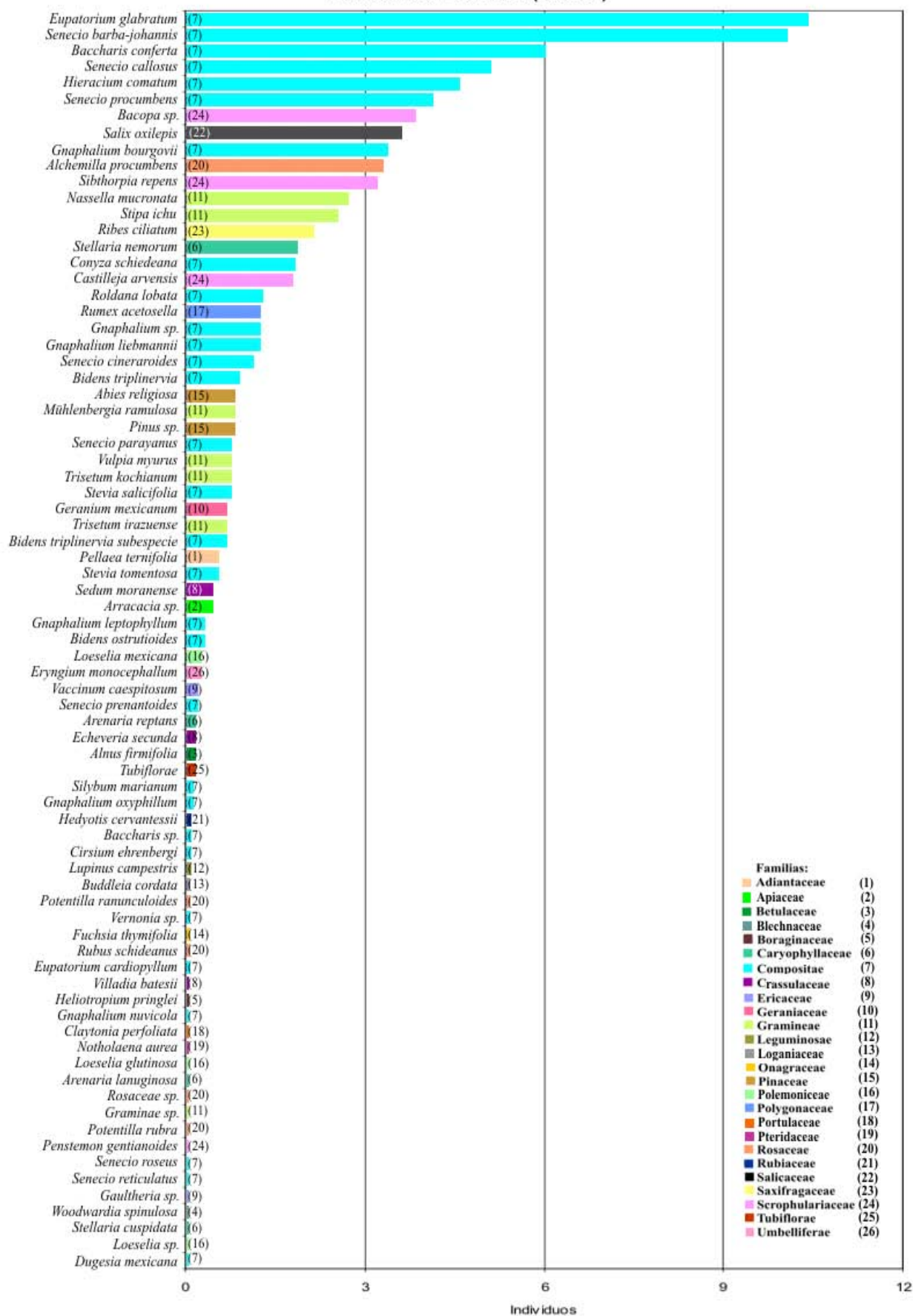
En el año 2006 se encontraron 6930 individuos -1089 mas que en 2005-, siendo las especies de mayor abundancia *Baccharis conferta*, *Bacopa sp.*, *Castilleja arvensis*, *Conyza schiedeana*, *Eupatorium glabratum*, *Hieracium comatum*, *Nassella mucronata*, *Salix oxylepis*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus* y *Sibthorpia repens*, con promedios que oscilan entre 3.11 y 13.06 individuos por parcela. Por otro lado, *Hedyotis cervantessii*, *Mühlenbergia ramulosa*, *Rubus schiedeanus*, *Silybum marianum* y *Stevia salicifolia* tuvieron la abundancia mas baja con sólo 1 individuo en el total de parcelas.

Por último, en el año 2007 se registraron 7675 individuos -745 más que en el año anterior-, siendo *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Eupatorium glabratum*, *Gnaphalium sp.*, *Hieracium comatum*, *Mühlenbergia ramulosa*, *Pinus sp.*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus*, *Stipa ichu* y *Stellaria nemorum* las especies de mayor abundancia promedio, con 3.0 y 19.51 individuos por parcela. En cambio, las especies de menor abundancia fueron *Loeselia sp.*, *Gnaphalium nuvicola*, *Dugesia mexicana* y *Cirsium ehrenbergii* con sólo 1 individuo en el total de parcelas.

Estos datos reflejan el indiscutible desarrollo en el incremento de la masa vegetal durante el periodo de estudio, evidenciando la eficacia del proceso de sucesión vegetal en el restablecimiento de la comunidad. Aunque, en la mayoría de los años de estudio se observaron

diferencias en los promedios de abundancia para cada especie en cada parcela; sin embargo, el promedio de todos los años mostró la notable contribución por parte de las especies de las familias Compositae, Gramineae, Rosaceae, Salicaceae y Scrophulariaceae (Figura 5).

Abundancia Promedio (2002-07)



- Familias:
- (1) Adiantaceae
  - (2) Apiaceae
  - (3) Betulaceae
  - (4) Blechnaceae
  - (5) Boraginaceae
  - (6) Caryophyllaceae
  - (7) Compositae
  - (8) Crassulaceae
  - (9) Ericaceae
  - (10) Geraniaceae
  - (11) Gramineae
  - (12) Leguminosae
  - (13) Loganiaceae
  - (14) Onagraceae
  - (15) Pinaceae
  - (16) Polemoniaceae
  - (17) Polygonaceae
  - (18) Portulacaceae
  - (19) Pteridaceae
  - (20) Rosaceae
  - (21) Rubiaceae
  - (22) Salicaceae
  - (23) Saxifragaceae
  - (24) Scrophulariaceae
  - (25) Tubiflorae
  - (26) Umbelliferae

**Figura 5.** Promedio de la Abundancia de especies presentes en la Barranca Huilóac, durante el periodo 2002-2007.

Durante los cinco años de estudio las especies con mayor abundancia promedio fueron *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Bacopa sp.*, *Eupatorium glabratum*, *Gnaphalium bourgovii*, *Hieracium comatum*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus*, *S. procumbens*, *Salix oxylepis*, y *Sibthorpia repens* con valores de entre 3.19 y 10.36 individuos por parcela. En cambio *Dugesia mexicana*, *Gaultheria sp.*, *Loeselia sp.*, *Senecio reticulatus*, *S. roseus*, *Stellaria cuspidata* y *Woodwardia spinulosa* fueron las especies de menor abundancia, con la presencia de sólo 1 individuo durante todo el periodo muestreo. Por lo tanto, la abundancia promedio mostró que las especies que registraron altos valores desde el primer muestreo -las cuales pertenecen a las familias Compositae, Gramineae y Scrophulariaceae- son las que han prosperado en número de individuos, indicando su eficacia para establecerse y desarrollarse en sitios perturbados y contribuyendo así con el mayor aumento de la masa vegetal dentro de la Barranca Huilóac.

### **c) Talla Máxima Promedio.**

En el año 2002 la talla máxima promedio tuvo valores muy bajos, siendo *Baccharis conferta*, *Bidens ostrutioides*, *Castilleja arvensis*, *Conyza schiedeana*, *Eupatorium glabratum*, *Nassella mucronata*, *Senecio cineraroides* y *Trisetum Kochianum* las especies de mayor desarrollo con valores de 3.0 a 11.0cm. Asimismo, *Bidens triplinervia subespecie* y *Pinus sp.*, fueron las especies de menor altura con una talla máxima de 1cm.

En 2004, a tres años del evento lahárico, las especies de mayor talla promedio fueron *Baccharis conferta*, *Castilleja arvensis*, *Eupatorium glabratum*, *Gnaphalium bourgovii*, *Roldana lobata*, *Salix oxylepis*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus*, *S. cineraroides*, *S. procumbens*, y *Trisetum irazuense*, las cuales variaron entre 4.27 y 29.08cm. Por otro lado, *Heliotropium pringlei*, *Rubus schiedeanus*, *Senecio reticulatus* y *Stellaria cuspidata* registraron una talla máxima de menos de 4cm colocándose como las especies de menor desarrollo.

En el año 2005 la talla máxima promedio disminuyó con respecto al año anterior, siendo los valores más altos los registrados por las especies *Baccharis conferta*, *Eupatorium glabratum*, *Gnaphalium bourgovii*, *Hieracium comatum*, *Salix oxylepis*, *Senecio barba-johannis* y *S. callosus* que fluctuaron entre 4.48 y 11.06cm. Por otra parte, las especies de menor talla fueron *Arenaria reptans*, *Buddleia cordata*, *Heliotropium pringlei*, *Mühlenbergia ramulosa*, *Rubus schiedeanus*, *Senecio roseus*, *Sibthorpia repens* y *Stevia salicifolia*, con valores de talla máxima de menos de 7cm.

En el año 2006 se observó un considerable aumento en el estrato herbáceo y arbustivo dentro del sitio de estudio, siendo *Baccharis conferta*, *Castilleja arvensis*, *Conyza schiedeana*, *Eupatorium glabratum*, *Roldana lobata*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus*, *Stevia tomentosa* y *Stipa ichu* las especies de mayor talla promedio (11.05 y 41.90cm). Asimismo, *Cirsium ehrenbergii*, *Gnaphalium sp.*, *Hedyotis cervantessii*, *Mühlenbergia ramulosa*, *Rubus schiedeanus* y *Stevia salicifolia* fueron las especies de menor talla máxima promedio con menos de 9cm.

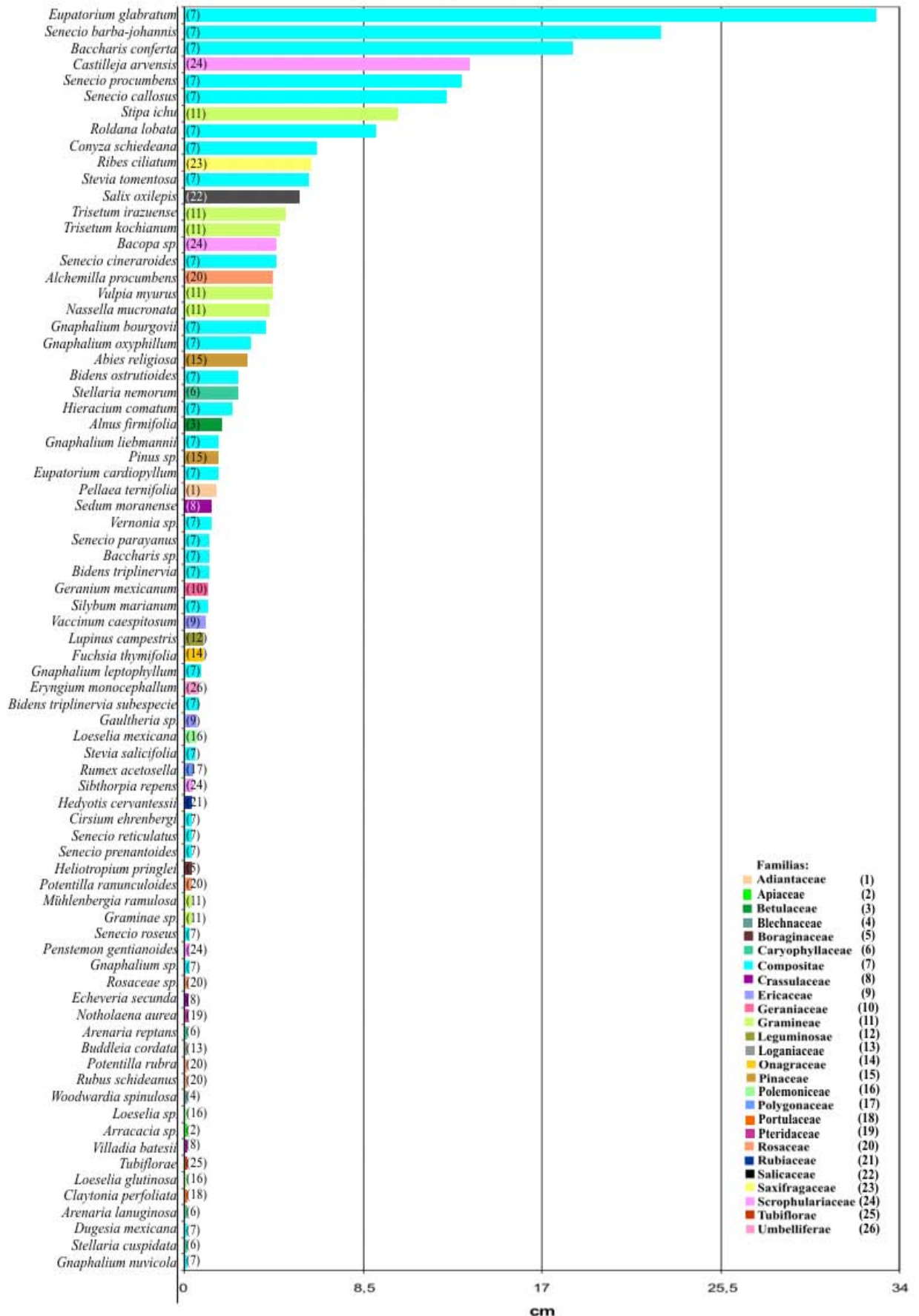
Por último, en el año 2007 la altura máxima promedio reflejó el dominio de las especies *Baccharis conferta*, *Castilleja arvensis*, *Eupatorium glabratum*, *Ribes ciliatum*, *Roldana lobata*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus*, *Stevia tomentosa*, *Stipa ichu* y *Vulpia myurus*, con tallas de entre 11.61 y 70.54cm. Por su parte, las especies de menor talla máxima fueron *Arenaria reptans*, *Cirsium ehrenbergii*, *Dugesia mexicana*, *Gnaphalium nuvicola* y *Penstemon gentianoides*, con valores de menos de 6cm.

Estos resultados muestran que mientras en los primeros años el desarrollo vertical de las plantas fue mínimo, con un registro de individuos de 11cm de altura como máximo; sin embargo, a través del tiempo la talla máxima promedio ha reflejado la diferenciación de los estratos dentro



del sitio de estudio. Un ejemplo es la especie arbustiva *Eupatorium glabratum* que entre 2002 y 2007 paso de 6.41cm, a 70.54cm.

### Talla Máxima Promedio (2002-07)



**Figura 6.** Promedio de la Talla Máxima de las especies presentes en la Barranca Huilóac, durante el periodo de 2002 a 2007.

La figura 6 muestra que en los cinco años de estudio las especies de mayor talla dentro de la Barranca Huilóac fueron *Baccharis conferta*, *Castilleja arvensis*, *Conyza schiedeana*, *Eupatorium glabratum*, *Ribes ciliatum*, *Roldana lobata*, *Salix oxylepis*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus*, *S. procumbens*, *Stevia tomentosa* y *Stipa ichu*, con promedios de entre 5.34 y 32.73cm. Asimismo, *Arenaria lanuginosa*, *Claytonia perfoliata*, *Dugesia mexicana*, *Gnaphalium nuvicola*, *Loeselia glutinosa* y *Stellaria cuspidata* fueron las especies de menor talla, con menos de 7cm durante todo el periodo muestreo. Cabe destacar que la mayoría de las especies de tallas grandes pertenecen a la forma de crecimiento herbácea, lo que sugiere que éste es el estrato mejor definido, no obstante, los valores en la talla máxima promedio han aumentado de manera constante cada año en la mayoría de las especies, por lo que se puede esperar que con el paso del tiempo se diversifique el resto de los estratos vegetales.

#### **d) Cobertura.**

En el año 2002 la cobertura vegetal fue mínima, siendo las especies más favorecidas *Baccharis conferta*, *Bacopa sp.*, *Conyza schiedeana*, *Nassella mucronata* y *Senecio procumbens* con valores que varían entre 1.8 y 5.5%. Por su parte, *Pinus sp.*, *Potentilla rubra* y *Villadia batesii* fueron las especies de menor cobertura con 1% cada una.

En el año 2004 se observó poco desarrollo de la cobertura de la mayoría de las especies, siendo *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Eupatorium glabratum*, *Senecio barba-johannis*, *S. cinerarioides*, *S. procumbens* y *Stipa ichu* las especies con mayor cobertura promedio, de entre 1.05 y 4.91%. En la cobertura más baja se ubicaron las especies *Baccharis sp.*, *Hedyotis cervantessii*, *Heliotropium pringlei* y *Rubus schiedeanus* con 1% cada una.

El estado de la vegetación en el año 2005 mostró un ligero aumento en la cobertura, siendo *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Eupatorium glabratum*, *Gnaphalium bourgovii*, *Salix oxylepis*, *Senecio barba-johannis*, *Sibthorpia repens*, *Stellaria nemorum* y *Stipa ichu* las

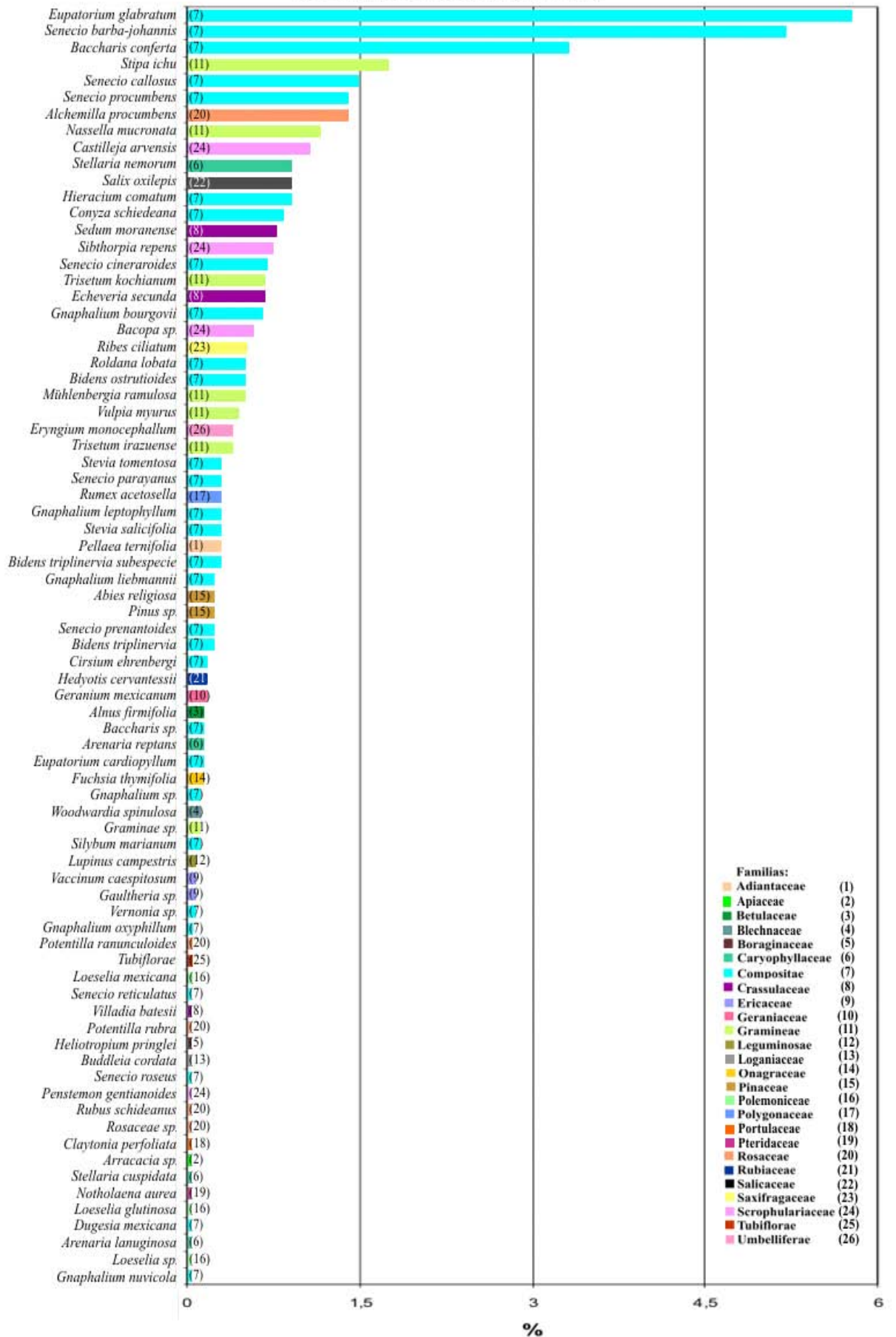
especies de mayor cobertura dentro de la barranca, con promedios de entre 1.02 y 5.12%. En cambio, las especies de menor cobertura fueron *Bidens ostrutioides*, *Buddleia cordata*, *Senecio roseus*, y *Stevia salicifolia*, con 1%.

En el muestreo de 2006 la cobertura promedio registró los valores más altos en las especies *Baccharis conferta*, *Eupatorium glabratum*, *Conyza schiedeana*, *Salix oxylepis*, *Senecio barba-johannis*, *Stellaria nemorum* y *Stipa ichu*, con valores entre 1.51 y 8.38%. Asimismo, *Gnaphalium sp.*, *Hedyotis cervantessii*, *Muhlenbergia ramulosa*, *Rubus schiedeanus*, *Silybum marianum* y *Stevia salicifolia*, fueron las especies de menor cobertura con 1%.

Finalmente, en 2007 la cobertura aumentó de manera considerable respecto al año anterior, siendo *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Eupatorium glabratum*, *Muhlenbergia ramulosa*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus* y *Stipa ichu* las especies de mayor cobertura promedio, con valores que fluctuaron entre 1.91 y 18.50%. Por otro lado, *Cirsium ehrenbergii*, *Gnaphalium nuvicola*, *Loeselia sp.* y *Penstemon gentianoides* tuvieron la cobertura más baja con 1%.

