

# Datos sobre la vegetación higrófila altimontana del Volcán Iztaccíhuatl (México)

Joaquín Giménez de Azcárate (\*), Martha E. Escamilla Weinmann (\*\*) & Lucía Almeida Leñero (\*\*\*)

**Resumen:** G. Azcárate, J. Escamilla, M., & Almeida, L. *Datos sobre la vegetación higrófila altimontana del Volcán Iztaccíhuatl (México)*. *Lazaroa* 30: 109-118 (2009).

Se presentan los resultados obtenidos en el seguimiento e inventario de la vegetación de carácter edafohigrófila en la alta montaña del volcán Iztaccíhuatl, y que son parte del análisis general que se está efectuando del conjunto de su vegetación. Para ello se reconocieron los enclaves topográficamente favorables que sustentan tales comunidades ya que la naturaleza reciente del sustrato volcánico y la altitud, favorecen el dominio fisionómico de distintas comunidades, climáticas y seriales, de pastizales (zacatonales).

Siguiendo la metodología fitosociológica se efectuaron 29 inventarios, entre las cotas de 3800 y 4300 m de altitud. El análisis efectuado y las correspondientes diferencias florísticas y ecológicas han permitido reconocer y proponer dos comunidades que corresponden a los sintaxones *Poo villaroelii-Oreomyrretum tolucae* y *Carici peucophilae-Cotuletum mexicanae*. Para cada una se abordan los aspectos relacionados con su composición, ecología, distribución, requerimientos edáficos y posición dinámico-catenal.

**Palabras clave:** higrófilas alpina, fitosociología, Volcán Iztaccíhuatl, México.

**Abstract:** G. Azcárate, J. Escamilla, M., & Almeida, L. *Data from high-mountain hygrophilous vegetation of the Iztaccíhuatl volcano (México)*. *Lazaroa* 30: 109-118 (2009).

We present the results of the monitoring and inventory of the edaphic-hygrophilous high-mountain vegetation of the Iztaccíhuatl volcano. This work forms part of a general analysis currently being conducted of its vegetation as whole. This was done by identifying the topographically optimal places sustaining hygrophilous plant communities of the substrate and its recent formation, as well as its altitude, favours the dominance of different climatic and serial communities of subalpine grasses (zacatonales).

Following the phytosociological methodology, 29 relevés were made at an altitude of between 3800 and 4300 m. The analysis and the corresponding floristic and ecological differences allowed us to recognize and propose two communities corresponding to the syntaxa *Poo villaroelii-Oreomyrretum tolucae* and *Carici peucophilae-Cotuletum mexicanae*. Aspects relating to composition, ecology, distribution, soil requirements and catenal-position dynamics are considered and discussed for each community.

**Keywords:** hygrophilous plant communities, phytosociology, Iztaccíhuatl volcano, México.

## INTRODUCCIÓN

La vegetación de carácter higrófilo propia de los suelos con hidromorfía impedida ha pasado bastante desapercibida en los estudios vegetacionales y ecológicos efectuados en las montañas del centro de México. La escasez e incluso ausencia de biotopos favorables para su desarrollo ha motivado que esta vegetación no haya sido

considerada en los trabajos efectuados en la alta montaña de los volcanes del centro del país (BEAMAN, 1962, 1965; LAUER, 1978; ALMEIDA & al. 1994 y 2004; ESCAMILLA, 1996). La historia geológica reciente de la zona centro de la Faja Volcánica Mexicana, junto con una geomorfología dominada por procesos erosivos y denudativos y unos suelos de tipo andosol ricos en arenas de origen volcánico, han restringido severamente la formación de

\* Departamento de Botánica. Escuela Politécnica Superior. 27002 Lugo. Universidad de Santiago de Compostela. España.

\*\* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México.

\*\*\* Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Laboratorio de Ecosistemas de Montaña. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

los diferentes tipos de suelos con drenaje deficiente. Lo anterior, junto con lo restrictivo de las condiciones climáticas imperantes en la alta montaña (TROLL, 1959; ERN, 1975), ha favorecido el dominio de las diferentes comunidades herbáceas amacolladas de mediano porte, que se integran en el zacatonal alpino (RZEDOWSKI, 1978). A estas situaciones, que en su mayoría son de carácter climácico, habría que añadir las formaciones ralas dominadas por gramíneas, cojines y rosetas, y los partizales edafohigrófilos aquí estudiados. El límite superior de distribución del bosque de *Pinus hartwegii*, el cual se corresponde aproximadamente con los 4000m, constituye la zona de separación entre el zacatonal alpino y el zacatonal subalpino de carácter secundario que se desarrolla en el dominio climácico de dicho bosque (RZEDOWSKI & al., 2001; ESCAMILLA, 2007).

Los hábitats con zacatonales han llamado la atención a los estudiosos de la vegetación supraforestal, sin apuntar la peculiaridad florística y ecológica de los escasos medios hidrófilos presentes. Estas comunidades han sido nombradas como praderas alpinas (BEAMAN, 1962), páramos de altura (MIRANDA Y HERNÁNDEZ, 1963), pradera alpina cespiticaule (GONZÁLEZ QUINTERO 1974), alpine grassland (RZEDOWSKI, 1975), zacatonal alpino y subalpino (CRUZ, 1969; RZEDOWSKI, 1978; CHALLENGER, 1998; RZEDOWSKI & al. 2001). Los términos alpino y subalpino se han utilizado en el sentido dado por BEAMAN & al. (1962) y BILLINGS (2000) referentes a las áreas de vegetación por arriba y por abajo, respectivamente, del límite de crecimiento de la vegetación arbórea (*timberline*). Tan solo CRUZ (1969), en su trabajo sobre los pastizales del Valle de México, comenta la existencia de un contacto o relación de los pastizales alpinos y subalpinos con las áreas cenagosas, y que viene dado por la presencia de diversas especies de *Carex*, *Juncus*, *Cirsium* y *Potentilla*; asimismo reconoce una comunidad de “pradera de *Potentilla candicans*”, referida a los zacatonales desarrolladas sobre suelos con drenaje deficiente, en los claros del bosque de *Pinus hartwegii* entre las cotas de 2800 m y 3500 m; en este sentido RZEDOWSKI (1975) comenta la existencia de praderas determinadas por el drenaje deficiente. ERN (1975) también señala la esporádica presencia de estaciones con suelos húmedos en las depresiones y orillas de charcas, los cuales no llegan a constituir verdaderas turberas debido a la marcada influencia del período seco, y en las cuales están presentes los géneros *Ranunculus*, *Gentiana*, *Juncus* y *Carex*. En cualquier caso la ausencia de listas florísticas o de tablas de ve-

getación relacionadas con estos medios impide comparar y avanzar en el tema.

