

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Historia de la vegetación del Páramo del Guagua Pichincha durante los
últimos 730 años

Disertación previa a la obtención del título de Licenciada en Ciencias
Biológicas

SOFÍA CAROLINA BOADA VITERI

Quito, 2013

A mis padres y mi hermana Estefanía

Quito, 13 de Diciembre del 2013

CERTIFICADO

Yo, Susana León-Yáñez Director de la Disertación, CERTIFICO: Que la señorita Sofía Carolina Boada Viteri ha realizado la investigación sobre el tema “Historia de la vegetación del Páramo del Guagua Pichincha durante los últimos 730 años” de acuerdo a las normas y técnicas establecidas. Una vez concluido y revisado el trabajo, conforme con las disposiciones reglamentarias; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

MSc. Susana León-Yáñez

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la MSc. Susana León Yáñez por darme la oportunidad de aprender una rama tan reciente y diferente como es la palinología, por brindarme su apoyo, comentarios y en especial su paciencia para realizar este estudio. A Andrea Villota le agradezco inmensamente por su apoyo voluntario y por su experiencia en palinología que aportó en mi estudio. A Alejandra Moscoso por sus valiosas sugerencias y el tiempo que me dedicó. A Fernando Rodríguez por sus comentarios y aporte valioso en este estudio de palinología.

A mis padres y mi hermana Estefanía que sin su apoyo, amor y sacrificio incondicional nada de esto hubiese sido posible. A toda mi familia por su apoyo y amor que me brindan a diario. Quiero agradecer infinitamente a Andrés Recalde por apoyarme en cada momento durante este proceso y en toda la carrera, por ser mi compañero en las buenas y en las malas. A Francisco Almeida por su preocupación y apoyo moral que me brindó. A mis compañeros de la academia ENB por darme ánimos para seguir adelante.

A Jaime Jaramillo por enseñarme que la Biología es una carrera increíble y por brindarme su amistad a lo largo de la carrera. A mis compañeros por los momentos compartidos. Finalmente, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por su colaboración en la realización de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	v
TABLA DE CONTENIDOS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE ANEXOS.....	x
1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
3.1. OBJETIVOS.....	9
4. MATERIALES Y MÉTODOS	10
4.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	10
4.1.1. CLIMA.....	10
4.1.2. VEGETACIÓN.....	11
4.1.3. GEOLOGÍA.....	13
4.2. FASE DE CAMPO.....	14
4.3. FASE DE LABORATORIO.....	14
5. RESULTADOS.....	17
5.1. ESTRATIGRAFÍA.....	17
5.2. CRONOLOGÍA.....	17
5.3 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE POLEN.....	18
5.3.1 ZONA PICH-I.....	18
5.3.2 ZONA PICH-II.....	19

5.3.3 ZONA PICH-III.....	20
5.3.4 ZONA PICH-IV.....	20
5.3.5 ZONA PICH-V.....	21
6. DISCUSIÓN.....	23
6.1. LA VEGETACIÓN ANTES Y DURANTE EL CICLO PRE-ERUPTIVO DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA	24
6.1.1 VEGETACIÓN ANTES DEL CICLO PRE-ERUPTIVO.....	24
6.1.2 VEGETACIÓN DURANTE EL CICLO PRE-ERUPTIVO.....	25
6.2. VEGETACIÓN DESPUÉS DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA DEL GUAGUA PICHINCHA.....	26
6.3. VEGETACIÓN ACTUAL.....	28
6.4. HISTORIA DE INCENDIOS Y ACTIVIDAD HUMANA.....	30
7. CONCLUSIONES.....	32
8. LITERATURA CITADA.....	34
9. FIGURAS.....	42
10. TABLAS.....	49
11. ANEXOS.....	53

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Mapa de ubicación del área de estudio, valle de origen glaciar en el Guagua Pichincha.....	42
FIGURA 2. Tipos de vegetación del área de estudio.....	43
FIGURA 3. Núcleo de sedimento de 130 cm en el valle de origen glaciar del Guagua Pichincha (PICH2).....	44
FIGURA 4. Diagrama de los registros de polen y esporas en porcentajes, en el núcleo de sedimento del valle de origen glaciar del Guagua Pichincha (PICH2).....	45
FIGURA 5. Diagrama de las sumatorias de los registros de polen y esporas en porcentajes, en el núcleo de sedimento del valle de origen glaciar del Guagua Pichincha (PICH2).....	46
FIGURA 6. Estratigrafía del núcleo del sedimento del valle de origen glaciar en el Guagua Pichincha (PICH2), se muestra el registro de la actividad pre-eruptiva (1461 D.C.) y pliniana (1660 D.C.).....	47
FIGURA 7. Modelo de la edad/profundidad (cal años AP/profundidad del núcleo en cm) del núcleo del valle de origen glaciar del Guagua Pichincha (PICH2).	48

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Descripción estratigráfica del núcleo del sedimento del valle de origen glaciar en el Guagua Pichincha (PICH2).....	49
TABLA 2. Dataciones de radiocarbono ^{14}C por medio del Accelerator Mass Spectrometer (AMS) del núcleo del sedimento PICH2, usando la curva Calpal 2007 HULU para el hemisferio Norte del Calpal on line.	49
TABLA 3. Lista de polen identificado y esporas del núcleo del valle glaciar del Guagua Pichincha (PICH2).....	50

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Protocolo de pre-tratamiento estándar, incluyendo el pirofosfato de sodio, acetólisis y la separación de líquidos pesados (bromoformo) (Faegri, & Iversen, 1989)....	53
ANEXO 2. GLOSARIO.....	54

1. RESUMEN

A partir de un núcleo de sedimento que se extrajo de una turbera ubicada en un valle de origen glaciario, a 3.900 msnm, en el flanco Occidental del Guagua Pichincha, se reconstruyó los cambios en la vegetación durante los últimos 730 cal años AP.

El registro de polen y la datación de dos fechas de radiocarbono (320 ± 125 y 726 ± 61), indican que durante los últimos 732 – 75 cal años AP el Páramo ya estaba establecido y estaba rodeado por vegetación de bosque montano alto (BMA) y bosque montano bajo (BMB). Durante los 732 – 500 cal años AP la vegetación de BMA y BMB eran más abundantes que en la actualidad y las condiciones de humedad eran menores. Sin embargo, después del ciclo pre-eruptivo del volcán (aprox. 500 cal años AP) y de la erupción pliniana más reciente (aprox. 300 cal años AP), aparecen taxones como *Gunnera magellanica*, *Valeriana*, Ranunculaceae, Plantaginaceae y esporas de *Isoetes* y *Huperzia*, que indican condiciones frías y húmedas en este período. Adicionalmente, la presencia de Amaranthaceae/Chenopodiaceae y *Ambrosia*, indican actividad humana en la zona.

En la época más reciente (75 cal años AP al presente), se observa una disminución de Cyperaceae e *Isoetes*, lo cual sugiere que las condiciones de humedad del páramo están disminuyendo. La presencia de *Hedyosmum* indica un avance del bosque probablemente debido a un incremento en la temperatura y la presencia de *Pinus* refleja la influencia humana. Finalmente, los registros de carbón indican que hace aproximadamente 732 cal años AP hubo más incendios que en la actualidad.

Palabras clave: Páramo, Bosque Montano, Guagua Pichincha, polen, incendios.

2. ABSTRACT

Vegetation changes during the last 730 cal yr BP were reconstructed from a sediment core extracted from a peat bog located in a glacial valley at 3.900 m.a.s.l in the western flank of the Guagua Pichincha Volcano, close to the valley of Lloa.

The pollen record, was dated by two radiocarbon dates (320 ± 125 and 726 ± 61), it indicates that during the last 732 – 75 cal yr BP, the Paramo was established and was surrounded by vegetation of Upper Montane Forest (UMF) and Lower Montane Forest (LMF). During 732 – 500 cal yr BP the vegetation of UMF and LMF was more extended than at present and moisture conditions were lower. However, after Guagua Pichincha pre-eruptive cycle (ca. 500 cal yr BP) and the last plinian eruption (ca. 300 cal yr BP), taxa such as *Gunnera magellanica*, *Valeriana*, Ranunculaceae, Plantaginaceae appeared, and also spores of *Isoëtes* and *Huperzia* were surveyed, which reflected an increase in cool and humid conditions during this period. Additionally, the presence of Amaranthaceae/Chenopodiaceae and *Ambrosia*, indicate human activity in the area.

In recent times (75 cal yr BP to present) a decrease of Cyperaceae and *Isoëtes* suggests that humid conditions in paramo are decreasing. The presence of *Hedyosmum* indicated an advance of the montane forest probably due to the fact that temperature has increased and the presence of *Pinus* indicates human activity. Finally, charcoal records suggest that in the past that (ca. 732 cal years BP), fires were more common than today.

Keywords: Paramo, Montane forest, Guagua Pichincha, polen, fires.

3. INTRODUCCIÓN

Los Andes son la cadena montañosa más larga de la tierra y se extiende 5.000 km a lo largo de la Costa Occidental de América del Sur, llegando a su mayor anchura aproximadamente de 750 km en los Andes Centrales de Bolivia (Gregory-Wodzicki, 2000; Graham, 2009). Su altura media es de 4.000 metros, y su punto más alto en el cerro Aconcagua con 6.962 metros (Gregory-Wodzicki, 2000).

Hace unos 50 millones de años se produjo el levantamiento de los Andes del Sur de Bolivia, Chile y Argentina, mientras que los Andes septentrionales de Colombia y Ecuador son cordilleras relativamente jóvenes cuyo levantamiento inició en el Mioceno hace aproximadamente 25 millones de años y mantuvieron una intensidad volcánica relativamente alta hasta el Cuaternario hace 2.5 millones de años. Sin embargo, hacia finales del Terciario (en el Plioceno hace 2.5 –5.4 millones de años) la actividad volcánica cesó en los Andes del Sur del Ecuador (Moret, 2005).

Dentro de los Andes septentrionales se pueden diferenciar varias zonas de vegetación: (i) zona montana baja tropical (entre 0 y aproximadamente 1.000 msnm), (ii) zona montana baja subandina (aproximadamente 1.000 y 2.300 msnm), (iii) zona montana alta andina (aproximadamente 2.300 y 3.500 msnm), (iv) zona alta andina de páramo (arriba de los 3.500 msnm) y (v) zona nival (> 5.000 msnm) (Van der Hammen, 2000; Lomolino *et al.*, 2010).

El páramo es un ecosistema de pastizales de altura, situado en los Andes del norte (Venezuela, Colombia y Ecuador), entre la línea superior del bosque andino cerrado (3.400 – 3.600 msnm) y la línea de nieve permanente (4.700 – 4.800 msnm) (Podwojewski *et al.*, 2002, Moret, 2005). Son considerados ecosistemas de alta diversidad florística y los de mayor

riqueza de especies endémicas entre los ecosistemas montanos altos en el mundo (Herzog *et al.*, 2012).

Según Van der Hammen (2000) y Lomolino *et al.* (2010), el páramo es de origen reciente a partir del Plioceno (4 – 5 millones de años), cuando ocurrió el gran levantamiento final de las cordilleras. El páramo se caracteriza por presentar una temperatura media que oscila entre 3°C y 7°C, casi no tiene variación estacional a lo largo del año (Gómez-Molina & Little, 1981). Sin embargo las variaciones diurnas de temperatura son fortísimas, las heladas nocturnas son frecuentes en el páramo, y casi constantes en el superpáramo a partir de 4.400 m, pero la tasa de humedad relativa y la nubosidad son muy elevadas, contrastando con la baja tasa de evaporación (Gómez-Molina & Little, 1981; Moret, 2005).

Las precipitaciones en forma de lluvia o nieve, no alcanzan grandes cantidades (entre 500 y 2.000 mm anuales según las condiciones locales en la mayor parte del páramo ecuatoriano), pero están bien distribuidas durante todo el año, con dos períodos cortos intercalados de menor humedad: medias anuales de 1.000 mm a 1.200 mm (Gómez-Molina & Little, 1981; Moret, 2005).

Los suelos son muy fértiles, ácidos (pH entre 3.7 – 5.4), de color oscuro (presencia de materia orgánica), muy profundos, compactos, muy húmedos y demasiado sensibles a procesos erosivos. También contienen materiales volcánicos como andosoles y altos contenidos de nitrógeno (Gómez-Molina & Little, 1981), y por lo general la vegetación de páramo se desarrolla exitosamente sobre depósitos de cenizas volcánicas (Podwojeski *et al.*, 2002).

Las formas de crecimiento en el páramo están clasificadas en respuesta a sus adaptaciones y están representadas por diferentes formas de hábito como rosetas gigantes, por

ejemplo *Espeletia pycnophylla* ssp. *angelensis*, *Puya* spp., *Blechnum* spp.; rosetas acaulescentes como *Hypochaeris sessiliflora* e *Hypochaeris sonchoides*, *Werneria nubigena* y *Valeriana rigida*, cojines o almohadillas como *Plantago rigida*, *Azorella pedunculata*, *Distichia muscoides*, penachos que forman el pajonal, como *Calamagrostis*, *Festuca* y *Cortaderia*, y además varias especies de la familia Cyperaceae (*Rhynchospora*, *Carex*) (Ramsay & Oxley, 1996; Hedberg & Hedberg 1979). También otras formas de vida son los arbustos, entre los más conocidos están, *Hypericum laricifolium* (romerillo) y *Chuquiraga jussieui* (chuquiragua), otros géneros importantes son *Baccharis*, *Diplostephium*, *Loricaria* y *Gynoxys*, *Valeriana*, *Pernettya*, *Disterigma*, *Vaccinium* y *Gaultheria*, *Arcytophyllum* y *Acaena*. Hierbas erectas, que crecen entre el pajonal son *Bartsia*, *Castilleja*, *Halenia*, *Gentiana*, *Gentianella*, *Geranium*, *Lupinus*, *Ranunculus guzmanii*, *Silene*, *Cerastium*, *Stellaria*, entre otras. Árboles pequeños como *Buddleja incana*, *Oreopanax*, *Myrcianthes*, *Weinmannia* y *Hesperomeles* (Ramsay & Oxley, 1996; Hedberg & Hedberg, 1979).