La variación temporal de la cobertura promedio dentro de la Barranca Huilóac reflejó un escaso desarrollo de la vegetación en los primeros años, así como un pronto y acelerado proceso de adaptación de nuevas especies e incremento de la masa vegetal, en los subsecuentes. El avance fue más evidente en el último año, al pasar de 8.38% de cobertura promedio máxima en 2006 a 18.50% en 2007.

Cobertura Promedio (2002-07)

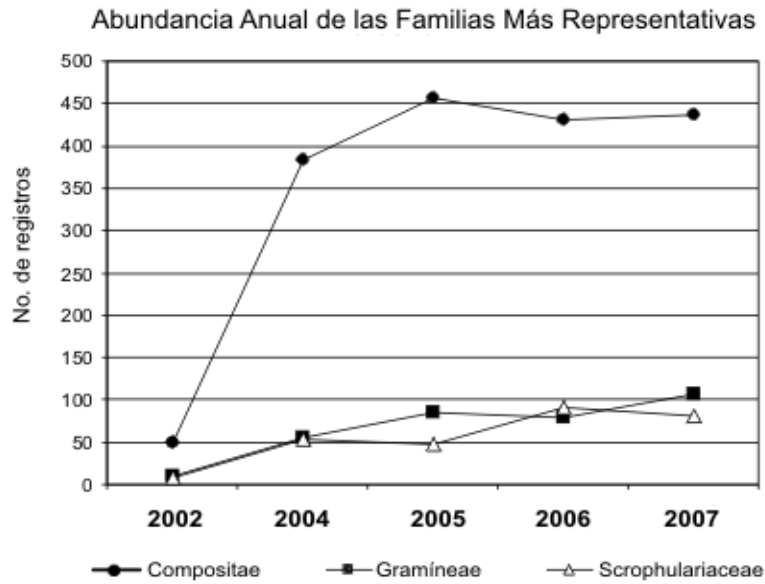


**Figura 7.** Promedio de la Cobertura de las especies presentes en la Barranca Huilóac, durante el periodo 2002-2007.

Como se muestra en la figura 7, las especies *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Castilleja arvensis*, *Eupatorium glabratum*, *Nassella mucronata*, *Senecio barba-johannis*, *S. callosus*, *S. procumbens* y *Stipa ichu* presentaron la mayor cobertura con valores que oscilan entre 1.05 y 5.74 %. Por su parte, las especies *Arenaria lanuginosa*, *Dugesia mexicana*, *Gnaphalium nuvicola*, *Loeselia sp.*, *L. glutinosa*, *Notholaena aurea* y *Stellaria cuspidata* fueron las de menor cobertura con un promedio de 1%. Dados los valores tan bajos de cobertura promedio de los cinco años de estudio se puede asumir que tras el evento lahárico del 22 de enero de 2001, el fondo de la Barranca Huilóac presenta un ambiente de sucesión poco desarrollado. Sin embargo, el comportamiento de los parámetros de la vegetación refleja un continuo proceso de sucesión vegetal, así como una gran eficacia de las especies de las familias Compositae, Gramineae y Scrophulariaceae para establecerse en sitios perturbados al presentar los valores más altos de cobertura promedio.

Asimismo, la distribución de las frecuencias es homogénea entre las especies de estas familias a lo largo de todo el sitio de estudio, es decir, no se restringen a unas cuantas parcelas. En cuanto al número de individuos, las especies más abundantes son las pertenecientes a las mismas tres familias, las cuales contrastan con la mayoría de las especies que registran una abundancia escasa, sugiriendo un estado de sucesión mínimo y caracterizado por un mayor número de plantas pioneras (que presentan valores muy bajos en los parámetros de la vegetación) que de secundarias (que poseen valores altos en los parámetros de la vegetación). Los estados sucesionales se ven reflejados en la altura promedio, que favorece al estrato herbáceo y a algunas especies arbustivas y arbóreas de baja talla y reciente establecimiento.

A lo largo de los cinco años de registro fue evidente la dominancia de las especies pertenecientes a las familias Compositae, Gramineae y Scrophulariaceae; cuyos valores en los parámetros analizados, sobrepasan por mucho a los obtenidos por el resto de las familias (figura 8).



**Figura 8.** Abundancia de las familias de mayor incidencia dentro de la Barranca Huilóac

En la abundancia de las familias de mayor representatividad, es notoria su dominancia a lo largo de los años, comenzando en el 2002 con valores muy bajos, producto del reciente disturbio ocurrido dentro de la barranca. En el caso de la familia Compositae, en el año 2004 se disparan los valores al pasar de 50 registros en 2002 a casi 400 en 2004; en los siguientes años se observa un aumento constante con ligeras fluctuaciones, alcanzando en 2005 el valor más alto con 456 registros, y terminando en 2007 con 437. La familia Gramíneae y Scrophulariaceae mantuvieron una abundancia muy similar en los años 2002 y 2004; sin embargo, en el año 2005 se observa un descenso en la Scrophulariaceae y un aumento en la Gramíneae. No obstante, en los siguientes años nuevamente presentan valores similares, con un ligero descenso en la familia Scrophulariaceae.

El análisis comparativo de los resultados muestra, que de las 77 especies registradas en el sitio de estudio, 14 son consideradas como las especies de mayor estabilidad al estar presentes desde el primero hasta el último de los registros, obteniendo en cada fecha los promedios más altos de incidencia. Dichas especies son: *Alchemilla procumbens*, *Baccharis conferta*, *Castilleja arvensis*, *Eupatorium glabratum*, *Gnaphalium Bourgovii*, *Gnaphalium liebmannii*, *Hieracium*

*comatum*, *Nassella mucronata*, *Ribes ciliatum*, *Roldana lobata*, *Senecio barba-johannis*, *Senecio cinerarioides*, *Senecio procumbens* y *Trisetum kochianum* (Ver apéndice).

## **2 Variabilidad del comportamiento de los parámetros de la vegetación.**

La actividad lahárica del Volcán Popocatepetl y la dinámica geomorfológica propia de la Barranca Huilóac son los principales factores que han contribuido a la formación y destrucción de ambientes que afectan de manera directa a los procesos de colonización (García y Muñoz, 2002). En concreto, se han identificado tres tipos de hábitats de distintas características y funcionalidad dentro de la barranca (Muñoz *et al.*, 2005):

- a) Terrazas. Los flujos hiperconcentrados que de manera sistemática recorren el cauce de la barranca han incidido los materiales laháricos que cubrieron su fondo en 1997 y 2001, modelando sobre ellos pequeñas terrazas que en la actualidad aparecen parcialmente desmanteladas por efecto de las mismas corrientes que las originaron. Funcionalmente, este tipo de hábitat se caracteriza por una fuerte inestabilidad debida a constantes procesos de erosión y acumulación de sedimentos finos que limitan el establecimiento de la vegetación.
- b) Lahar de 1997. Los depósitos están formados por gravas, arenas, lodos y arcillas (Capra *et al.*, 2004) que se distribuyen a manera de franjas angostas y discontinuas adosadas a las laderas principales de la Barranca Huilóac. No obstante que este tipo de hábitat corresponde al de mayor desarrollo de la vegetación primo-colonizadora, funcionalmente está afectado por los procesos de caída de detritos y derrumbes que ocurren en las laderas altas de la barranca.
- c) Lahar del 2001. Los depósitos se distribuyen a manera de franjas angostas pero más o menos continuas, formadas por clastos pumíticos y andesíticos, inmersos en una matriz arenosa y de color gris (Capra *et al.*, 2004). Debido a su posición intermedia entre las terrazas o el fondo de la barranca y los depósitos del lahar de 1997, este tipo de hábitat



presenta una mayor estabilidad, la cual ha sido de gran importancia para el desarrollo reciente de una importante cubierta vegetal.

Cabe destacar que de las 68 parcelas que se estudiaron, 57 corresponden al lahar del 2001, 8 al lahar de 1997 y 3 a las terrazas del fondo. Sin embargo, debido a los fuertes procesos geomorfológicos, el número de parcelas ha variado a lo largo del periodo de estudio principalmente en los depósitos del lahar de 1997 y de las terrazas, donde la disponibilidad de hábitats se ha reducido considerablemente.

### **2.1 Riqueza Promedio.**

En el año 2002 la colonización primaria consistió en 27 especies, de las cuales 13 se distribuyeron en 8 parcelas del lahar del 2001, 21 especies en 3 parcelas del lahar de 1997 y sólo una especie en una parcela de las terrazas. El promedio total de la riqueza de especies por parcela fue de 2.25, siendo el dato más alto alcanzado por las parcelas del lahar de 1997 con 7.0 especies por parcela, mientras que en el lahar de 2001 el promedio fue de 1.62. En el hábitat de las terrazas sólo se encontró una especie en una parcela.

En el año 2004 el número total de especies se incrementó a 55, en tanto que la riqueza de especies por parcela disminuyó a 0.08. Del total de especies, 52 fueron localizadas en 59 parcelas del lahar del 2001, con un promedio 0.88 especies por parcela. En el lahar de 1997 se encontraron 28 especies, con un promedio de 5.6 especies por parcela, y en el hábitat de las terrazas 21 especies en 4 parcelas que promediaron 5.25 especies por parcela.

En el año 2005 nuevamente se registró un incremento del número total de especies que pasó a 60, en tanto que la riqueza de especies por parcela ascendió a 0.94. Cabe destacar un fuerte incremento de la colonización en el lahar del 2001, cuyas 51 parcelas registraron las 60 especies, con un promedio de 1.1 especies por parcela. Asimismo, el lahar de 1997 mostró en sus 4 parcelas un registro de 28 especies, con un promedio de 5.6 especies por parcela. Por

ultimo, en las 4 parcelas del hábitat de las terrazas se registraron 30 especies con 7.5 de promedio por parcela.

Para el año 2006 el total de especies retrocedió a 57, promediando 0.9 especies por parcela. Esta caída afectó ligeramente a los distintos tipos de hábitats, por ejemplo, en el lahar del 2001 se registraron 55 especies en 55 parcelas, con 1.0 especies por parcela. En el lahar de 1997 se obtuvieron 26 especies en 4 parcelas, con un promedio de 6.5 y, en el hábitat de las terrazas, 25 especies en 4 parcelas que promediaron 6.25 especies por parcela.

Finalmente, en el año 2007 la riqueza total tuvo un ligero ascenso a 58 especies que promediaron 0.86 especies por parcela. En el lahar del 2001 la riqueza fue de 56 especies en 57 parcelas que promediaron 0.98 especies por parcela. En el lahar de 1997 hubo 31 especies en 8 parcelas, con 3.88 especies por parcela, en tanto que en las terrazas se encontraron 25 especies ubicadas en 3 parcelas, con un promedio de 8.33 especies por parcela.

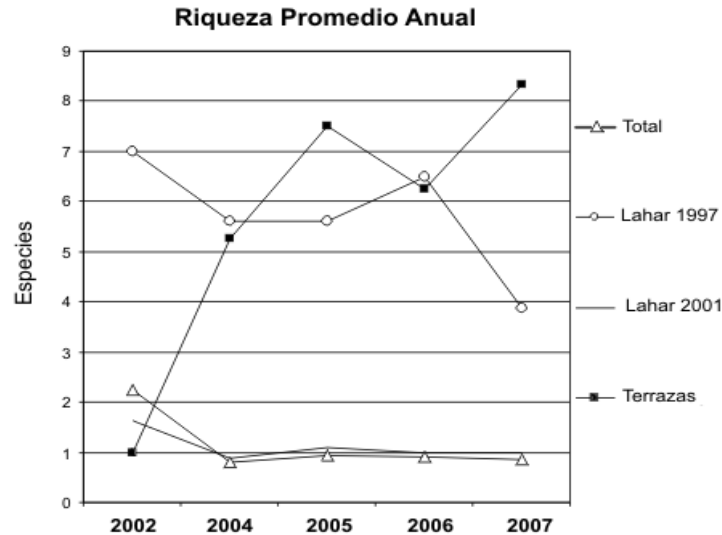


Figura 1. Riqueza en todas las parcelas en los distintos tipos de hábitat presentes en la Barranca Huilóac.

La variación de la riqueza de especies entre los distintos hábitats está en gran medida controlada por la dinámica geomorfológica. Por ejemplo, el inestable desarrollo de la vegetación que

caracteriza al hábitat de las terrazas se explica por una alta exposición a corrientes hídricas que ocasionan una constante pérdida de la estructura física del hábitat.

En el caso del lahar de 1997, su vegetación es la más madura dentro de la barranca, sin embargo, está expuesta a eventos destructivos, principalmente derrumbes que eliminan la vegetación y causan inestabilidad, resultando en las tendencias negativas observadas en la riqueza de especies.

Por su parte, las parcelas del lahar del 2001 muestran una riqueza de especies muy desfavorable, no obstante su posición poco expuesta a factores que afecten su estabilidad, lo cual podría incrementar la probabilidad de sobrevivencia de las plantas por la mayor disposición de recursos. Sin embargo, esto se puede explicar debido a la reciente formación del depósito que se traduce en un mínimo grado de madurez en la comunidad.

Los promedios de riqueza de especies durante los años de estudio fluctuaron ampliamente entre los distintos tipos de hábitat. Sin embargo, se observa entre ellos una tendencia hacia un constante incremento de la riqueza de especies, principalmente en el caso de las terrazas, siendo el año 2007 el de mayor avance con un promedio de 8.33 especies por parcela. En cambio, en el lahar de 1997 se registró un decremento de la riqueza promedio en los dos últimos años, al pasar de 5.6 especies por parcela en 2005, a 3.88 en 2007.

Durante el periodo de estudio la colonización primaria mostró una notable transición, desde un estado caracterizado por la alta heterogeneidad de la composición florística de los distintos hábitats hacia estados de mayor desarrollo caracterizados por el incremento de la riqueza promedio. Este proceso de madurez de la colonización vegetal fue posible gracias a una alta disponibilidad de recursos (principalmente de espacio y luz) que contribuyeron a la incorporación gradual y constante de nuevas especies.

## 2.2 Abundancia Promedio.

En el año 2002 la abundancia promedio por parcela fue de 53.08 individuos, con un rango de 1 a 132 individuos por parcela. Mientras que en el lahar de 1997 la abundancia fue de 64.66 individuos y un rango de 33 a 88 individuos por parcela, en el lahar del 2001 la abundancia fue similar al promedio general con 55.25 individuos y en el caso del hábitat de las terrazas solo 1 individuo por parcela.

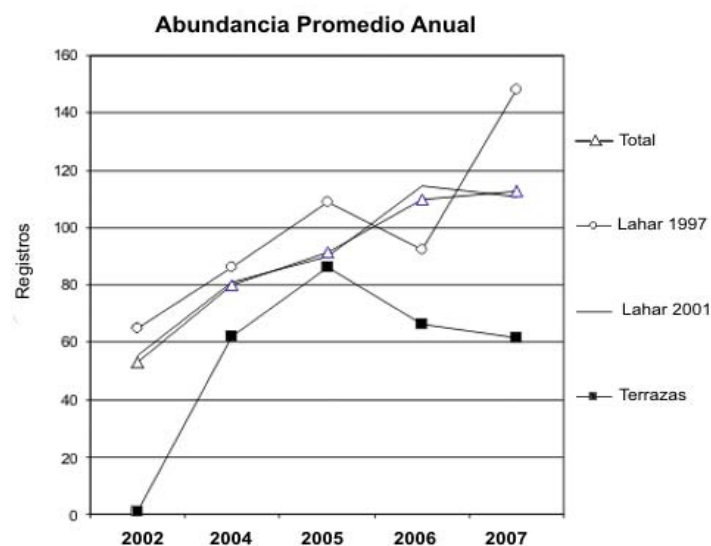
En el año 2004 la abundancia promedio total se incrementó a 80.04 individuos, con un rango de 8 a 146 individuos por parcela. Estos datos se debieron a notables incrementos en todos los hábitats, por ejemplo, en las parcelas del lahar de 1997 la abundancia promedio fue de 86 individuos, con un mínimo de 63 y un máximo de 143. En el lahar del 2001 la abundancia promedio fue de 80.72, con un rango de 8 a 146 individuos por parcela. Por su parte, el hábitat de las terrazas obtuvo 62 individuos por parcela con un rango de 34 a 75 individuos.

Los registros para el año 2005 fueron muy similares, con un total de 91.27 individuos por parcela, existiendo parcelas sin vegetación y otras con hasta 142 individuos. En el lahar de 1997 la abundancia promedio fue de 109 individuos, con un rango de 82 a 142 individuos por parcela. Por su parte, en el lahar del 2001 se registraron parcelas sin vegetación y otras con hasta 135 individuos, promediando 90.04 individuos por parcela. Asimismo, en el hábitat de las terrazas el promedio fue de 86 individuos por parcela y un rango comprendido entre 35 y 125 individuos.

En el año 2006 la abundancia promedio por parcela se incrementó a 110 individuos, con un margen de 24 a 293 individuos por parcela. En el lahar de 1997 el promedio fue de 92.25 individuos por parcela, con un rango de 24 a 128 individuos. En caso del lahar del 2001 se tuvo la abundancia promedio más alta de este año, con 114.45 individuos y un rango de 50 a 293 individuos por parcela. Finalmente, el hábitat de las terrazas registró el menor promedio con 66.5 y un rango de 37 a 97 individuos por parcela.

La abundancia promedio del año 2007 mostró un ligero incremento al colocarse en 112.9 individuos, variando entre los 21 y 345 individuos por parcela. En el lahar de 1997 el promedio fue mayor, con 148 individuos por parcela y un rango de 235 y 54 individuos. Para el lahar del 2001 el promedio fue de 110.7 individuos, con un amplio margen de 21 a 345 individuos por parcela. En el caso de las terrazas, la abundancia promedio bajó a 61.66 individuos por parcela con un margen de 45 a 75 individuos.

La Figura 2 muestra que la evolución de la abundancia promedio por parcela fue similar entre los hábitats del lahar del 2001 y del lahar de 1997, en los cuales la abundancia promedio se incrementó de manera considerable y contraria al caso del hábitat de las terrazas, donde el promedio ha sido claramente inestable. La abundancia promedio del lahar de 1997 mostró un fuerte crecimiento tras el evento volcánico del año 2001 y se mantuvo así hasta el 2005. En el año 2006 se observó un importante decremento seguido de una mayor recuperación en 2007, alcanzando un balance general positivo en cinco años de evolución.



**Figura 2.** Promedio del numero de individuos en todas las parcelas en los distintos tipos de hábitat presentes en la Barranca Huilóac.

En el caso del lahar del 2001 la abundancia promedio se incrementó de manera notable durante los primeros años, alcanzando en el 2006 su punto más alto, tras el cual mostró una caída poco

significativa en el año 2007. En el caso de las terrazas la evolución de la abundancia promedio ha sido muy diferente, ya que a partir de un sólo individuo por parcela en el año 2002, el promedio ascendió rápidamente hasta el año 2004, acercándose a los promedios observados en el resto de los hábitats y, en el año 2005, obtuvo su registro mas alto y similar al promedio del lahar del 2001.

Sin embargo, a partir del año 2006 su abundancia promedio cayó hasta niveles parecidos a los que tenía en el año 2004. Cabe destacar que, no obstante la abundancia promedio del lahar de 1997 ha sido siempre superior a la registrada en el lahar del 2001, en éste último el rango de número de individuos por parcela ha sido mucho mayor, sugiriendo un activo y constante proceso de colonización y remplazamiento de individuos.

### **2.3 Talla Máxima Promedio.**

En el año 2002 la talla máxima promedio en el total de las parcelas fue de 17.91cm, con datos extremos que van de 5 a 65 cm. Sin embargo, los resultados son bastante dispares entre el lahar del 2001 y las terrazas, con respecto al lahar de 1997, que obtuvo los datos más altos. Así, mientras que en las parcelas correspondientes al lahar de 1997 la talla máxima promedio fue de 50cm, teniendo el individuo mas alto 65cm y el mas bajo 10cm; las parcelas del lahar del 2001 obtuvieron una talla máxima promedio de sólo 6.87cm, fluctuando entre los 5 y 10cm. Finalmente, en el hábitat de las terrazas el dato correspondió a una sola especie con 10cm de talla.

En el año 2004 los promedios de las tallas máximas fueron muy similares entre los distintos tipos de hábitats. El promedio total fue de 55.3cm con individuos de entre 14 y 241cm. En el lahar de 1997 se registró el promedio más alto de los tres hábitats con 79cm y datos extremos que van de 30 a 152cm. En el caso de lahar del 2001 el promedio de las tallas fue menor al obtener 59.9cm, aunque alcanzó un rango más amplio de tallas que va de los 14 a 241cm. En

cambio, en el hábitat de las terrazas el rango de las tallas se restringió de 55 a 72cm con un promedio de 59.7cm, muy similar al obtenido por el lahar del 2001.

En el año 2005 el promedio total de las tallas fue de 63.16cm y los datos extremos entre los 18 y 170cm, mostrando una diferencia notable entre los promedios de los distintos tipos de hábitats. Nuevamente, el lahar de 1997 mostró el promedio de tallas más alto con 111.12cm, y datos extremos que van de 77 a 148cm. Por su parte, el lahar del 2001 incluyó a los individuos con las tallas más altas (18 a 170cm), con un promedio de 58.56cm. Finalmente, en las terrazas se observó una talla promedio de 66.25cm y datos extremos que oscilan entre 45 y 92cm.

Para el año 2006 el promedio total de las tallas máximas fue de 77.58cm, con individuos de entre 33 y 190cm, habiendo escasa variación entre los distintos tipos de hábitats. Por ejemplo, mientras que en el lahar de 1997 se observó el promedio más alto con 108.5cm e individuos de entre 70 y 187cm; en el lahar del 2001 el promedio fue menor, con 75.01cm, aunque con un rango más holgado entre las tallas extremas que alcanzaron 33 y 190cm. En las parcelas correspondientes al hábitat de las terrazas el rango se limita a individuos de 48 a 120cm con un promedio de 82cm.

Finalmente, en el año 2007 el promedio total de las tallas máximas fue de 99.11cm, con individuos de entre los 45 y 276cm. El comportamiento de los hábitats fue similar al de los años anteriores, siendo el lahar de 1997 donde se obtuvo el promedio más alto de 118cm, con un rango entre los 60 y 210cm. En el lahar del 2001 el promedio fue mas bajo, de 94.66cm, aunque con un rango mayor que va de los 45 a los 276cm. Por su parte, en el hábitat de las terrazas el promedio aumentó a 132.3cm con un rango de 119 a 150.