Además de los trabajos comentados anteriormente, se han efectuado otros de tipo fitosociológico relacionados con los bosques y zacatonales de las zonas medias y altas de las principales sierras y volcanes del centro del país, destacando los de BEAMAN (1965), ISLEBE & VELÁZQUEZ (1994), ESCAMILLA (1996), ALMEIDA & al. (1997), G. AZCÁRATE Y ESCAMILLA (1999), SILVA & al. (1999), ESCAMILLA & al. (2001), G. AZCÁRATE & al. (2003), y ALMEIDA & al. (2007). Resaltar así mismo los efectuados en los medios higrófilos de las Lagunas de Zempoala (BONILLA, 1992; ISLEBE & al., 2003).

#### JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Para cubrir la ausencia de información fitocenótica vinculada a los medios hidromorfos de la alta montaña de centro del país, se ha seleccionado al volcán Iztaccíhuatl por ser éste el único que presenta las condiciones geomorfológicas adecuadas que propician la presencia de dichos ambientes. Ello supone una importante novedad de cara a abordar la caracterización y diversidad de la vegetación herbácea orófila de dicho territorio. Estos hábitats higrófilos constituyen el marco de referencia del presente trabajo cuyo objetivo principal es el de identificar y caracterizar las comunidades vegetales de carácter edafohigrófilo en el seno del zacatonal alpino y del bosque de *Pinus hartwegii* (RZEDOWSKI, 1978; RZEDOWSKI & al., 2001). De forma complementaria y para cada situación particular se abordan cuestiones relacionadas con la composición, ecología, distribución y caracterización edáfica.

#### ÁREA DE ESTUDIO

El volcán Iztaccíhuatl (19° 03' - 19° 20' N y 98° 26' - 98° 47' W) se localiza en la Sierra Nevada, a unos 65 km de la Ciudad de México (Figura 1). Con una altitud de 5286 m es la tercera cumbre más elevada del país. Presenta una cresta somital de 7 kms sobre la que se disponen las cumbres y collados que definen su perfil de “Mujer Dormida” (Cabezo, Pecho, Rodillas y Pies). Por encima de los 3600 m el territorio del volcán se integra, junto con el territorio análogo del Popocatepetl, en el Parque Nacional Izta-Popo (OBIETA & SARUKÁN, 1981).

Su origen se remonta al Oligoceno Superior-Mioceno, aunque es durante el Plioceno Medio y Superior

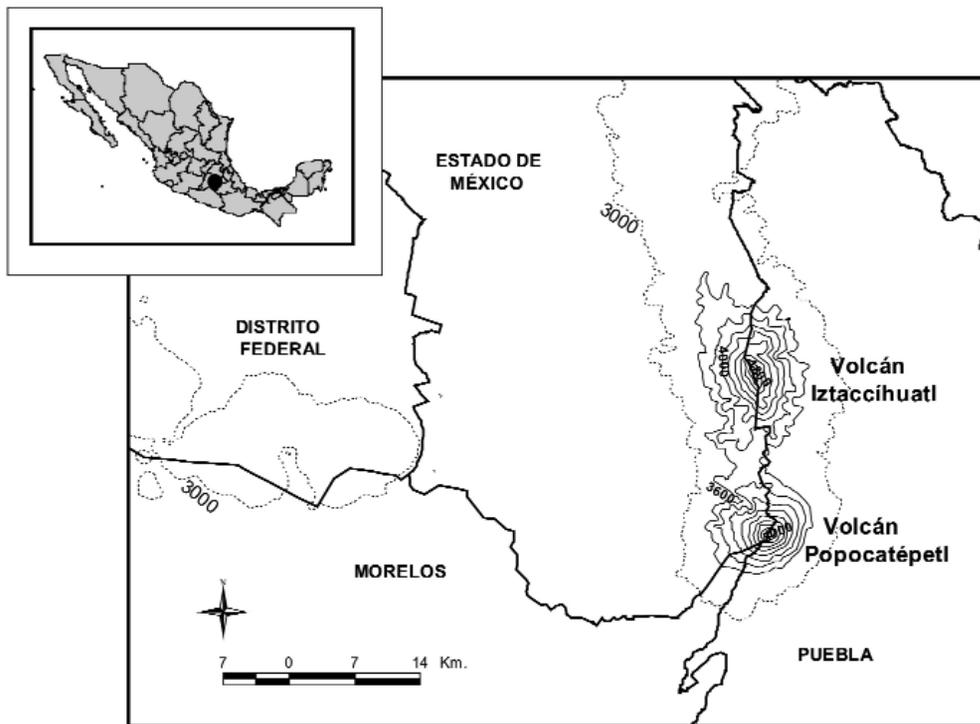


Figura 1.— Situación del volcán Iztaccíhuatl en México.

cuando se define su configuración actual (WHITE, 1962; LORENZO, 1969). Su litología de origen volcánico está dominada por toba andesitas, basaltos y dacitas (MOOSER & al., 1996); el último período de actividad del volcán se estima que fue hace unos 25000 años, anterior al último período glaciario (MOOSER, 1975). Sobre los materiales comentados se han depositado cenizas de las cinco últimas erupciones del vecino Popocatepetl; la edad de las últimas capas de ceniza se estima entre 400 años para la más reciente y 25.000 años la más antigua (WERNER, 1978). El relieve de la zona alta del volcán está influido por los procesos glaciares y periglaciares, actuales y anteriores, la pendiente del terreno, el dominio de materiales no consolidados y la ausencia o baja cobertura de la vegetación. Los suelos dominantes son andosoles poco desarrollados, derivados de cenizas volcánicas recientes; en las áreas más abruptas son sustituidos por litosoles y regosoles (KNEIB & al., 1973; ARRIAGA & al., 2000).