Durante el Pleistoceno (aprox. 2.5 millones de años), se iniciaron las glaciaciones, con períodos interglaciares intermitentes (clima cálido y capas de hielo reducidas). Estos ciclos condicionaron la extensión del páramo, sucediendo la mínima extensión durante las glaciaciones y la máxima extensión durante los interglaciares, especialmente en latitudes altas del hemisferio Norte (Van der Hammen, 2000; Lomolino *et al.*, 2010). Durante el ciclo glacial el límite altitudinal del bosque descendió de 3.500 m hasta 2.000 m aproximadamente, con temperaturas medias anuales de 8°C más bajas que en la actualidad. Además, hubo un enriquecimiento gradual de la flora del bosque andino y del páramo debido a la migración de elementos desde Norte de América y Sur de América y por especiación (Van der Hammen, 2000).

Específicamente, durante la última glaciación (aprox. 15.000 – 11.500 años AP) se destacan cambios rápidos en el clima y en el paisaje. Por ejemplo el proceso de desglaciación el cual empezó con el evento de calentamiento: Bølling / Allerød (B/A) (aprox. 14.700 – 14.000 años AP) seguido del evento frío: Dryas Reciente (aprox. 12.900 – 11.600 años AP), el cual no está bien representado en el Ecuador (Villota *et al.*, 2012). Durante este período la línea superior de bosque se desplazó hacia arriba y el páramo se restringió a un aislamiento (tipo islas) permitiendo la especiación (Lomolino *et al.*, 2010). Además, hubo un período de sequía importante en donde los glaciares en los Andes llegaron a su máxima extensión. Estos cambios de clima son importantes para explicar los patrones de especiación y la distribución reciente de flora y fauna (Van der Hammen, 1974).

Durante el Holoceno (11.500 cal años AP – al presente), periodo interglaciar, se registró un calentamiento global progresivo pero intermitente favoreciendo a la propagación de la vegetación boscosa (Villota *et al.*, 2012). En los Andes ecuatorianos, a principios del Holoceno (11.200 – 8.900 cal años AP) se destacan condiciones de clima cálido y secos, el bosque se expandió a alturas mayores que en la actualidad y la vegetación de páramo estaba limitada sobre los 3.300 – 3.500 msnm (Hansen *et al.*, 2003; Luteyn, 1999).

Durante el Holoceno medio (8.900 – 3.300 años cal AP), la temperatura aumento 2°C más, causando un aumento en la propagación de arbustos, otro desplazamiento hacia arriba de la línea de bosque alrededor de 300 a 400 msnm más altos que en la actualidad y se reduce el área ocupada por el Páramo (Jantz & Behling, 2012).

Finalmente, el Holoceno tardío (3.300 cal años AP al presente) se caracteriza por un periodo más húmedo, con oscilaciones climáticas repetidas en sitios Andinos más tropicales, como el Lago Titicaca y Taypi Chaka Kkota en Bolivia (Jantz & Behling, 2012). Además

hubo una disminución notable de la temperatura que marcó el último movimiento descendente de los cinturones de bosque y páramo a sus posiciones actuales (Di Pasquale *et al.*, 2008; Luteyn, 1999). Adicionalmente, en este periodo se sugiere que comienza a existir influencia humana por el apareamiento de taxones de cultivos y de disturbios en el páramo, lo que sugiere el comienzo de la agricultura regional y de la tala de bosques (Marchant *et al.*, 2001; Mawyeski *et al.*, 2004; Jantz & Behling, 2012).

Los Andes ecuatorianos constituyen uno de los ecosistemas más ricos en especies de la tierra con una alta biodiversidad, incluyen una mezcla diversa de bosque, páramo (vegetación alpina tropical), y tierras agrícolas (Niemann *et al.*, 2010). A pesar de su alta biodiversidad, los paisajes de los Andes ecuatorianos sufren una alta tasa de degradación, la más alta en toda América del Sur; debido a que estas áreas han sido ocupadas por los humanos durante, por lo menos, los últimos 7.000 años (Bakker *et al.*, 2008).

En los últimos 500 años, la densidad de las poblaciones humanas aumentó, y en gran parte los bosques montanos fueron eliminados y la vegetación de páramo se expandió hacia abajo (Bakker *et al.*, 2008). Por lo tanto las zonas de páramo, especialmente de altitudes más bajas están sometidas a pastoreo, fuego o el cultivo, que conducen a la reducción de la capacidad de retención de agua y pérdida de biodiversidad, así como la erosión del suelo (Podwojewski *et al.*, 2002). El Ecuador cuenta con extensas áreas pastizales de páramo, de aproximadamente 20.000 km², dominados por gramíneas cespitosas, en su mayoría por los géneros *Calamagrostis* y *Festuca*. Posiblemente el predominio de gramíneas se debe a las quemadas regulares provocadas para el uso de pastoreo de ganado, principalmente en las partes bajas del páramo (Di Pasquale *et al.*, 2008).

Actualmente, los estudios palinológicos en el Ecuador son de gran interés, principalmente porque la Cordillera de los Andes posee una complejidad topográfica y heterogeneidad del ambiente, la cual la convierte en una región ideal para realizar cualquier tipo de investigación (Mafla, 2011). Los estudios palinológicos en los páramos ecuatorianos del Norte son escasos (Van der Hammen, 2003; Di pasquale *et al.*, 2008; Bakker *et al.*, 2008; Moscol-Olivera *et al.*, 2009); mientras que al Sur del Ecuador el conocimiento palinológico es más amplio (Niemann, 2008; Bruschön & Belhing, 2009; Niemann & Belhing, 2010; Niemann *et al.*, 2010, Rodriguez *et al.*, 2011; Jantz & Belhing, 2012; Villota *et al.*, 2012; Jantz *et al.*, 2013).

Una parte importante dentro de los estudios palinológicos, son los análisis de carbón cuyo objetivo es obtener mayor información sobre la vegetación en el pasado (Sadori, 2007). Adicionalmente nos permiten examinar vínculos entre el clima, vegetación, fuego y ocasionalmente actividades antropogénicas (humanas) en el pasado (Whitlock & Larsen, 2001).

El presente estudio se lleva cabo en el páramo ubicado en el flanco occidental del volcán Guagua Pichincha que forma parte de la cadena de volcanes cuaternarios de la cordillera Occidental de los Andes (Vallejo, 2011). De tal manera, se consideró a la actividad eruptiva del volcán Guagua Pichincha y a la cercanía de la población de Lloa, factores que influyen en los cambios de vegetación en este estudio y que se deben tomar en cuenta para lograr plantear estrategias de conservación en el futuro.

3.1 OBJETIVOS

3.1.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar, mediante técnicas palinológicas, los cambios en la composición vegetal y el clima en un páramo del Guagua Pichincha durante los últimos 730 cal años AP.

3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizando un núcleo de sedimento de polen fósil, determinar la composición de la vegetación a lo largo de los últimos 730 cal años AP.
- En base a los registros de partículas de carbón fósil determinar la existencia de fuegos en el ecosistema vegetal durante los últimos 730 cal años AP.
- Determinar y evaluar la influencia de la actividad humana sobre la vegetación del Guagua Pichincha en los últimos 730 cal años AP.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el páramo del flanco Occidental del volcán Guagua Pichincha, en una turbera, en un valle de origen glaciar, a los 3.900 msnm (0°11,147' S y 78°35,123' O) (Figura 1). El Guagua Pichincha forma parte de la cadena de volcanes cuaternarios de la cordillera Occidental de los Andes, localizado a los 0° 10' S y 78° 36' O y alcanza una altura de 4.794 msnm, está a unos 14 Km al oeste de Quito (Aristizábal-García & Legrand, 2004; Diemer, 1996). Debido a la cercana ubicación a la ciudad de Quito, se considera como un volcán peligroso dentro de la zona volcánica de los Andes del Norte (Robin *et al*, 2008). El suelo se caracteriza por ser muy heterogéneo, compuesto de arena, gravas volcánicas y una capa de materia orgánica oscura de 5 a 30 cm. Los primeros 5 cm del suelo tienen un pH que oscila entre 4,0 hasta 4,2; mientras que el suelo debajo de las almohadillas tiende a ser menos ácido (pH 5,0 a 5,2) (Diemer, 1996).

Aproximadamente a 3.000 – 3.500 msnm se localiza el valle de Lloa ubicado a las faldas del volcán (Páez, 2008). Presenta vegetación característica del bosque muy húmedo montano y está cerca al valle de origen glaciar de donde se extrajo el núcleo de sedimento.

4.1.1 CLIMA

El clima es generalmente frío, húmedo durante o la mayor parte de meses del año, con lloviznas frecuentes y a veces nieve o granizo. Recibe 2.000 mm de lluvia (rango 500 – 3.000 mm / año). Tiene una alta variación de temperatura, la temperatura media anual es de 8°C; específicamente, durante el día alcanza los 20°C mientras que en la noche desciende por debajo de 0°C (Luteyn, 1999; Podwojeswki *et al.*, 2002).

4.1.2 VEGETACIÓN

La vegetación del Guagua Pichincha es continua y característicamente está constituida de extensas comunidades de hierbas cespitosas, rosetas y almohadillas, con algunas gramíneas y arbustos pequeños (Diemer, 1996; Podjowesky *et al.*, 2002).

Hace algunos años León-Yáñez *et al.* (datos no publicados) analizaron la vegetación del área de estudio, donde distinguieron dos tipos de vegetación: 1. La vegetación del valle de origen glaciar con un relieve plano que incluye sitios pantanosos con abundantes agrupaciones de *Juncus* y almohadillas, 2. La vegetación que cubre las pendientes de las lomas que forman la herradura que circunda al valle, dominado por pajonal con abundantes hierbas y arbustos dispersos (Figura 2).

En toda el área estudiada se identificaron 88 especies de plantas vasculares y 49 de briofitas. 1. En la zona del valle se encontraron los siguientes grupos en orden de importancia: en primer lugar está la familia Plantaginaceae con el 26% de cobertura (representada por *Plantago rigida*), le sigue Asteraceae con una cobertura del 18%, (incluye a los géneros *Baccharis*, *Cotula*, *Cuatrecasasiella*, *Erigeron*, *Gnaphalium*, *Hypochaeris*, *Loricaria*, *Monticalia*, *Oritrophium*, *Xenophyllum* y *Werneria*), Cyperaceae con el 12% (representada por *Carex* e *Isolepis*). Las familias Gunneraceae (*Gunnera magellanica*) con 7% y Rosaceae (*Lachemilla*) con 6%; mientras con coberturas algo más bajas están Poaceae (*Agrostis*, *Calamagrostis* y *Paspalum*) con un 4% y Ericaceae (*Pernettya prostrata*) con el 2%.

Finalmente y con coberturas del 1% o menos se encuentran las familias Alstroemeriaceae (*Bomarea*), Apiaceae (*Azorella* y *Oreomyrrhis*), Caryophyllaceae (*Cerastium* y *Colobanthus*), Gentianaceae (*Gentiana*, *Gentianella* y *Halenia*), Geraniaceae (*Geranium*), Juncaceae (*Juncus*) y Rubiaceae (*Nertera*). Entre las pteridofitas estuvieron:

Grammitidaceae (*Melpomene*), Hymenophyllaceae (*Hymenophyllum*), Isoetaceae (*Isoëtes*), Lomariopsidaceae (*Elaphoglossum*), y Lycopodiaceae (*Huperzia*). En relación a las briofitas, Bartramiaceae (*Breutelia*) alcanza el 12% y Pottiaceae (*Leptodontium*) el 1%.

2. En la zona de las pendientes se encontraron los siguientes grupos en orden de importancia: la más abundante es la familia Poaceae con el 62% de cobertura (representada por los géneros *Agrostis*, *Calamagrostis*, *Eragrostis*, *Poa* y *Trisetum*), le sigue Rosaceae con una cobertura del 8%, (representada por *Lachemilla*) y Asteraceae con 7% (que incluye a *Aphanactis*, *Belloa*, *Chuquiragua*, *Cotula*, *Gamochaeta*, *Gnaphalium*, *Hieracium*, *Hypochaeris*, *Lasiocephalus*, *Loricaria*, *Monticalia*, *Oritrophium*, *Senecio* y *Werneria*). Con coberturas algo más bajas están Ericaceae con el 4% (representada por *Disterigma*, *Gaultheria* y *Pernettya*) y Apiaceae con el 3% (*Azorella*, *Eryngium* y *Oreomyrrhis*). Con coberturas del 1% se encuentran Geraniaceae (*Geranium*) y Gunneraceae (*Gunnera*) y finalmente, con coberturas menores al 1% Caprifoliaceae (*Valeriana*), Caryophyllaceae (*Cerastium* y *Stellaria*), Cyperaceae (*Carex*), Gentianaceae (*Gentiana* y *Halenia*), Juncaceae (*Luzula*), Montiaceae (*Montia*), Orchidaceae (*Myrosmodes*), Orobanchaceae (*Bartsia*), Plantaginaceae (*Sibthorpia*), Ranunculaceae (*Ranunculus*) y Rubiaceae (*Nertera*). Entre las pteridofitas estuvieron: Dryopteridaceae (*Polystichum*), Grammitidaceae (*Melpomene*), Hymenophyllaceae (*Hymenophyllum*), Lomariopsidaceae (*Elaphoglossum*) y Ophioglossaceae (*Ophioglossum*) y Polytrichaceae (*Polytrichum*). En relación a las briofitas Pottiaceae (con *Barbula* y *Leptodontium*) alcanza el 4% y Bartramiaceae (*Bartramia*) el 1%.