Los promedios de las tallas en el lahar de 1997 son superiores en todos los años, reiterando que no obstante la inestabilidad debida a la caída de material desde las partes altas del barranco, en este caso la situación favorable se explica por una mayor antigüedad del depósito con respecto al de los otros hábitats, lo cual permite una mayor permanencia de individuos de tamaños muy

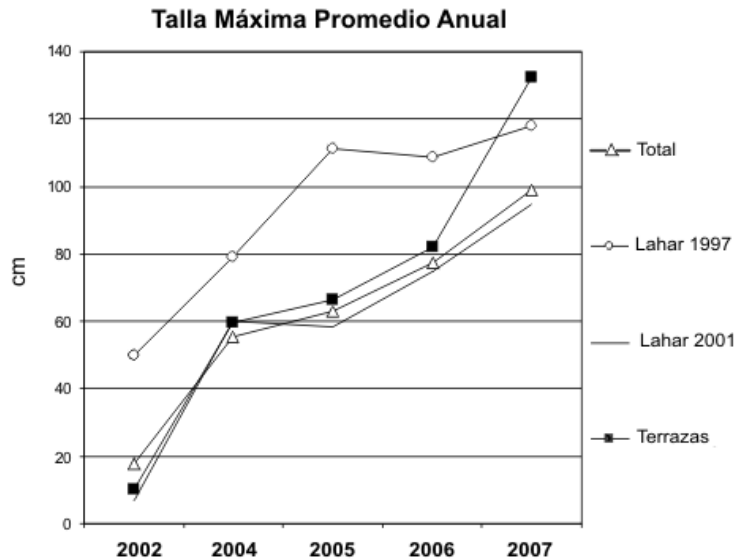
altos; es decir, que en este depósito el rango de altura es muy limitado, ya que a excepción de los primeros años, no se registraron individuos con tallas inferiores a los 30cm (Figura 3).

A pesar de que en el hábitat del lahar del 2001 se observa un promedio de tallas inferior al del lahar de 1997, los rangos entre los individuos más altos y más bajos son mayores, permitiendo suponer una mayor variabilidad de la estructura vertical de las comunidades.

En cuanto al hábitat de las terrazas, los promedios de las tallas fueron mayores que en el lahar de 2001, presentando, además, individuos con mayor altura mínima que en el lahar de 1997. Incluso, cabe destacar que algunas de las especies encontradas son arbustivas, sugiriendo que, no obstante la fuerte inestabilidad geomorfológica de las terrazas, existe una mínima estabilidad que ha sido suficiente para el establecimiento y desarrollo de una importante cubierta vegetal. Sin embargo, hay que destacar que los datos en torno al caso de las terrazas deben tomarse con cautela debido al escaso número de parcelas analizadas.

La Figura 3 muestra un notorio incremento temporal de los promedios de las tallas máximas de la vegetación, siendo los datos obtenidos para el lahar de 1997 muy superiores a los registrados en los otros hábitats. Esta situación sugiere para el lahar de 1997 un mayor desarrollo vegetal, posiblemente asociado, no sólo a la mayor edad del depósito sino quizás a una rápida recuperación favorecida por una mayor estabilidad ambiental desde los primeros años.





**Figura 3.** Promedio de la talla del individuo más alto en todas las parcelas en los distintos tipos de hábitat presentes en la Barranca Huilóac.

Asimismo, cabe destacar que en el año 2007 la talla máxima promedio en las terrazas tuvo un fuerte incremento que sobrepasó al promedio de las tallas registradas en el lahar de 1997. Sin embargo, dada la inestabilidad característica del hábitat de las terrazas, es viable predecir que este inesperado aumento no se mantendrá en los próximos años.

Por otra parte, el hecho de que en los hábitats del lahar del 2001 y las terrazas se observen tallas máximas promedio inferiores a las del lahar de 1997 se explica por una mayor disponibilidad de recursos, tales como nutrientes y luz que permiten nuevas incorporaciones de especies, principalmente herbáceas, situación que es característica de hábitats de más reciente formación.

Es evidente la existencia de una diferenciación de estratos vegetales con el paso de los años en cada hábitat, lo cual sugiere que en los próximos años las parcelas del lahar de 1997, donde las laderas no presenten derrumbes, alcancen el ambiente de mayor grado de estabilidad de la barranca.

#### 2.4 Cobertura Promedio.

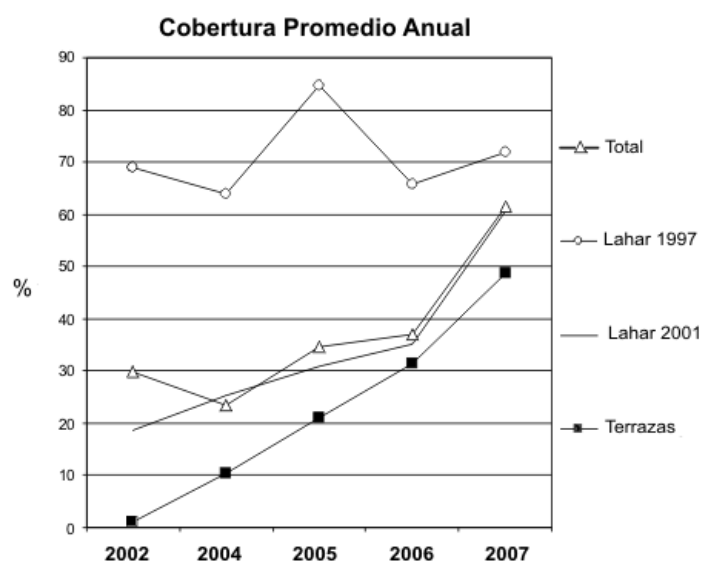
En el año 2002 la cobertura vegetal promedio para el total de las parcelas de estudio fue de 29.8%, con un amplio margen de variación de 1 a 87% por parcela. Además, el comportamiento de este parámetro fue muy heterogéneo entre los distintos tipos de hábitats, siendo el lahar de 1997 el que obtuvo los mayores registros, con 69% de cobertura promedio y un rango de 33 a 87%. En segunda posición se ubicó el lahar del 2001, con una cobertura promedio de 18.6% y un rango de 1 a 52%. Por su parte, el hábitat de las terrazas mostró el peor escenario, con tan sólo un individuo que representó el 1% de la cobertura.

De manera inesperada, en el año 2004 la cobertura promedio total mostró un retroceso al colocarse en 23.43%, con un margen de variación de 5 a 89% por parcela. El retroceso se debió principalmente a que en el lahar de 1997 la cobertura promedio cayó a 64%, con un rango de cobertura de 32 a 89%. En cambio, en el lahar del 2001 la cobertura promedio ascendió a 25.29%, con un rango de 5 a 79%; y en el hábitat de las terrazas también se registró un incremento de la cobertura promedio que se ubicó en 10.5%, con un rango mínimo de 8 a 12%.

Para el año 2005 la cobertura promedio total mostró una notable recuperación, al colocarse en 34.55%, con un amplio margen de variación de entre 0 y 108% de cobertura promedio por parcela. Este dato resultó de claros incrementos en las coberturas promedio de los distintos hábitats. Así, en el hábitat del lahar de 1997 el promedio de la cobertura creció a 84.6%, con rango de 56 a 108% por parcela; en el lahar del 2001 el promedio creció a 30.98% con un rango de 0 a 63%; y en el hábitat de las terrazas el promedio alcanzó 21%, con un rango de 8 a 32% de cobertura por parcela.

En el año 2006 la cobertura promedio total mostró un ligero incremento al registrar 36.94%, con un rango de 7 a 118% de cobertura por parcela. La variación entre los promedios obtenidos en los diferentes hábitats fue menor con respecto al año anterior, por ejemplo, en el lahar de 1997 la cobertura promedio fue de 65.87%, con un margen de entre 29 y 118% por parcela; asimismo, en el lahar del 2001 el promedio fue de 35.24%, con parcelas de 7 a 81%; en tanto que en las terrazas el promedio fue de 31.37%, con coberturas de 10 a 60% por parcela.

Finalmente, en el año 2007 la cobertura promedio total obtuvo el más notable incremento del periodo de estudio, al alcanzar 61.4 % para el total de las parcelas, con una rango de 12 a 159% por parcela. El incremento de la cobertura se debió a datos favorables en los distintos hábitats, por ejemplo, en el lahar de 1997 la cobertura promedio fue de 72%, con un rango de 44 a 103%, mientras que en el lahar del 2001 se observó un promedio de 60.6%, con un amplio rango de 12 a 159%. En el caso del hábitat de las terrazas la cobertura promedio fue de 48.7%, con un margen mas estrecho de 30 a 72%.



**Figura 4.** Promedio de las coberturas en todas las parcelas en los distintos tipos de hábitat presentes en la Barranca Huilóac.

La cobertura promedio entre los diferentes hábitats y a lo largo del periodo de estudio fue bastante heterogénea; ya que si bien se observa la tendencia al incremento, esta no es similar en todos los ambientes. En el caso del lahar de 1997 es evidente tanto la superioridad de cobertura como las fluctuaciones que ha tenido. En el 2002 una cobertura de poco menos de 70%, la cual descendió en el 2004 a 64%, alcanzando el valor mas alto en el 2005 con 85%; sin embargo, no logra mantener ese estado y decae en el 2006 a 65.87%, para finalmente en el 2007 llegar a 72%. Por otro lado, en el lahar de 2001 el aumento en la cobertura se registró de manera constante hasta el año 2006, y aumentando de manera abrupta en 2007 llegando a 60.6%. La cobertura concerniente a terrazas se comportó de manera muy similar a la de lahar de 2001;

comenzando con una cobertura casi nula en el 2002, siguiendo una tendencia a aumentar los promedios año con año de manera muy sutil y constante, para finalizar en el 2007 con una cobertura mayor a la que se observó en el lahar de 2001 en el año 2006.

La menor cobertura se registró en las zonas más cercanas al cauce de la Barranca Huilóac (terrazas), y aumentó hacia las paredes de la misma (lahar de 1997), tal y como se observa en la figura 4. Lo anterior puede ser consecuencia de la edad de los depósitos presentes en el sitio de estudio, ya que al haber una mayor actividad geomorfológica en las parcelas de terraza, pues la colonización es menor con respecto a las parcelas del lahar de 2001, las cuales son además, un poco más antiguas y por lo tanto tienen mayor presencia de vegetación.

Los rangos de cobertura revelan, como ya se había mencionado, que existen sitios dentro de la Barranca Huilóac que poseen una escasa presencia de vegetación y otros en los que la diversidad de especies es considerable. También es necesario recordar que las parcelas de lahar de 2001 tienen la mayor distribución dentro del sitio de estudio y por lo tanto, son las que mejor reflejan el estado y dinámica de la vegetación.

En resumen, durante los cinco años de registro se observa un incremento en todos los parámetros considerados para el estudio de la vegetación en los tres hábitats monitoreados (Lahar 2001, Lahar 1997 y Terrazas), observándose los valores más altos el lahar de 1997, lo cual se puede relacionar con la mayor antigüedad del depósito. Por otro lado, el hecho de que se hayan registrado los valores más bajos en las parcelas concernientes al hábitat de las terrazas se atribuye a la gran inestabilidad geomorfológica que se presenta en este ambiente. Es notoria la baja densidad, riqueza, cobertura y estratos de vegetación en el año 2002, lo cual es característico del proceso tanto de regeneración como de colonización presente en el sitio en estudio.

El evento lahárico del 22 de enero de 2001 provocó una gran alteración en la vegetación del lahar de 1997, la cual tenía un desarrollo continuo de casi cuatro años; sin embargo, también estimuló el proceso de sucesión vegetal, intercalando ambientes de sucesión avanzada con

ambientes de primeras etapas de colonización, lo cual se evidencia en todos y cada uno de los datos arrojados durante el registro del año 2002 comparados con los del resto de los años, los cuales se caracterizan por la gran heterogeneidad presente entre los diferentes hábitats estudiados. Dado lo anterior, es notable tanto el aumento de especies como de cobertura dentro de la Barranca Huilóac al paso de los años; por tanto la diferenciación de estratos dentro de la barranca se ha venido constituyendo de manera gradual y constante.

### 3 Banco y lluvia de semillas y su relación con otros factores de la Sucesión Vegetal.

#### 3.1 Características del banco y lluvia de semillas.

En el monitoreo de la lluvia de semillas durante un periodo de 10 meses (de febrero a noviembre del 2007), se colectaron en la lluvia de semillas un total de 106,556 semillas, pertenecientes a 29 especies, 23 géneros y 9 familias. Por su parte, en el banco de semillas se registraron 134,446 semillas concernientes a 13 especies, 13 géneros y 7 familias. Es necesario destacar que en los resultados de la lluvia y del banco de semillas *Alnus firmifolia*, seguida de *Abies religiosa*, fueron las especies dominantes. En la siguiente figura se observa la abundancia por familia tanto del banco como de la lluvia de semillas.

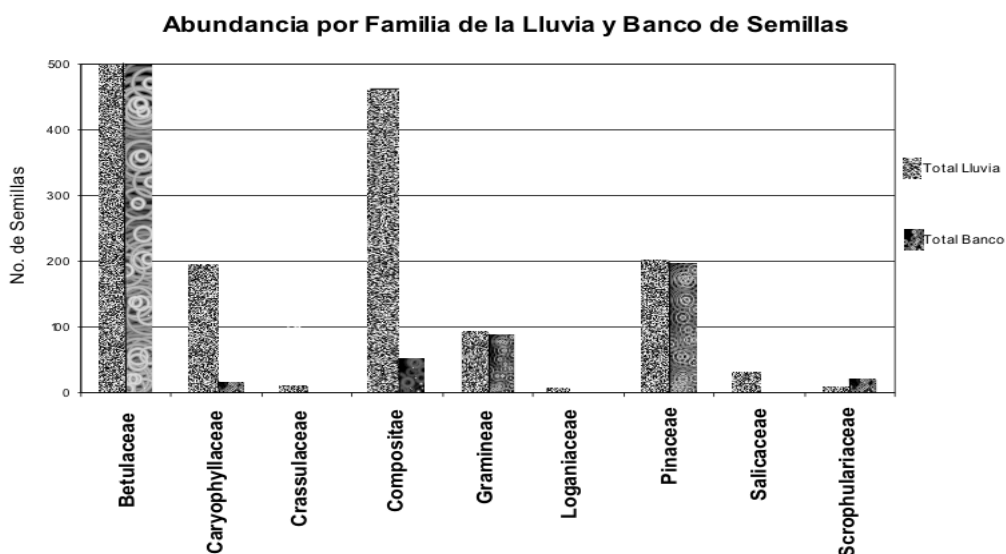


Figura 1. Abundancia por Familia del total de Lluvia y Banco de Semillas colectadas en la Barranca Huilóac.

Es notable la dominancia de semillas pertenecientes a la familia Betulaceae, constituyendo tanto en el banco como en la lluvia de semillas con más del 99% de las semillas colectadas. En el resto de las familias se observan porcentajes menores al 0.2%. Sin embargo, se destaca la presencia de semillas correspondientes a las familias de más alta dominancia en la sucesión vegetal: Compositae, Gramíneae y Scrophulariaceae. A pesar de la baja densidad de semillas, los individuos de estas familias logran prosperar y establecerse más rápidamente, respaldando la hipótesis de que poseen una mayor capacidad de colonización con respecto al resto de las familias observadas en la sucesión, donde de las 25 familias restantes también presentes en la sucesión se registraron sólo 6 en la lluvia y 2 en el banco.

**a) Lluvia de Semillas.**

La Figura 2 muestra el porcentaje de las 29 especies registradas en la lluvia de semillas destacando una desproporcionada cantidad de semillas de la especie *Alnus firmifolia* (99.08% del total), con respecto al resto de las especies.



Figura 2. Porcentaje de la Lluvia de Semillas por Especie.

En el porcentaje de especies con presencia en la lluvia de semillas se observa que la mayor diversidad se encuentra en menos del 0.2% del total de las semillas colectadas, teniendo a las especies *Abies religiosa*, *Baccharis conferta* y *Arenaria lanuginosa* en el rango más alto de 0.15 a 0.2%, seguidas de *Senecio cinerarioides* que se encuentra en el rango de 0.1 a 0.15%. El resto de las especies se ubica en el rango más bajo de 0 a 0.05% siendo *Vulpia myurus* la de mayor porcentaje con 0.04% y *Buddleia cordata*, *Senecio prenanthoides* y *Stevia tomentosa* las especies de menor porcentaje con 0.001% de la composición total de la lluvia de semillas.

En la abundancia promedio por especie nuevamente se observa que *Alnus firmifolia* presenta la mayor proporción en relación al resto de las especies teniendo un promedio de 1567 semillas por trampa.

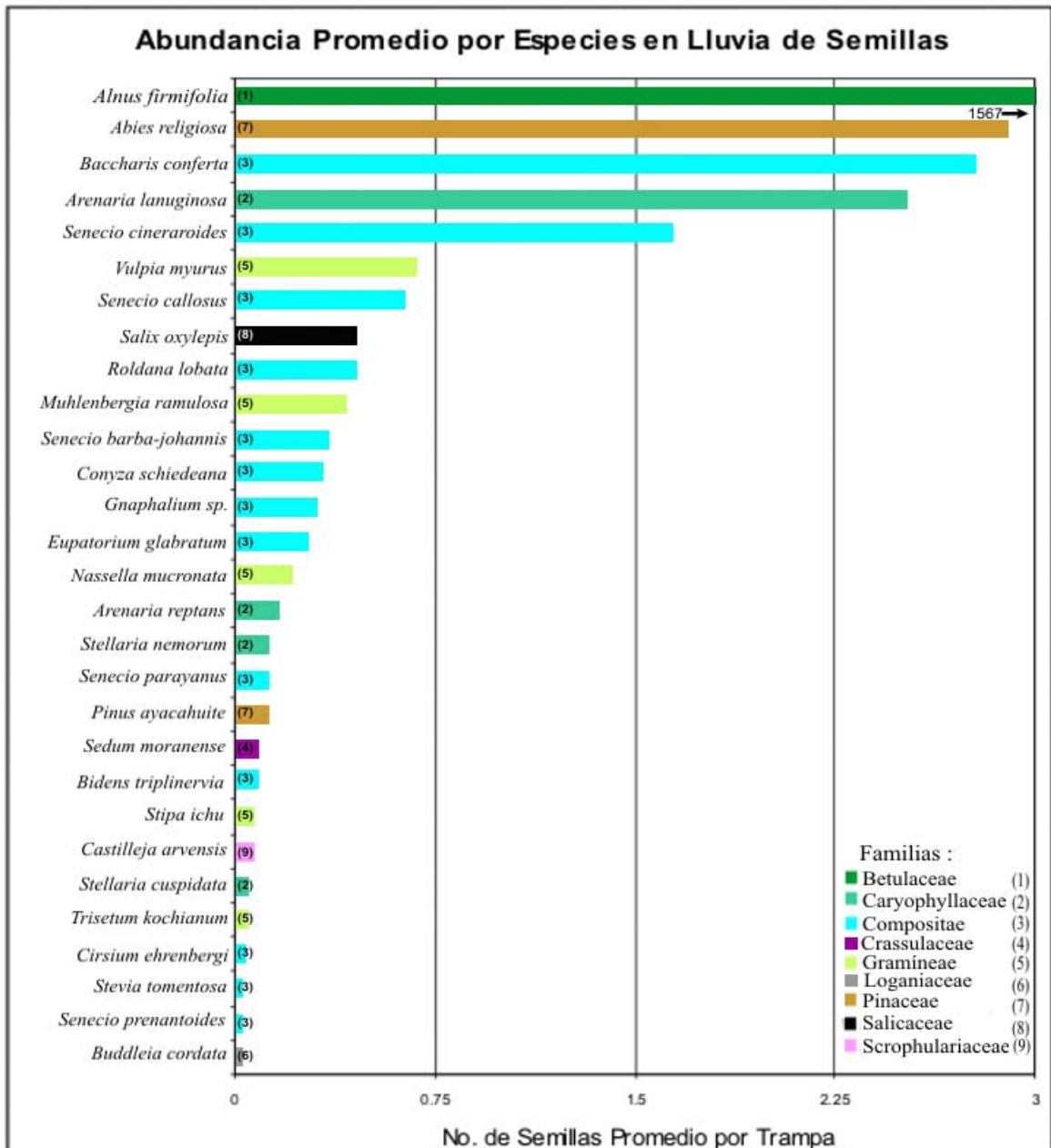


Figura 3. Abundancia Promedio de Lluvia de Semillas por Trampa.

Por otro lado, las especies *Abies religiosa*, *Baccharis conferta* y *Arenaria lanuginosa* promedian entre 2.25 y 3 semillas por trampa, en tanto que *Senecio cinerarioides* se ubica entre 1.5 y 2.25 semillas por trampa. En el último rango se localizan las especies con promedio



inferior a 0.75 semillas por trampa, siendo *Vulpia myurus* la de mayor promedio con 0.67 semillas por trampa y *Buddleia cordata*, *Senecio prenantoides* y *Stevia tomentosa* las de menor promedio con 0.15% semillas por trampa (Figura 3).

Tanto en el porcentaje como en la abundancia promedio los rangos más altos fueron dominados por especies de las familias Betulaceae, Pinaceae, Compositae y Caryophyllaceae, en tanto que en los rangos más bajos la familia predominante fue la Compositae con 11 especies, seguida de Gramíneae con 5 especies y Caryophyllaceae con 3 especies. El resto de las especies pertenecen a las familias Salicaceae, Pinaceae, Crassulaceae, Scrophulariaceae y Loganiaceae.

Al igual que en el estudio de la sucesión vegetal, en el banco y lluvia de semillas, el muestreo se realizó en distintos tipos de hábitats que corresponden a depósitos de terrazas, lahar de 1997 y lahar de 2001, los cuales fueron descritos en el capítulo anterior.

En la siguiente gráfica se observa la distribución de la riqueza mensual de especies de la lluvia de semillas, en los distintos tipos de hábitats dentro de la Barranca Huilóac.