A lo largo del gradiente altitudinal de la montaña la vegetación se dispone en un patrón de pisos con bosques de encino hasta los 2800 m, bosques de oyamel (*Abies religiosa*) y mixtos (*Quercus spp.*, *Pinus spp.*, *Abies religiosa* y *Alnus jorullensis*) hasta los 3400 m,

bosques de pino (*Pinus hartwegii*) hasta los 4000m, donde se sitúa para el centro de México el límite de la vegetación arbórea, y zacatonal hasta los 4400 m (TROLL, 1971; RZEDOWSKI, 1978; G. AZCÁRATE & al., 2003; ESCAMILLA, 2007). En los pisos del bosque de *P. hartwegii* y del zacatonal, la notable oscilación diaria de las temperaturas y los procesos de soliflucción y crioturbaación, son los factores que marcan la pauta en el funcionamiento ecológico del medio (HEDBERG, 1992). Otro elemento de capital trascendencia en la composición y dinámica del paisaje vegetal del volcán es el fuego. A su proliferación, mayormente inducida, y a la deforestación se debe el avance de los zacatonales seriales en el dominio potencial del bosque de *P. hartwegii*. De igual manera los fuegos condicionan la proliferación de geofacias pirófilas en el seno de los zacatonales climáticos supraforestales (GARCÍA-ROMERO, 2004).

En cuanto a la caracterización climática y bioclimática, la zona de estudio está marcada por un régimen típico de la alta montaña tropical, con acentuadas oscilaciones térmicas entre el día y la noche durante todo el año, en contraste con la de las temperaturas medias mensuales que se sitúan entre 3 y 4°C (LAUER,

1973; LAUER y KLAUS, 1975). La isoterma de 5°C se ubica a los 4000 m; el mes más frío es febrero y el más caliente abril. El régimen pluviométrico muestra una marcada estacionalidad, típica de las zonas tropicales del hemisferio norte, con un período lluvioso entre mayo y octubre y otro seco entre noviembre y abril. Los registros máximos se logran alrededor de los 3300 m, con unos 1400 mm, tendiendo a decrecer al aumentar la altitud (LAUER y KLAUS, *op. cit.*). Siguiendo la propuesta de GARCÍA (2004) en la montaña por encima de los 4000 m se registra un clima frío subhúmedo de alta montaña E(T)HC ( $w_2$ ); por debajo de dicha cota se presenta un clima semifrío subhúmedo ( $Cb'(w_2)(w)ig$ ).

En cuanto a su adscripción bioclimática, y siguiendo el modelo global de RIVAS-MARTÍNEZ (2004, 2007) aplicado a la alta montaña del Iztaccíhuatl (ESCAMILLA, 2007), el volcán presenta un bioclima Tropical Pluviestacional. Los termotipos representados en donde se ubican las comunidades aquí tratadas, son el orotropical y el criorotropical; el ombrotipo correspondiente es el hiperhúmedo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la recogida y organización de la información se empleó el método de la escuela fitosociológica de Zürich-Montpellier (WERGER, 1974; BRAUN-BLANQUET, 1979) basado en el levantamiento de inventarios de vegetación en superficies ecológicamente homogéneas. Para acotar las áreas muestreadas se siguió el criterio de área mínima (WESTHOFF & VAN DER MAAREL 1973). Se efectuaron un total de 28 inventarios en terrenos más o menos saturados de agua y por tanto con carácter hidromorfo; estos emplazamientos se relacionan con los conceptos de azonalidad de WALTER (1983) y de vegetación edafohigrófila de RIVAS-MARTÍNEZ (2005).

La determinación de la flora registrada fue referida a la obra de Calderón de Rzedowski y RZEDOWSKI & al. (2001) y VILLASEÑOR (2004). Los ejemplares colectados fueron cotejados y depositados en el Herbario de la Facultad de Ciencias (FCME) de la Universidad Nacional Autónoma de México. Para abordar los aspectos sintaxonómicos y nomenclaturales se siguieron las recomendaciones del Código de Nomenclatura Fitosociológica (CNF) (WEBER & al. 2000).

Para la caracterización edáfica se tomaron muestras de algunos suelos sobre los que se establece la vegetación aquí estudiada, las cuales se analizaron en labora-

torio siguiendo el protocolo y las indicaciones de DOMÍNGUEZ & AGUILERA (1994). Para cada muestra se obtuvo información de: profundidad, pH (en H<sub>2</sub>O, KCl y NaF), densidad aparente, porosidad, contenido de humedad de campo, textura, color seco y color húmedo. Los comentarios sobre los suelos se abordan conjuntamente al final de la caracterización de las comunidades.

## RESULTADOS

### COMUNIDADES VEGETALES

El análisis comparativo del conjunto ha permitido diferenciar tres grupos de inventarios que se relacionan con las asociaciones y subasociaciones que a continuación se comentan y describen.

#### ***Poo villaroelii-Oreomyrrhetum tolucae ass. nova hoc loco*** (Tabla 1)

*Holotypus hoc loco*: Tabla 1, inv. 3

Caracterización, fisionomía y composición. Comunidad pauciespecífica de carácter edafohigrófilo y parcialmente quionófilo dominada por especies rastreras y macollas de talla reducida que forman densos céspedes ralos. Cubre pequeñas superficies tanto en posiciones de ladera como de fondo, en donde esporádicamente surgen pequeñas venas de agua corriente procedente de veneros superficiales. La estructura de la comunidad es sencilla, con un estrato rasante dominante que alcanza coberturas promedio del 80%, y del que suelen resaltar pequeños macollos de hasta 10 cm de altura. En dicho estrato destacan por su cobertura y frecuencia *Carex orizabae*, *Oreomyrrhis tolucae*, *Poa villaroelii*, *Plantago tubulosa* y *Ranunculus multicaulis*. Como especies características de asociación se reconocen a las tres primeras y a las que ocasionalmente se incorporan *Calandrina megarhiza*, *Dissanthelium mathewsii* y *Eleocharis montana*, estas últimas con presencia más ocasional. Como inventario tipo se ha seleccionado el número 3 (Tabla 1). Se reconoce así mismo la variante de *Ranunculus multicaulis*, (inventarios 5-15, Tabla 1), caracterizada por una mayor diversidad de especies con la incorporación de *Agrostis tolucae*, *Plantago tubulosa* y *Ranunculus multicaulis*.