4.1.3 GEOLOGÍA

El volcán Guagua Pichincha es el centro eruptivo más joven y occidental del complejo volcánico Pichincha junto a los otros centros no activos (Rucu Pichincha y Cónдор Huarchana). Es un estratovolcán del Plioceno tardío al Holoceno con una caldera abierta hacia el Oeste en cuyo piso se encuentra un pequeño domo volcánico, que da origen a una gran actividad fumarólica y explosiones freáticas (Vallejo, 2011). Está influenciado por la temprana actividad Holocénica volcánica, caracterizado por grandes erupciones explosivas que dieron lugar a columnas plinianas importantes, el crecimiento de domos con el consiguiente colapso y la generación de flujos piroclásticos por el colapso del domo (González, 2012).

Estudios realizados por Geotérmica Italiana, (1989) y Barberi *et al.* (1992) mencionan varios eventos volcánicos ocurridos en el pasado, las edades de los mismos son: 550 D.C., 970 D.C., 1.566 D.C., 1.575 D.C., 1.582 D.C. y en 1.660 D.C., los cuales se caracterizaron por la caída de lapilli en Quito, flujos piroclásticos, colapsos de domos y lahares en los valles de los flancos occidentales del complejo volcánico (Vallejo, 2011).

Según Robin *et al.*, 2008 se enfatizan dos períodos del Holoceno tardío de importante actividad explosiva, desde aproximadamente 4.000 a 3.000 años AP y desde aproximadamente 2.000 años AP. La actividad explosiva entre 3.000 y 4.000 años AP hubo crecimiento del domo intra-caldérico Toaza, produciendo varias caídas de ceniza relacionadas con su actividad explosiva (Robin *et al.*, 2008). En el primer ciclo de los últimos 2.000 años AP (1.900 y 1.800 a AP) se muestra una secuencia de los eventos del Guagua Pichincha conjuntamente con depósitos de tefra de los volcanes Pululahua y Quilotoa. En el ciclo eruptivo intermedio (1.100 y 1.000 a AP) se depositaron capas gruesas de cenizas y lapilli con espesores de 30 cm en las partes superiores de los flancos y alcanzando hasta 15 cm a 15 – 20 km, al Oeste, Noroeste, y

Suroeste del viento. Finalmente en el ciclo eruptivo histórico, sucedió en dos períodos: entre 1.566 – 1.582 y el de 1.660. La última gran erupción ocurrió en 1.660 y generó una gran columna eruptiva y caída densa de ceniza y lapilli de pómez en Quito, dejándola en penumbras por más de 40 horas. También descendieron flujos piroclásticos por los valles occidentales (Marini, 1991; Robin *et al.*, 2008; Gonzáles, 2012).

En los últimos 200 años se han originado varios períodos de actividad fumarólica y freática, el último de ellos ocurrió en 1.981 (Robin *et al.*, 2008). Sin embargo la etapa eruptiva entre 1.999 y 2001 incluyó explosiones plinianas y subplinianas, con la generación de flujos de bloques y ceniza, flujos de escombros y caídas de ceniza y lapilli (Aristizábal-García & Legrand, 2004). Adicionalmente en el valle de Lloa, se encuentran depósitos del primer ciclo eruptivo que se dio en los últimos 2.000 años y el suelo es rico en materia orgánica con un espesor de 20 a 30 cm (Robin *et al.*, 2008).

4.2 FASE DE CAMPO

Para el estudio palinológico se localizó una turbera ubicada a 3.900 msnm de la cual se extrajo con ayuda de una barrena (Russian corer), un núcleo de sedimento de 130 cm de longitud (Pich2). El sedimento se lo colocó en tubos PVC de 50 cm cubiertos con un plástico protector y posteriormente, se almacenó bajo condiciones oscuras y frías (+4°C), para una mejor conservación (Niemann & Behling, 2008) (Figura 3).

4.3 FASE DE LABORATORIO

Para este análisis palinológico el sedimento fue muestreado a intervalos de 2 cm dando como resultado 66 submuestras de 0,50 cm³.

Todas las submuestras fueron procesadas químicamente por el pre-tratamiento estándar, incluyendo el pirofosfato de sodio, acetólisis y la separación de líquidos pesados (bromoformo) (Faegri, & Iversen, 1989) (Anexo 1). Posteriormente se elaboró placas de cada una de las submuestras y se observó en el microscopio.

En general, se contabilizó un mínimo de 300 granos de polen y esporas por placa. Para la identificación de polen y esporas, se utilizó la guía de polen de Colombia publicada por Hooghiemstra (1984), la base de datos del Departamento de Palinología y Dinámica del Clima, Universidad de Göttingen, la cual contiene aproximadamente 3.000 tipos de polen Neotropical (Behling, 1993) y la base de datos del Laboratorio de palinología del Herbario QCA de la PUCE que contiene 433 registros de polen y esporas de pteridofitos de los páramos ecuatorianos.

Para el análisis de carbón, en cada placa se contabilizó las partículas de carbón existentes hasta contar un total de 100 esporas de *Lycopodium clavatum* para asegurar una concentración estimada de carbón con un error menor del 5% (Finsinger *et al.*, 2008).

Además, se les asignó categorías dimensionales a las partículas de carbón contabilizadas: (i) 10 y 50 μm y (ii) 50 y $>125 \mu\text{m}$ (Whitlock & Larsen, 2001), con el fin reconstruir detalladamente la historia de incendios del área de estudio en términos de distancia, del mismo modo la primera categoría corresponde a antecedentes de plano secundario (lo que se denomina como ruido de fondo), y corresponden a partículas que se dispersan de lugares distantes; la segunda categoría es importante ya que indica una imagen de incendios locales, y además son partículas que provienen de lugares menos distantes (Sadori *et al.*, 2007).

Los taxones identificados fueron clasificados dentro de cuatro grupos ecológicos que corresponden a la vegetación predominante: Bosque Montano Bajo (BMB), Bosque Montano Alto (BMA), Páramo (PAR) e Introducido (I) (Figura 4).

Posteriormente se utilizó el software TILIA y TILIAGRAPH (Grimm, 1987) para el cálculo de datos e ilustración respectivamente. Es importante mencionar, que para la suma total de polen se incluyó hierbas, arbustos, árboles y taxas indeterminados; y se excluyó esporas de helechos, musgos, polen de taxones acuáticos e *Isoëtes*.

Con los datos obtenidos se realizó dos diagramas, siendo el primero que indica el porcentaje de los taxones más representativos para cada ecosistema y el segundo representa una síntesis de los taxones de polen expresado en porcentajes de cada tipo de vegetación (Figura 4 y 5). Las zonas del diagrama de polen fueron creados por medio del CONISS, programa que se basa en un análisis de conglomerados con la suma total de cuadrados (Grimm, 1987).

Para la obtención de la cronología del sedimento se sometió a dos submuestras, a datación de radiocarbono por medio del Accelerator Mass Spectrometer (AMS). La misma que fue realizada en la Universidad de Erlangen/Nürberg, Alemania. Las dataciones del ^{14}C fueron calibradas usando la curva Calpal 2007 HULU para el hemisferio Norte de Calpal on line.

5. RESULTADOS

5.1 ESTRATIGRAFÍA

El núcleo del sedimento Guagua Pichincha 2 (PICH2), cuya profundidad es de 130 cm, consiste de materia vegetal fresca (presencia de restos de hojas y raíces), así como de materia orgánica medianamente descompuesta y materia orgánica descompuesta (Figura 6).

Entre los 130 – 120 cm de profundidad, se observa material arcilloso-arenoso de tonalidad café oscuro, con materia orgánica descompuesta. Desde 120 – 118 cm, el sedimento presenta color beige por la probable mezcla entre ceniza y arcilla, y ausencia de materia orgánica. Desde los 118 – 78 cm, el sedimento presenta un color negro con material arcilloso-arenoso y materia orgánica descompuesta. Entre 78 – 50 cm, se observa una mezcla de arcilla con arena que le da un color café, con pequeños pedazos de roca y materia orgánica medianamente descompuesta. Entre 50 – 20 cm se evidencia, una mezcla de sustrato de arcilla con arena, y materia orgánica medianamente descompuesta. Entre 20 – 4 cm presenta un sustrato arcilloso, de color café por la materia orgánica poco descompuesta y presencia de raíces, las cuales son responsables del color café. Finalmente cerca de la superficie, entre 4 - 0 cm, presenta una tonalidad negra, caracterizada por la presencia de materia orgánica fresca probablemente de *Werneria* y *Cotula*. (Tabla 1).

5.2 CRONOLOGÍA

La cronología del núcleo de sedimento del Guagua Pichincha 2 (Pich2) se basa en dos dataciones por radiocarbono. La primera datación se tomó entre 62 – 62.5 cm de profundidad, y data de hace 320 ± 125 cal (edad calibrada) años AP (antes del presente). La segunda datación de 129 – 129,5 cm de profundidad, data de hace 720 ± 61 cal años AP (Figura 7, Tabla 2). Las dos fechas de radiocarbono sugieren que hubo una continua acumulación de

sedimento y este es totalmente compacto según la tasa de sedimentación que varía entre 1,63 mm/año (60 – 307 años cal AP) y 1,65 mm/año (732 – 320 cal años AP). Específicamente, la tasa promedio de sedimentación del núcleo es de 1,64 mm/año.

5.3 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE POLEN

En el diagrama de la figura 4 se muestra el porcentaje detallado de los taxones más abundantes de polen y esporas. Específicamente, se representa 26 diferentes taxones de polen, con una representación mayor al 2%, de un total de 78 identificados y cuatro tipos de esporas, con una representación mayor al 2%, de un total de 27 identificadas (Figura 4, Tabla 3). El dendrograma de polen muestra cinco diferentes zonas denominados PICH-I a V (Figura 5). La concentración de polen comprende entre 6.202 – 40.360 granos cm^3 , la cual se mantiene en general estable, a excepción del inicio de la zona III y al final de la zona I. La concentración de carbón de 10 – 50 μm (3'650.969 – 21'123.460 partículas cm^3), muestra valores altos al principio de la zona IV y se mantiene estable en las demás zonas. La concentración de carbón de 50 – > 125 μm (173.856 – 7'475.792 partículas cm^3), presenta cambios graduales en los valores, sin embargo los valores más bajos se encuentran en la zona III y V (Figura 5).

5.3.1 Zona PICH-I (130 – 111 cm, 732 – 623 años cal AP, 10 muestras)

Valores entre 6 y 13% caracterizan al bosque montano bajo (BMB) (Figura 5), representado en su mayoría por el complejo Moraceae/Urticaceae (6 - 11%) y valores bajos de Apocynaceae (3%) (Figura 4). El bosque montano alto (BMA) está representado con valores del 6 a 17%, en el que se refleja en mayor proporción *Bomarea* (11%), en menor proporción está Rubiaceae con el 3%, y con el 2% Melastomataceae y Amaranthaceae/Chenopodiaceae. Mientras que *Myrica*, *Ambrosia*, *Symplocos*, *Polylepis/Acaena* y *Alnus* están representados

con el 1%. El páramo está representando con los valores más altos (72 al 90%) registrados a lo largo del sedimento, está caracterizado principalmente por polen de Cyperaceae (41 – 69%) y Poaceae (9 – 27%); Asteraceae (4 – 13%) muestra valores altos al inicio y al final de la zona; mientras que, Plantaginaceae está representada por el 2%. Las esporas de *Huperzia* (3%) y *Cyathea* (2%) presentan valores bajos. Esporas de *Isoëtes* son muy escasas, mientras que esporas de *Leptodontium* (27 – 46%) muestran valores altos, sin embargo se presenta un descenso abrupto casi en la mitad de la zona.

5.3.2 Zona PICH-II (111 – 85 cm, 623 – 465 años cal AP, 13 muestras)

El BMB muestra proporciones estables entre 6 – 17%, con un ligero incremento en la mitad de la zona causado en su mayoría por la presencia del polen de Moraceae /Urticaceae representado por el 4 al 17%; sin embargo, el polen de Apocynaceae está ausente (Figuras 4 y 5). Los valores de los taxones del BMA (5 – 10%) presentan un leve decrecimiento en relación a la zona PICH- I, y consisten principalmente en la disminución de *Bomarea* (3%) y la ausencia de polen de *Myrica*, *Polylepis/Acaena*, *Symplocos* y *Alnus*. Polen de Rubiaceae (4%), Amaranthaceae/Chenopodiaceae (3%) y Melastomataceae (2%) se presenta estable. El páramo está representado con el 74 – 87%, caracterizado mayormente por Cyperaceae (38 – 47%) y Poaceae (14 – 28%); Asteraceae y Ranunculaceae se encuentran en menor proporción con el 9%. Gentianaceae (2%), *Valeriana* (3 – 15%) y *Gunnera magellanica* (7%) muestran un incremento marcado al final de la zona. Plantaginaceae (4%) y *Arcytophyllum* (2%) presentan valores bajos. Las esporas de *Huperzia* con el 2%, se encuentran en menor proporción en esta zona, mientras que *Cyathea* está ausente. Se evidencia un aumento de *Isoëtes* al final de esta zona del 8%, *Leptodontium* (12 – 29%) presenta un leve decrecimiento en toda la zona, en comparación a la zona anterior.