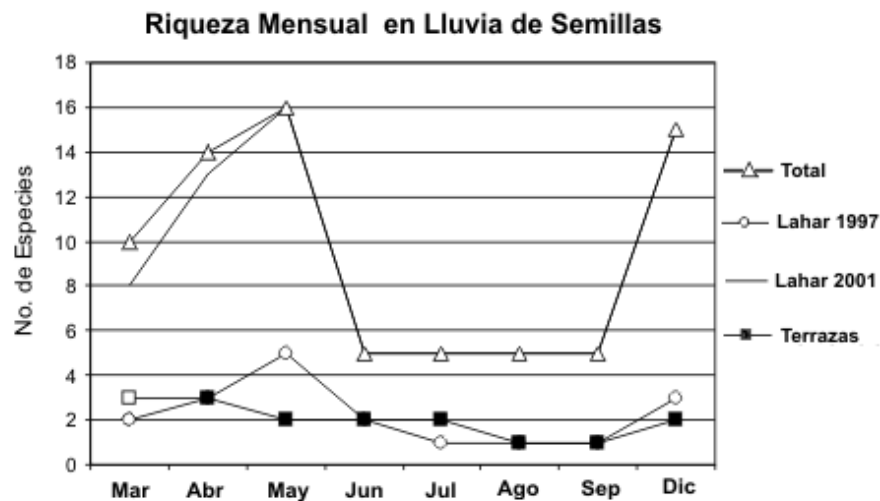


Figura 4. Riqueza mensual de la Lluvia de Semillas.

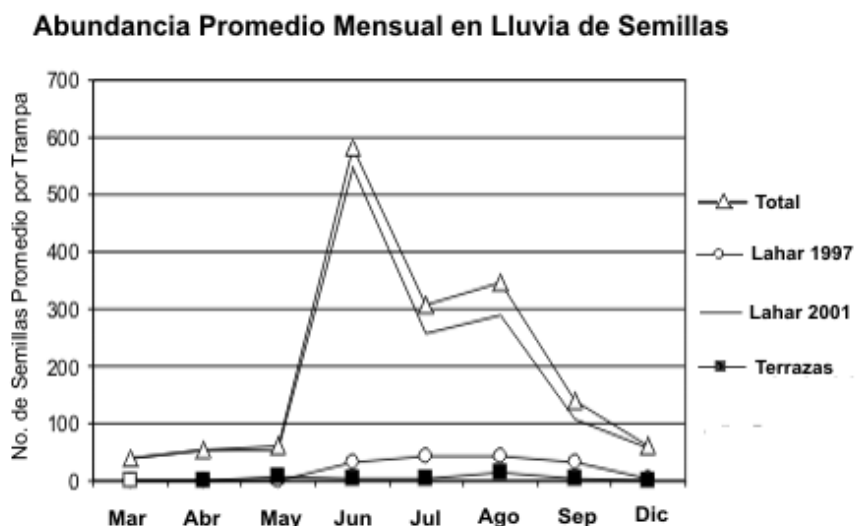
En el hábitat de las terrazas la riqueza de especies varió de manera mínima, ya que los meses de mayor riqueza fueron marzo y abril con 3 especies, en tanto que durante agosto y septiembre sólo se registró una especie por mes, y en el resto de los meses se mantuvieron 2 especies.

Asimismo, en los depósitos del lahar de 1997 la riqueza fue muy similar a la presentada en las terrazas, siendo el mes de mayo el de mayor riqueza con 5 especies, seguido de abril y diciembre con 3, marzo y junio con 2 y los meses de julio, agosto y septiembre con únicamente 1 especie.

Con respecto al lahar de 2001 la riqueza fue muy semejante a la registrada en la totalidad de las parcelas de estudio, siendo mayo el mes de mayor riqueza con 16 especies, y los meses de menor riqueza fueron junio, julio, agosto y septiembre que registraron 5 especies cada uno.

Así, la riqueza de especies en la lluvia de semillas muestra una tendencia común entre los tres depósitos, en los cuales la mayor cantidad de especies se registra durante los meses de la primavera, descende en los de la temporada de lluvias del verano y se incrementa nuevamente a principios del invierno. Lo anterior sugiere que la riqueza de especies depende de la fenología presentada en la Barranca Huilóac, siendo los meses de lluvia los de menor riqueza.

En la siguiente gráfica se observa que, contrario a lo ocurrido en la riqueza de la lluvia de semillas, en la abundancia promedio mensual la mayor cantidad de semillas se ubica en los meses de verano descendiendo en los de secas.



**Figura 5.** Abundancia Promedio Mensual de la Lluvia de Semillas.

El hábitat de las terrazas muestra la menor abundancia promedio de semillas, siendo el mes de agosto el que presentó la mayor abundancia con un promedio de 15 semillas por trampa, mientras que de mayo a julio y septiembre el promedio se movió de 6 a 2 semillas por trampa, y en los meses de marzo, abril y diciembre el promedio fue inferior a 1 semilla por trampa.

En el caso del lahar de 1997 los promedios de abundancia más altos se ubican en los meses de junio a septiembre (entre 43 y 31 semillas por trampa), siendo julio el de mayor abundancia. Por otro lado, en el depósito de lahar de 2001 es mucho más marcada la diferencia de la abundancia promedio entre los meses de secas y de lluvia, presentando en los meses de marzo a mayo y diciembre los promedios más bajos con menos de 60 semillas por trampa, mientras que en los meses de junio a septiembre el promedio de abundancia va de 106 a 547 semillas por trampa.

El hecho de que durante los meses de secas se presente una mayor riqueza pero una menor abundancia, puede ser indicativo de una mayor presencia de especies cuya temporada de floración corresponde a esos meses durante los cuales no requieren de un gran número de semillas para su establecimiento. En contraste, durante los meses de lluvia se presenta una menor riqueza pero mayor abundancia, que podría explicarse por la presencia de especies que producen un mayor número de semillas como mecanismo para contrarrestar las pérdidas debidas al arrastre por agua.

#### **b) Banco de semillas.**

Al igual que en la lluvia de semillas la especie *Alnus firmifolia* abarca más del 99% del total del banco de semillas, seguida de la especie *Abies religiosa* con 12%, sin embargo la cantidad de especies se redujo de 29 a 13, como se observa en la figura 6.

La mayor diversidad de especies en el banco de semillas se ubica en menos de 0.13%, destacando la especie *Abies religiosa* que se encuentra en el rango de 0.0975 a 0.13% con un

porcentaje de 0.125%. En el rango de 0.065 a 0.0975% no se registra ninguna especie, en tanto que en el rango de 0.0325 a 0.065% se localizan las especies *Salix oxylepis* y *Vulpia myurus* con 0.042 y 0,040% respectivamente.

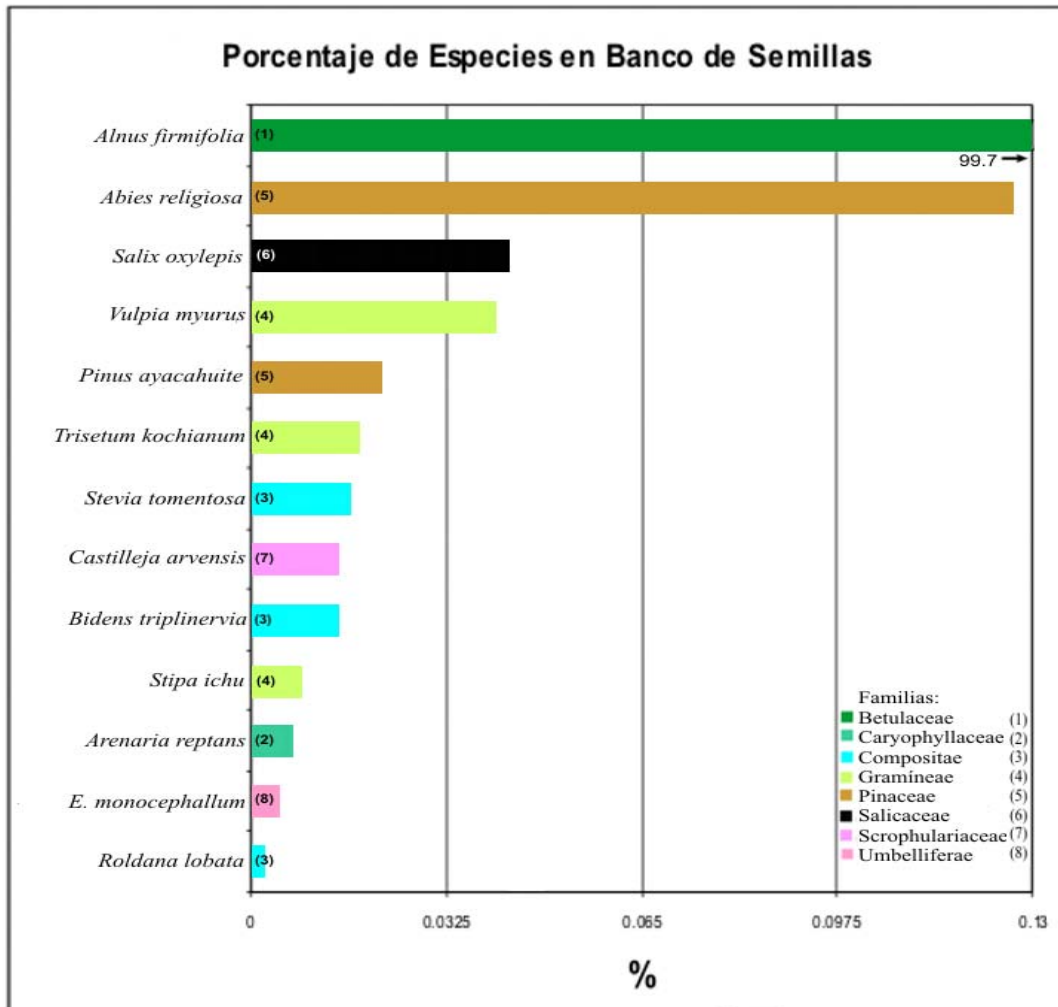


Figura 6. Porcentaje del Banco de Semillas por Especie.

Finalmente, en el último rango comprendido entre 0 y 0.0325% están las especies *Pinus ayacahuite* con 0.020%, *Trisetum kochianum* con 0.017%, *Stevia tomentosa* con 0.016%, *Castilleja arvensis* y *Bidens triplinervia* con 0.013% cada una, *Stipa ichu* con 0.007%, *Arenaria reptans* con 0.005%, *Eryngium monocephallum* con 0.003% y por ultimo *Roldana lobata* con 0.001% del total de semillas encontradas en el banco.

Por otro lado, de igual forma que en la lluvia de semillas, *Alnus firmifolia* es la especie que obtuvo mayor abundancia promedio, con 1969 semillas por trampa (Figura 7). En el resto de las especies encontradas en el banco de semillas se observan valores inferiores a las 3 semillas por trampa, destacando la especie *Abies religiosa* con un promedio de 2.5 semillas por trampa, ubicándose en el rango de 2.25 a 3. En el rango de 1.5 a 2.25 semillas por trampa no se tienen registros. Sin embargo, en el rango de 0.75 a 1.5 se encuentran las especies *Salix oxylepis* y *Vulpia myurus* con promedios de 0.83 y 0.79 semillas por trampa, respectivamente.

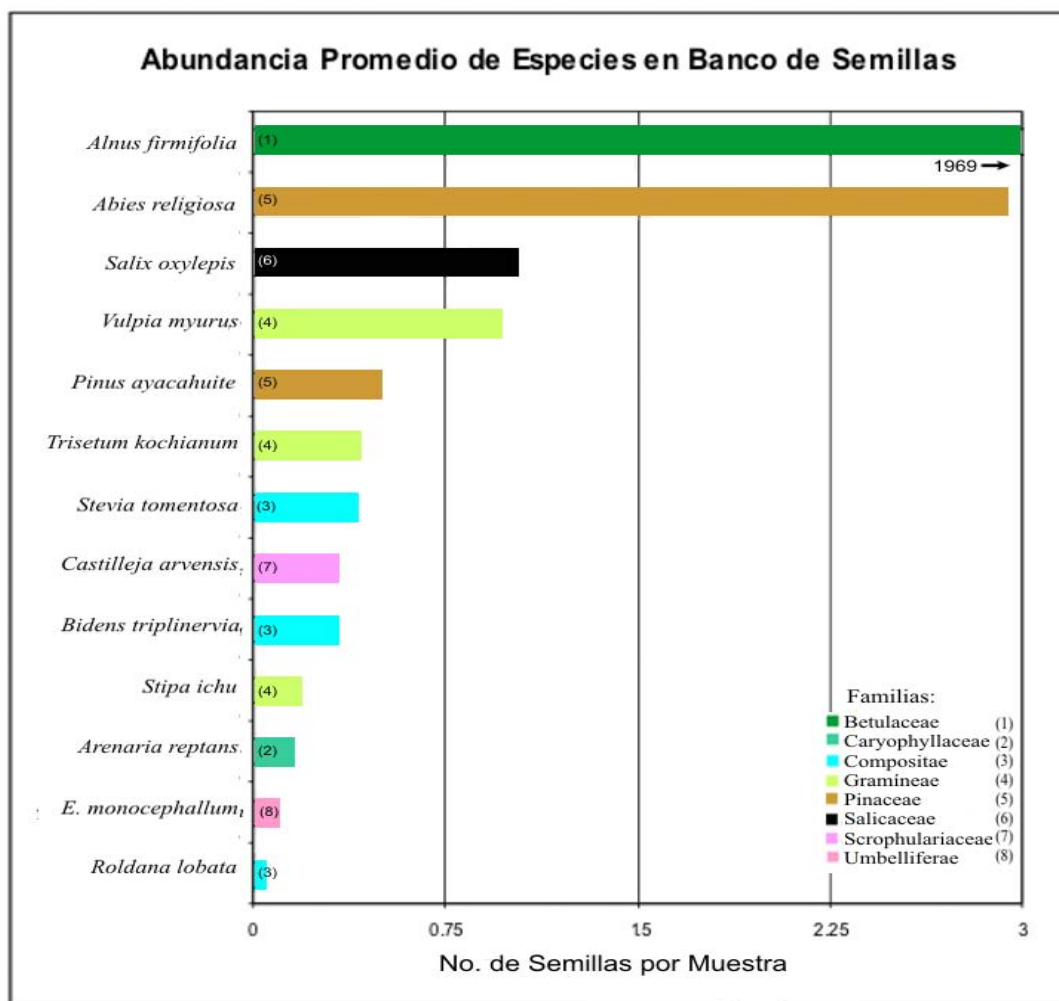


Figura 7. Abundancia Promedio del Banco de Semillas por Muestra.

En el último rango comprendido entre 0 y 0.75 semillas por trampa localizamos los promedios de las especies *Pinus ayacahuite* con 0.39, *Trisetum kochianum* con 0.33, *Stevia tomentosa* con

0.32, *Castilleja arvensis* y *Bidens triplinervia* con 0.26 cada una, *Stipa ichu* con 0.14, *Arenaria reptans* con 0.11, *Eryngium monocephallum* con 0.07 y *Roldana lobata* con 0.02 semillas por trampa.

Como ya se observó, los valores más altos del porcentaje, así como de la abundancia promedio del banco de semillas corresponden a especies de las familias Betulaceae, Pinaceae, Salicaceae y Gramineae. Contrario a lo que había sucedido en la sucesión vegetal y en la lluvia de semillas, la familia Compositae registra valores muy bajos con la presencia de solo 3 especies. Una de ellas es *Roldana lobata* que en la sucesión obtuvo valores muy altos colocándose como una de las especies predominantes en el proceso de colonización.

La variación temporal (entre febrero y diciembre) del banco de semillas en los distintos tipos de hábitat arroja datos de riqueza que favorecen notoriamente a los depósitos del lahar de 2001, seguidos de los obtenidos en los depósitos del lahar de 1997 y de las terrazas (Figura 8).

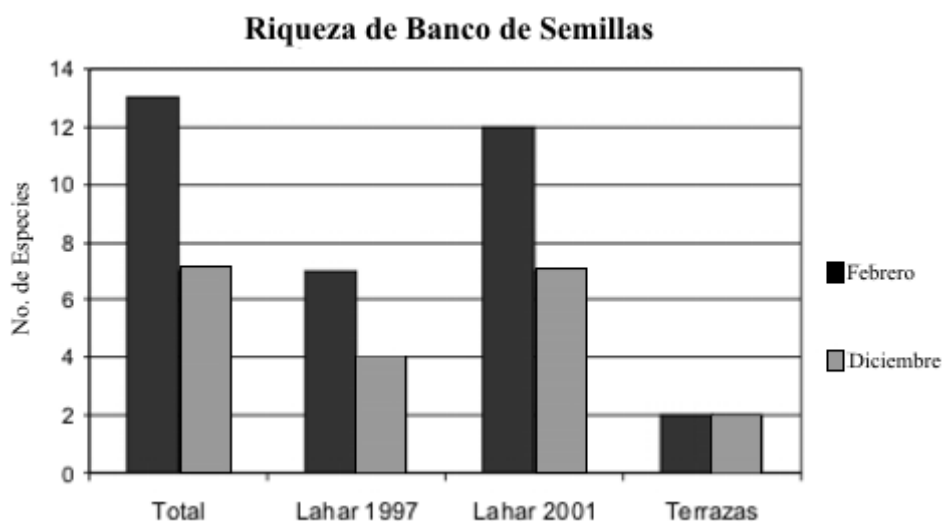


Figura 8. Riqueza del Banco de Semillas en distintos tipos de hábitat.

Como se observa en la figura 8, el total de especies observadas entre los muestreos de febrero y diciembre cayó de 13 a 7 especies, respectivamente. Este dato general fue igual para el caso del lahar de 2001; sin embargo, en los depósitos del lahar de 1997 el total de especies se redujo de 7

a 4. Por último, en el hábitat de las terrazas, tanto en la colecta de febrero como en la de diciembre se contó con la presencia de 2 especies.

Al igual que en la riqueza, la abundancia promedio del banco de semillas es mayor en los depósitos concernientes al lahar de 2001, seguida de los de lahar de 1997 y de las terrazas (Figura 9).

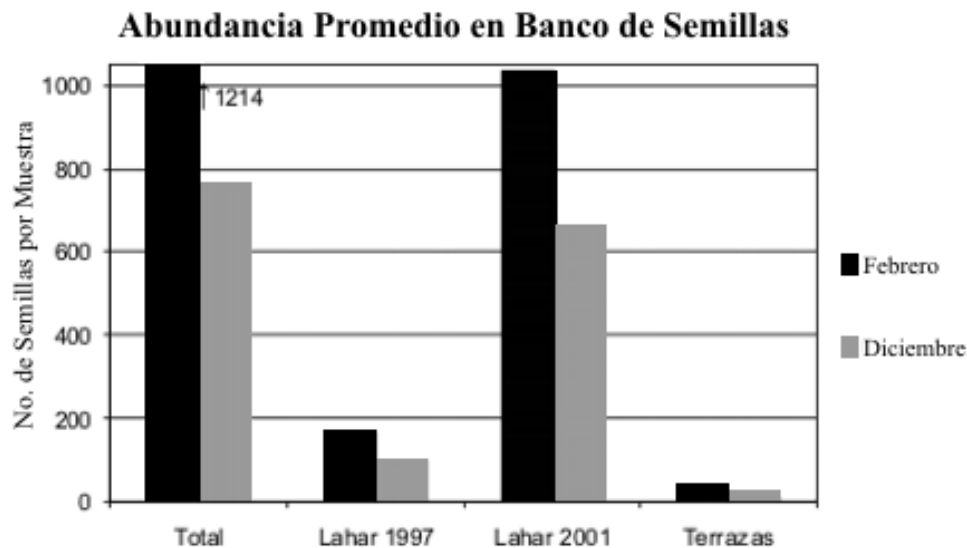


Figura 9. Abundancia Promedio del Banco de Semillas.

En cuanto a la abundancia promedio el total general fue de 1214 semillas por muestra en el mes de febrero y de 763 en diciembre. Nuevamente, los depósitos del lahar de 2001 contienen los valores más altos con 1035 semillas por muestra en febrero y 655 en diciembre. Asimismo, la abundancia promedio en los depósitos del lahar de 1997 se mantiene en una posición intermedia entre los depósitos del lahar de 2001 y las terrazas, registrando en febrero 163 semillas por muestra y 95 en diciembre; finalmente los depósitos de terrazas registran los valores más bajos con respecto a los otros hábitats al pasar de 15 a 11 semillas por muestra entre febrero y diciembre.

Los valores registrados en el banco de semillas en distintos hábitats muestran una reducción de casi la mitad en los depósitos de lahar de 1997 y 2001 entre un muestreo y otro, manteniéndose más constante en los depósitos de terraza, ya que en este tipo de hábitat hay una mayor

abundancia de semillas en la época reproductiva, lo cual concuerda con los datos de sucesión, ya que en las terrazas es donde se presentan individuos de mayor tamaño y capacidad reproductiva.

Los valores de riqueza y abundancia de la lluvia y banco de semillas corresponden a los registrados en la sucesión, siendo altos en el caso del hábitat del lahar de 2001, medios en el lahar de 1997 y bajos en las terrazas.

### **3.2 Influencia del banco y lluvia de semillas en la sucesión vegetal.**

La relación entre la sucesión y la cantidad de semillas disponibles es vital para la continuidad de dicho proceso, razón por la cual, en este apartado se busca detallar en la relación específica la abundancia, tanto de la lluvia como del banco de semillas, con los diversos indicadores de la estructura vegetal: riqueza, abundancia, talla del individuo más alto y cobertura. Esta comparación se realizó sólo con los datos de sucesión obtenidos en el año 2007 a fin de relacionarla con el comportamiento de la abundancia de semillas en un mismo periodo de tiempo.

En la figura 10 se ilustra la relación entre la riqueza de la sucesión vegetal y la abundancia de semillas tanto del banco como de la lluvia, enfatizando en la tendencia que se da en cada caso.