La cercanía de los zacatonales climácicos supraforestales dominantes sobre los suelos zonales de los alrededores (Órdenes *Festucetalia lividae* y *Calamagrostietalia tolucae*) (ALMEIDA & al., 2004), favo-

Tabla 1  
*Poo villaroelii*–*Oreomyrrhetum tolucanae* ass. nova

Altitud (1=10m)	411	430	432	430	425	408	428	430	399	430	435	422	425	390	425	
Orientación	S	E	E	SW	SW	E	W	E	E	SE	W	SW	SW	S	W	
Inclinación (°)	45	5	10	5	3	5	45	5	20	5	5	10	3	0	45	
Superficie (m <sup>2</sup> )	10	10	10	5	12	60	6	10	2	5	25	20	10	25	10	
Cobertura (%)	50	60	90	90	80	80	90	95	95	90	70	60	95	80	70	
Nº de especies	6	5	8	7	7	9	6	8	7	4	8	5	7	8	4	
Nº. de orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Características																
<i>Oreomyrrhis tolucana</i>	3	3	4	1	2	1	2	4	1	+	1	+	3	2	.	
<i>Poa villaroelii</i>	.	.	2	3	.	.	1	1	+	+	+	+	.	.	.	
<i>Carex orizabae</i>	.	.	+	3	+	3	2	2	4	5	+	.	3	.	+	
<i>Calandrina megarhiza</i>	1	3	.	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	
<i>Dissanthelium mathewsii</i>	1	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Eleocharis montana</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	
Var. <i>Ranunculus multicaulis</i>																
<i>Ranunculus multicaulis</i>	.	.	.	.	1	1	1	1	2	2	1	3	1	3	3	
<i>Plantago tubulosa</i>	.	.	.	.	4	.	+	.	.	.	2	1	1	.	3	
Características de <i>Drabo-Calamagrostieta</i>																
<i>Agrostis tolucensis</i>	.	.	.	.	1	1	3	.	1	.	+	1	1	1	+	
<i>Cirsium nivale</i>	.	.	.	.	.	+	.	r	+	.	.	.	.	.	.	
<i>Gnaphalium standleyi</i>	.	.	.	.	.	1	.	.	+	.	.	.	.	.	+	
<i>Trisetum spicatum</i>	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	+	.	.	.	.	
<i>Cerastium vulcanicum</i>	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	
<i>Luzula racemosa</i>	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Phacelia platycarpa</i>	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Trisetum irazuense</i>	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Alchemilla vulcanica</i>	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	

Además: *Draba jorullensis* r, *Festuca hephaestophila* 1 en 1; *Poa annua* + y *Trisetum viride* + en 2; *Arenaria lanuginosa* +, *Calamagrostis tolucensis* 3 en 6; *Agrostis hiemialis* 1 en 7; *Cotula mexicana* 2 en 11; *Luzula caricina* + en 13; *Deschampsia liebmannaiana* +, *Carex peucophila* 1 en 14.

Localidades 1: Pastizal ralo por debajo del refugio de Ayoloco, (535704.93, 2118547.55); 2: Pradera ondulada al norte de los Pies; 3: Pastizal ralo al norte de los Pies (539069.71, 2117331.68), *holotypus* an.; 4: En el valle al norte Pies (537514.15, 2117320.22); 5: Por debajo de las Rodillas (536867.71, 2117674.49); 6: Por el sendero a Ayoloco (540577.54, 2120260.50); 7: Al pie del primer collado hacia refugio Ayoloco (537055.96, 2117483.41); 8: Pradera ondulada al norte de los Pies (539245.45, 2117344.23); 9: Pradera al N de los Pies; 10: En planicie al E del Pecho (539352.15, 2117394.45); 11: Al pie de ladera por encima de Chalchoapan (535871.09, 2120022.70); 12: Por debajo de las Rodillas (536864.58, 2117600.74); 13: Por debajo del refugio de Ayoloco (536925.77, 2117668.21); 14: Pradera escalonada (540233.55, 2121534.22); 15: En claro de pinar (536944.60, 2117625.85).

rece el que en los lugares menos encharcados se incorporan en la asociación algunos de sus representantes, entre los que destacan *Agrostis tolucensis*, *Cirsium nivale*, *Alchemilla vulcanica*, *Gnaphalium standleyi* y *Trisetum spicatum*.

Distribución y ecología. La comunidad presenta una distribución restringida a emplazamientos de ladera cóncava o pequeñas vaguadas surcadas por corrientes de agua naciente. Ocupa la franja altitudinal comprendida entre los 3900m y los 4300m, y con diferentes exposiciones, excepto al Norte. Desde el punto de vista bioclimático dicho rango se corresponde principalmente con el piso orotropical, horizonte superior (It <

160 y Tp entre 450 y 700). Puntualmente alcanza el horizonte inferior (It < 160 y Tp entre 700 y 950). En ambas situaciones el ombrotipo se corresponde con el hiperhúmedo (Io entre 12 y 24).

Ecológicamente se trata de una comunidad ligada a suelos húmedos o encharcados, ya sea total o parcialmente a lo largo del año, pero en donde el agua circula libremente. En algunos sitios presenta indicios de perturbación por pastoreo, por lo que cuando el suelo no está muy saturado de humedad, penetran especies propias de sitios alterados como *Cerastium vulcanicum* y *Phacelia platycarpa*, aunque esta situación es poco frecuente.

De las diferentes tipologías dadas para la clasificac-

ción de la vegetación de México, la comunidad se vincula al "páramo de altura" de MIRANDA & HERNÁNDEZ (1963) y, en parte, a la pradera alpina cespiticaule (GONZÁLEZ QUINTERO, 1974).

***Carici peucophilae-Cotuletum mexicanae as. nova hoc loco*** (Tabla 2)

*Holotypus hoc loco*: Tabla 2, inv. 3

Caracterización, fisionomía y composición. Comunidad pluriespecífica ligada a suelos hidromórfos de carácter turfófilo, que permanecen inundados buena parte del año. Fisionómicamente está dominada por un estrato herbáceo de mediano porte, con aspecto graminoides (*Poaceae* y *Cyperaceae*), a las que acompañan herbáceas cespitosas y arrosietadas dispuestas en un estrato rasante conspicuo. Entre ambos alcanzan una cobertura casi total, solo interrumpida por áreas de agua y barro; el conjunto adquiere una tonalidad verde oscura y brillante que contrasta con el zacatonal amacollado de aspecto xerofítico y color pajizo de las laderas próximas con las que contacta.