5.3.3 Zona PICH-III (85 – 71 cm, 465 – 381 años cal AP, 7 muestras)

El BMB (3 – 8%) se caracteriza por su baja proporción representado principalmente por el decrecimiento de Moraceae/Urticaceae (8%). Sin embargo, Bignoniaceae presenta un leve incremento (2%) con respecto a la zona PICH-I y PICH-II. A inicios de esta zona, el BMA registra un ligero aumento (6 – 12%), principalmente por el leve incremento del polen de Melastomataceae con el 4%, *Ambrosia* presenta un ligero aumento al final de la zona (2%), *Symplocos* y *Polylepis/Acaena* (1%) muestran valores muy bajos (Figuras 4 y 5). Además, en esta zona se ve un ligero decrecimiento del polen de *Bomarea* y Rubiaceae (2%), junto con polen de Amaranthaceae/Chenopodiaceae y *Alnus* (1%) reaparece. Altos porcentajes (29 – 50%) de taxones de Páramo consisten principalmente de Cyperaceae (32 – 67%) y Poaceae (11 – 20%) siendo los más frecuentes. Polen de *Gunnera magellanica* (8 – 25%) presenta un pronunciado aumento al inicio de la zona. Polen de Asteraceae (10%) y Ranunculaceae (8%) presentan un leve aumento en la mitad de la zona. La proporción de Plantaginaceae (2 – 8%) incrementa hacia el final de la zona, mientras que *Valeriana* (3%) y Gentianaceae (2%) disminuyen su porcentaje. Las esporas *Huperzia* (9%) y *Cyathea* (2%) presentan un ligero aumento en comparación con las zonas PICH-I y PICH-II; para *Isoëtes* (5 – 15%) se registró un aumento en el porcentaje al final de la zona, a diferencia de *Leptodontium* (7 – 19%) que presenta valores menores en comparación con la zona PICH I y II.

5.3.4 Zona PICH-IV (71 – 21 cm, 381 – 75 años cal AP, 25 muestras)

En esta zona se observa una baja representación del BMB (2 – 5%); debido principalmente, a la disminución del polen de Moraceae/Urticaceae (4 – 8%). Sin embargo, el polen de Apocynaceae está representado por el 2% y Bignoniaceae está presente al inicio de la zona con el 3%. Al igual que el BMB, el BMA está representado por porcentajes

relativamente bajos (5 – 9%), debido principalmente a la disminución en el porcentaje del polen de Melastomataceae (3%); además, de valores muy bajos por parte de *Ambrosia* (1%) (Figuras 4 y 5). Polen de *Bomarea*, Rubiaceae, Amaranthaceae/Chenopodiaceae, *Symplocos*, *Polylepis/Acaena* y *Alnus* presentan valores relativamente estables entre el 1 – 3%. Sin embargo, en esta zona se evidencia un incremento en el porcentaje de *Myrica* y *Hedyosmum* con valores de 1% y 3% respectivamente. En esta zona se evidencia los valores más altos de los taxones de páramo (86 – 92%), en comparación con el resto del perfil, considerando al taxón Cyperaceae (33 – 67%) el más común en esta zona, seguido por Poaceae (19 – 23%), Asteraceae (8 – 19%) y Plantaginaceae (2 – 11%) con valores relativamente estables. Brassicaceae (tipo) (1 – 8%) se registra únicamente en la primera mitad de esta zona. Entre los taxones que tienen valores bajos están *Gunnera magellanica* (2 – 8%), Ranunculaceae, Gentianaceae y *Arcytophyllum* con el 3%. El porcentaje de *Cyathea* (2%) y *Huperzia* (5%) aumenta ligeramente. *Isoëtes* (11 – 25%) presenta el registro más alto en esta zona. Las esporas de *Leptodontium* (22 – 53%) registraron a inicios de la zona un decrecimiento en su porcentaje sin embargo en la mitad de la zona este aumenta marcadamente.

5.3.5 Zona PICH-V (21 – 0 cm, 75 años cal AP – presente, 11 muestras)

Los taxones del BMB (6 – 12%) muestran aumento en su porcentaje con relación a la zona anterior, representado únicamente por Moraceae/Urticaceae (3 – 11%) con un ligero incremento en su porcentaje en la segunda mitad de la zona. El BMA (9 – 13%) evidencia un aumento en la mitad de la zona, causado principalmente por los valores más altos de *Hedyosmum* (9%) (Figuras 4 y 5). Valores bajos registrados corresponden principalmente a *Myrsine* con el 3%; y Melastomataceae y Rubiaceae con el 2%. El páramo (74 – 86%) disminuye en relación a la zona anterior, se observa un incremento en los porcentajes de la

mayoría de los taxones representado por polen de Poaceae (10 – 24%), Asteraceae (4 – 16%), Plantaginaceae (5 – 10%) y *Puya* (9 – 19%). Ranunculaceae (8 – 16%) muestra porcentajes altos únicamente al inicio de la zona. El polen de Cyperaceae (21 – 46%) presenta valores relativamente bajos en comparación con las demás zonas. *Valeriana* (3 – 6%) y *Gunnera magellanica* (2 – 5%) presentan valores más bajos. El polen de *Pinus*, árbol introducido, está presente exclusivamente en esta zona con un porcentaje del 0,6%. Las esporas de *Huperzia* con el 8% presentan un ligero incremento en el porcentaje al inicio de la zona para desaparecer en la mitad. En menor porcentaje esta *Cyathea* con el 3%. *Isoëtes* (9 – 14%) que desaparece luego de la mitad de la zona; por último *Leptodontium* (19 – 91%) muestra su más alto registro en el sedimento en esta zona, aumentando aún más hacia el final.

6. DISCUSIÓN

El análisis de polen y esporas fósiles del núcleo de sedimento PICH 2, extraído de una turbera en el valle de origen glaciar, refleja el desarrollo de vegetación durante el Holoceno tardío en el sector del Guagua Pichincha. En base a los registros de polen se estima que en el área de estudio, la vegetación de páramo está bien establecida desde hace 732 cal años AP (Holoceno tardío), y seguramente, se encontró rodeada por vegetación de bosque montano alto (BMA) y más abajo, de bosque montano bajo (BMB) (Figura 4).

En general es importante considerar que la representación del polen en el sedimento depende de factores como el síndrome de polinización, por ejemplo el mecanismo de dispersión por el viento influencia fuertemente la sobre-representación de Moraceae/Urticaceae; mientras que *Arcytophyllum*, presenta una baja-representación en el ecosistema debido a que es polinizado por insectos (Jantz *et al.*, 2013). Aproximadamente, durante 732 – 500 cal años AP la abundancia de partículas de carbón que se registró, indica que el fuego era frecuente y probablemente fue ocasionado por la actividad humana.

Durante 500 – 75 cal años AP se registró un ciclo pre-eruptivo que inició en el año 1461 (aprox. 500 cal años AP aproximadamente) y culminó con la erupción pliniana de 1660 D.C. (aprox. 300 cal años AP) (Figura 6), por lo que se considera que estos eventos son factores que pudieron influir en los cambios de la vegetación. Además durante el siglo 19, ocurrieron otros episodios de actividad freática (1830 – 1831 D.C., 1868 – 1869 D.C., y 1881 D.C.), mientras que en las dos últimas décadas del siglo 20 aumentó la actividad de fumarolas y de explosiones freáticas (1980 – 81 D.C., 1988 D.C., 1993 y 1998 D.C.). En octubre de 1999, se renovó la actividad magmática que caracterizó una explosión del domo y Quito se volvió a ver amenazada por la caída de ceniza hasta mayo del 2001 (Robin *et al.*, 2008). Sin

embargo, a medida que nos aproximamos a la superficie (75 cal años AP al presente) el cambio de vegetación podría estar mayormente influenciado por la actividad humana específicamente por parte de los pobladores del valle de Lloa.

6.1 LA VEGETACIÓN ANTES Y DURANTE EL CICLO PRE-ERUPTIVO DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA

Durante 732 – 381 cal años AP (PICH-I, PICH-II y PICH-III), los registros de polen del núcleo de sedimento PICH 2 reflejan que la vegetación de páramo es dominante en el área de estudio, y está rodeada por vegetación de BMA y BMB (Figuras 4 y 5). La baja presencia de los taxones del bosque montano probablemente está relacionada con las bajas temperaturas presentes durante este período, lo cual no favoreció el desarrollo del mismo cerca del área de estudio.

6.1.1 VEGETACIÓN ANTES DEL CICLO PRE-ERUPTIVO

Durante 732 – 500 cal años AP los altos registros de Cyperaceae y Poaceae, son indicadores de la dominancia de páramo en el área estudiada; junto con la presencia de Asteraceae. Poaceae es muy común en la vegetación de páramo, porque es un productor abundante de polen en las elevaciones más altas, su ocurrencia es mucho más frecuente y tiene una dispersión homogénea (Niemann *et al.*, 2010). Así también Cyperaceae es un buen indicador de condiciones húmedas características de páramo (Bruschön & Behling, 2009; Villota *et al.*, 2012). En cambio la baja-representación de *Arcytophyllum* en el diagrama se debe a que su polinización es mediante animales (insectos) y no logran alcanzar grandes distancias (Hansen *et al.*, 2003).

El patrón dominante del páramo en el Guagua Pichincha, también ha sido reportado en otros estudios, como sucede en Guandera, donde la vegetación de páramo es extensa por la ausencia de taxones de bosque (Di pasquale *et al.*, 2008). Del mismo modo, en el estudio en Pantano de Pecho la dominancia de páramo está influenciada por la abundancia de Poaceae (Wille *et al.*, 2002).

Leptodontium es abundante durante este primer periodo; este taxón aparentemente se caracteriza por tener un amplia distribución, crece en condiciones extremas como congelamiento o pérdida de humedad; y en otros casos está asociado con la actividad humana (Zander, 1996).

Durante este período la vegetación del BMA y BMB es baja pero relevante principalmente por la representación del género *Bomarea* (BMA) y el complejo de Moraceae/Urticaceae (BMB). La abundancia de *Bomarea* en el BMA, especialmente entre 732 – 623 años cal AP (zona PICH-I), probablemente se debe a que está bien-representada en este tipo de vegetación (Bayer, 1998) (Figura 5). En estudios de lluvia de polen se ha reportado que el complejo Moraceae/Urticaceae está sobre-representado por la fuerte influencia de la dispersión por viento ascendente y por lo tanto puede transportarse fácilmente a grandes distancias de menor a mayor altitud (Jantz *et al.*, 2013). Posiblemente esta capacidad de dispersión de Moraceae/Urticaceae hace que sea representativo el BMB (Figura 4).

6.1.2 VEGETACIÓN DURANTE EL CICLO PRE-ERUPTIVO

El comienzo de la actividad pre-eruptiva del Guagua Pichincha se registra hace ~ 500 años cal AP (1461 D.C.). Durante 500 – 381 años cal AP (ciclo pre-eruptivo), la vegetación de páramo evidencia una mayor abundancia que en la actualidad, especialmente debido a: Ranunculaceae, *Valeriana*, *Gunnera magellanica*, Plantaginaceae; y adicionalmente hubo un

incremento en las condiciones húmedas. Según Niemann (2008), el incremento de *Valeriana*, probablemente ocurre cuando las condiciones del ambiente son relativamente húmedas y frías. Del mismo modo se sugiere que el incremento de *Gunnera magellanica* se debe a que crece particularmente en pantanos/turberas (Marchant *et al.*, 2002) (Figura 4).

La vegetación del BMA se mantiene estable, una mayor representación de Amaranthaceae/Chenopodiaceae que en el resto del diagrama y según Marchant *et al.* (2002) este es un buen indicador de disturbios, sin embargo no se puede cuantificar la magnitud del mismo por el bajo registro en el presente análisis. La presencia de *Ambrosia* (zona PICH-III) durante este período podría reflejar particularmente condiciones de agricultura y áreas disturbadas (Marchant *et al.*, 2002; Hansen *et al.*, 2003). Además, durante este ciclo pre-eruptivo la vegetación del BMB disminuye; a pesar del ligero incremento de Bignoniaceae.

En este periodo se evidencia una disminución en la frecuencia de *Leptodontium* posiblemente por el inicio del ciclo pre-eruptivo del volcán. A partir de los 500 años cal AP, se evidencia el incremento en las esporas de *Isoëtes*; lo cual indica el comienzo de condiciones más húmedas (Jantz *et al.*, 2012; Marchant *et al.*, 2002).

6.2 VEGETACIÓN DESPUÉS DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA DEL GUAGUA PICHINCHA (381 – 75 cal años AP, zona PICH-IV)

Durante este período se evidencia que la vegetación de páramo prevalece, seguido en importancia por la vegetación de BMA y luego de BMB. Las condiciones de humedad son muy elevadas por la presencia de los taxones *Gunnera magellanica*, Plantaginaceae y abundantes esporas de *Isoëtes*. Posiblemente la presencia de taxones como Amaranthaceae/Chenopodiaceae y *Ambrosia* sugiere la existencia de disturbios en el área de estudio, mientras que la presencia de *Alnus* destaca la existencia de bosque (Figuras 4 y 5).

Es importante mencionar que en este período, culmina la actividad pre-eruptiva que empezó en 1.461 D.C y con la erupción pliniana en 1.660, cuando se produjo una caída densa de ceniza y lapilli de pómez en Quito con descenso de flujos piroclásticos por los valles occidentales (Robin *et al.*, 2008). Este último evento histórico eruptivo se registra en el perfil PICH 2 hace aproximadamente 300 años AP. Sin embargo esta actividad volcánica no produjo cambios severos en la vegetación de páramo, BMA y el BMB.

La vegetación de páramo aumento ligeramente en este período y casi todos los registros de polen apuntan al incremento de la humedad (*Gunnera magellanica*, Plantaginaceae). Se ha demostrado en los registros de polen del páramo de Jímbura, que la frecuencia de Plantaginaceae reflejan condiciones húmedas locales (Villota *et al.*, 2012). Por otro lado el incremento de Asteraceae, posiblemente se debe a que en el páramo habían ciertas partes donde la humedad era menor y este taxón pudo prosperar (Almedia – Lenero *et al.*, 2005).