### Relación entre Riqueza y Abundancia de Semillas

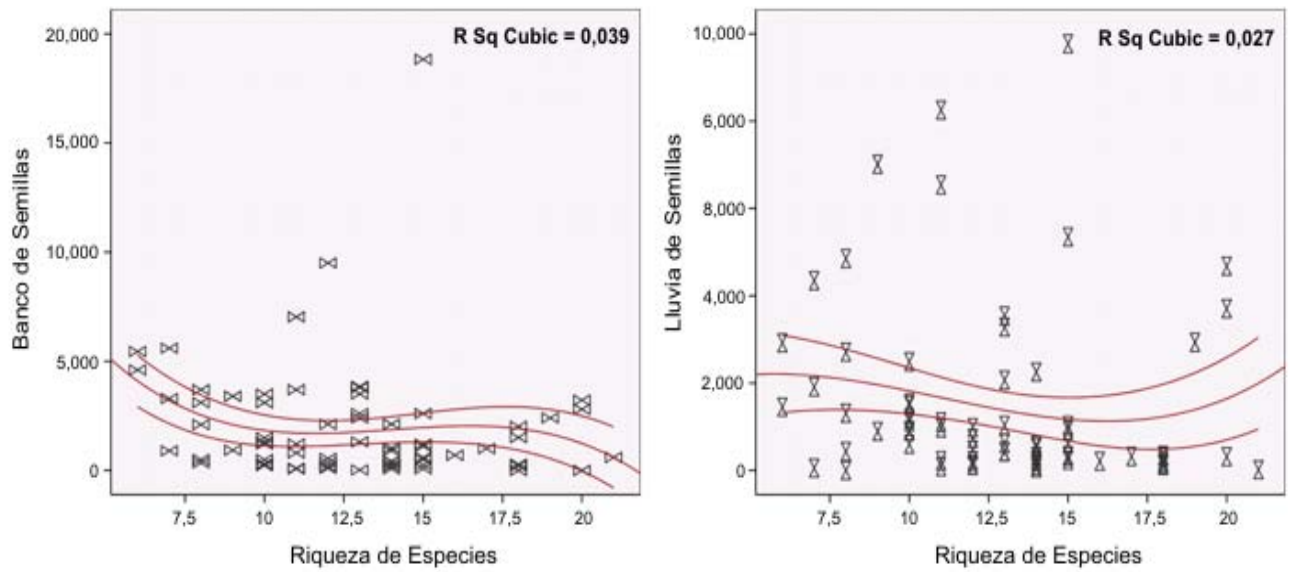


Figura 10. Comparación entre la riqueza y la cantidad de semillas registradas dentro de la Barranca Huilóac.

La relación entre la riqueza de la sucesión y la abundancia de semillas no es clara, ya que mientras en el banco el número de semillas descende conforme aumenta la riqueza, en la lluvia se observa un ligero incremento de la riqueza. Esta situación puede deberse a que muchas semillas germinaron durante el periodo en que se realizaron las colectas y al momento de contabilizar las semillas, la cantidad obtenida no representa el total de semillas incorporadas al banco. Por su parte, en la lluvia de semillas el conteo fue continuo y por lo tanto, menor al valor de la pérdida de semillas entre una colecta y otra.

En cuanto a la relación entre la abundancia vegetal y la abundancia de semillas se esperaría que el número de semillas se incrementara al haber una mayor presencia de individuos, ya que esto supone mayor aporte de semillas de cada especie sumadas a la época de floración (Figura 11).

### Relación entre Abundancia Vegetal y Abundancia de Semillas

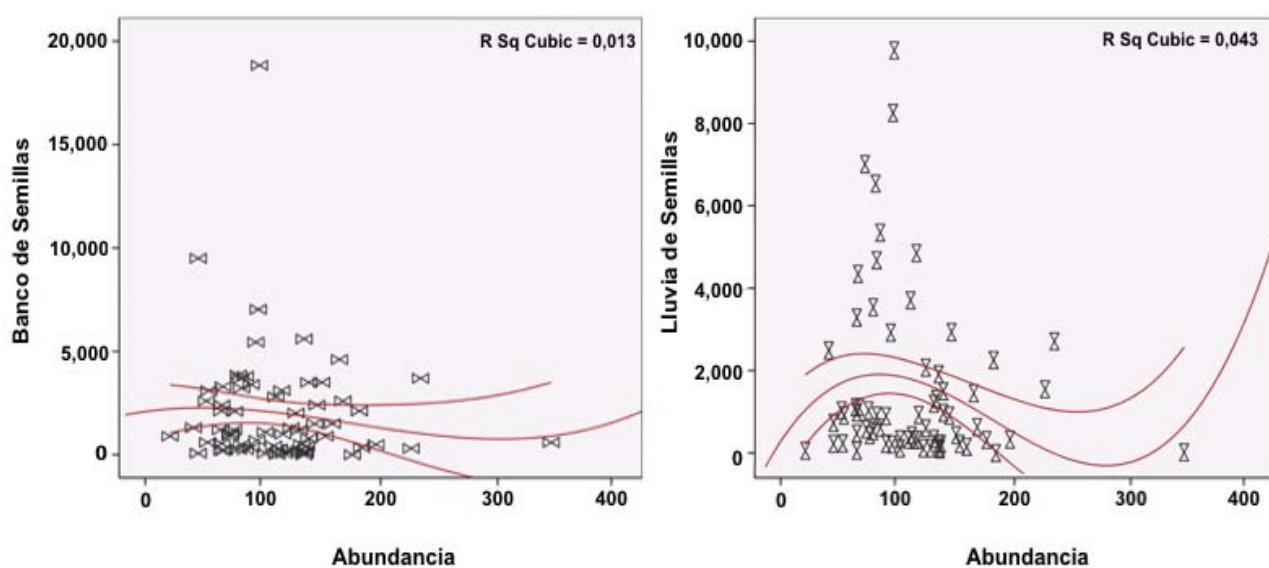


Figura 11. Comparación entre la abundancia y la cantidad de semillas registradas dentro de la Barranca Huilóac.

Sin embargo, la relación entre estas variables no muestra una tendencia bien definida, registrando una aglomeración en abundancias menores a doscientos individuos, lo cual se puede explicar porque las parcelas de mayor abundancia están compuestas principalmente por individuos juveniles que no tienen la capacidad de producir grandes cantidades de semillas.

En cuanto a la relación entre la talla y la abundancia de semillas se puede suponer que el incremento en la talla de los individuos reflejaría mayor madurez, un mejor desarrollo reproductivo y por lo tanto, una más constante y efectiva floración (Figura12).

### Relación entre Talla Vegetal y Abundancia de Semillas

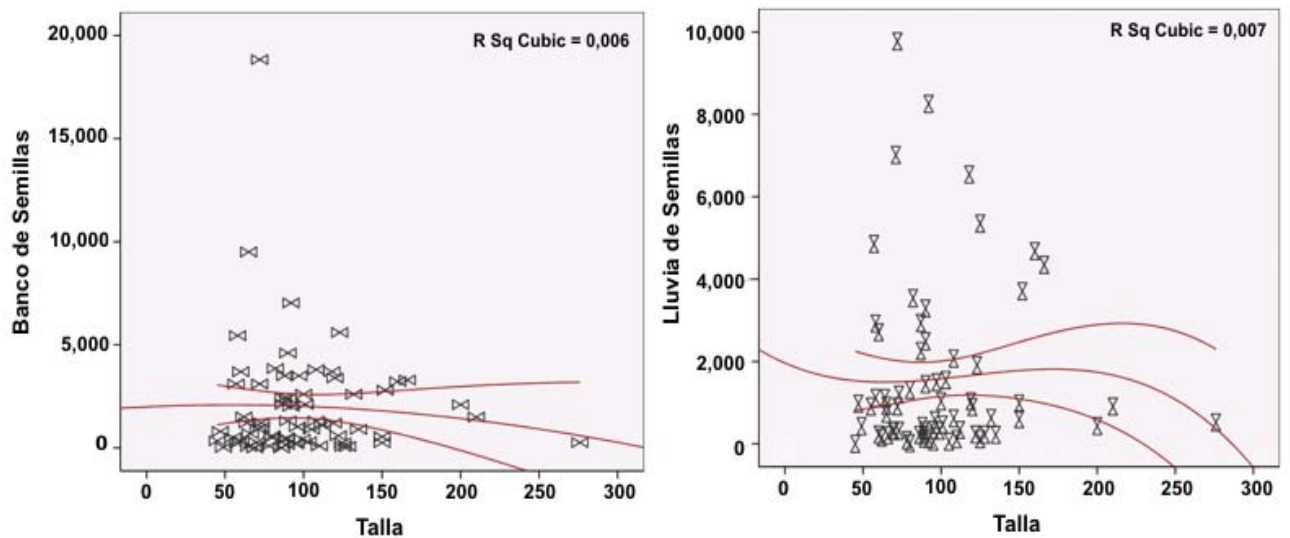


Figura 12. Comparación entre la talla vegetal y la cantidad de semillas registradas dentro de la Barranca Huilóac.

En este caso la relación entre la abundancia de semillas y la talla vegetal presenta una aglomeración de semillas en el rango de 45 a 150cm, sugiriendo que el estrato arbustivo, es el de mayor contribución de semillas a la barranca. Sin embargo, en el caso de la lluvia se percibe un discreto decremento en el número de semillas conforme aumenta la talla de las plantas; este resultado no concuerda con la hipótesis de que a mayor tamaño existe una mayor floración y por lo tanto, una mayor cantidad de semillas. Cabe destacar que, el hecho de que no sea tan notoria la tendencia en esta relación, se puede deber a la presencia de individuos con diversas formas de crecimiento, un ejemplo ocurre en el estrato herbáceo que a pesar de su baja talla tiene floraciones antes que los individuos arbóreos del mismo tamaño, es decir, que el estrato herbáceo contribuirá con una mayor cantidad de semillas antes que los estratos mas elevados. Por lo tanto, la mayor abundancia de semillas se presenta en las tallas medias; no obstante, esta relación es muy subjetiva ya que no es directamente proporcional al tener diferentes ciclos de vida en una misma parcela.

Finalmente, para interpretar la relación entre la cobertura y la abundancia de semillas se partió del criterio que considera que la cobertura esta directamente relacionada con la riqueza, la abundancia y la talla de las comunidades (Figura 13).

### Relación entre Cobertura Vegetal y Abundancia de Semillas

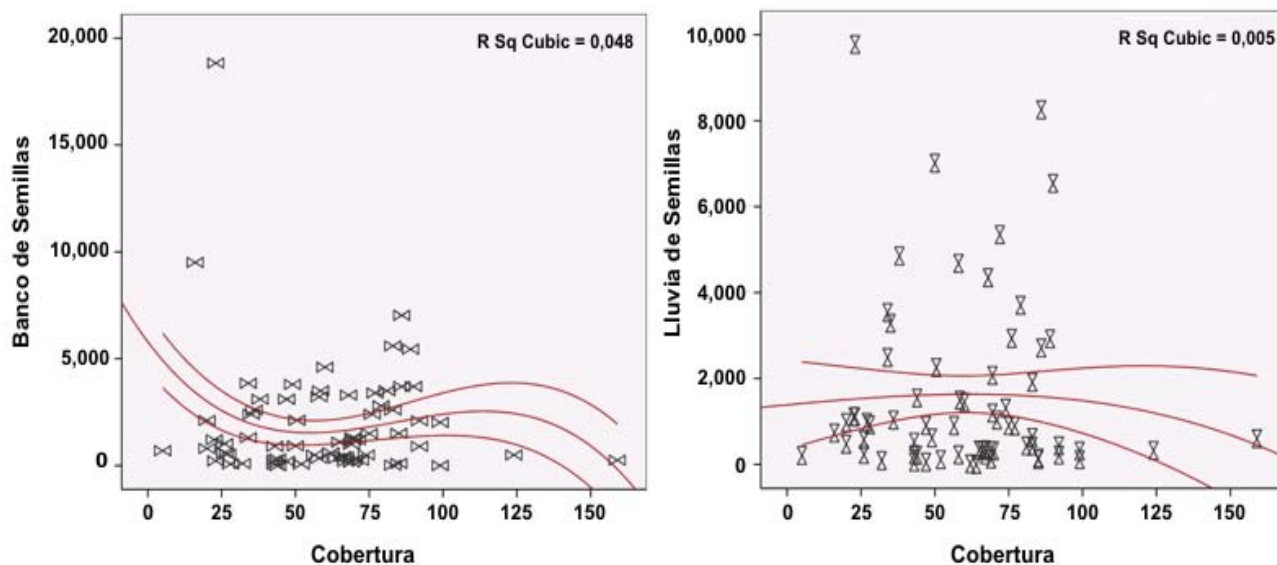


Figura 13. Comparación entre la cobertura vegetal y la cantidad de semillas registradas dentro de la Barranca Huilóac.

De igual manera que el caso anterior, se observó que a mayor cobertura existe una menor cantidad de semillas, siendo más evidente en el banco que en la lluvia. Lo anterior se puede explicar, debido a que al existir gran abundancia de plantas es probable que haya mayor riqueza y cobertura, entonces se reducen los espacios con mejores condiciones para el establecimiento de nuevos individuos, por lo que muchas semillas se pierden sin llegar a geminar.

En resumen, para el año 2007, tanto el banco como la lluvia de semillas no cumplieron una función significativa como factores de la variabilidad espacial de la sucesión vegetal y, de hecho, es este proceso el que influye en la producción de semillas. Esto se puede explicar con el estado sucesional que caracteriza al sitio en estudio, el cual ha mantenido un crecimiento de biomasa durante 6 años consecutivos, lo cual reduce el establecimiento de nuevos individuos dentro de la Barranca Huilóac.

### 3.3 Factores biofísicos que controlan el proceso de sucesión vegetal.

Existen diversos factores biofísicos que influyen en la edafogénesis, modificando principalmente las funciones biológicas, físicas y químicas del suelo, contribuyendo con el establecimiento y desarrollo óptimo de las plantas. En este estudio se tiene especial interés por el comportamiento de algunos factores relacionados con el disturbio volcánico y con la actividad geomorfológica que afectan el desarrollo de la vegetación, como son la altitud, la distancia y altura al cauce, el pH del suelo y la incidencia de luz, los cuales se relacionan con la variación temporal de diversos parámetros de la vegetación, tales como riqueza, cobertura, talla del individuo más alto y cobertura, mismos que se describen a continuación.

En la siguiente figura se observa la relación entre los parámetros de la vegetación y la altitud, recordando que el incremento de la altitud repercute en el comportamiento de los elementos del clima, siendo muy significativo en este caso el descenso de las temperaturas; por lo tanto, se espera un decremento en el valor de los diversos parámetros analizados.

### Variables de la Vegetación por Altitud

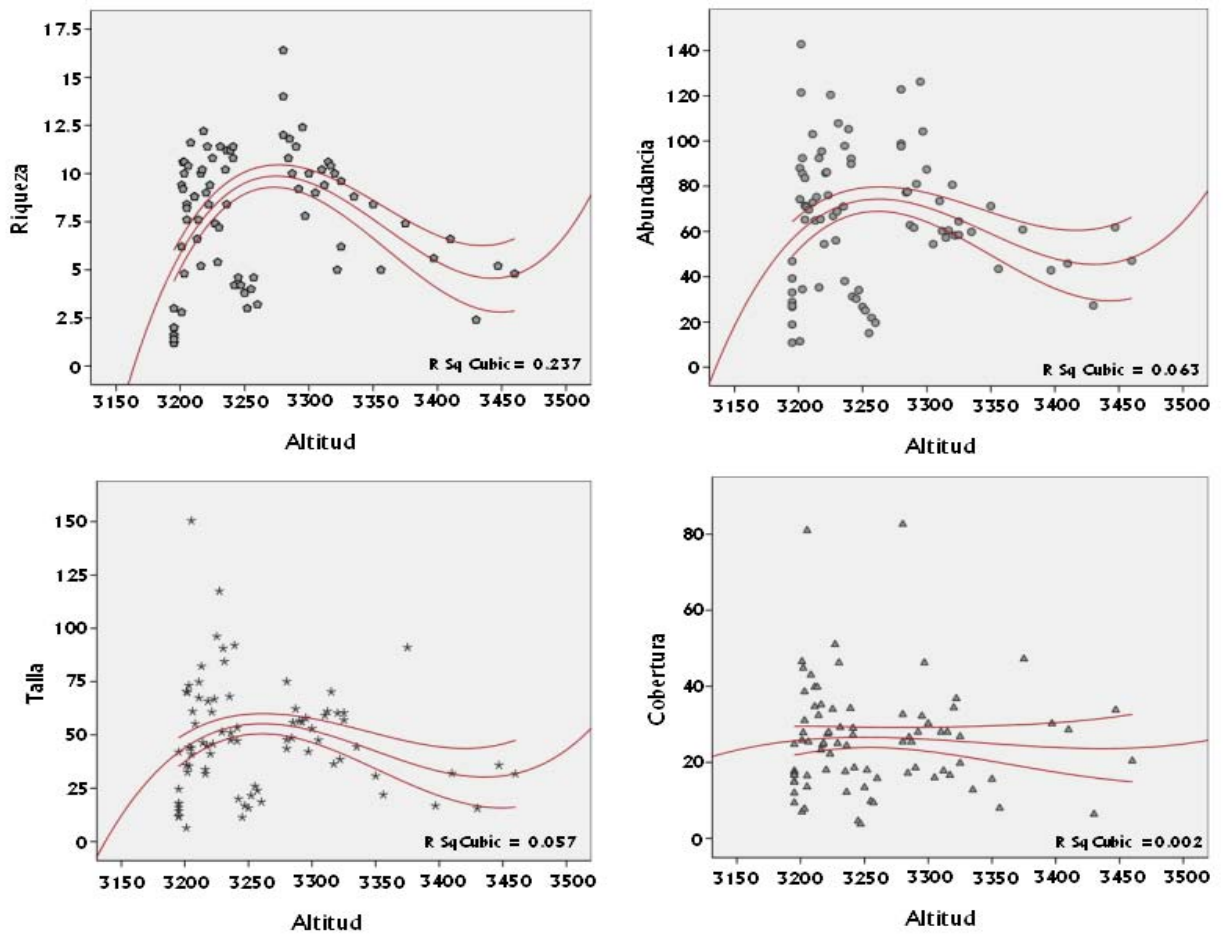
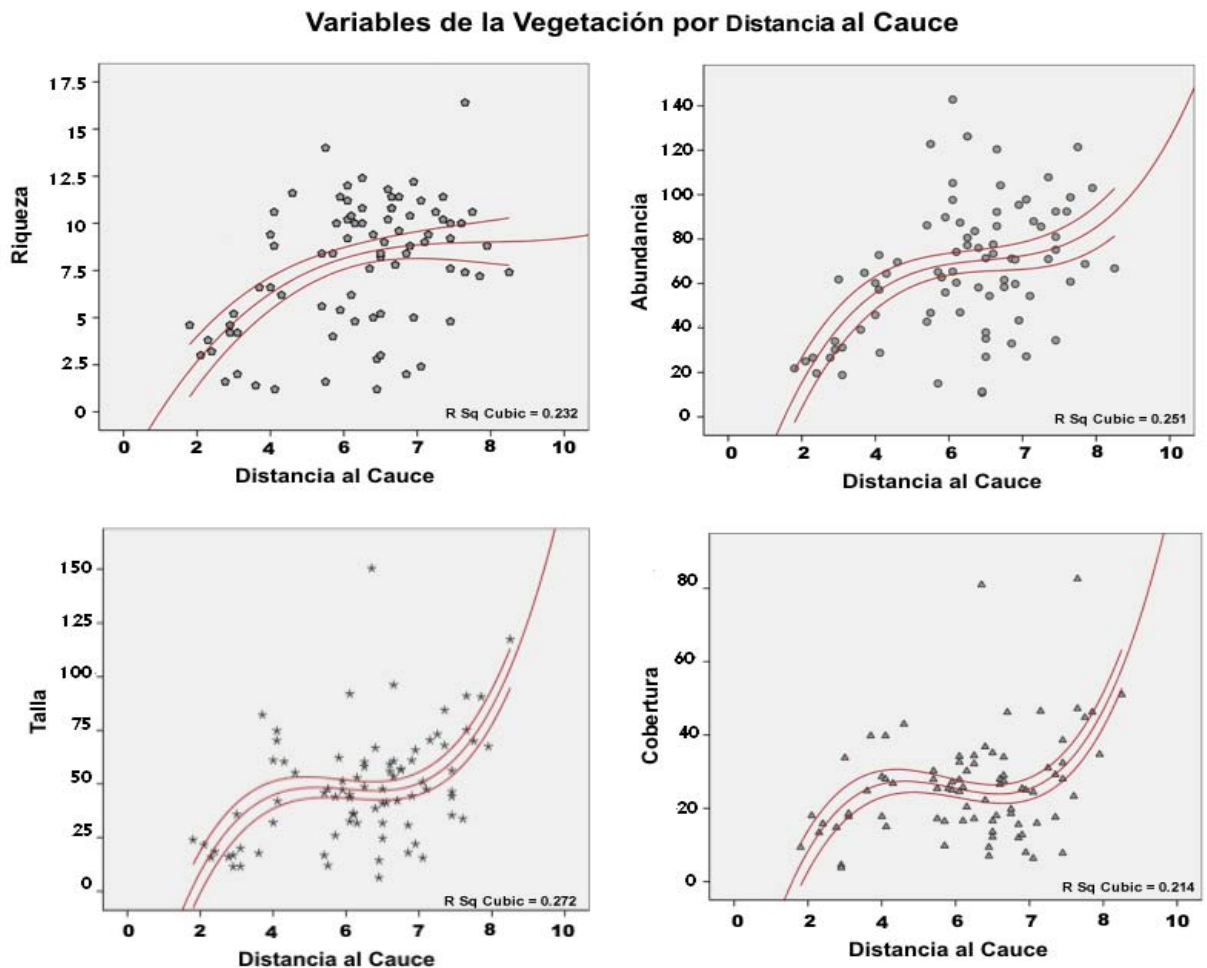


Figura 14. Relación entre los parámetros de la vegetación y la altitud dentro de la Barranca Huilóac.

A lo largo de la barranca los valores en los parámetros de la vegetación se distribuyen de manera continua. Registrando una tendencia hacia el incremento de los valores al centro del intervalo altitudinal, con una ligera caída hacia los extremos del mismo, siendo menos evidente en la cobertura. Es posible que el comportamiento antes descrito se deba a que en el sector altitudinal más bajo se encuentra un afloramiento de lavas con nulo desarrollo de suelo, mientras que, en el sector altitudinal más alto el descenso de la temperatura y la humedad del aire, limitan el establecimiento de los individuos.

En la figura 15 se observa la relación entre los parámetros de la vegetación y la distancia al cauce, que como se había mencionado anteriormente, es el sitio más vulnerable a la dinámica hidrovulcánica que afecta a la barranca. Sin embargo, hay que destacar que las partes más

alejadas al cauce también están, en todo caso, más próximas a las laderas del barranco, siendo afectadas por procesos de gravedad como derrumbes, deslizamientos y caída de rocas, que aunque poco frecuentes y de impacto localizado también influyen en el desarrollo de la vegetación.