Como especies dominantes y características de la asociación se han reconocido: *Carex peucophila*, *Cotula mexicana*, *Eleocharis montana*, *Plantago mayor*, *Epilobium ciliatum* y *Gentiana ovatiloba*; se incorporan como especies acompañantes procedentes de los zacatonales vecinos gramíneas como *Agrostis toluensis*, *Calamagrostis toluensis* y *Muhlenbergia nigra*, además de otras herbáceas como *Alchemilla vulcanica* o *Cirsium ehrenbergii*. Parece que esta situación se ve favorecida por la existencia de pequeños abombamientos del terreno que escapan parcialmente a la influencia hídrica. Como inventario tipo se ha seleccionado el número 3. (Tabla 2)

Distribución y ecología. Se distribuye entre los 3550m y 4050m de altitud en biotopos hidromorfos, planos o poco inclinados, determinados por las condiciones de humedad edáfica permanente y de drenaje impedido. Esta banda altitudinal se corresponde con la del área de distribución potencial del bosque climácico de *P. hartwegii* incluido en la asociación *Vaccinio caespitosi-Pinetum hartwegii*, ocasionalmente transformados en zacatonales inducidos (G. AZCÁRATE & al., 2003); únicamente hacia la parte superior de dicha banda se instalan los zacatonales climácicos. Ambos tipos de zacatonal se integran en la alianza *Lupino montani-Calamagrostion toluensis* (ALMEIDA & al., 2004).

La asociación ocupa el piso orotropical, horizonte

inferior ( $It < 160$  y  $Tp: 700-950$ ) pudiendo alcanzar puntualmente el horizonte superior ( $It < 160$  y  $Tp: 450-700$ ). En ambos casos con ombroclima hiperhúmedo inferior ( $Io: 12-18$ ).

Con frecuencia el ganado transita y pastorea en la comunidad por lo que es común encontrar especies indicadoras de perturbación como *Alchemilla vulcanica*, *Cirsium ehrenbergii*, *Muhlenbergia nigra* o *Nassella mexicana*. La asociación se engloba en el concepto de comunidades anfíbias o subacuáticas dado por RZEDOWSKI (1978).

Variabilidad. Dentro de la asociación se reconoce un grupo de inventarios de mayor riqueza florística en donde resalta la incorporación de *Juncus arcticus* var. *andicola*, *Calamagrostis orizabae* y *Ranunculus multicaulis*. Esta situación se ha identificado de forma provisional como variante de *Juncus arcticus*.

Aunque se ha prospectado buena parte del volcán, es probable que hayan quedado algunas áreas que pudieran albergar este tipo de hábitats; su inventariado ayudará a consolidar y mejorar la propuesta aquí esbozada. Será conveniente recoger más información fitosociológica sobre estas formaciones para conocer mejor su funcionamiento y sus relaciones con las comunidades vecinas.

#### SUELOS

Los suelos muestreados en ambas comunidades reproducen las características y propiedades intrínsecas de los suelos incipientes desarrollados sobre material volcánico (Tabla 3), esto es, una baja densidad aparente ( $< 0.90 \text{ g cm}^{-3}$ ) y presencia de alofanos. La granulometría se caracteriza por un claro dominio de la fracción arena lo que confiere a estos suelos una textura que osciló entre arenosa y franco-arenosa, situación habitual en este tipo de suelos, y responsable de la alta capacidad de filtración y de la baja retención de agua. Lo anterior sin embargo no incide en el comportamiento de los suelos aquí analizados, al estar total o parcialmente saturados de agua durante prácticamente todo el año. La reacción de los suelos indica que son mayoritariamente ácidos o muy ácidos, oscilando el pH entre 5 e 6. Valores de pH inferiores a 5.5 implican una rápida disolución de las formas menos cristalinas del aluminio y su incorporación en el Complejo de Intercambio Catiónico (CIC), pasando a ser éste el catión dominante. La fuerte caída que experimenta el pH (en KCl) respecto al pH (en agua) está de acuerdo con la presencia del aluminio

Tabla 2  
*Carici peucophilae-Cotuletum mexicanae* ass. nova

Altitud (1=10m)	357	357	377	371	375	380	357	405	360	372	376	372	376	372
Orientación	E	-	SW	SW	W	W	W	S	N-E	SW	W	NW	S	S
Inclinación (°)	2	0	5	2	5	15	3	5	2	10	5	5	3	5
Superficie (m <sup>2</sup> )	6	8	20	50	30	25	40	20	80	30	25	25	40	25
Cobertura (%)	70	100	80	95	100	70	100	90	100	80	80	90	100	90
Nº de especies	10	16	8	13	16	14	14	10	10	14	15	20	15	14
Nº de orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Características</b>														
<i>Cotula mexicana</i>	4	5	4	1	+	1	2	1	+	+	1	1	1	1
<i>Carex peucophila</i>	2	+	2	1	2	1	1	1	1		1	+	1	
<i>Eleocharis montana</i>	+	3	2		1	+	3	4		+	3	+	3	4
<i>Plantago mayor</i>	1	+	1	1			1	r			+	+	+	+
<i>Gentiana ovatiloba</i>		+	+				+	r	1	+	+	+	1	+
<i>Epilobium ciliatum</i>	+	+								1	1			+
<i>Luzula caricina</i>					+			+			+	+	+	
<i>Oreomyrrhis toluicana</i>					+			1						
var. <i>Juncus arcticus</i>														
<i>Juncus arcticus</i> var. <i>andicola</i>										4	1	1	+	+
<i>Calamagrostis orizabae</i>		r								+	+	+	2	1
<i>Ranunculus multicaulis</i>										+	+		1	+
<b>Características de <i>Drabo-Calamagrostietea</i></b>														
<i>Agrostis toluensis</i>	+	+				1	1	1	+					
<i>Alchemilla vulcanica</i>	+				+	2	+	+	+	1	+	+	+	1
<i>Cirsium ehrenbergii</i>	+					1	+	+	+	+	+	1	+	+
<i>Calamagrostis toluensis</i>		+				3	1	1	4	2	2	4	3	3
<i>Muhlenbergia nigra</i>					1	2	3		3	1	+	2	1	1
<i>Agrostis subpatens</i>			+	+	1	+								
<i>Gnaphalium standleyi</i>					+	+	+							
<i>Viola hemsleyana</i>				+			+		+	+		+		
<i>Trisetum spicatum</i>						+	+				+	1	+	
<i>Festuca toluensis</i>						1				1		3		
<i>Nassella mexicana</i>				4	1									
<i>Ranunculus donianus</i>			2								1			