Brassicaceae (tipo) es una familia andina ampliamente distribuida y se caracteriza por ocupar suelos halomórficos (suelos con sales solubles) o arenosos (Marchant *et al.*, 2002). Posiblemente se presenta únicamente en este período, en el cual hubo mayor acumulación de arena por los eventos volcánicos pre-eruptivos y eruptivos.

En el BMB se encuentra estable Moraceae/Urticaceae, mientras que Apocynaceae aparece después de la erupción pliniana. Igualmente el BMA es estable, la abundancia de los diferentes taxones podría relacionarse con sus síndromes de polinización. Con *Hedyosmum* y *Myrica* que son anemófilos (posible sobre-representación), *Symplocos* ocasionalmente se dispersa por insectos (posible baja-representación), Rubiaceae se dispersa mediante aves e

insectos (posible baja-representación), finalmente Amaranthaceae/Chenopodiaceae se dispersa mediante abejas y el viento (baja y sobre-representación) (Moscol-Olivera *et al.*, 2009).

El polen de *Polylepis/Acaena*, es más evidente en este período, reflejando la posible existencia de pequeños parches de bosque (Wille *et al.*, 2002), lo que sugiere que hace aproximadamente 200 años AP, muy cerca del límite de páramo hubo pequeños parches de bosque de *Polylepis*. La presencia de *Alnus*, es un indicador sensible de la distribución de los bosques pasados, porque puede producir abundante polen (Weng *et al.*, 2004).

La abundancia de *Leptodontium* posiblemente se debe a las condiciones adversas que causó la erupción pliniana de 1660 y favoreció su crecimiento (Cárdenas, 1995). La frecuencia de *Huperzia* en este período, podría indicar condiciones de humedad y también posibles disturbios (Jantz & Behling, 2012).

6.3 VEGETACIÓN ACTUAL (75 cal años AP al presente, zona PICH-V)

El período comprendido entre 75 cal años AP al presente (zona PICH-V) evidencia que la vegetación de páramo sigue siendo dominante con mínimas variaciones en la composición de la vegetación. Además, se registra un ligero incremento en el BMB y BMA; posiblemente por un aumento en la temperatura y condiciones de menor humedad. Taxones introducidos se registran en este periodo, así como taxones de disturbios (Figuras 4 y 5).

En la época más reciente la vegetación de páramo se redujo levemente, sin embargo no deja de ser dominante en el presente estudio. La disminución de Cyperaceae que también se ha reportado en los registros de polen de Bakker y colaboradores (2008), sugiere que el páramo está perdiendo sus cuerpos de agua y que el pantano comenzó a secarse en los últimos tiempos. Además con la disminución de taxones de humedad como Ranunculaceae y *Gunnera magellanica* confirman este argumento (Marchant, 2001). Consecuentemente,

aumentan Poaceae, Asteraceae y *Puya*. Al parecer Poaceae y Asteraceae tomaron ventaja porque la humedad del suelo disminuyó (Almedia–Lenero *et al.*, 2005).

El incremento de *Puya* que se registra únicamente en la actualidad puede estar asociado a un evento de incendio reciente. En un estudio que se llevó a cabo en el páramo del Ángel (Carchi) se reportó que *Puya* es una planta que se ve favorecida por incendios ya que germina con mayor frecuencia después de éstos; es decir que es un buen indicador de incendios recientes (García-Menézes, 2012).

Moraceae/Urticaceae representa únicamente al BMB en este período, mientras que en el BMA, *Hedyosmum* es frecuente y posiblemente indica que la temperatura del ambiente aumentó (Bakker *et al.*, 2008), también se considera que su alta representación se ve favorecida por la fácil dispersión por el viento (Villota *et al.*, 2012).

Posiblemente la presencia de *Pinus*, género introducido, podría sugerir que actualmente los disturbios y la actividad humana son más comunes (Bruschön & Behling, 2009; Jantz *et al.*, 2012). La disminución de *Huperzia* e *Isoëtes* sugieren que las condiciones de humedad se están reduciendo (Jantz & Behling, 2012). La presencia de *Cyathea*, taxón localmente común en el BMA (Marchant *et al.*, 2002), indicaría que el BMA aún está representado.

Adicionalmente la abundancia significativa de *Leptodontium*, posiblemente indica que las condiciones ambientales se están volviendo más adversas, principalmente porque se está perdiendo humedad en el páramo y por actividades humanas (Zander, 1996). Según el análisis de vegetación en los cuadrantes del páramo del Guagua Pichincha, *Leptodontium* está presente con hasta el 4% de cobertura en la vegetación actual (León-Yáñez *et al.* datos no publicados)

6.4 HISTORIA DE INCENDIOS Y ACTIVIDAD HUMANA

Los Andes representan uno de los lugares donde la actividad humana ha modificado la vegetación, con sistemas de uso de tierras agrícolas que aparecen desde el Holoceno temprano. El uso actual del suelo incluye el pastoreo intensivo y extensivo y los sistemas agrícolas de cultivos (Young, 2009). La biodiversidad en paisajes humanizados ha alterado la abundancia, composición y distribución de las especies nativas (Young, 2009).

En la zona alto andina del Ecuador (3.000 – 4.000 msnm) la vegetación de bosques y pastizales de páramo eran ampliamente dominantes antes del establecimiento de las poblaciones humanas a gran altura. Ahora han desaparecido en parte y muchas áreas han sido alteradas y transformadas por la agricultura a pequeña escala, el pastoreo extensivo en el páramo y plantaciones de árboles que en su mayoría son especies exóticas introducidas por su rápido crecimiento (*Eucalyptus* spp., *Pinus* spp.) (Hosftede *et al.*, 2002).

La población del valle de Lloa está situada a los 3.100 msnm y el uso del suelo por la gente está principalmente orientado al cultivo de pasto para potreros en un 15.6%, también se dedican al cultivo de papa y hortalizas las cuales ocupan entre 1 y 4 ha, alrededor de 46.3% de la superficie de la parroquia está ocupada por bosques naturales (Arévalo, 2008), y además se dedican a tareas ganaderas y pastoreo (Páez, 2008).

En el presente estudio el carbón contabilizado reveló que hace 732 – 75 cal años AP se registraron más incendios, sin embargo no se puede determinar con exactitud la posible causa de éstos (Figura 4).

Durante 75 cal años AP al presente la concentración de partículas de carbón es menor. En el período entre 732 y ~500 cal años AP se evidencia más concentración de partículas de 50 – >125µm, sin embargo es difícil poder precisar cuál fue la posible causa de la

acumulación de estas partículas de carbón y si estuvo influenciada por la actividad humana o por la actividad volcánica.

Una concentración mayor de partículas de carbón de 10 – 50 μm , se registró durante ~ 500 – 75 cal años AP, probablemente su causa fue la actividad volcánica (actividad pre-eruptiva en 1.461 D.C. y erupción pliniana de 1.660 D.C.) (Robin *et al.*, 2008). Finalmente a partir de 75 cal años AP al presente, se registró una menor concentración de partículas de carbón, es decir que en la actualidad han habido menos incendios, sin embargo, la presencia significativa de *Puya* en este período, refleja que posiblemente hubo un incendio reciente o simplemente son terrenos más secos que favorece a su crecimiento (García-Meneses, 2012).

La actividad humana en este período probablemente se debe a la cercanía de Lloa al área de estudio, así mismo la presencia de *Pinus*, permite sugerir que hubo actividad antropogénica pero no a gran escala en el área de estudio (Bruschön & Behling, 2009).

7. CONCLUSIONES

El núcleo de sedimento obtenido de la turbera del valle de origen glaciar nos permitió reconstruir los cambios de la vegetación y la historia de incendios en el páramo ubicado en el flanco occidental del volcán Guagua Pichincha durante aproximadamente los últimos 730 cal años AP.

La vegetación dominante durante los últimos 730 cal años AP fue el páramo rodeado de vegetación boscosa. Para el bosque montano alto se detectó la presencia de *Hedyosmum*, *Alnus*, *Myrica*, *Symplocos*, Rubiaceae y Amaranthaceae/Chenopodiaceae. Mientras que en el Bosque Montano Bajo el polen de Moraceae/Urticaceae siempre estuvo presente.

Durante aproximadamente 732 – 500 cal años AP las condiciones del clima fueron menos húmedas, pero desde aproximadamente 500 hasta 75 cal años AP las condiciones frías y húmedas retornaron. En la actualidad las condiciones de humedad del páramo están disminuyendo con un incremento en la temperatura que ha favorecido la presencia de taxones de bosque.

Los registros de carbón reflejan que hace aproximadamente 732 cal años AP hubo más incendios que en la actualidad. Se cree que las causas más probables de origen de los incendios son: el impacto humano y la actividad volcánica del Guagua Pichincha; descartando posibles fuegos naturales. Sin embargo no se ha podido determinar con exactitud cuál fue el origen de los incendios. En cualquier caso la vegetación de páramo no parece haber sido muy afectada en ningún momento por los incendios.

La presencia de los taxones indicadores de disturbio como *Amaranthaceae/Chenopodiaceae*, *Alnus*, *Ambrosia* y *Pinus* refleja actividad humana que afectó en menor escala a la vegetación y probablemente se debe a la cercanía del poblado de Lloa al área de estudio.

8. LITERATURA CITADA

- Acosta-Solís, M. 1995. Las Divisiones Fitogeográficas y las formaciones Geobotánicas del Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Ciencias Naturales. Quito-Ecuador.
- Almeida-Lenero, L., Hooghiemstra, H., Cleef, A., & van Geel, B. 2005. Holocene climatic and environmental change from pollen records of lakes Zempoala and Quila, central Mexican highlands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 136: 63–92.
- Aristizábal-García, A., & Legrand, D. 2004. Determinación de la función de transferencia de las estaciones de la red sísmica del Volcán Guagua Pichincha: Una aplicación en la localización de tremor volcánico. *Investigaciones en Geociencia*. Departamento de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional. Quito.
- Arévalo, S. 2008. Plan de desarrollo agro-ecoturístico para la comunidad de urauco y su área de Influencia, parroquia rural de Lloa, cantón Quito. Tesis de Ingeniería, UTE, Ecuador.
- Bakker, J., Moscol, M., & Hooghiemstra, H. 2008. Holocene environmental change at the upper forest line in northern Ecuador. *The Holocene* 18: 877–893.
- Barberi, F., Ghigliotti, M., Macedonio, G., Orellana, H., Pareschi, M., Rosi, M. 1992. Volcanic hazard assessment of Guagua Pichincha (Ecuador) based on past behaviour and numerical models. *J. Volcanol Geotherm Res.* 49:53–68.
- Bayer, E. 1998. *Alstroemeriaceae. Flowering Plants · Monocotyledons*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Behling, H. 1993. Untersuchungen zur spätpleistozänen und holozänen Vegetations- und Klimageschichte der tropischen Küstenwälder und der Araukarienwälder in Santa Catarina (Südbrasilien). *Dissestationes Botanicae* 206, J. Cramer, Berlin, Stuttgart.

- Brunschön, C., & Behling, H. 2009. Late Quaternary vegetation, fire and climate history reconstructed from two cores at Cerro Toledo, Podocarpus National Park, southeastern Ecuadorian Andes. *Quaternary Research* 72: 388–399.
- Cárdenas, A. 1995. Las Pottiaceae (Musci) del Valle de México. *Acta Botánica Mexicana* 33: 51–61.
- Di Pasquale, G., Marziano, M., Impagliazzo, S., Lubritto, C., de Natale, A., & Bader, M. 2008. The Holocene treeline in the northern Andes (Ecuador): first evidence from soil charcoal. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 259, 17–34.
- Diemer, M. 1996. Microclimatic convergence of high-elevation tropical páramo and temperate-zone alpine environments. *Journal of Vegetation Science* 7: 821–830.
- Fægri, K., & Iversen, J. 1989. *Textbook of Pollen Analysis*, 4th ed. Wiley, Chichester. pp 328.
- Finsinger, W., Tinner, W., & Hu, S. 2008. Rapid and accurate estimates of microcharcoal content in pollen slides. Swiss national Science Foundation.
- García-Meneses, P. 2012. Landscape-scale population dynamics: field observations and modelling of *Puya hamata*, a flagship plant from the Andes. Tesis de Doctorado, University of Plymouth. U.K.
- Geotérmica Italiana. 1989. Mitigación del riesgo volcánico en el área metropolitana de Quito. Informe final vol. 2. Evolución geo-vulcanológica del Guagua Pichincha, ed. Pisa, p. 105.
- Gómez-Molina, M., & Little, A. 1981. Geocology of the Andes. The natural science basis for research planning. *Mountain Research and Development* 1: 115–144.

- González, A. 2012. Instituto Geofísico. Geología del Guagua Pichincha. Escuela Politécnica Nacional. Quito – Ecuador.
- Graham, A. 2009. The Andes: A geological overview from a biological perspective. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 96: 371–385.
- Gregory-Wodzicki, K. 2000. Uplift history of the Central and Northern Andes: A review. *Geological Society of America Bulletin* 112: 1091–1105.
- Grimm, C. 1987. CONISS: a Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of squares. *Computer and Geosciences* 13: 13–35.
- Hansen, B., Rodbell, D., Seltzer, G., León, B., Young, K., Abbott, M., 2003. Late-glacial and Holocene vegetational history from two sites in the western Cordillera of southwestern Ecuador. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194:79–108.
- Hedberg, I. & Hedberg, O. 1979. Tropical-alpine life-forms of vascular plants. *Oikos* 33: 297–307.
- Herzog, S., Martínez, R., Jorgensen, P., & Tiessen, H. 2012. Cambio climático y Biodiversidad en los Andes tropicales. Inter- American Institute. Cap. 8.
- Hofstede, R., Groenendijk, J., Coppues, R., Fehse, J., & Sevink, J. 2002. Impact of Pine Plantations on Soils and Vegetation in the Ecuadorian High Andes. *Mountain Research and Development* 22: 159–167.
- Hooghiemstra H., 1984. Vegetation and Climatic History of the High Plain of Bogota, Colombia: A Continuous Record of the Last 3,5 Million Years. *Dissertationes Botanicae* 79, Cramer, Vaduz.

