

Fenología reproductiva de las especies alpinas del Cofre de Perote: una aproximación al uso de ejemplares de herbario como indicadores de Cambio Climático

Jerónimo Vázquez-Ramírez, Claudia Álvarez-Aquino, Armando Martínez-Chacón, Virginia Rebolledo-Camacho y Armando Aparicio-Rentería

Pronatura Veracruz A.C. / Instituto de Investigaciones Forestales, UV
Instituto de Neuroetología, UV

INTRODUCCIÓN

La temperatura media en la superficie terrestre se incrementó aproximadamente 0.6° C durante el siglo pasado, un cambio causado por el aumento de CO² y otros gases de efecto invernadero resultantes de actividades antropogénicas (IPCC, 2001). Algunas consecuencias que se atribuyen al cambio climático son el incremento del nivel del mar, el derretimiento de glaciares y cambios en los patrones globales del viento, temperatura y precipitación.

Estos cambios tienen efectos en numerosos aspectos del ciclo de vida de distintos taxa en diferentes áreas geográficas (Bertin, 2008). El proceso biológico más sensible al cambio climático y el más simple de detectar es la fenología (Primack y Miller-Rushing, 2012). La fenología es el estudio de los eventos periódicos y repetitivos que ocurren dentro del ciclo de vida de cualquier ser vivo y de cómo éstos están influenciados por factores bióticos y abióticos (Newstrom *et al.*, 1994; Williams-Linera y Meave 2002; Schwartz, 2003).

Eventos fenológicos como la floración o la apertura de yemas foliares han recibido amplia atención como bio-indicadores del cambio climático. (Sparks y Menzel, 2002; Menzel, 2003; Bedeck *et al.*, 2004; Körner y Basler, 2010). La principal forma de documentar cambios en la fenología de las plantas es la observación directa de un taxa en particular por largos periodos de tiempo, de ser posible décadas o siglos (Sparks y Menzel, 2002). Además de que las observaciones pueden ser registradas por uno o varios observadores en una o varias localidades (Bertin, 2008).

Las observaciones a largo plazo muestran como las plantas responden a temperaturas más cálidas cambiando el tiempo en que se presentan eventos fenológicos como la apertura de yemas foliares o el inicio de la floración. Además la amplitud de respuesta difiere entre especies y es de mucho interés el documentar cuales están o no están respondiendo rápidamente y el porqué de los cambios (Gallagher *et al.*, 2009). En algunas ocasiones ante la falta de registros de observaciones a largo plazo, se utilizan otros métodos como comparar observaciones actuales con registros antiguos como fotografías o ejemplares de herbario (Miller-Rushing *et al.*, 2006).

En este sentido, un herbario contiene colecciones curadas y organizadas sistemáticamente que sirven de apoyo en numerosas investigaciones y proyectos educativos. Las plantas que fueron ingresadas al herbario deben de aparecer en gavetas siempre y cuando estas colectas hayan sido prensadas, secadas, montadas, identificadas y se haya elaborado su ficha informativa, a partir de ese momento es un ejemplar de herbario.

Ante la falta de programas de monitoreo fenológico a largo plazo en México, y el desconocimiento de los posibles impactos del cambio climático sobre la fenología de cualquiera de las especies que se distribuyen en el país, es que se realizó una aproximación al uso de ejem-

plares de herbario de especies alpinas como indicadores de cambio climático. Se utilizaron especies alpinas (que se distribuyen en el páramo de altura), porque la fenología de estas especies es muy sensible a los cambios de temperatura (Gallagher *et al.*, 2009).

LOCALIZACIÓN

El páramo de altura (*sensu* Miranda y Hernández, 1963) o zacatonal alpino (*sensu* Rzewnowski, 1978) es una comunidad vegetal que se desarrolla entre los bosques de coníferas y la zona de nieves perpetuas. Se distribuye en un rango altitudinal va de los 4,000 y los 4,500 msnm, por lo que se encuentra restringido a la parte alta de los volcanes más elevados del país, como lo son: el Pico de Orizaba, el Popocatepetl, el Sierra Negra, la Malinche, el Nevado de Toluca, el Nevado de Colima, el Cofre de Perote, entre otros.