Además: *Plantago tubulosa* +, *Carex orizabae* 2 en 1; *Muhlenbergia peruviana* r, *Castilleja pectinata*, *Sisyrinchium tenuifolium*, *Stenanthium frigidum*, *Vaccinium caespitosum*, *Trifolium amabile* y *Heterosperma pinnatum* + en 2; *Agrostis bourgaei* 1 en 3; *Calandrina megarhiza*, *Eryngium carlinae*, *Phacelia platycarpa*, *Plantago nivea* y *Conyza schiedeana* +, *Poa annua* 1 en 4; *Poa patrensis*, *Elaphoglossum* sp., *Festuca hephaestophila* y *Bromus carinatus* +, *Blepharoneuron tricholepis* 1, *Potentilla candicans* 3 en 5; *Cerastium nutans* y *Sibthorpia repens* r, *Lupinus aschenbornii* + en 6; *Haplopappus stoloniferus* 1 en 7; *Muhlenbergia quadridentata* 1 en 9; *Eryngium proteiflorum* + en 10; *Cerastium purpusii* r, *Vaccinium caespitosum*, *Halenia plantaginea*, *Potentilla ranunculoides* y *Trisetum irazuense* + en 12; *Cerastium vulcanicum* + en 13; *Geranium potentillifolium* y *Lupinus montanus* + en 14.

Localidades: 1: Valle de las Truchas (538920.87, 2112951.07); 2: Vaguada al S de los Pies próxima a camino (538707.97, 2112935.49); 3: A 200 m al S del anterior (534336.75, 2119078.91) *holotypus* ass.; 4: Hacia el S del “cráter de la media luna” (533564.59, 2119187.52); 5: Abajo de la cabeza 3 km al S de Llano Grande (533983.08, 2121980.40); 6: Vaguada de la Joya, junto al adoratorio (536284.53, 2115538.43); 7: Fondo de valle en contacto con charco (539123.38, 2113449.56); 8: Vaguada de la Joya (536502.62, 2115481.31); 9: Vaguada por el Paso de Cortés (539112.99, 2113527.45); 10: Pastizal en ladera en la vaguada de la Joya (536550.89, 2115953.12); 11: Vaguada de la Joya próximo al adoratorio (536644.36, 2115908.98); 12: Junto a la zona de acampar abajo de la Joya (536056.05, 2115792.86); 13: Vaguada de la Joya (536584.64, 2115724.64); 14: Desagüe del arroyo de la Joya (536558.68, 2115911.58).

en porcentajes elevados en el CIC. Por el contrario, los valores altos de pH (en NaF) denotan una importante presencia de alofanos. Los colores predominantes oscilan entre el pardo oscuro y el gris muy oscuro (en seco) y el pardo muy oscuro y el negro (en húmedo).

Ambas comunidades se desarrollan sobre suelos

poco profundos (<40 cm). La diferencia más notable es que en los suelos donde se desarrolla la asociación *Carici peucophilae-Cotuletum mexicanae* hay mayor acumulación de sales y arcillas debido a su mayor grado de encharcamiento.

Tabla 3  
Valores de los parámetros físico-químicos considerados

Tabla / Inventario	Horizonte	Profund. (cm)	pH			Densidad aparente (g/ml)	Porosidad (%)	Humedad de campo (%)	Textura	Color seco	Color húmedo
			H <sub>2</sub> O	KCl	NaF						
Tabla 1 (inv. 3)	A1	0-3	5,5	3,7	6,9	0,72	68	64,1	Franco arenoso	Pardo oscuro	Pardo muy oscuro
	A2	3-10	5,4	3,5	7,2	0,92	64	42,6	Arenoso franco	Pardo amarillento oscuro	Pardo amarillento oscuro
Tabla 1 (inv. 8)	A1	0-25	5,1	3,4	10,9	0,77	65	28,6	Arenoso franco	Pardo grisáceo muy oscuro	Pardo muy oscuro
Tabla 1 (inv. 9)	A1	0-8	6	3,6	7	0,53	82	seco	-	Gris oscuro	Negro
	A2	8-14	5,4	3,7	7,2	0,89	69	22,6	Arenoso	Gris oscuro	Pardo muy oscuro
Tabla 1 (inv. 14)	A1	0-10	5,7	3,5	7,5	0,65	75	70,5	Arenoso franco	Gris muy oscuro	Pardo muy oscuro
	A2	10-40	5,9	3,6	7,4	0,59	55	70,9	Arenoso franco	Gris muy oscuro	Negro
Tabla 2 (inv. 8)	A1	0-8	-	-	-	0,8	71	47,5	Franco arenoso	Pardo oscuro	Pardo amarillento oscuro
	A2	8-25	5	3,1	7,1	0,89	61	35,9	Arenoso franco	Pardo oscuro	Pardo muy oscuro

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las asociaciones propuestas disciernen, tanto florísticamente como ecológicamente, del concepto de la clase de vegetación *Drabo jorullensis-Calamagrostietea tolucensis* que reúne los zacatonales naturales e inducidos de distribución Madreado-Neovolcánica oro y criorotropical (ALMEIDA & al., 2004). Las asociaciones de los medios hidrófilos aquí estudiados quedarían al margen de dicha clase. La caracterización físico-química de los suelos donde se desarrollan ambas comunidades arroja muchos parámetros coincidentes en la mayoría de las variables lo que no permiten establecer claras diferencias. Las observaciones de campo señalan que la asociación *Carici peucophilae-Cotuletum mexicanae* tiene preferencia por suelos con drenaje impedido y con un mayor grado de encharcamiento, lo que conduce a la hidromorfia por agotamiento del oxígeno. Cuando esto ocurre los microorganismos pasan a utilizar como oxidantes de la materia orgánica los óxidos e hidróxidos de Mn y Fe que reducen a Mn<sup>2+</sup> y Fe<sup>2+</sup>, respectivamente. La fitotoxicidad que se le reconoce a Mn<sup>2+</sup> y Fe<sup>2+</sup> vinculada a dichas condiciones hidromorfas afecta a la presencia de las especies más sensibles, lo que unido a las diferentes posiciones topográficas ocupadas por las comunidades, refleja la diferente composición florística entre *Carici peucophilae-Cotuletum mexicanae* y *Poo villaroelii-Oreomyrrhetum tolucanae*.