- Jantz, N., & Behling, H. 2012. A Holocene environmental record reflecting vegetation, climate, and fire variability at the Paramo of Quimsacocha, southwestern Ecuadorian Andes. *Veget Hist Archaeobot.* 21:169–185.
- Jantz, N., Homeier, J., León-Yáñez, S., Moscoso, A., & Behling H. 2013. Trapping pollen in the tropics - Comparing modern pollen rain spectra of different pollen traps and surface samples across Andean vegetation zones. *Review of Palaeobotany and Palynology* 193: 57–69.
- Lomolino, M., Riddle, B., Whittaker, R., & Bronw, J. 2010. *Biogeography*. Fourth Edition. Sunderland, Massachusetts.
- Luteyn, J. 1999. *Páramos: A Checklist of Plant Diversity, Geographical Distribution, and Botanical Literature*. *Memoirs of the New York Botanical Garden* Vol. 84.
- Mafla, P. 2011. *Filogeografía de las lagartijas andinas del genero *Pholidobolus* (Squamata: Gymnophthalmidae) en Ecuador*. Tesis de Licenciatura, PUCE, Ecuador.
- Marchant, R., Behling, H., Berrio, J., Cleef, A., Duivenvoorden, J., Hooghiemstra, H., Kuhry, P., Melief, B., Van Geel, B., Van der Hammen, T., Van Reenen, G., Wille, M. 2001. Mid- to Late-Holocene pollen-based biome reconstructions for Colombia. *Quaternary Science Reviews* 20: 1289–1308.
- Marchant, R., Almeida, L., Behling, H., Berrio, J., Bush, M., Cleef, A., duivenvoorden, J., Kappelle, M., De Oliveira, P., Texeira de Oliveira, A., Lozano-Garcia, S., Hooghiesmstra, H., Ledru, M., Ludlow-Wiechers, B., Markgraf, V., Mancini, V., Paez, M., Prieto, A., Rangel, O., & Salgado-Labouriau, M. 2002. Distribution and ecology of parent taxa of pollen lodged within the Latin American Pollen Database. *Review of Palaeobotany and Palynology* 121: 1–75.

- Marchant, R., Boom, A., & Hooghiemstra, H. 2012. Pollen-based biome reconstructions for the past 450 000 yr from the Funza-2 core, Colombia: comparisons with model-based vegetation reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 177: 29–45.
- Marini, L., Agostini, A., Cioni, Guidi, M., & Leon, O. 1991. Guagua Pichincha volcano, Ecuador: fluid geochemistry in volcanic surveillance. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 46: 21–35.
- Mayewskia, P., Rohlingb, E., Stagerc, J., Karlend W., Maascha, K., Meekere, L., Meyersona, E., Gassef, F., van Kreveldg, S., Holmgrend, K., Lee-Thorph J., Rosqvistd G., Racki, F., Staubwasserj, M., Schneiderk, R., & Steigl, E. 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research* 62: 243–255.
- Moret, P. 2005. Los coleópteros Carabidae del páramo en los Andes del Ecuador. Sistemática, Ecología y Biogeografía. Tesis de Doctorado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Moscol-Oliveira, M., Duivenvoorden, J., Hooghiemstra, H. 2009. Pollen rain and pollen representation across a forest-paramo ecotone in northern Ecuador. *Review of Palaeobotany and Palynology* 157: 285–300.
- Niemann, H. 2008. Late Quaternary vegetation, climate and fire dynamics in the Podocarpus National Park region, southeastern Ecuadorian Andes. Tesis de Doctorado, Göttingen University, Alemania.
- Niemann, H., & Behling, H. 2008. Past Vegetation and Fire Dynamics. *Ecological Studies* 198: 101

- Niemann, H., & Behling, H. 2010. Late Holocene environmental change and human impact inferred from three soil monoliths and the Laguna Zurita multi-proxi record in the southeastern Ecuadorian Andes. *Veget Hist Archaeobot.* 19: 1-15
- Niemann, H., Brunschön, C., & Behling, H. 2010. Vegetation/modern pollen rain relationship along an altitudinal transect between 1920 and 3185 m a.s.l. in the Podocarpus National Park region, southeastern Ecuadorian Andes. *Palaeobotany and Palynology* 159: 69–80.
- Páez, L. 2008. El pueblo volcán: Etnografía de la Parroquia Lloa. Departamento de Antropología. Tesis de Ciencias Humanas. Quito- Ecuador.
- Podwojewsky, P., Poulenard, J., Zambrana, T., & Hofstede, R. 2002. Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the paramo of Llangahua.
- Ramsay, P., & Oxley, E. 1996. Fire temperatures and post-fire plant community dynamics in Ecuadorian grass paramo *Vegetation* 124: 129–144.
- Robin, C., Samaniego, P., Le Pennec, J., Mothes, P., van der Plicht, J. 2008. Late Holocene phases of dome growth and Plinian activity at Guagua Pichincha volcano (Ecuador). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 176: 7–15.
- Rodríguez, F., & Behling, H. 2011. Late Holocene vegetation, fire, climate and upper forest line dynamics in the Podocarpus National Park, southeastern Ecuador. *Veget Hist Archaeobot.* 20:1–14.
- Sadori, L., & Giardini, M. 2007. Charcoal analysis, a method to study vegetation and climate of the Holocene: The case of Lago di Pergusa (Sicily, Italy). *Science Direct. Geobios* 40: 173–180.

- Sáenz, C. 2004. Glosario de términos palinológicos. Real jardín Botánico, CSIC. Madrid. Lazaroa 25: 93-112.
- U.S. Geological Survey. 2013. Volcanic Hazard. [en línea] U.S. Department of the Interior. < <http://volcanoes.usgs.gov/publications/index.php>.> [Consulta: 8 Diciembre 2013].
- Vallejo, S. 2011. Distribución de las cenizas volcánicas Holoceánicas – Tardías en las Costa del Ecuador. Tesis de Ingeniería en Geología, Escuela Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Van der Hammen, T. 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *Journal of Biogeography* 3-26.
- Van der Hammen, T. 2000. Aspectos de Historia y Ecología de la Biodiversidad Norandina y Amazónica. *Revisión Académica*. Colombia. *Ciencia* 91: 231–245.
- Van der Hammen, T., Noldus, G., & Salazar, E. 2003. Un diagrama de polen del Pleistoceno final y Holoceno de Mullumica. *Maguaré* 17: 247-259.
- Villota, A., León-Yanez, S., & Behling, H. 2012. Vegetation and environmental dynamics in the Páramo of Jimbura region in the southeastern Ecuadorian Andes during the late Quaternary. *Journal of South America Earth Science*. 40: 85–93.
- Weng, C., Bush, M., & Chepstow-Lusty, A. 2004. Holocene changes of Andean alder (*Alnus acuminata*) in highland Ecuador and Peru. *J. Quaternary Sci.* 19: 685–691.
- Whitlock, C., & Larsen, C. 2001. Charcoal As A Fire Proxy. Department of Geography. USA.
- Wille, M., Hooghiemstra, H., Hofstede, R., Fehse, J., & Sevink, J. 2002. Upper Forest Line Reconstruction in a Deforested Area in Northern Ecuador Based on Pollen and Vegetation. *Journal of Tropical Ecology* 18: 409–440.
- Young, K. 2009. Andean land use and biodiversity: Humanized Landscapes in a time of change. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 96: 492–507.

Zander, R. 1996. Conservation of evolutionary diversity in Pottiaceae (Musci). Ser. Bot. 67: 89–97.

9. FIGURAS

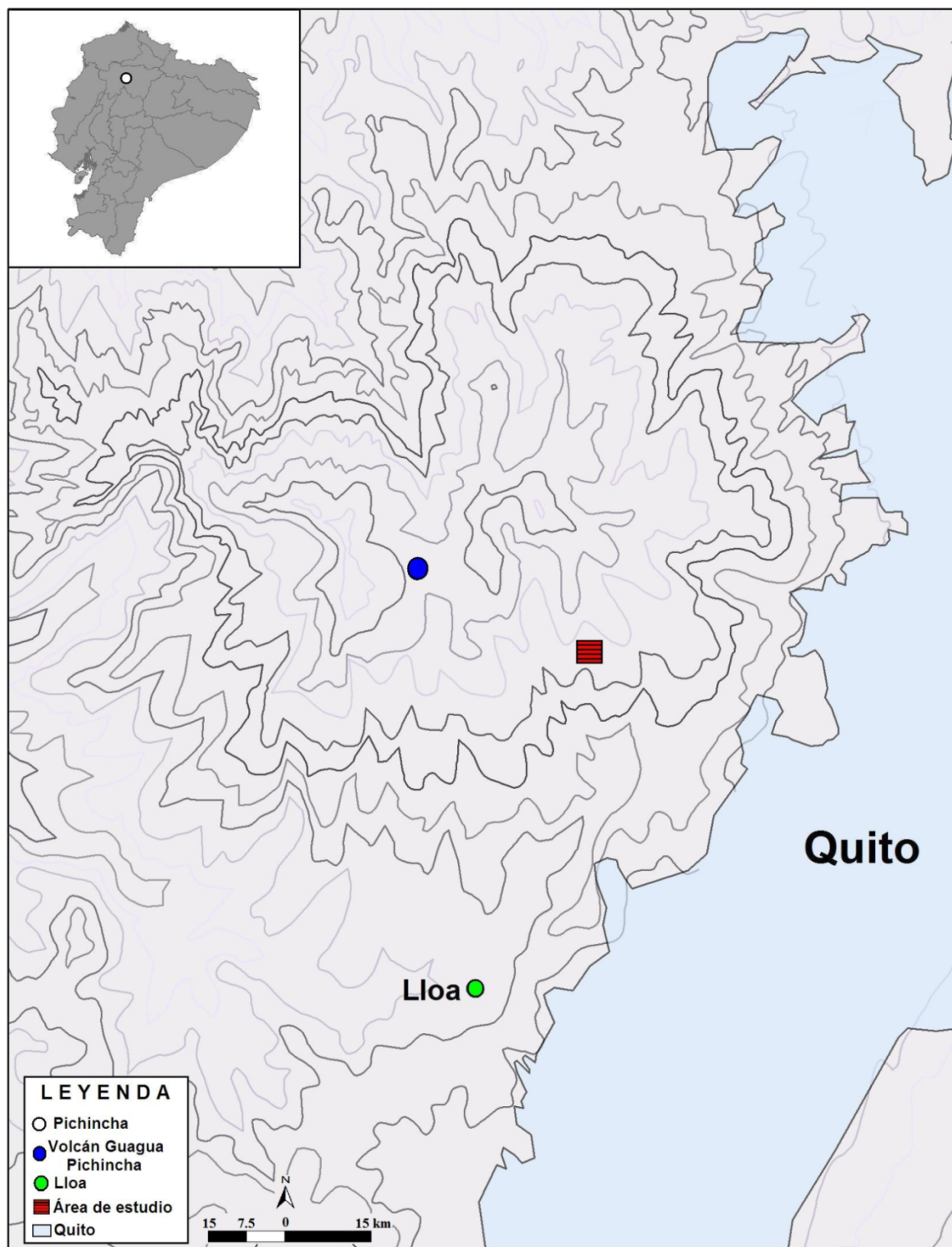


Figura 1.- Mapa de ubicación del área de estudio, valle de origen glaciar en el Guagua Pichincha.



Figura 2.- Tipos de vegetación del área de estudio: **A.** Vegetación del valle (zona plana con pantanos), **B.** Vegetación de las pendientes del valle.

A



B



C



Figura 3.- Núcleo de sedimento de 130 cm en el valle de origen glaciar del Guagua Pichincha (PICH2). El fragmento **A** corresponde a 0 – 50 cm, el **B** 50 – 100 cm, y el **C** de 80 – 130 cm.

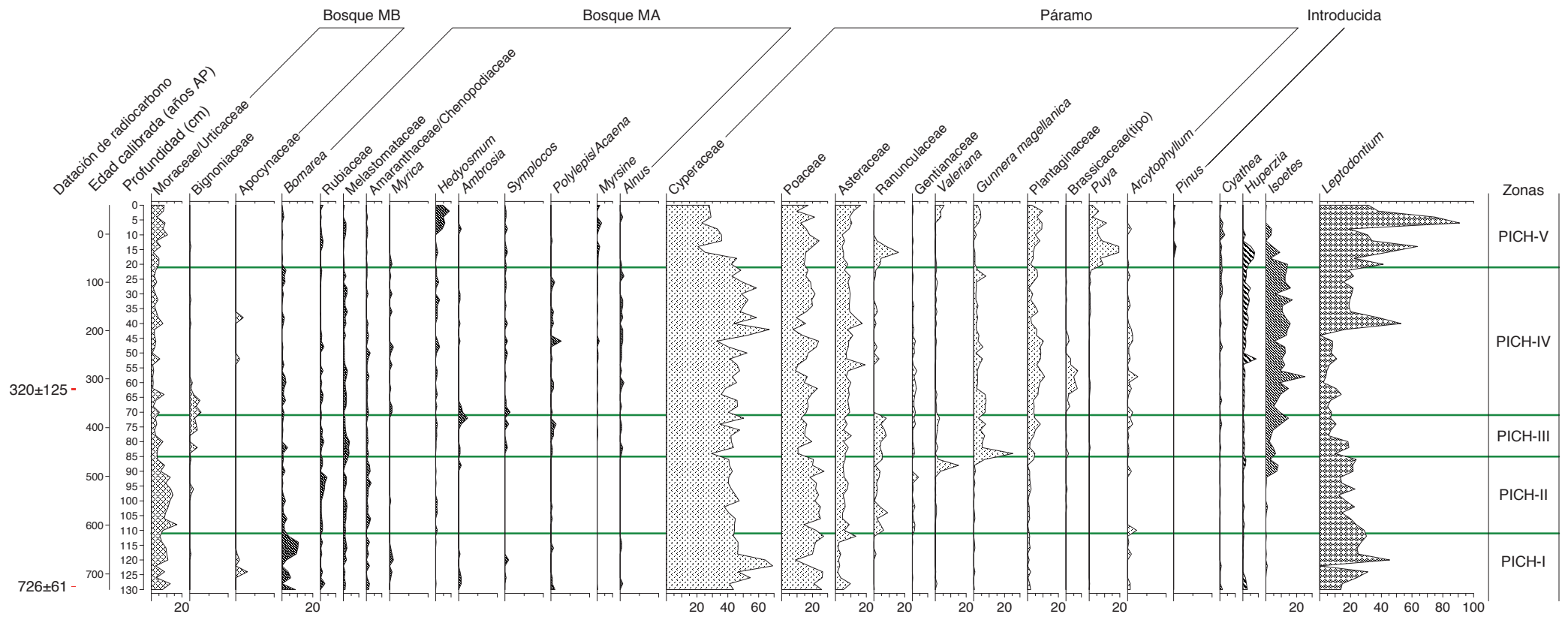


Figura 4. Diagrama de los registros de polen y esporas en porcentajes, en el núcleo de sedimento del valle de origen glaciar del Guagua Pichincha (PICH2). Los granos de polen considerados para el diagrama tuvieron un porcentaje mayor al 2%. Las zonas muestran los cambios en la vegetación.