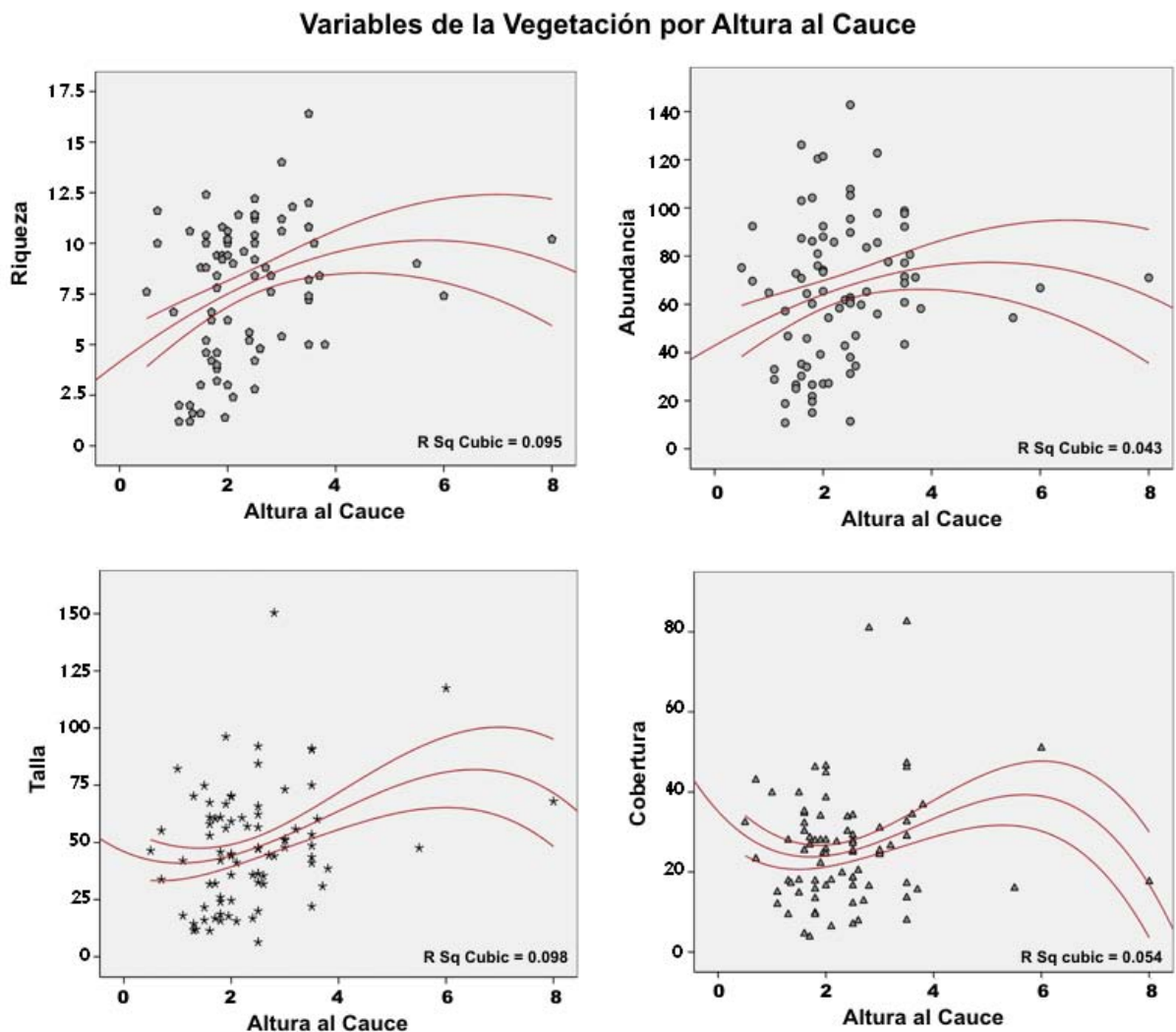


**Figura 15.** Relación entre los parámetros de la vegetación y la distancia al cauce dentro de la Barranca Huilóac.

Si bien la inestabilidad asociada a la distancia al cauce no parece afectar la distribución de especies, en cambio, sí influye de manera más notoria en la abundancia y la talla de los individuos más altos por especie. De igual forma, la cobertura sigue una ligera tendencia a incrementarse conforme a la distancia al cauce, confirmando un mayor desarrollo en las partes más alejadas del cauce, sugiriendo que las zonas más cercanas a las laderas poseen una estabilidad dentro de la barranca.



La relación entre los parámetros de la vegetación y la altura al cauce se refiere a los efectos que sobre los primeros puedan tener los flujos hidrovulcánicos que de manera sistemática recorren el cauce de la barranca. Los resultados sugieren que la altura al cauce ejerce un efecto de mayor protección al relacionarse con un incremento en la mayoría de los parámetros de la vegetación analizados (Figura 16).



**Figura 16.** Relación entre los parámetros de la vegetación y la altura al cauce dentro de la Barranca Huilóac.

Si bien la altura al cauce no tiene un claro control sobre los parámetros de la vegetación, las parcelas que se encuentran a mayor desnivel del cauce tienen valores altos en dichos parámetros, indicando una estabilidad asociada con la altura al fondo del cauce. Sin embargo, este factor no influye de manera determinante en la composición de las especies, ya que los



valores mas altos registrados en los parámetros de estudio se concentran en los sitios con altura media respecto al cauce.

La influencia de la luz en los parámetros de la vegetación mostró valores de 38 a 1983 Lux (lumen/m<sup>2</sup>) los cuales indican la presencia de sitios con muy baja o muy alta exposición lumínica. La relación entre la cantidad de luz y los parámetros de la vegetación se representa en la siguiente figura.

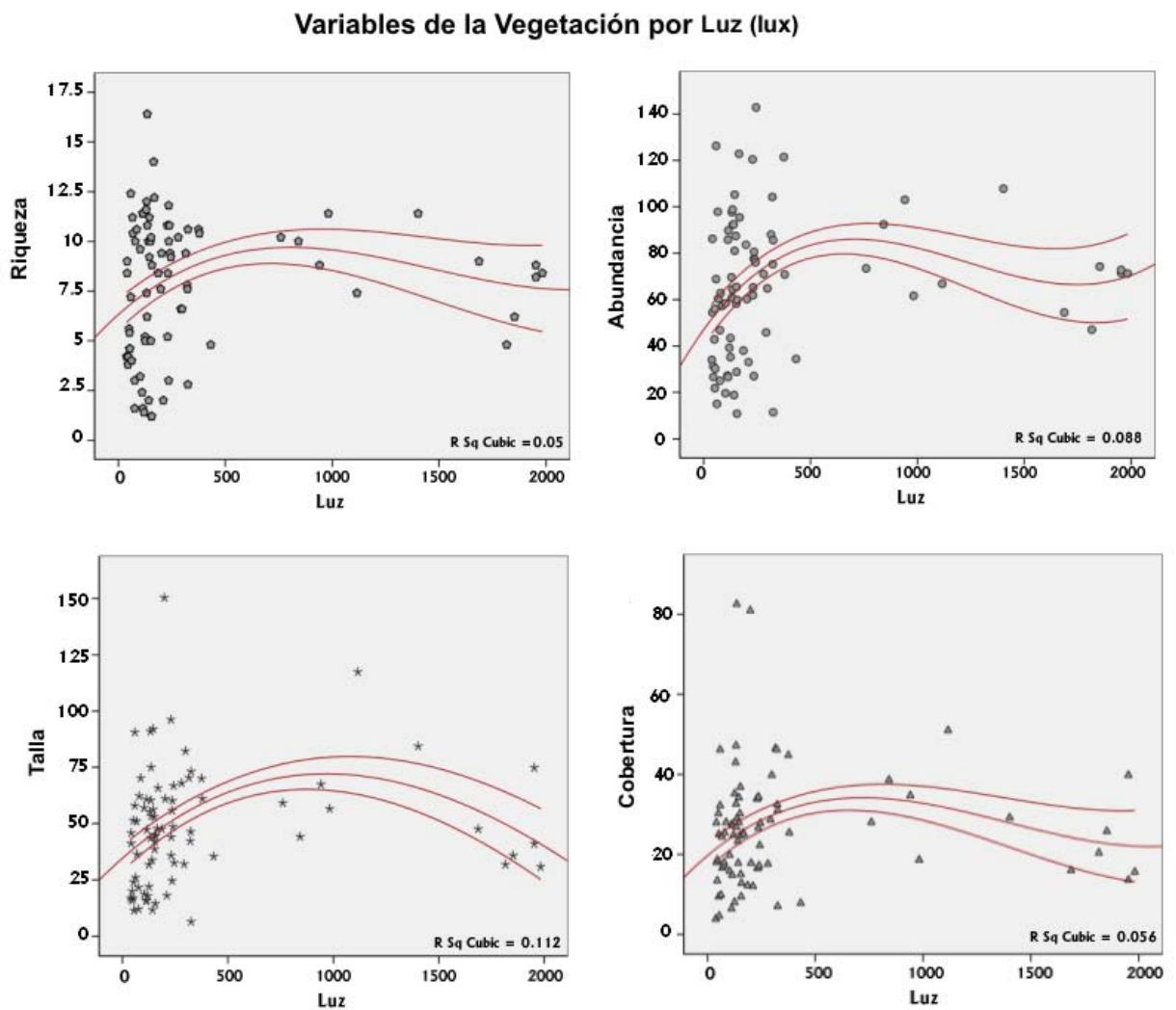


Figura 17. Relación entre los parámetros de la vegetación y la incidencia de luz dentro de la Barranca Huilóac.

En todos los parámetros de la vegetación se observa una aglutinación de los valores en zonas con baja incidencia lumínica, lo cual resulta obvio, ya que si se reduce la exposición a la luz

también se reduce la transpiración, con lo cual los individuos tienen un desarrollo más eficaz y consecuentemente un mejor establecimiento en parcelas protegidas de altas temperaturas. No obstante, también fueron observados valores altos en sitios con alta incidencia de luz, lo cual se explica, debido a que son parcelas ubicadas en las zonas donde las paredes de la barranca son de menor tamaño y se encuentran más alejadas una de la otra, por lo tanto los individuos deben adaptarse a la situación para poder prosperar.

En el muestreo del pH del suelo de las parcelas se obtuvieron valores ácidos de 4.3 a 6.3, por lo que se espera una disminución de las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y molibdeno, así como incremento de las concentraciones de hierro, manganeso, boro y zinc (Bidwell, 1979) (ver figura 2 del capítulo 1). La ausencia de estos nutrientes puede ocasionar alteraciones en el metabolismo de los individuos así como problemas de palidez, inhibición de ramificación, necrosis en algunas partes, debilitamiento del tallo, baja resistencia a patógenos, pérdida de hojas maduras, achaparramiento, puntas marchitas o raíces atrofiadas.

En cambio, el incremento de dichos nutrientes puede estar asociado a individuos con un mayor formación de clorofila y por lo tanto tener un mejor crecimiento (Tabla 2 del capítulo 1). Cabe destacar que la presencia de dichas características en el desarrollo de las plantas también depende de la facilidad de cada especie para asimilar los nutrientes que ofrecen los depósitos dentro la barranca (Figura 18).

### Variables de la Vegetación por pH

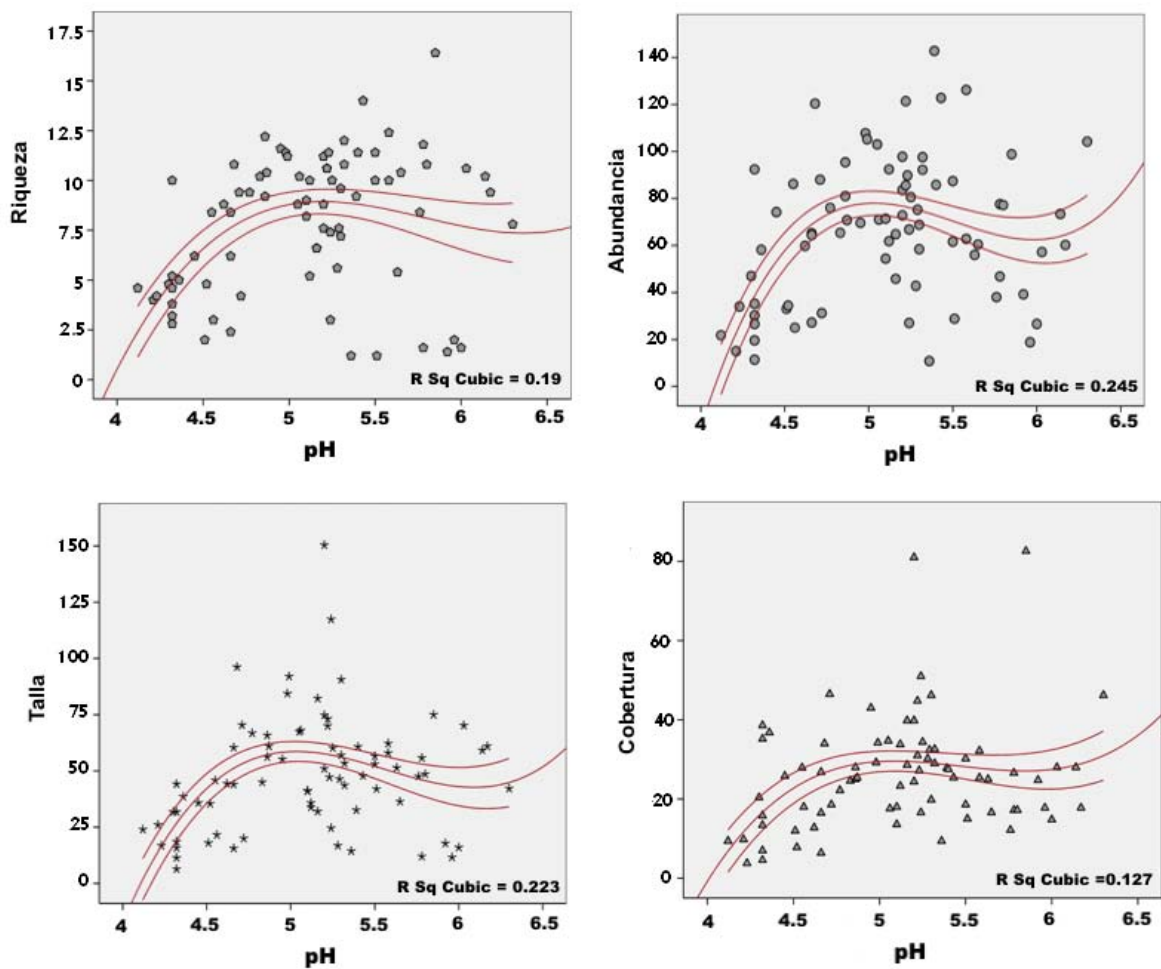


Figura 18. Relación entre los parámetros de la vegetación y el pH dentro de la Barranca Huilóac.

Si bien los parámetros de la vegetación no son influenciados directamente por los valores pH, si es notoria la variabilidad en la disponibilidad de nutrientes que ofrece la barranca, esto al tener un pH de ácido a ligeramente neutro, evidenciando que la composición vegetal dentro de la Barranca Huilóac esta integrada por especies altamente adaptadas a situaciones adversas sin la garantía de tener las concentraciones necesarias para su desarrollo.

En resumen, tanto los factores físicos (altitud, distancia y altura al cauce) como los biofísicos (luz y pH) influyen de manera mas notoria en la abundancia y la talla de los individuos, registrando valores altos en sitios donde las condiciones son más propicias para el

establecimiento y el éxito reproductivo: altitudes medias, sitios alejados del cauce, así como sitios no expuestos a grandes cantidades de luz. En cuanto a la riqueza de especies, ésta parece no estar influenciada por los factores aquí expuestos, lo que sugiere que este parámetro depende de aportes externos - zonas circundantes- e independientes de las condiciones observadas dentro de la barranca. Finalmente, la cobertura registra tendencias positivas, aunque poco definidas con los distintos parámetros indicadores de estabilidad y disponibilidad de recursos, dando pie a pensar que su desarrollo puede estar influenciado por otros factores no contemplados en este estudio.

### **3.4 Relación del banco y la lluvia de semillas con otros factores del proceso de sucesión vegetal.**

Como ya se había mencionado para el establecimiento y desarrollo de las plantas se requieren de condiciones climáticas y edáficas específicas. Asimismo, otros factores del ambiente influyen, por ejemplo en el suelo, cambiando sus características biológicas, físicas y químicas; por lo que es importante no sólo conocer las características del suelo, sino también determinar cuál es la afectación que tienen las plantas frente a la variabilidad de otros factores. En este apartado se describe el comportamiento de algunos de los factores más importantes que afectan el crecimiento de las plantas, por lo tanto también afectan el proceso de dispersión de semillas, tomando en cuenta para ello que se trata el caso de un ambiente excepcional, dominado por el disturbio volcánico y la actividad geomorfológica constante. Los factores a que se hace referencia son: la altitud, la distancia y altura al cauce, el pH del suelo y la incidencia de luz sobre el ámbito de las parcelas de muestreo.

En la figura 19 se observa la relación entre la altitud y la abundancia de semillas del banco y la lluvia. Cabe recordar que el sitio de estudio se extiende de los 3195 a los 3460msnm, es decir, tiene un desnivel de 265m.

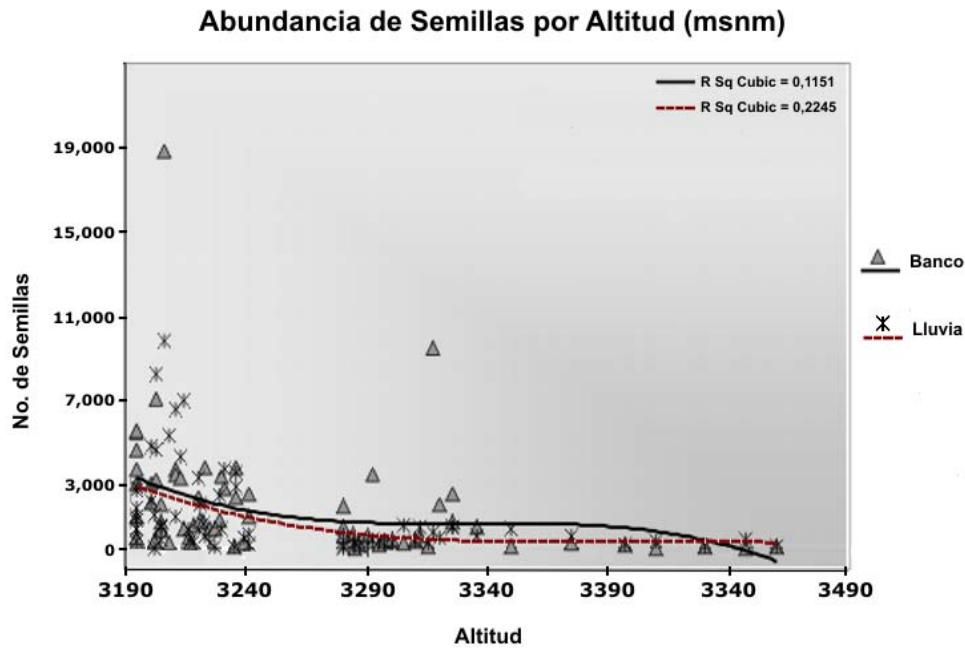


Figura 19. Relación entre la abundancia de semillas y la altitud dentro de la Barranca Huilóac.

La relación entre la abundancia de semillas y la altitud es indirecta, toda vez que el número de semillas, tanto del banco como de la lluvia disminuyen conforme se incrementa la altitud. Esta relación resulta lógica ya que el incremento de la altitud afecta a otros factores como la presión, la temperatura y la humedad del aire, los cuales repercuten en las condiciones que favorecen el establecimiento de nuevos individuos y por lo tanto, en la cantidad de semillas disponibles.

En cuanto a la relación entre la abundancia de semillas del banco y lluvia con la distancia al cauce es importante tomar en cuenta que el cauce es el sitio más vulnerable a procesos de erosión y acumulación, tanto por el paso de las corrientes hídricas e hidrovulcánicas, como por los aportes detríticos debidos a procesos gravitacionales que afectan a las laderas. Estos aportes se presentan de forma mas continúa en las temporadas de lluvia y debido al constante deshielo del glaciar, los cuales influyen principalmente en el establecimiento de las plantas y así como en la cantidad de semillas.

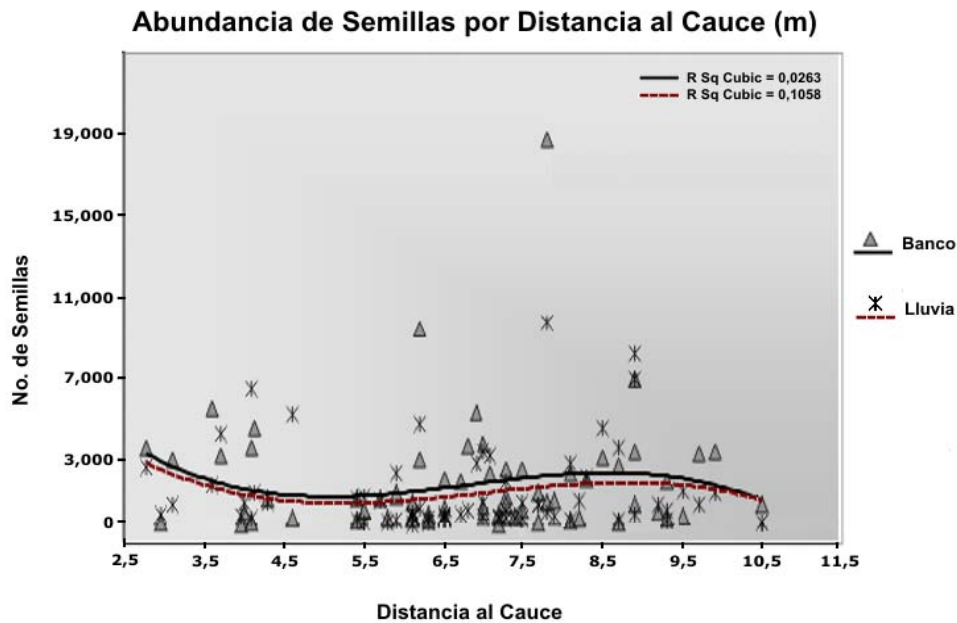
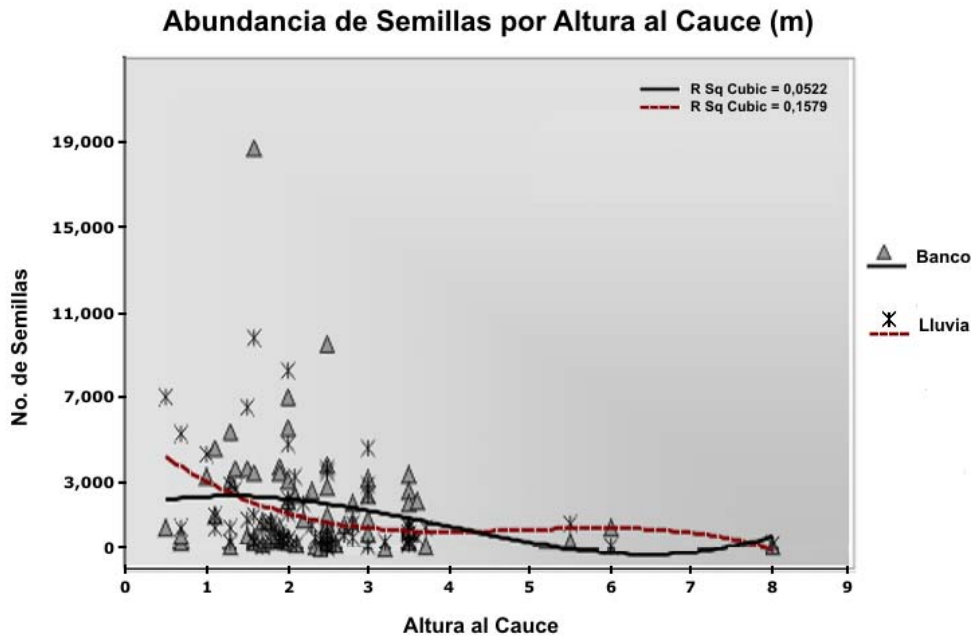


Figura 20. Relación entre la abundancia de semillas y la distancia al cauce dentro de la Barranca Huilóac.