En el Cofre de Perote este tipo de vegetación ocupa una extensión de km^2 (Figura 1) y se ha registrado una riqueza de 22 especies (Vázquez-Ramírez, 2014). Factores ambientales como las drásticas fluctuaciones de temperatura, la poca disponibilidad de nutrientes en suelos arenosos, la alta radiación ultravioleta que junto con el intenso y constante viento ocasionan un alto nivel de evapotranspiración, constituyen un filtro ecológico que pocas especies pueden tolerar, por lo que fisonómicamente este tipo de vegetación carece de un estrato arbóreo y está dominado por especies herbáceas (Gómez-Pompa, 1978; Almeida *et al.*, 1994). Además, las plantas tienen un lento crecimiento, un tamaño reducido y se presentan en arreglos como macollas, cojines y rosetas. La mayoría de las especies son crasas, pubescentes y perennes.

Desde el punto de vista biogeográfico, este tipo de vegetación es el límite de distribución al sur de las especies de alta montaña con afinidad neártica, lo que explica la adaptación de estas a los factores ambientales extremos (Gómez-Pompa, 1978).

MÉTODO

Obtención de datos. Se visitaron los herbarios XAL (Instituto de Ecología) y XALU, (Facultad de Biología, Universidad Veracruzana) ambos en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Se consultaron ejemplares de herbario de las especies que se distribuyen en el páramo de altura. Los ejemplares tuvieron que haber sido colectados en el Cofre de Perote a más de 4,000 msnm; el límite establecido mediante la altitud restringe la búsqueda a los especímenes colectados bajo condiciones ambientales similares

Con la información incluida en las fichas de herbario se realizó una base de datos. Se utilizaron únicamente los ejemplares que fueron colectados cuando más del 50% de sus flores estuvieran abiertas y no presentaran frutos. Solamente los especímenes que no presentaran partes faltantes fueron incluidos en la base de datos. Se descartó a las especies que tuvieran menos de siete ejemplares útiles para el estudio. Se seleccionaron especies que presentan un patrón de floración anual; este patrón es el más predecible de los que existen, tiene solamente una fase principal, la cual se repite cada año de manera regular. Además se añadió a la base de datos las colectas realizadas por los autores durante el 2014.

3.2 Análisis de datos. Se convirtió el día de colecta a día juliano (Jul 1=1, Jun 31=365), se creó un diagrama de dispersión con este dato y el año en que fueron colectados los ejemplares para visualizar las tendencias a lo largo del tiempo. Posteriormente se realizó un análisis de regresión lineal para determinar la relación entre estas dos variables.

RESULTADOS

Únicamente una de las 22 especies distribuidas en el páramo estuvieron representados por más de 7 ejemplares de herbario útiles para esta investigación, misma que tienen un patrón de floración anual: *Robinsonecio gerberifolius*. Esta especie pertenece a la familia Asteraceae y se distribuye exclusivamente en el páramo de altura.

En el análisis de los resultados se encontró que los ejemplares de herbario son colectados cada vez más tarde en el año, lo que sugiere que la floración de *R. gerberifolius* se está retrasando. La pendiente de la recta indica que por cada año que pasa los ejemplares incluidos en el análisis fueron colectados 1.32 días más tarde. El valor de R^2 indica que el 57% de la variación en la fecha de colecta se explica por el año en el que los ejemplares fueron colectados. El valor de $P(0.03)$ aportó efecto y da un 97% de confiabilidad de que *R. gerberifolius* está floreciendo más tardíamente en el año (Figura 2).