El predominio de especies hidrófilas en la primera asociación parece indicar que el grado y duración del encharcamiento puede ser una variable diferencial para entender la distinta composición específica entre ambas comunidades.

Lo anterior nos lleva a prever una clara diferenciación sintaxonómica incluso a niveles de rango superior. Por lo pronto, y con el fin de contribuir al establecimiento de nuevos pilares dentro del esquema sintaxonómico de la vegetación del centro de México, se proponen las alianzas *Oreomyrrhion tolucanae* y *Carici peucophilae-Cotulion mexicanae* cuyas asociaciones tipo son, respectivamente, *Poo villaroelii-Oreomyrrhetum tolucanae* y *Carici peucophilae-Cotuletum mexicanae*. Consideramos necesario recabar más información fitosociológica para continuar avanzando en la diagnosis de la vegetación higrófila de la alta montaña y así enriquecer y consolidar la propuesta aquí iniciada. En el ámbito edáfico será conveniente efectuar un seguimiento de la evolución (altura y duración) de la capa freática a lo largo del año, y de la incidencia de las formas reducidas de Fe<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> en la composición de las comunidades vegetales. Por otro lado, exploraciones futuras en otros volcanes de la faja Volcánica (Pico de Orizaba, Malinche y otros) podrán aportar notables contribuciones que permitan avanzar en la diagnosis fitosociológica y sintaxonómica aquí iniciada.

## BIBLIOGRAFÍA

Almeida, L., Cleef, A.M., Herrera, A., Velázquez, A. & Luna, I. —1994— El zacatonal de alta montaña del volcán Popocatepetl, México y su posición en las montañas tropicales

de América — Phytocoenologia 22(3): 391-436.  
Almeida, L., Cleef, A.M. & Velázquez, A. —1997— Fitosociología del bosque de coníferas del volcán Popocatepetl, Mé-

- xico — In: Almeida, L. (Eds.). Vegetación, fitogeografía y paleoecología del zacatonal alpino y bosques montañosos de la Región central de México. Tesis Doctoral (inéd.). Universidad de Ámsterdam. Pp. 89-120. Holanda.
- Almeida, L., G. Azcárate, J., Cleef, A. M. & González, A. — 2004— Las comunidades vegetales del zacatonal alpino de los volcanes Popocatepetl y Nevado de Toluca, Región Central de México — *Phytocoenologia* 34(1): 91-132.
- Almeida, L., Escamilla, M., Giménez de Azcárate, J., González, A. & Cleef, A. — 2007— La vegetación alpina de los volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca — In: Luna, I. Morrone, J.J. & Espinosa D. (Eds.). Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. Pp. 179-198. FES Zaragoza-CONABIO. México DF.
- Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez L. & Loa, E. — 2000— Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/terrestres.html>
- Beaman, J.H. — 1962— The timberlines of Iztaccíhuatl and Popocatepetl, México — *Ecology* 43: 377-385.
- Beaman, J.H. — 1965— A preliminar ecological study of the alpine flora of Popocatepetl and Iztaccíhuatl — *Bol. Soc. Bot. Mexico* 29: 63-75.
- Beaman, J.H., de Jong, D. & Stoutamire, P. — 1962— Chromosome studies in the alpine and subalpine floras of México and Guatemala — *Amer. J. Bot.* 49: 41-50.
- Billings, W.D. — 2000— Alpine Vegetation — In: Barbour, M & Billings, W.D. (Eds.). *North American Terrestrial Vegetation*, 2nd. Pp. 537-572. Cambridge University Press. New York.
- Bonilla, J. — 1992— Flora y vegetación acuática vascular de las lagunas de Zempoala, Morelos, México — Tesis de Maestría (inéd.). Universidad Nacional Autónoma de México. 134 pp.
- Braun-Blanquet, J. — 1979— Fitosociología: bases para el estudio de las comunidades vegetales — Ed. Blume. Madrid. 820 pp.
- Challenger, A. — 1998— Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro — Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre S.C., México.
- Cruz, C.R. — 1969— Contribución al conocimiento de la ecología de los pastizales en el valle de México. Tesis de Licenciatura — Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México. 235 pp.
- Domínguez V. & Aguilera, N. — 1994— Métodos para el análisis de suelo — Cuaderno de trabajo del Laboratorio de Edafología, Facultad de Ciencias. UNAM. 25 pp.
- Ern, H. — 1975— Descripción de la vegetación montañosa de los estados mexicanos de Puebla y Tlaxcala — *Botanischen Garten und Botanischen, Museum — Willdenowia Beiheft* 10. Berlín. 128 pp.
- Escamilla, M. — 1996— Fitosociología del zacatonal alpino y bosque subalpino del declive occidental del volcán Popocatepetl — Tesis de licenciatura (inéd.). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 58 pp.
- Escamilla, M. — 2007— la vegetación de la alta montaña del Volcán Iztaccíhuatl (México): un enfoque fitosociológico. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 124 pp.
- Escamilla, M.; Almeida, L. & Giménez de Azcárate, J. — 2001— Las comunidades tropicales del volcán Popocatepetl, México, y su relación con el medio — In: Cabello, J. (Ed.). Vegetación y cambios climáticos. Pp. 71-84. Universidad de Almería.
- García, E. — 2004 — Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen — Serie Libros, No. 6. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 90 pp.
- García-Romero, A. — 2004— Dinámica del paisaje post-fuego en el pastizal tropical de alta montaña. Volcán Iztaccíhuatl, México — *Interciencia* 29 (11): 1-9.
- Giménez de Azcárate, J. & Escamilla, M. — 1999— Las comunidades edafoxerófilas (enebrales y zacatonales) en las montañas del centro de México — *Phytocoenologia* 29(4): 449-468.
- Giménez de Azcárate, J., Ramírez, M.I., & Pinto, M. — 2003— Las comunidades vegetales de la Sierra de Angangueo (estados de Michoacán y México, México): clasificación, composición y distribución — *Lazaroa* 24: 87-11.
- González Quintero, L. — 1974— Tipo de vegetación de México — In: Lorenzo, J.L. (Ed.). El escenario geográfico. México panorama histórico y cultural II. Pp. 109 – 218. SEP. Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Hedberg, O. — 1992— Afroalpine vegetation compared to Páramo: convergent adaptations and divergent differentiation — In: Balslev, H & Luteyn, J. L. (Eds.). Páramo: an Andean ecosystem under human influence. Pp. 15-29. Academic Press, Harcourt Brace Jovanich. Londres.
- Islebe, G.A. & Velázquez, A. — 1994— Affinity among mountain ranges in Megamexico: a phytogeographical scenario — *Vegetatio* 115: 1-9.
- Islebe, G.A., Almeida, L., Cleef, A.M., & ter Weijden, R. — 2003— Fitosociología y fitodiversidad de la Laguna de Quila, Parque Nacional de las Lagunas de Zempoala, México — *Acta Bot. Mexicana* 65: 61-82.
- Keneib, W. Miehlich, G. & Zöttl H. — 1973— Clasificación regional de los suelos de la Sierra Nevada de México — *Comunicaciones del proyecto Puebla-Tlaxcala, México* 7: 11-14.
- Lauer, W. — 1973— Problemas climático-ecológicos de la vegetación de la región montañosa oriental mexicana — *Comunicaciones. Proyecto Puebla-Tlaxcala, México* 7: 37-46.
- Lauer, W. — 1978— Tipos ecológicos del clima en la vertiente oriental de la meseta mexicana. Comentarios de una carta climática 1:500.000 (apéndice) — *Comunicaciones proyecto Puebla-Tlaxcala, Puebla*, 15 235-248.
- Lauer, W. & Klaus, D. — 1975— Geoeological investigations on the timberline of Pico de Orizaba. México — *Arct. Alp. Res.* 7: 315-330.
- Lorenzo, J.L. — 1969— Condiciones periglaciares de las altas montañas de México — INAH. Departamento de Prehistoria, México. Serie Paleoecología No. 4, 45 pp.
- Miranda, F. & Hernández, X.E. — 1963— Los tipos de vegetación en México y su clasificación — *Bol. Soc. Bot. México* 28: 29-179