La relación entre la abundancia de semillas y la distancia al cauce presenta una ligera tendencia al incremento del número de semillas conforme aumenta la distancia al cauce. Lo anterior se puede deber a una mayor inestabilidad del terreno en las áreas próximas al cauce, así como a un mayor ingreso de semillas en las parcelas que al alejarse del cauce se aproximan a las laderas forestales del barranco. Dado que la barranca se encuentra encajada dentro de los depósitos de los paleovolcanes Nexpayantla y Ventorrillo, se presume que el número de semillas presentes a mayor distancia del cauce no sólo pertenecen a la vegetación asentada dentro de la barranca sino también pueden provenir de fuera de ella, es por ello que no se observa una tendencia clara en la distribución de semillas y la distancia al cauce.

Al igual que en el caso anterior, la relación entre la cantidad de semillas tanto de la lluvia como del banco, respecto a la altura al cauce está controlada por la inestabilidad debida a los eventos geomorfológicos ocurridos dentro del cauce tal como se observa en la figura 21.



**Figura 21.** Relación entre la abundancia de semillas y la altura al cauce dentro de la Barranca Huilóac.

Sin embargo, en este caso, la relación entre la abundancia de semillas y la altura al cauce es inversa, ya que se presenta una disminución del número de semillas conforme aumenta la altura al fondo del barranco. Esto puede deberse a que en las partes bajas se recibe un mayor número de semillas procedentes, tanto de la vegetación forestal de las laderas de la barranca como de los individuos de reciente establecimiento que colonizan los depósitos laháricos. En cambio, en los sitios ubicados a mayor altura del cauce el principal aporte de semillas proviene exclusivamente de las partes altas de la barranca.

Por otra parte, la luz solar juega un papel fundamental al inhibir o favorecer la germinación de semillas (Naour K., 2004), registrando el área de estudio un amplio rango de exposición lumínica (38 a 1983 luxes). Sin embargo, la relación entre la luz y la abundancia de semillas es inversamente proporcional, ya que se observa una mayor concentración de semillas en sitios con menor exposición lumínica, siendo menos frecuentes los sitios con altas cantidades de semillas (Figura 22).

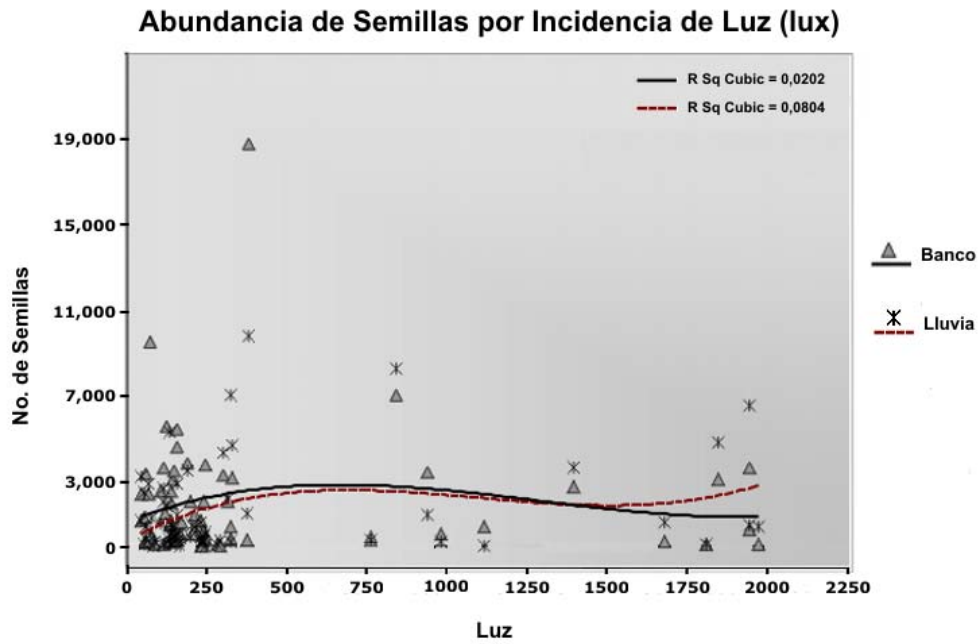


Figura 22. Relación entre la abundancia de semillas y la incidencia de luz dentro de la Barranca Huilóac.

Este resultado sugiere que las plantas tienen un óptimo de luz en sitios con una incidencia lumínica menor a 380 lux, lo cual puede favorecer la floración y por ende, aumentar la producción de semillas, lo cual no necesariamente es sinónimo de una mayor germinación, ya que los sitios con mayor incidencia lumínica la concentración de semillas es mucho menor, a pesar de registrar altos valores de abundancia y talla máxima promedio de los individuos, es decir, que en estos sitios la germinación es mayor.

En el caso del pH, es importante recordar que la acidez o basicidad de un sustrato puede limitar o favorecer la cantidad de micro y macronutrientes (Tabla 2 del capítulo 1), los cuales intervienen en los estados óptimos de las plantas que se traducen en mayor cantidad de inflorescencias y por lo tanto de semillas. En el muestreo del pH se obtuvieron valores ligeramente ácidos de 4.3 a 6.3 cuya relación con la abundancia de semillas se establece en la siguiente figura.



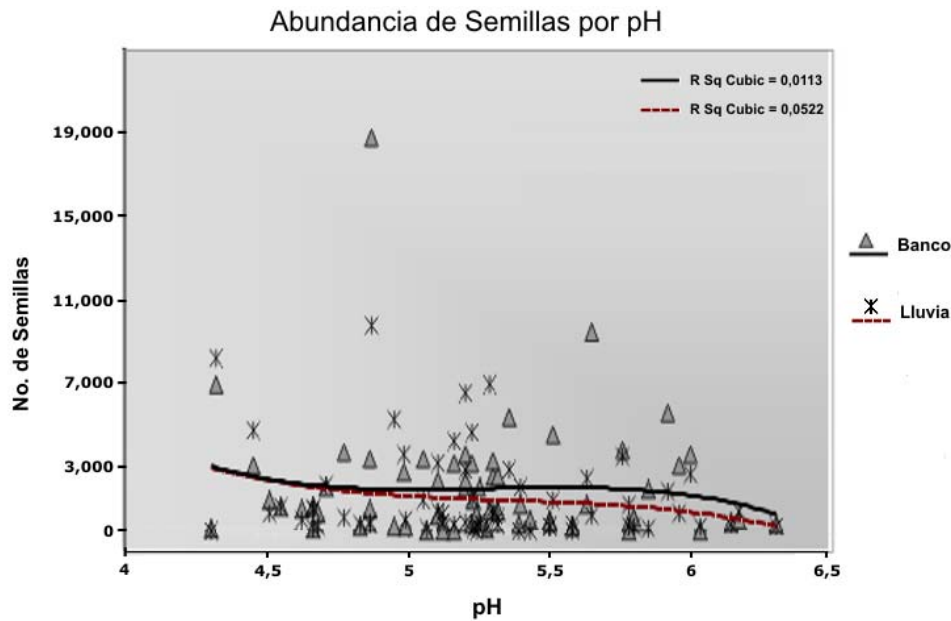


Figura 23. Relación entre la abundancia de semillas y el pH dentro de la Barranca Huilóac.

Si bien la relación entre el pH y la abundancia de semillas no es clara, tanto en el banco como en la lluvia se observa que a mayor pH hay una menor abundancia de semillas, lo cual se explica porque el sedimento carece de los requerimientos nutricionales que necesitan las especies, afectando la floración o favoreciendo la germinación de semillas; por lo tanto, se registra un menor número de semillas. Sin embargo, la tendencia de la distribución de semillas en relación al pH no es clara, tal vez porque el pH no está relacionado directamente a la cantidad de semillas, con lo cual dicho factor biofísico no es altamente influyente en la abundancia de semillas.

En resumen, los factores biofísicos (aquellos que influyen directamente en la fisiología de las plantas) tales como el pH y la luz no afectan de manera determinante el proceso de floración y la cantidad de semillas disponibles tanto en la lluvia como en el banco dentro del sitio de estudio. En el caso de los factores físicos (altitud, distancia y altura al cauce) se observa que ellos ejercen un fuerte control tanto en el establecimiento de los individuos, como posteriormente en el proceso de floración, y las concentraciones de semillas. Por ejemplo, en el caso de la altitud, ésta se relaciona con cambios de presión, temperatura y humedad, repercutiendo en las condiciones que favorecen el establecimiento de nuevos individuos y en la

cantidad de semillas disponibles. Por su parte, la distancia al cauce se relaciona con la inestabilidad erosiva-acumulativa que se registra en los sitios más cercanos al cauce, donde ocurre un evidente decremento del número de semillas. Finalmente, la altura al cauce influye en la procedencia y cuantía del aporte de semillas, que es mayor en las partes más bajas y alejadas del cauce.

## CONCLUSIONES

Después de los eventos laháricos ocurridos en 1997 y 2001 dentro de la Barranca Huilóac, se observó claramente un proceso de colonización y sucesión vegetal. Para el año 2007 la vegetación colonizadora que ha podido desarrollarse es la característica de ambientes perturbados, estando compuesta mayoritariamente de especies herbáceas-perennes, que se integraron progresivamente gracias a la alta disponibilidad de recursos. Durante el periodo de estudio las familias de mayor incidencia han sido Compositae, Gramíneae y Scrophulariaceae; representadas por las especies *Baccharis conferta*, *Castilleja arvensis*, *Eupatorium glabratum*, *Senecio barba-johannis* y *Stipa ichu*, comúnmente relacionadas a sitios con disturbio.

La variabilidad biofísica dentro de la Barranca Huilóac se refleja en la intercalación de ambientes, tanto de sucesión avanzada como de otros en estado de primo-colonización. El hábitat del lahar de 2001 es el de más reciente formación, por lo que obtuvo la mayor distribución dentro del sitio de estudio, contando con una gran disponibilidad de recursos que se refleja en la mayor riqueza y abundancia de especies. Por su parte, el hábitat del lahar de 1997 es el de mayor edad, mostrando los valores más altos en los parámetros de talla máxima y cobertura. Finalmente, el hábitat de las terrazas destaca por la inestabilidad debida a las corrientes hidrovulcánicas que circulan por el fondo de la barranca, resultando en los valores más bajos registrados en los diversos parámetros de la vegetación.

El análisis del aporte de semillas durante el año 2007 mostró que la mayor incorporación de semillas favoreció al hábitat del lahar de 2001, siendo las familias predominantes Betulaceae, Compositae, Gramíneae y Pinaceae. Asimismo, dentro de la barranca *Alnus firmifolia* y *Abies religiosa* fueron las especies con mayor incidencia tanto en el banco como en la lluvia de semillas, aunque en ésta última también destacó la presencia de las especies *Arenaria lanuginosa*, *Baccharis conferta* y *Vulpia myurus*. La influencia del banco y lluvia de semillas en el desarrollo de la vegetación durante el año 2007 fue limitada debido a que los procesos geomorfológicos, la competencia por recursos (relacionada con el estado sucesional que

caracteriza al sitio en estudio), y el desarrollo de la biomasa inhibieron el establecimiento de nuevos individuos. En cuanto a los factores del ambiente que controlan la sucesión fué posible determinar que en los sitios más alejados al cauce y próximos a las laderas de la barranca, el aporte de semillas y la estabilidad ambiental son más favorables, permitiendo un ambiente de mayor desarrollo de los diversos parámetros de la vegetación.

También fue posible determinar que el pH y la luz no influyen de manera importante en el proceso de floración y en la cantidad de semillas disponibles, tanto de la lluvia como del banco. Otros factores como la altitud -relacionada con cambios en las variables microclimáticas, principalmente cambios térmicos y de humedad- y la distancia y altura al cauce –relacionadas con la inestabilidad erosiva-acumulativa que adquiere mayor relevancia en el interior del cauce de la barranca, y con la proximidad a las áreas forestales generadoras de semillas-, ejercen un fuerte control en el proceso de floración, en la abundancia de semillas y en el establecimiento de los individuos.

Los hábitats que resultan de integrar altitudes medias, mayor distancia al cauce, mayor exposición a la luz, así como pH ligeramente ácido, son los que más favorecen el establecimiento y el éxito reproductivo de la vegetación, manifestándose claramente en el desarrollo favorable de la abundancia y talla de los individuos. Sin embargo, la riqueza de especies mostró un alto grado de independencia respecto de los factores ambientales analizados, indicando una posible influencia de otros factores externos, por ejemplo, de la vegetación de las áreas circundantes a la barranca. Por último, la cobertura mostró una ligera correlación positiva con las variables ambientales que propician el establecimiento de la vegetación, sugiriendo que su desarrollo también está influenciado por otros factores no contemplados dentro de este estudio (humedad y temperatura).

En conclusión, las condiciones -de escasa edafogénesis en ambientes dominados por la inestabilidad geomorfológica- que caracterizan el interior de la Barranca Huilóac, no son muy favorables para el desarrollo de la flora. Sin embargo, los resultados demuestran que la

vegetación ha logrado prosperar, incluso en los sitios donde los factores biofísicos son claramente adversos: mayor altitud, alta susceptibilidad a procesos de erosión-acumulación, escasa incidencia lumínica y alta acidez del suelo.

## REFERENCIAS.

- Antos, J., Halpern, C., Miller, R., Cromack, K., Halaj, M. 2003. Temporal and Spatial Changes in Soil Carbon and Nitrogen after Clearcutting and Burning of an Old-Growth Douglas-Fir Forest. Department of agriculture. USA.19. 3: 152.
- Bidwell, R. 1979. Fisiología vegetal. AGT Editor S.A. México. 123-175.
- Cano-Santana, Z., Meave, J., 1996. Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. Ciencias UNAM. 41. 58.
- Capra, L., Poblete, M., Alvarado, R., 2004. The 1997 and 2001 lahars of Popocatepetl volcano (Central Mexico): textural and sedimentological constraints on their origin and hazards. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 131: 351-369.
- Castillo, S., Montes, G., Romero, M., Martínez, Y., Guadarrama, P., Sánchez, I., Núñez, O. 2004. Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel (DF., México). Boletín de la Sociedad Botánica de México.74, 51-75.
- Chabrierie, O. and Alard, D. 2005. Comparison of three seed trap types in a chalk grassland: toward a standardised protocol. Plant Ecology. 175:101-112.
- Clements, F. 1916. Plant succession. Carnegie Institution of Washington Publication. 242.
- Daubenmire R. F. 1974. Plants and environment. John Willey and Sons Inc. 193-255.
- Del Moral, R. and Wood, D. 1993. Early primary succession on the volcano Mount St. Helens. Journal of Vegetation Science. 4: 223-234.
- Del Moral, R. 1999. Plant sucesión on pumice at mount St. Helens, Washington. American Midland Naturalist. 141: 101-114.
- Devlin, P. 1975. Fisiología vegetal. Ediciones Omega. Barcelona España. 45-70.
- Eggler, W.A. 1963. Plant life of Paricutín volcano, México, eight years after activity ceased. American Midland Naturalist. 69: 38-68.
- El Universal México. Diciembre de 2000. Ver Hemeroteca 23 y 24 de diciembre de 2000 en: [http://www.eluniversal.com.mx/web\\_anteriores.html](http://www.eluniversal.com.mx/web_anteriores.html)
- Espinasa-Pereña, R., Martín-Del Pozzo, A. 2006, Morphostratigraphic evolution of Popocatepetl Volcano, México. En: Siebe, C., Macías, J.L., Aguirre-Díaz, G. (eds.) Neogene-Quaternary Continental Margin Volcanism: A perspective from México. The Geological Society of American. 115–137
- García, A. y Muñoz, J., 2002. La actividad lahárica reciente del volcán Popocatepetl (México) y su incidencia sobre los paisajes forestales de una barranca de su vertiente nororiental: la Barranca Huilóac. Aportaciones geográficas en memoria del Prof. L. Miguel Yetano Ruiz. Depto. de Geografía y Ordenación del territorio. Universidad de Zaragoza. 267-278.
- Granados. D. y López, G., 2001. Ecología de poblaciones vegetales. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 35-45.
- Gleason, H. 1927. Further views on the sucesión concept. Ecology. 8: 299-326.
- Grime, J., 1982. Estrategias de adaptación de las plantas y procesos que controlan la vegetación. Editorial Limusa. México. 37-59.
- Gomez, M., Lindig, R., Galindo, S. 2006. Effect of tephra depth on vegetation development in areas affected by volcanism. Plant Ecology 183:207 –213.
- Julio, P., Gonzalez, A., Delgado, H., Kaab, A. 2005. Glacier meeting and lahar formation during January 22, 2001 eruption, Popocatepetl volcano (México).Z. Geomorphp.N.F. 140.93-102.
- Kent, M., Owen, N., Dale, P., Newnham, R., Giles, T. 2001 Studies of vegetation burial: a focus for biogeography and biogeomorphology?. Progress in Physical Geography 25, 4: 455-482.
- Krebs, C. 1978. Ecología. Harla-México. 355-382.
- Halpern, C., Antos, J., Geyer, M., Olson, A., 1989. Species replacement during early secondary succession: the abrupt decline of a winter annual. Ecology. Vol. 70, 3: 704-720.
- Inbar, M., Lugo, J. Villers, L.1994.The geomorphological evolution of Paricutín cone and lava flows, México, 1943-1990. Geomorphology. 9: 57-76.
- Lawrence, R. and Ripple, W. 2000. Fifteen years of revegetation of Mount St. Helens.Ecology, 81(10). 2742–2752.

- Macias, J. 2005. Geología e historia de algunos de los grandes volcanes activos de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen conmemorativo del Centenario. Temas selectos de la geología mexicana. Tomo LVII, num. 3: 379-424.
- Martin-Del Pozzo, A.L., Cifuentes, G., Cabral-Cano, E., Bonifaz, R., Correa, F., Mendiola, F., 2003. Timing magma ascent at Popocatepetl Volcano, Mexico, 2000-2001. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 125: 107-120.
- Margalef, R. 1989. Ecología. Editorial Omega. Barcelona, España. 135-155.
- Matteucci, S., Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Serie Biología. Monografía 22. OEA. Washington, USA. 79-102.
- Mazliak, P. 1976. Fisiología vegetal. Nutrición y metabolismo. Ediciones Omega. Barcelona, España. 132-144.
- Muñoz, J., Rangel, K., García, A., 2005. Plant Colonization of Recent Lahar Deposits on Popocatepetl Volcano, Mexico. *Physical Geography*. No.3: 192-215.
- Naour, K. 2004. Efecto de la desinfección de esporas, intensidad de luz y cloración del agua de riego, sobre el desarrollo de prótalos de helechos exóticos y nativos presentes en Chile. Tesis de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales Escuela de Agronomía. Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile. 25-27.
- Odum, E., 1972. Ecología. México, Interamericana. 278.
- Palacios, D., Zamorano, J., Gómez, A. 2001 The impact of present lahars in the geomorphologic evolution of proglacial gorges: Popocatepetl, Mexico. *Geomorphology* 37: 15-42
- Pimm, S. L. (1999) The dynamics of the flows of matter and energy. In J. McGlade, ed., *Advanced Ecological Theory, Principles, and Applications*. London, UK: Blackwell Science.
- Ramos, S. G. 2002. Volcán Chichón, aspectos ambientales, a 20 años de su erupción. El Chichón 1982-2002. 421.
- Raunkiaer, C. 1934. The life forms of plants and statistical. *Plant Geography*. Clarendon. Oxford. 632.
- Rejmanek, M., Haagerova, R., Haager, J. 1982. Progress of plant sucesión on the Paricutin Volcano: 25 years alter activity caesed. *American Midland Naturalist*. 108: 194-198.
- Robin, C., 1984, Le Volcan Popocatepetl (Mexique): structure, évolution petrologique et risques: *Bulletin of Volcanology*, 47: 1-23.
- Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*. IPN. 8:59-129.
- Rzedowski, J. 1986. Vegetación de México. Ed. Limusa, México, DF. 35.
- Rzedowski y J., Calderón, G. 2001. La flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología. A.C. 25-234.
- Turner, M., Baker, W., Peterson, C., Peet, R. 1998. Factors Influencing Succession: Lessons from Large, Infrequent Natural Disturbances. *Ecosystems*. 1: 511-523.
- Uhl, C. and Jordan, C. F. (1984) Succession and nutrient dynamics following forest cutting and burning Amazonia. *Ecology*, Vol. 65, 1476-1490.
- Valdés, C., De la Cruz, S., Martínez, A., Quaas, W.R., Guevara, O.E., 2002. Resumen de la actividad del volcán Popocatepetl de diciembre 1994 a mayo 2001. Las Cenizas volcánicas del Popocatepetl y sus efectos para la aeronavegación e infraestructura aeroportuaria. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 21-41.
- Vitousek, P. M., Reiners, W. A., Melillo, J. M., Grier, C. C., and Gosz, J. R. (1981) Nitrogen cycling and loss following forest perturbation: The components of response. In G. W. Barret and R. Rosenberg, eds., *Stress Effects on Natural Ecosystems*. London, UK: John Wiley & Sons.
- Wood, D. and Del Moral, R. 2000. Seed rain early primary sucesión on mount St. Helens, Washington. *Madroño*, 47: 1.9.