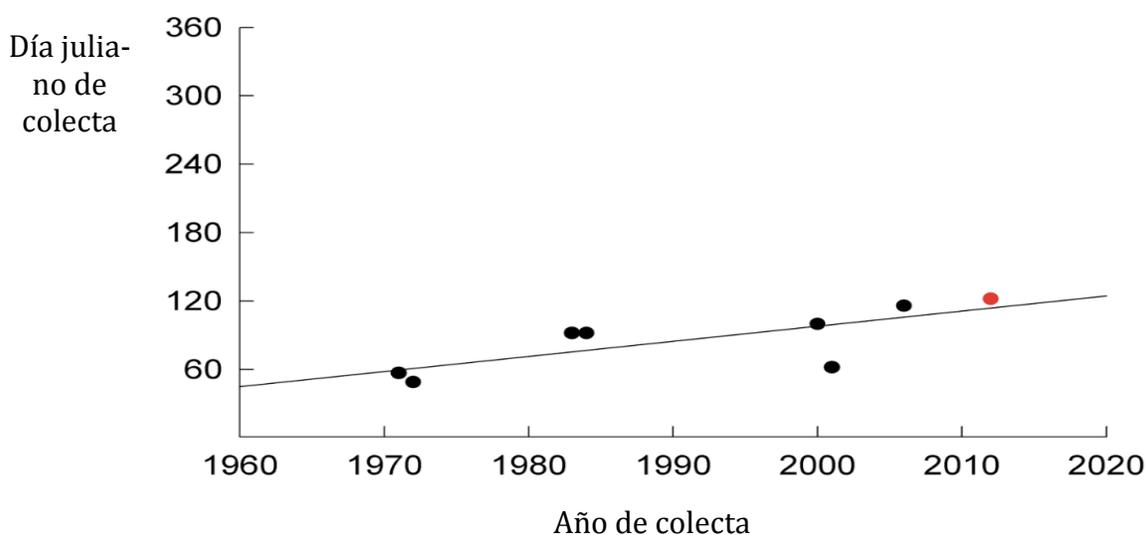


Figura 1. Relación entre el año y el día de colecta (Jul 1=1, Jun 31=365) para *Robinsonecio gerberifolius* [$y=1.327x-2557.3$, $R^2=0.578$, $P=0.03$, $N=8$]. El punto rojo representa la colecta realizada durante este estudio.

CONCLUSIÓN

Como consecuencia del bajo número de ejemplares de herbario útiles para la metodología utilizada y a la dispersión de los datos, solamente se obtuvo correlación entre el año y el día de colecta para *Robinsonecio gerberifolius*, asociación que indica que la floración de esta especie se ha retrasado en el año, un efecto que ya otros autores han reportado para algunas especies (Fitter y Fitter, 2002; Keatley *et al.*, 2002). Distintos estudios que han utilizado la misma metodología obtuvieron resultados similares y se argumenta que hay poca evidencia estadística a causa de la naturaleza de este tipo de datos (Gallagher *et al.*, 2009).

Durante la exploración de ejemplares de herbario se registró que especies como *Sedum mínimum* y *Senecio roseus* tienen una floración menor de tres meses, lo cual las hace ser buenos indicadores de cambios ambientales. Sin embargo, el bajo número de colecta impidió realizar los análisis propuestos. En particular *Sedum mínimum* tiene las características deseables como especie candidata a ser objeto de un monitoreo fenológico a largo plazo, ya que su aparición, floración y fructificación son muy fáciles de observar y parecen ser sensible a los cambios

ambientales. Además al ser una especie con una amplitud de floración corta y anual se recomienda realizar observaciones mensuales durante el año e incrementar la intensidad de éstas en el periodo de Junio-Agosto a una visita por semana para registrar con mayor precisión la fecha en la que inicia la floración y fructificación.

Realizar monitoreo o colectas sistemáticas de especies que se encuentren dentro de áreas naturales protegidas, en especial en comunidades sensibles a los cambios en el clima (como es el caso del páramo de altura) es de suma importancia para entender como el cambio climático está afectando a los ecosistemas y a las plantas distribuidas en el país, ya que como mencionan algunos autores (Price y Waser, 1998; Saavedra *et al.*, 2003; Forrest *et al.*, 2010) los cambios en los patrones de floración y fructificación ocasionados por el cambio climático afectan el éxito reproductivo de las especies, dado que el desfase o la coocurrencia de estas fenofases seguramente afecta las interacciones ecológicas con polinizadores y dispersores. En este contexto, la utilidad real de los ejemplares de herbario esta en proporcionar un punto de referencia histórico el cual sirva de complemento para el contraste de nuevos registros de colecta (Gallagher *et al.*, 2009).

Es importante mencionar que en México no existen sitios donde se colecten ejemplares botánicos de forma sistemática, si no que casi siempre se realizan en un solo tiempo de manera aislada. Además, no existe una red fenológica como en otros países en las que participan no solo personas del ámbito académico si no población civil, los cuales realizan y reportan observaciones de eventos fenológicos en diferentes latitudes y altitudes. Por lo anterior, es necesario impulsar la creación de este tipo de red y la observación y colecta sistemática de eventos fenológicos en las distintas comunidades vegetales del país. Sin registros fenológicos a largo plazo es muy difícil predecir los impactos que el cambio climático tendrá en la diversidad y sus consecuencias en los procesos ecológicos, en la agricultura, en la salud humana y en la economía global.