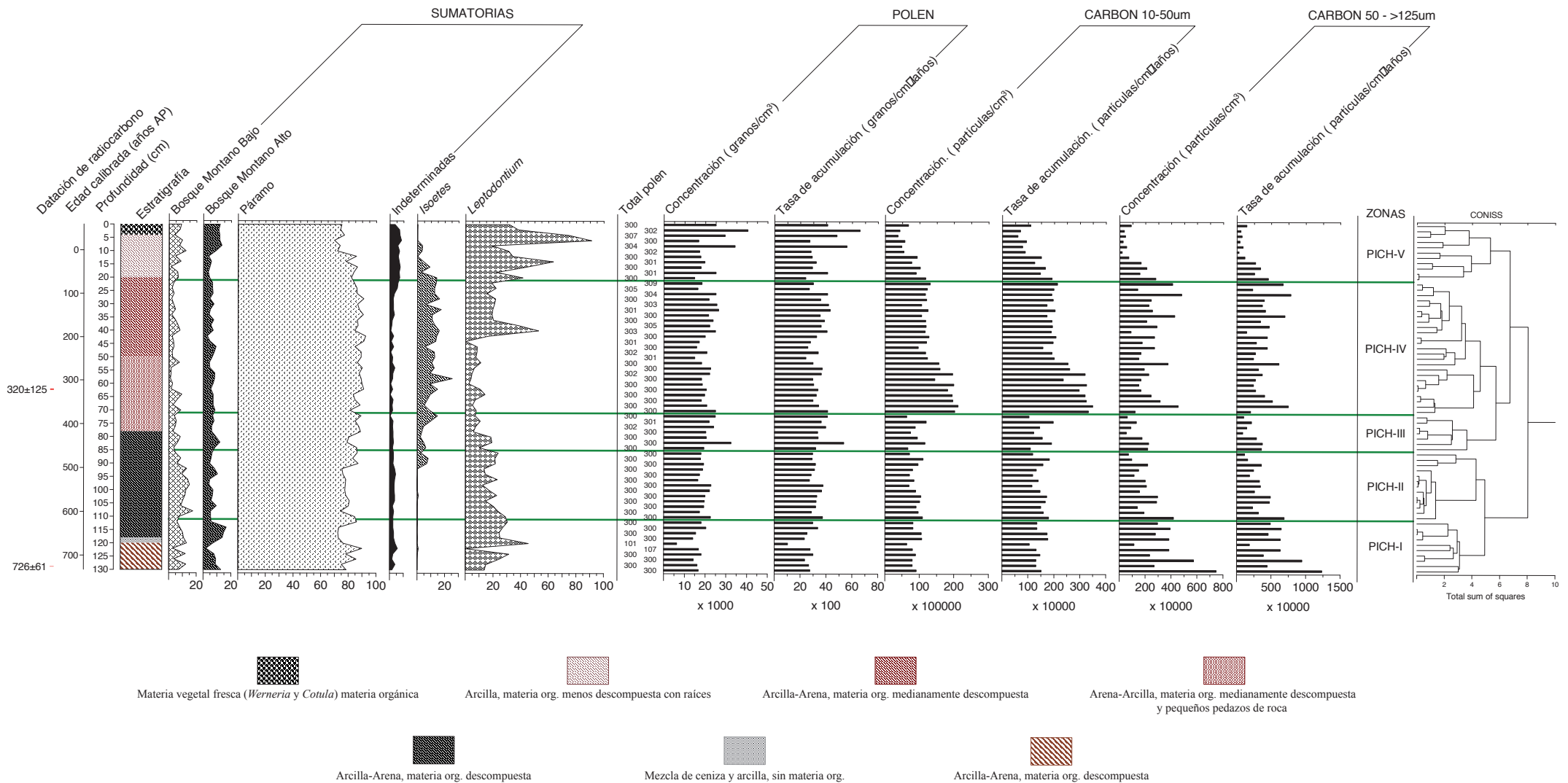


Figura 5. Diagrama de sumatorias de los registros de polen y esporas en porcentajes, en el núcleo de sedimento del valle de origen glaciar del Guagua Pichincha (PICH2). Cada grano de polen identificado se agrupó en el tipo de vegetación respectivo; la concentración de carbón (partículas de carbón/cm³) muestra la presencia de incendios en el área de estudio; las zonas muestran los cambios en la vegetación y fueron creadas por el CONISS (análisis de conglomerados con la suma total de cuadrados).

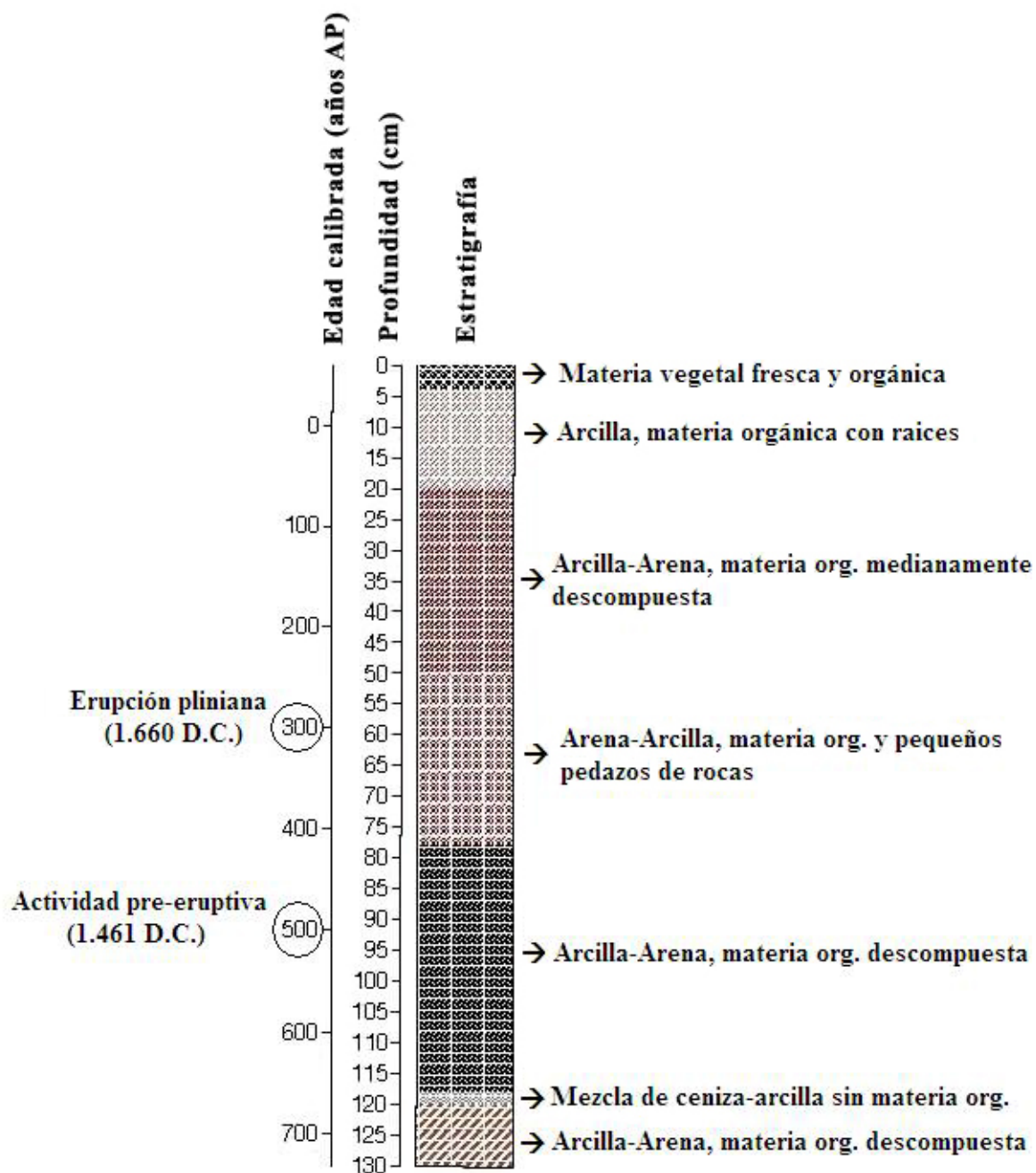


Figura 6.- Estratigrafía del núcleo del sedimento del valle de origen glaciario en el Guagua Pichincha (PICH2), se muestra el registro de la actividad pre-eruptiva (1.461 D.C.) y pliniana (1.660 D.C.).

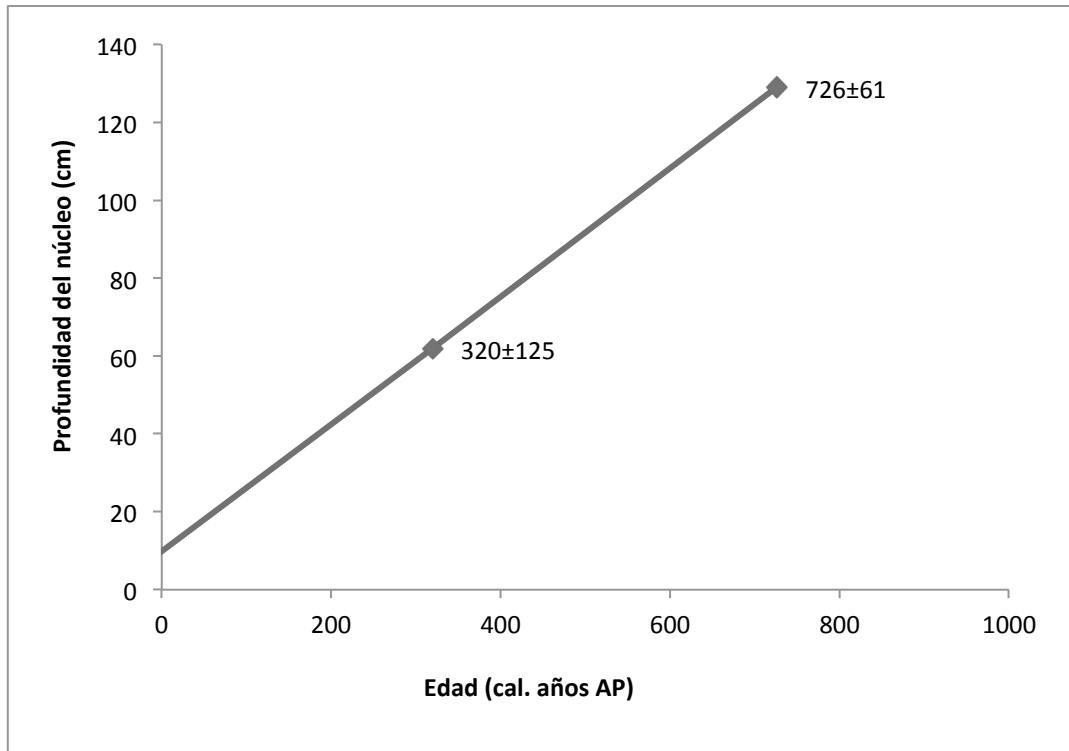


Figura 7.- Modelo de la edad/profundidad (cal años AP/profundidad del núcleo en cm) del núcleo del valle de origen glaciar del Guagua Pichincha (PICH2).

10. TABLAS

Tabla 1. Descripción estratigráfica del núcleo del sedimento del valle de origen glaciar en el Guagua Pichincha (PICH2).

Profundidad (cm)	Descripción
0 – 4	Materia vegetal fresca (<i>Werneria</i> y <i>Cotula</i>) y materia orgánica
4 – 20	Sustrato arcilloso, materia orgánica poco descompuesta y presencia de raíces, no es compacto.
20 – 50	Mezcla de arcilla con arena, materia orgánica medianamente descompuesta, es compacto.
29 – 36	Arena y arcilla, con materia orgánica medianamente descompuesta.
50 – 78	Mezcla de arcilla con arena con pedazos pequeños de roca y medianamente descompuesta.
78 – 84	Menos arena y más materia orgánica.
84 – 100	Material arcilloso-arenoso, materia orgánica descompuesta.
100 – 118	Material arcilloso-arenoso, materia orgánica descompuesta.
118 – 120	Probable mezcla entre ceniza y arcilla, sin materia orgánica.
120 – 130	Material arcilloso-arenoso, materia orgánica descompuesta.