## Especies Pioneras en La Barranca Huilóac.

### *Alchemilla procumbens*



Planta perenne, herbácea a subfrutescente, rastrera a veces cespitosa o trepadora, pubescente o glabrada, de 10 a 40cm de largo; tallos ramificados; estípulas oblongas, generalmente dentadas, pecíolos de 3 a 10mm de largo, laminas de 5 a 25mm de largo por 1 a 4cm de ancho, tripartidas hasta la base con los lóbulos laterales bifidos, lóbulos espatulados u ovado-cuneados, borde aserrado, haz glabro, envés sericeo-pubescente; inflorescencia cimosa, laxa, flores sobre pedicelos de 3 a 10mm de largo, hipantio de 1,5 a 2mm de largo, campanulado, seríceo por fuera y con pubescencia densa por dentro, lóbulos 8 o 10, anchamente ovados, desiguales, de 1 a 2mm de largo, las bractéolas generalmente mas largas y angostas que los sépalos; aquenios 3 a 8, de color amarillento, de 1,5mm de largo. Común en las montañas 2500 a 4000msnm. En matorrales, bosque mesófilo, bosque de encino o de coníferas y pradera alpina, frecuente en lugares con disturbio.



Aquenio  
1 x 0.6mm  
Amarillento  
Obovado  
Rugosa  
Sin ornamentos

### *Baccharis conferta*



.Arbusto erecto a semiprostrado de 0,5 a 2,7m de alto, tallo, ramas y ramillas glabros, hojas subpecioladas, laminas romboides a angostamente romboides de 0,4 a 2,5cm de largo por 0,2 a 1,3cm de ancho, ápice agudo a subobtusos, márgenes enteros o mas frecuentemente con 1 a 3 dientes de cada lado, base cuneada, por lo general uninervadas, en fresco levemente reticuladas, coriáceas, glabras, cabezuelas aglomeradas en los extremos de las ramillas, subsésiles, las masculinas con involucreo semiesférico a semicampanado de 3 a 5mm de alto por 3 a 3,4mm de ancho, brácteas dispuestas en 3 series, oblanceoladas a ovadas u oblongo-ovales, agudas, débilmente uninervadas, glabras, de 18 a 32 flores, corolas de 4 a 5mm de largo, pubérulas en el tubo, cerdas del vilano 16 a 20, de 3 a 4mm de largo, cabezuelas femeninas con involucreo semicampanado de 4 a 5,5mm de alto por 2,5 a 4mm de ancho, brácteas dispuestas en 3 series, ovadas a oblanceolado-ovadas, agudas, apenas uninervias, glabras, flores de 28 a 48, corolas de 2,1 a 5mm de largo, pubérulas, ápice con dientes no claramente marcados, aquenios de 1 a 1,5mm de largo, con 10 costillas, glabros, cerdas del vilano de 28 a 42, de 4 a 6mm de largo. “Escobilla”, “Hierba del carbonero”. De 2300 a 3600msnm; abunda en terrenos desforestados, principalmente a orillas y claros de los bosques de *Abies religiosa*, *Quercus* y *Pinus*.



Aquenio  
1 x 0.5mm  
Amarillo  
Obovado-estrecho  
Lisa  
Costillas pequeñas



**Castilleja arvensis**



Hierba anual; tallos erectos de 25 a 85cm de alto, hispido-pubescentes, la parte basal generalmente cubierta de pequeños tubérculos; hojas espatulado-lanceoladas a lanceolado-oblongas de 1,5 a 7cm de largo, ápice agudo u obtuso, base atenuada, hispido-hirsutas, trinervadas; inflorescencia en forma de espiga con numerosas flores subsésiles, brácteas de color rojo, obovadas de 1,6 a 1,8cm de largo, ápice redondeado, pilosas; cáliz de 0,9 a 1,8cm de largo, sus segmentos hispídos, obtusos o redondeados y teñidos de color rojo en el ápice; corola de 1,7 a 2,2cm de largo, color rojo-amarillento, gálea de mas o menos 7mm de largo, labio inferior dividido en tres lóbulos y con un par de callosidades en la base; anteras de mas o menos 3mm de largo; estilo de mas o menos 1,8cm de largo, estigma bilobulado; cápsula de 7 a 8mm de largo, semillas oblongas de 0,8 a 1mm de largo, color café. “Cola de borrego”, “cresta de gallo”, “rosilla”. De 2250 a 2800msnm se encuentran en bosque de Abies, Quercus y Pinus en matorrales, orillas de camino y sobre todo como arvense en cultivos de maíz.



Semilla oblonga  
0.8 x 0.3mm  
Café claro  
Oblonga  
Rugosa  
Con depresiones

**Eupatorium glabratum**



Arbusto de hasta 2,5m de altura; tallos leñosos, cilíndricos de 2 a 3mm de diámetro hacia la parte superior, estriados, amarillentos, glabros, a veces algo resino-lustrosos; hojas opuestas, peciolo de 0,5 a 2cm de largo, glabro, lamina oblonga de 1,5 a 8cm de largo por 0,5 a 4cm de ancho, ápice agudo u obtuso, borde aserrado o subentero, base cuneada, haz glabro, envés glabro y glanduloso-punteado, frecuentemente resinoso-lustroso, a veces algo blanquecino, uninerve desde la base, membranaceae o algo subcoriácea; numerosos capítulos de 7 a 15mm de largo dispuestos en corimbos compuestos terminales, pedicelos glabros, resinoso-lustrosos; involucre campanulado de 5mm de largo por 4mm de ancho, cubriendo menos de la mitad del largo de las corolas, sus brácteas dispuestas en 3 series algo desiguales, oblongas u ovado-lanceoladas, agudas u obtusas, verdes, a veces algo oscuras o con tinte rojizo en el ápice, glabras, estriadas y algo resino-lustrosas; flores 15 a 18; corola de mas o menos 7mm de largo, blanca, a veces con tinte rosado en los lóbulos, glabra; aquenio de mas o menos de 3mm de largo, algo piloso especialmente hacia el ápice, vilano casi del largo de la corola, cerdas blancas. De 2600 a 3500msnm en sitios con bosque de Abies, Pino y Encino, y bosque mesófilo.



Aquenio  
0.5 x 0.5mm  
Café claro  
Oblanceolado  
Rugosa-pubérula  
Costillas pequeñas

### *Gnaphalium bourgovii*



Hierba perenne de hasta 90cm de altura, olorosa; tallos erectos, escasa o profundamente ramificados, alados, con indumento aracnoideo laxo, hojas oblongo-lanceoladas de 3,5 a 11cm de largo y 4 a 13mm de ancho, ápice acuminado, borde plano o levemente repando, base largamente decurrente formando alas en los tallos, excepto en las hojas mas cercanas a los glomérulos de cabezuelas, que son decurrentes pero no forman alas en los tallos, bicolores, con indumento aracnoideo muy laxo, escaso y con glándulas escasas y esparcidas en el haz, en el envés el indumento es lanoso-aracnoideo mas denso, inflorescencia paniculado-corimbosa o corimbosa; cabezuelas cilíndricas de 4 a 5mm de largo y 3 a 4mm de ancho, muy escasamente lanosas en la base, con 3 a 4 series de brácteas cuyo numero varia entre 20 y 28, las exteriores elípticas con ápice agudo a subagudo y escasamente lanosas, las interiores lanceoladas con el ápice agudo, todas las brácteas de color blanquecino-amarillento a amarillo-paja; flores hermafroditas 4 a 12 de 3 a 3,5mm de largo, las femeninas 47 a 67 de tamaño similar a las hermafroditas; corolas blanquecinas-amarillentas a café- amarillentas; aquenios no observados en estado maduro, las cerdas del vilano se separan del aquenio libres entre si. De 2500 a 2700msnm en bosque mesófilo de montaña y bosque de pino.



Aquenio  
1 x 0.3mm  
Café oscuro  
Ovado  
Rugosa y glabra  
Sin ornamentaciones

### *Gnaphalium liebmannii*



Hierba anual o perenne de 10cm a 1,5m de alto, de ramificación nula o profusa, glandulosa, en ocasiones rizomatosa, tallo con indumento lanoso o aracnoideo-hirsuto; roseta basal presente o ausente, hojas pecioladas a sésiles, elípticas, estrechamente elípticas u oblanceoladas de 2 a 9cm de largo y 0,5 a 1,5cm de ancho, ápice romo a agudo, base atenuada, concoloras, con indumento lanoso denso a lanoso-aracnoideo con glándulas conspicuas, a veces escasas, al menos en el haz, o bicolores con el haz hirsuto-glanduloso o aracnoideo-hirsuto, también densamente glanduloso y el envés densamente lanoso; inflorescencia glomerular simple a corimbosa congesta o corimbosa; cabezuelas cilíndricas o acampanadas de 3 a 9mm de largo y 2,5 a 7mm de diámetro, con 4 a 5 series de brácteas cuyo numero varia entre 19 y 52, las exteriores elíptico-lanceoladas, ovado-lanceoladas u oblanceoladas, ápice agudo, lanosas, las interiores oblongo-lanceoladas a linear-lanceoladas, de ápice agudo a caudado, lanosas a glabras, en ocasiones con margen purpúreo, todas las brácteas son de color café-amarillento, café-dorado o café-rojizo; flores hermafroditas 2 a 24, las femeninas 52 a 92, ambos tipos de flores de 2,8 a 4,4mm de largo, de corola café o café-purpúrea, al menos en el ápice; aquenios estrechamente ovados de 0,8 a 1mm de largo, color café oscuro, papilados, vilano con cerdas capilares blanquecinas o amarillentas que se desprenden del aquenio libres entre si. De 2400 a 4200msnm en bosque de pino y praderas alpinas.



Aquenio  
1 x 0.3mm  
Café oscuro  
Ovado  
Rugosa y glabra  
Sin ornamentaciones

**Hieracium comatum**



Planta herbácea perenne de 25 a 90cm de alto, con numerosas raíces fibrosas, tallo uno a varios, largamente piloso en forma esparcida a densa en la parte inferior, a veces inconspicuamente estipitado-glanduloso, pocas hojas basales, oblanceoladas, estrechándose hacia una base peciolar alada de 4 a 23cm de largo y de 0,8 a 3cm de ancho, agudas, inconspicuamente dentadas, verdosas, largamente pilosas en ambas superficies, hojas caulinas inferiores estrechándose hacia un peciolo alado, las superiores similares u ocasionalmente con la base abrasadora, pocas o numerosas, a menudo con glándulas cortamente estipitadas; cabezuelas usualmente pequeñas, numerosas, dispuestas en inflorescencias que por lo común son angostamente cilíndricas, tirsiformes, pedúnculos laxos de 2 a 20mm de largo, sórdido-tomentosos o estipitado-glandulosos, o bien con ambos tipos de pubescencias; involucro de unos 6 a 9mm de largo y de unos 8 a 11mm de ancho, sus brácteas principales unas 14 a 18, angostamente lanceoladas a lineares, verdes oscuras en la parte inferior, volviéndose mas claras en la parte superior y hacia los márgenes; corola amarilla; aquenios cilíndricos, estrechándose en la base de 2, 2 a 3mm de largo, café-rojizos oscuros a negruzcos, vilano de 4 a 5mm de largo, por lo general parduzco, rara vez blanquecino. De 2400 a 3200msnm en bosque de Pino y Encino.



Aquenio  
2 x 3mm  
Café rojizo  
Cilíndrico  
Lisa  
Sin ornamentaciones

**Nassella mucronata**



Planta herbácea, perenne, erguida, algunas veces geniculada en la base y cespitosa; tallo de 40cm a 1,5m de alto, con 1 a 3 nudos oscuros y blanco-pubescentes, entrenudos glabros o escabrosos; vaina foliar glabra o escabrosa, muy pocas veces pubescentes en el cuello, a veces hispida en los márgenes, lígula membranacea de 0,5 a 2mm de largo, lamina extendida o plegada, pubescente en el envés y a veces en el haz, algunas veces hispida en los márgenes de 10 a 20cm de largo por 1 a 3mm de ancho; panícula abierta, purpúrea de 8 a 30cm de largo, nudo basal pubescente, ejes escabrosos o pubescentes; glumas hialinas o purpúreas de 8 a 10mm de largo por 1mm de ancho, acuminadas, la primera trinervada, la segunda pentanervada, a veces ambas con nervios intermedios, aproximadamente iguales, siendo la segunda un poco mas larga que la primera, algunas veces escabrosas en sus nervios y entre ellos, lema fusiforme, blanca, café o purpúrea de 5 a 6,7mm de largo, blanco-pubescente solo en la mitad inferior, papilada en la superior, callo de 1 a 2mm de largo, densamente barbado, cuello distinguible, coronado con cilios de 5mm de largo, arista de 2,5 a 5cm de largo, escabrosa o pubescente, dos veces geniculada. De 2250 a 3500msnm en bosques de Quercus y de Pinus, sobre todo en claros y lugares perturbados, ocasionalmente en matorrales de Quercus y xerófilos.



Cariópside  
5 x 1mm  
Café-blanquecino  
Estrechamente aovado  
Áspera-pubérula  
Sin ornamentaciones



### *Ribes ciliatum*



Arbusto de 2 a 6m de largo, pubescente y glanduloso-pubescente en la partes tiernas; corteza con frecuencia exfoliante; peciolos del mismo largo que la lamina, ovada a orbicular de 3 a 9cm de largo y ancho, tri o pentalobada, con lóbulos agudos, borde fina e irregularmente dentado, base cordada, haz glabrado con pelos glandulosos dispersos, envés escasa o densamente glandulosos-pubescente de color mas claro que el haz; racimos péndulos, hasta 12cm de largo, con alrededor de 10 flores pubescentes, blanco-verdosas o rosadas, sobre pedicelos de 4 a 8mm de largo, brácteas obovado-oblongas u oblongo-lanceoladas, glanduloso-pubescentes, a veces ciliadas, generalmente mas largas que los pedicelos; hipantio de 4 a 8mm de largo, lóbulos del cáliz oblongos a lanceolados de 3 a 5mm de largo; pétalos mas cortos que los lóbulos del cariz; ovario glabro o glanduloso-pubescente; baya globosa, glabra o con pelos glandulosos dispersos, negra, de 8mm de diámetro. “Capulincillo”, “ciruelillo”, de 2500 a 4000msnm en matorrales, bosques de Encinos o coníferas, o en pradera alpina, con frecuencia cerca de arroyos.



Baya globosa  
8mm de diámetro  
Café oscuro  
Obovado  
Áspera  
Sin ornamentaciones

### *Roldana lobata*



Planta herbácea perenne, erecta de 1 a 3,5m de alto; raíz gruesa y fibrosa; tallos estriados, huecos u ocasionalmente medulosos, tomentulosos en la parte inferior, blanco-tomentosos arriba; hojas con peciolos de 0,5 a 13cm de largo, laminas suborbiculares u ovado-oblongas, subpalmatinerves de 3 a 20cm de largo por 2 a 20cm de ancho, márgenes irregularmente 7 a 11-lobulados, con el borde dentado-mucronado, ocasionalmente cordadas en la base, tomentulosas en la juventud, después totalmente glabras e el haz, tomentulosas a densamente blanco-tomentosas en el envés; inflorescencia paniculado-corimbosa, cabezuelas radiadas, numerosas de 8 a 10mm de alto, sobre pedicelos de 2 a 11mm de largo, bractéolados, densamente tomentosos; involucro campanulado o subcilíndrico, de 12 a 13 brácteas linear-lanceoladas de 5 a 6mm de largo, agudas en el ápice, blanco-tomentosas, calículo con 4 a 6 bractéolas inconspicuas, lineares de 3 a 4mm de largo; receptáculo plano; flores amarillas liguladas de 5 a 8, sus laminas oblongo-elípticas de 5 a 6,5mm de largo; 14 a 24 flores del disco de 6 a 8mm de largo; aquenios maduros claviformes o subcilíndricos de 1 a 2mm de largo, estriados y glabros, de color café-verdoso o negruzco, blanquecinos en la base, cerdas del vilano blancas, con frecuencia tan largas como las corolas de las flores centrales. De 2250 a 2900msnm en bosques de Quercus y Pinus, matorrales xerófilos y pastizales; presentemente en claros adyacentes a bosques y sitios con disturbio.



Aquenio  
2 x 1mm  
Café claro  
Claviforme  
Glabro  
Costillas pequeñas

### *Senecio barba-johannis*



Arbusto de 1,5 a 3m de altura, varios tallos, con frecuencia partiendo desde la base, estriados, medulosos y quebradizos, flocoso-tomentosos; hojas con peciolo de 1,5 a 13cm de largo, laminas ampliamente ovadas u oblongas de 3 a 20cm de largo por 1,5 a 12cm de ancho, agudas o mucronadas en el ápice, márgenes ocasionalmente situados, con el borde denticulado-mucronado, cordadas en la base, glabras o tomentulosas principalmente en las nervaduras en el haz, densamente blanco-tomentosas en el envés, suncoriáceas; inflorescencia en forma de cimas corimbiformes; cabezuelas radiadas, bastante numerosas de 7 a 11mm de alto, sobre pedicelos de 2 a 7mm de largo, bractéolados y tomentosos; involucre angostamente campanulado o subcilíndrico, 12 a 13 brácteas linear-lanceoladas de 3 a 5mm de largo, agudas o acuminadas en el ápice, densamente tomentosas, cálculo con 3 a 8 bractéolas inconspicuas lineares de 3 a 4mm de largo, receptáculo plano; 5 a 8 flores liguladas amarillas, sus laminas oblongo-elípticas u obovadas, de 3 a 5mm de largo; 14 a 20 flores del disco amarillas de 5 a 8mm de largo; aquenios maduros claviformes o subcilíndricos de 1 a 2mm de largo, estriados y glabros, de color café-amarillento o negruzco, cerdas del vilano blancas, las mas largas de 7mm de largo. “Barba de San Juan de Dios” de 2500 a 3400msnm en bosques de Abies, Pinus y Quercus, en el mesófilo de montaña y matorrales secundarios.



Aquenio claviforme  
2 x 1mm  
Café-amarillento  
Cilíndrico  
Estriado y glabro  
Costillas pequeñas

### *Senecio cinerarioides*



Arbusto de 1 a 3m de alto, bastante ramificado y algo frondoso; tallos principales partiendo casi desde la base, medulosos y quebradizos, tomentulosos a densamente blanco-tomentosos; hojas sésiles, las mas jóvenes agrupadas en fascículos, lanceoladas u oblongo-lanceoladas de 2 a 18cm de largo por 0,3 a 20mm de ancho, agudas o acuminadas en el ápice, borde entero o denticulado glabras o tomentulosas en el haz, densamente blanco-tomentosas en el envés; inflorescencia paniculado-racemosa o en forma de cimas corimbiformes; cabezuelas radiadas, bastante numerosas de 9 a 13mm de alto, sobre pedicelos de 0,4 a 5cm de largo, bractéolados y tomentosos; involucre campanulado o subcilíndrico, sus brácteas de 18 a 21 linear-lanceoladas de 5 a 7mm de largo, agudas en el ápice, cálculo bastante prominente con 11 a 13 bractéolas imbricadas, en ocasiones llegando totalmente a cubrir totalmente las brácteas involucreales; flores del disco 47 a 64 amarillas de 7 a 9mm de largo; aquenios maduros claviformes o subcilíndricos, de 2 a 0,5mm de largo, glabros o algo pubescentes café o verdoso, cerdas del vilano blancas, tan largas como las corolas de las flores centrales. “Jarilla blanca”, “Rosa de San Juan” de 2500 a 3500msnm en bosque de Abies y de Pinus, de preferencia en áreas abiertas y afectadas por disturbio.



Aquenio  
2 x 0.5mm  
Café-verdoso  
Subcilíndrico  
Lisa  
Sin ornamentaciones

### *Senecio procumbens*



Planta herbácea perenne o subfrutescente, decumbente o erecta de 5 a 18cm de largo, tallos tomentulosos a densamente tomentosos; hojas angostándose gradual hasta terminar en un pecíolo corto, oblanceoladas o algo espatuladas de 1 a 5cm de largo con pecíolo, por 3 a 15mm de ancho, agudas o submucronadas en el ápice, borde denticulado o sinuado-dentado, con frecuencia resoluta, atenuadas en la base, glabrescentes a tomentosas en el haz, densamente blanco-tomentosas en el envés; con capítulos solitarios y terminales, o agrupados por pocos en el extremo de los tallos, comúnmente escasos de 1 a 1,5cm de alto, sobre pedúnculos hasta de 3,5cm de largo, bractéolados y tomentosos; involucreo campanulado, 12 a 16 brácteas lanceoladas u oblongo-lanceoladas de 6 a 10mm de largo; flores del disco 43 a 65, amarillas de 5,5 a 7,5mm de largo; aquenios maduros claviformes o ligeramente elipsoides de 2 a 3mm de largo, estriados, glabros y negruzcos, cerdas del vilano blancas, tan largas como las corolas de las flores centrales. De 3800 a 4300msnm en bosques de *Pinus hartwegii*, así como praderas alpinas.



Aquenio  
2 x 1mm  
Café oscuro  
Claviforme  
Glabro  
Costillas pequeñas

### *Trisetum kochianum*



Planta herbácea perenne, hasta 1m de alto, glabra, lígula hasta de 4mm de largo, truncada en el ápice, lamina foliar plana a algo enrollada de hasta 15cm de largo por 3mm de ancho; panícula compacta, con frecuencia espiciforme, aunque a veces interrumpida o cortamente ramificada de 15cm de largo por lo general de menos de 1cm de diámetro; espiguillas con 2 flores, glumas casi iguales de 4 a 5mm de largo, puntiagudas en el ápice, uninervadas; lema de 2,5 a 4,5mm de largo, bilocada en el ápice y con una arista dorsal mas o menos geniculada de 5 a 7mm de largo que se origina cerca de su base, pálea hialina de 2,5mm de largo; 2 estambres, grano subcilíndrico de 1,5mm de largo. De 2400 a 3100msnm en claros de diferentes tipos de bosques, a veces en pastizales o matorrales xerófilos, a menudo en la vegetación secundaria.



Cariópside  
4 x 1mm  
Amarillo claro  
Linear-subcilíndrico  
Áspera y pubérula  
Sin ornamentaciones