REFERENCIAS

- Almeida, L., A.M. Cleef, A. Herrera, A. Velázquez e I. Luna. 1994. El zacatonal alpino del Volcán Popocatepetl, México, y su posición en las montañas tropicales de América. *Phytocoenologia* 22(3): 391-436.
- Bedeck W., A. Bondeau, K. Böttcher, D. Doktor, W. Lucht, J. Schaber y S. Sitch. 2004. Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist* 162: 295–309.
- Bertin, R.I. 2008. Plant phenology and distribution in relation to recent climate change. *Journal of the Torrey Botanical Society* 135: 126-146.
- Fitter, A.H. y R.S.R. Fitter. 2002. Rapid changes in flowering time in British plants. *Science* 296: 1689-1691.
- Forrest J., D. W. Inouye y J.D. Thomson. 2010. Flowering phenology in subalpine meadows: Does climate variation influence community co-flowering patterns. *Ecology* 91(2): 431-440.
- Gallagher, R.V., L. Hughes y M.R. Leishman. 2009. Phenological trends among Australian alpine species: using herbarium records to identify climate-change indicators. *Australian Journal of Botany* 57: 1-9.
- Gómez-Pompa, A. 1978. Ecología de la Vegetación del Estado de Veracruz. Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos A.C. (INIREB), Jalapa, Veracruz. 91 p.
- Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC). 2001. Third assessment report climate change. In Mc Carthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS (eds.) Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge.
- Keatley, M.R., T.D. Fletcher, I.L. Hudson y P.K. Ades .2002. Phenological studies in Australia: potential application in historical and future climate analysis. *International Journal of Climatology* 22:1769–1780.
- Körner, C. y D. Basler. 2010. Phenology Under Global Warming. *Science* 327: 1462-1463.
- Menzel, A. 2003. Plant Phenological “Fingerprints” En: Schwartz, M. (ed.). Phenology: An Integrative Environmental Science. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. Pp. 255-267.
- Miller-Rushing, A.J., R.B. Primack, D. Primack y S. Mukunda. 2006. Photographs and herbarium specimens as a tool to document phenological changes in response to Global Warming. *American Journal of Botany* 93(11): 1667-1674. 103
- Miranda, F. y E. Hernández. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179.
- Newstrom L.E., G.W. Frankie y H.G. Baker. 1994. A New Classification for Plant Phenology Base on Flowering Patterns in Lowland Tropical Forest Trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica* 26(2): 141-159.
- Primack, D. y A.J. Miller-Rushing. 2012. Uncovering, Collecting, and Analyzing Records to Investigate the Ecological Impacts of Climate Change: A Template from Thoreaus’s Concord. *BioScience* 62(2): 170-181.

- Price, M. V. y N. M. Waser. 1998. Effects of experimental warming on plant reproductive phenology in a subalpine meadow. *Ecology* 79:1261–1271.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. México D. F., 432 pp.
- Saavedra, F., D. W. Inouye, M. V. Price y J. Harte. 2003. Changes in flowering and abundance of *Delphinium nuttalianum* (Ranunculaceae) in response to a subalpine climate warming experiment. *Global Change Biology* 9:885–894
- Schwartz, M. 2003. Introduction. En: Schwartz, M. (ed.). Phenology: An Integrative Environmental Science. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. Pp. 3-7.
- Sparks, T.H. y A. Menzel. 2002. Observed Changes in Seasons: An Overview. *International Journal of Climatology* 22: 1715-1725.
- Vázquez-Ramírez, J. 2014. Fenología reproductiva de las comunidades vegetales del Parque Nacional Cofre de Perote. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones Forestales. Universidad Veracruzana. 120 p.
- Williams-Linera, G. y J. Meave. 2002. Patrones fenológicos. En: Guariguata, M. y G. Kattan (eds.). Ecología y conservación de bosques neotropicales. Editorial Libro Universitario Regional. San José, Costa Rica. Pp. 407- 431.