Tabla 2. Dataciones de radiocarbono ^{14}C por medio del Accelerator Mass Spectrometer (AMS) del núcleo del sedimento PICH2, usando la curva Calpal 2007 HULU para el hemisferio Norte del Calpal on line.

Código de Laboratorio	Tipo de muestra	Profundidad (cm)	^{14}C (años AP)	Edad calibrada
Erl-16080	Materia orgánica	62-62,5	289 ± 79	320 ± 125
Erl-16081	Materia orgánica	129-129,5	768 ± 80	726 ± 61

Tabla 3. Lista de polen identificado y esporas del núcleo del valle glaciar del Guagua Pichincha (PICH2).

Taxón	BMB	BMA	Páramo	Otros	Intro.	Esporas
<i>Acalypha</i> (Euphorbiaceae)	x					
<i>Alchornea</i> (Euphorbaceae)	x					
<i>Alnus</i> (Betulacaceae)		x				
Amaranthaceae/Chenopodiaceae		x				
<i>Ambrosia</i> (Asteraceae)		x				
<i>Anthoceros</i> (Anthocerotaceae)						x
Apiaceae			x			
Apocynaceae	x					
<i>Arcytophyllum</i> (Rubiaceae)			x			
Arecaceae	x					
<i>Arenaria</i> (Caryophyllaceae)			x			
Asteraceae			x			
<i>Azorella</i> (Apiaceae)			x			
Bignoniaceae	x					
<i>Bocconia</i> (Papaveraceae)		x				
<i>Bomarea</i> (Alstroemeriaceae)		x				
Brassicaceae (tipo)			x			
Calceolariaceae		x				
Campanulaceae		x				
<i>Carapa</i> (Meliaceae)	x					
Caryophyllaceae			x			
<i>Cedrela</i> (Meliaceae)		x				
<i>Celthsis</i> (Ulmaceae)	x					
<i>Cerastium/Stellaria</i> (Caryophyllaceae)			x			
<i>Clethra</i> (Clethraceae)	x					
<i>Clethra</i> sp.1 (Clethraceae)	x					
<i>Cyathea</i> (Cyatheaceae)						x
Cyperaceae			x			
<i>Dalea</i> (Fabaceae)			x			
<i>Dodonaea</i> (Sapindaceae)		x				
Elaeocarpaceae		x				
Ericaceae		x				
<i>Eryngium</i> (Apiaceae)			x			
Escalloniaceae		x				
Esporas sp.1						x
Esporas sp.2						x
Esporas sp.3						x
Euphorbiaceae (tipo)	x					
<i>Eugenia</i> (Myrtaceae)		x				
Fabaceae			x			
Flacourtiaceae (tipo)	x					
<i>Fuchsia</i> (Onagraceae)		x				

BMB= Bosque Montano Bajo; **BMA**= Bosque Montano Alto; **Intro**= Introducido

Tabla 3. Continuación

Taxón	BMB	BMA	Páramo	Otros	Intro.	Esporas
<i>Gaiadendron punctatum</i> (Loranthaceae)		x				
Gentianaceae			x			
<i>Geranium</i> (Geraniaceae)			x			
<i>Guarea</i> (Meliaceae)	x					
<i>Gunnera magellanica</i> (Gunneraceae)			x			
<i>Halenia</i> (Gentianaceae)			x			
<i>Hedyosmum</i> (Chloranthaceae)		x				
<i>Hypericum</i> (Hypericaceae)			x			
<i>Huperzia</i> (Lycopodiaceae)						x
Indeterminada 1				x		
Indeterminada 2				x		
Iridaceae			x			
<i>Isoëtes</i> (Isoëtaceae)						x
<i>Jamesonia</i> (Pteridaceae)						x
<i>Juglans</i> (Juglandaceae)		x				
<i>Leptodonium</i> (Pottiaceae)						x
<i>Lycopodium foveolate</i> (Lycopodiaceae)						x
<i>Lycopodium jussiaei</i> (Lycopodiaceae)						x
<i>Lycopodium</i> sp.1 (Lycopodiaceae)						x
Melastomataceae		x				
Mimosaceae		x				
Monosulcado liso						x
Monosulcado verrugoso						x
Monosulcado escabroso						x
Moraceae/Urticaceae	x					
<i>Muehlenbeckia/Rumex</i> (Polygonaceae)			x			
<i>Mycrothyrium</i> (Mycrothyriaceae)						x
<i>Myrica</i> (Myricaceae)		x				
Myricaceae		x				
<i>Myrsine</i> (Myrsinaceae)		x				
<i>Myrteola</i> (Myricaceae)		x				
<i>Ophioglossum</i> (Ophioglossaceae)						x
Orchidaceae		x				
<i>Osmunda</i> (Osmundaceae)						x
<i>Phaeoceros</i> (Anthocerotaceae)						x
<i>Pilularia</i> (Marsileaceae)						x

BMB= Bosque Montano Bajo; **BMA**= Bosque Montano Alto; **Intro**= Introducido

Tabla 3. Continuación

Taxón	BMB	BMA	Páramo	Otros	Intro.	Esporas
<i>Pinus</i> (Pinaceae)					x	
Plantaginaceae			x			
Poaceae			x			
<i>Podocarpus</i> (Podocarpaceae)		x				
<i>Polygonum</i> (tipo) (Polygonaceae)				x		
<i>Polypodium</i> (Polypodiaceae)						x
<i>Polylepis/Acaena</i> (Rosaceae)		x				
Portulacaceae	x					
<i>Puya</i> (Bromeliaceae)			x			
Ranunculaceae			x			
<i>Rapanea</i> (Myrsinaceae)		x				
Rubiaceae		x				
Schizaeaceae						x
<i>Selaginella</i> (Sellaginellaceae)						x
Solanaceae			x			
<i>Spirogyra</i> (Zygnemataceae)						x
<i>Symplocos</i> (Symplocaceae)		x				
<i>Thypha</i> (Thyphaceae)		x				
<i>Trema</i> (Ulmaceae)	x					
Trilete liso						x
Trilete verrugoso						x
Tropeolaceae	x					
Ulmaceae	x					
<i>Vallea stipularis</i> (Elaeocarpaceae)		x				
<i>Valeriana</i> (Caprifoliaceae)			x			
<i>Weinmania</i> (Cunoniaceae)		x				
<i>Zygnema</i> (Zygnemataceae)						x

BMB= Bosque Montano Bajo; **BMA**= Bosque Montano Alto; **Intro**= Introducido

11. ANEXOS

Anexo1. Protocolo de Pre-tratamiento Estándar para muestras de sedimento de polen fósil.

Protocolo de Pre-tratamiento Estándar (Faegri, & Iversen, 1989)	
1. Toma de muestra	1.1 Retirar una fina capa de tierra antes de tomar la muestra (limpiar la zona de muestreo).
	1.2 Tomar la muestra con una espátula y colocarla en un tubo falcon previamente etiquetado.
	1.3 Limpiar el cilindro (0,25 cm ³ /0,50 cm ³) y la espátula para tomar la siguiente muestra (importante evitar contaminación).
2. Fase de Laboratorio	2.1 Colocar 1 tableta de Lycopodium (18583 ± 762) en cada tubo falcon (muestra).
	2.2 Añadir 3 ml de HCl 10% (4 ml depende de cuanto carbonato).
	2.3 Esperar hasta que la tableta se disuelva y que la reacción haya terminado.
	2.4 Añadir 4 ml de agua (lavado).
	2.5 Centrifugar por 5 min a 3500 revoluciones.
	2.6 Desechar lo sobrante en el embase de HCl.
	2.7 Añadir 4 ml de HF (importante usar guantes y gafas de protección).
	2.8 Dejar que reaccione por 24 horas (guardar en un lugar oscuro y tapado).
	2.9 Añadir 4 ml de agua (lavado).
	2.10 Centrifugar por 5 min a 3500 revoluciones.
	2.11 Desechar lo sobrante en el embase de HF.
	2.12 Añadir 4 ml de agua (lavado).
	2.13 Centrifugar por 5 min a 3500 revoluciones.
	2.14 Desechar lo sobrante en el lavabo.
3. Acetólisis	3.1 Añadir 4 ml de Ác. Acético (CH ₃ COOH).
	3.2 Con una paleta mezclar hasta que todo este homogéneo.
	3.3 Centrifugar por 5 min a 3500 revoluciones.
	3.4 Desechar lo sobrante en el embase de Ác. Acético .
	3.5 Realizar la solución 9:1 (9) Ác. Anhidrido acético (1) Ácido sulfúrico.
	3.6 Añadir 4 ml de la solución.
	3.7 Mezclar bien con una paleta (importante: 1 paleta por muestra!).
	3.8 Colocar las muestras a baño maría por 10 min.
	3.9 Centrifugar por 5 min a 3500 revoluciones.
	3.10 Desechar lo sobrante en el embase.
	3.11 Realizar 2 lavados ((1) Añadir 4 ml de agua; (2) Centrifugar por 5 min a 3500 revoluciones; (3) Desechar lo sobrante en el lavabo.
	3.11 Tamizar la muestra.
	3.12 Centrifugar por 5 min a 3500 revoluciones.
	3.13 Desechar lo sobrante en el lavabo.
	3.14 Colocar la muestra en el eppendorf previamente etiquetado.
3.15 Añadir 4 ml de Ác. Acético (CH ₃ COOH).	

Anexo 2. GLOSARIO (U.S.G.S, 2013; Gonzáles, 2012; Sáenz, 2004)

- **Actividad fumarólica:** emanación de gases de gases y vapores que surgen por las grietas exteriores de un volcán a temperaturas altas.
- **Andosoles:** son suelos volcánicos que se forman sobre ceniza y vidrios volcánicos, así como a partir de otros materiales piroclásticos. Cuando son jóvenes tienen bastante materia orgánica, de color oscuro, altamente porosos, ligeros, permeables. Son suelos muy aptos para agricultura.
- **Bloques:** fragmentos de lava de tamaño superior a 64 mm, arrojados por una erupción volcánica. Si son expulsados en estado sólido se denominan bloques.
- **Caldera:** gran depresión de origen volcánico, generalmente de forma circular o elíptica, cuyo diámetro puede tener hasta varias decenas de kilómetros, formada por grandes erupciones volcánicas.
- **Columna eruptiva:** el material expulsado por una erupción volcánica puede ascender verticalmente sobre el cráter, formando una nube de erupción o columna eruptiva.
- **Columna pliniana:** son columnas que se generan por las erupciones plinianas y desprenden por gravedad piroclastos pumíticos de tamaño variable que en función de la altura de la columna alcanzan extensas áreas de dispersión.
- **D.C. (Después de Cristo):** se dice de las fechas obtenidas con base en dataciones radiométricas después del nacimiento de Cristo.

- **Domo:** Abultamiento en forma de cúpula formado por la acumulación de lava viscosa y caracterizada por presentar flancos casi verticales. Pueden alcanzar alturas de cientos de metros.
- **Explosiones freáticas:** Explosión de vapor, agua y otros materiales, resultado del calentamiento del agua subterránea y de la acumulación de vapor en niveles bajo la superficie. Este tipo de erupción ocurre cuando el agua subterránea entra en contacto con rocas calientes en las cercanías de un cuerpo de magma. En este tipo de erupción el magma no se encuentra involucrado.
- **Explosiones plinianas:** se consideran como las erupciones magmáticas de mayor violencia y de gran explosividad en las cuales se expulsan grandes volúmenes de gas volcánico, fragmentos y cenizas. La expulsión a gran velocidad de estos materiales, junto con su rápida ascensión, forma columnas eruptivas que pueden superar los 30 km de altura, inyectándolos en la estratosfera.
- **Explosiones subplinianas:** son explosiones que emiten lava muy viscosa, poco fluida, que se solidifican con rapidez. Se forman grandes nubes de material piroclástico y se emite mucha ceniza. Están caracterizadas por producir una erupción en forma de nube similar a un hongo. La actividad suele comenzar con una erupción freática que descarga escombros y la fase principal suele constar de una erupción de magma viscoso, rico en gases volcánicos y que forma una nube oscura.
- **Flujos piroclásticos:** fragmentos de roca volcánica fracturada emitidos durante una erupción explosiva. Incluye piedra pómez, ceniza, escoria y otros fragmentos de roca. También puede ser consecuencia de la erupción no explosiva de lava cuando las partes del domo o un flujo de lava espesa se derrumban por una pendiente empinada.

- **Lahares:** flujos de lodo y escombros.
- **Lapilli:** fragmentos de roca entre 2 y 64 mm de diámetro que fueron expulsados por un volcán durante una erupción explosiva.
- **Monosulcado liso:** espora con una sola abertura (único sulco) en forma de hendidura y tiene una superficie lisa.
- **Monosulcado verrugoso:** espora con una sola abertura (único sulco) en forma de hendidura y tiene una superficie provista de verrugas.
- **Monosulcados escabroso:** espora con una sola abertura (único sulco) en forma de hendidura y tiene una superficie llena de asperezas.
- **Tefra:** es un término general para los fragmentos de roca volcánica y lava independientemente de su tamaño, son expulsados al aire por gases calientes a través de la columna eruptiva o fuentes de lava durante una explosión volcánica. Estos fragmentos varían en tamaño de menos de 2mm y más de 1 metro de diámetro. Consiste en una amplia gama de partículas de roca (tamaño, forma, densidad y composición química), incluyendo combinaciones de piedra pómez, fragmentos de vidrio, cristales de diferentes tipos de minerales y rocas destrozadas de todo tipo (ígneas, sedimentarias y metamórficas).
- **Trilete liso:** esporas con tres aberturas en forma de ranura que forman una Y, su superficie es lisa.
- **Trilete verrugoso:** esporas con tres aberturas en forma de ranura que forman una Y, su superficie esta provista de verrugas.