- Mooser, F. —1975— Historia geológica de la cuenca de México — In: Memorias de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. Departamento del Distrito Federal — México. D. F. Tomo 1: 7-38.
- Mooser, F., Montiel, A. & Zúñiga, A. —1996— Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. Estratigrafía, tectónica regional y aspectos geotérmicos — Comisión federal de electricidad. México. 27 pp.
- Obieta, M. & Sarukan, J. —1981— Estructura de la vegetación herbácea de un bosque uniespecífico de *Pinus hartwegii* — Bol. Soc. Bot. México 41: 75-125.
- Rivas-Martínez, S. —2004— Sinopsis biogeográfica, bioclimática y vegetacional de América del Norte — Fitosociología 41 (1) supl. 2: 19-52.
- Rivas-Martínez, S. —2005— Notions of dynamic-catenal phytosociology as a basis of landscape science — Plant Biosyst. 139 (2): 135-144.
- Rivas-Martínez, S. —2007— Synoptical Worldwide Bioclimatic Classification System — <http://www.globalbioclimatics.org>
- Rzedowski, J. —1975— An ecological and phytogeographical analysis of the grasslands of México — Taxon 24 (1): 67-80
- Rzedowski, J. —1978— La vegetación de México — Ed. Limusa, México D.F. 431 pp.
- Rzedowski, G.C. de, Rzedowski, J & colaboradores —2001— Flora Fanerogámica del Valle de México. 2ª ed. — Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro (Michoacán), México. 1406 pp.
- Silva, L., Romero, F., Velázquez, A. & Almeida, L. —1999— La vegetación de la región montana del sur de la cuenca de México — In: Velázquez, A. & Romero, F. (Eds). Biodiversidad de la región montañosa del sur de la cuenca de México: Bases para el ordenamiento ecológico — Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. 65-92 pp.
- Troll, C. —1959— Die tropischen Gebirge. Ihre dreidimensionale Klimatische und pflanzengeographische Zonierung — Bonner Geographische Abhandlungen, Bonn. Ferd. Dummlers Verlag, Heft 25. 93pp.
- Troll, C. —1971— Landscape ecology (geocology) and biocenology. Terminological study — Geoforum 8: 43-46.
- Villaseñor, J.L. —2004— Los géneros de plantas vasculares de la flora en México — Bol. Soc. Bot., México. 75: 105-135.
- Walter, C. —1983— Vegetation of the earth and ecological systems of the Geo-biosphere — Berlin 3<sup>rd</sup> de Springer-Verlag. 274 pp.
- Weber, H., Moravec J., Theurillat, J. —2000— Internacional Code of Phytosociological Nomenclature — J. Veg. Sci. 11:739-768.
- Werger, M.C — 1974 — On concepts and techniques applied in the Zurich-Montpellier method of vegetation survey — Bothalia 11: 309-323.
- Werner, J. — 1978 — Los suelos de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores. Supl. Com. VI — Fundación Alemana para la Investigación Científica. Proyecto Puebla-Tlaxcala, México.
- Westhoff, V. & van der Marell, E. — 1973 — The Braun-Blanquet approach of phytosociological. In: Wittaker R. H. (Ed.). Manual of vegetation science — Junk Publ. Den Haag, the Netherlands 20: 617-643.
- White, S.E. —1962— El Iztaccíhuatl: acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado Oeste durante el Pleistoceno Superior — Instituto Nacional de Antropología e Historia. México D.F. 80 pp.

Recibido: 19 noviembre 2008

Aceptado: 20 mayo 2009