

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

Reconstrucción de la vegetación, el clima y la influencia humana en el páramo de Oña,  
Azúay-Ecuador, durante los últimos 1300 años.

Disertación previa a la obtención del Título de Licenciada en Ciencias Biológicas.

**ALEJANDRA KAMILA HACHI ALARCÓN**

Quito, 2023

Certifico que la Disertación de Licenciatura en Ciencias Biológicas de la señorita Alejandra Kamila Hachi Alarcón ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

M.Sc. Susana León-Yáñez  
Directora de la Disertación  
Quito, febrero de 2023

Dedico esta tesis a todas las personas que me han acompañado en esta etapa de mi vida, en especial a mi familia que han permanecido junto a mí brindándome confianza y apoyo incondicional.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres y mi hermano, pilares fundamentales para lograr este objetivo, quienes con su sabiduría, paciencia y guía me han sabido encaminar por la senda de la responsabilidad y dedicación.

A Susana León-Yáñez, directora de mi disertación que me ha brindado todo su apoyo y confianza para el desarrollo de esta investigación, que ha motivado en mí el interés en la ciencia, gracias a ella por sus sugerencias acertadas, por sus consejos enriquecedores y por su total disponibilidad.

A Manuela Ormaza, integrante del laboratorio de Palinología y Botánica Andina de la PUCE, quien desinteresadamente me apoyo durante las largas jornadas de realización de este trabajo, siempre con su amabilidad y carisma que la han hecho digna de mi aprecio y admiración.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, institución que patrocinó mi trabajo de investigación, que me acogió durante estos cinco años de mi vida estudiantil donde me forme emocional y profesionalmente.

A mis amigas y amigos quienes me han transmitido alegría, serenidad, cordura, y sobre todo deseos de superación para culminar con éxito mi carrera universitaria.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. Resumen</b> .....	1
<b>2. Abstract</b> .....	1
<b>3. Introducción</b> .....	3
<b>3.1 Contextualización espacial del estudio</b> .....	5
<b>3.2 Contextualización temporal del estudio</b> .....	7
<b>3.3 Diversidad florística y estudios palinológicos en Ecuador</b> .....	9
<b>3.4 Objetivos</b> .....	11
<b>3.4.1 Objetivo general</b> .....	11
<b>3.4.2 Objetivos específicos</b> .....	11
<b>4 Materiales y métodos</b> .....	12
<b>4.1 Área de estudio</b> .....	12
<b>4.1.1 Ubicación</b> .....	12
<b>4.1.2 Suelos</b> .....	12
<b>4.1.3 Clima</b> .....	13
<b>4.1.4 Vegetación actual</b> .....	13
<b>4.2 Trabajo de campo</b> .....	14
<b>4.2.1 Colecta de sedimento</b> .....	14
<b>4.3 Trabajo de laboratorio</b> .....	14
<b>4.3.1 Estratigrafía</b> .....	15
<b>4.3.2 Dataciones</b> .....	15
<b>4.3.3 Proceso químico</b> .....	15
<b>4.3.4 Identificación y conteo de polen</b> .....	16
<b>4.4 Análisis estadísticos</b> .....	17
<b>4.5 Diagrama de taxa de polen y esporas y diagrama de sumatoria por ecosistema</b>	17

<b>5 Resultados</b> .....	19
<b>5.1. Estratigrafía</b> .....	19
<b>5.2 Cronología</b> .....	19
<b>5.3 Descripción del diagrama de polen</b> .....	19
<b>5.3.1 Zona LS-I</b> (46 – 30 cm, 1300 – 850 años cal AP, 9 muestras) .....	20
<b>5.3.2 Zona LS-II</b> (30 – 26 cm, 850 – 730 años cal AP, 2 muestras).....	21
<b>5.3.3 Zona LS-III</b> (26 – 16 cm, 730 – 420 años cal AP, 5 muestras) .....	22
<b>5.3.4 Zona LS-IV</b> (16 – 10 cm, 420 – 230 años cal AP, 3 muestras) .....	22
<b>5.3.5 Zona LS-V</b> (10 – 5 cm, 230 años cal AP - pre, 3 muestras) .....	23
<b>6 Interpretación y discusión</b> .....	25
<b>6.1 Periodo cálido coincidente con la anomalía climática medieval (mca), 1300 – 700 cal años AP (LS-I y LS-II)</b> .....	26
<b>6.2 Periodo con mayor representación del bma, 700 - 400 cal años AP (LS-III)</b> .....	28
<b>6.3 Periodo frío coincidente con la pequeña edad de hielo (lia), últimos 400 años cal AP (LS-IV y LS-V)</b> .....	29
<b>6.4 Asentamientos humanos</b> .....	30
<b>7 Conclusiones</b> .....	33
<b>8 Bibliografía</b> .....	34
<b>9 Figuras</b> .....	44
<b>10 Tablas</b> .....	46

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Mapa de la ubicación del área de estudio. ....	44
<b>Figura 2.</b> Ubicación del área de estudio. ....	44
<b>Figura 3.</b> Diagrama de porcentaje de taxa de polen y esporas. ....	45
<b>Figura 4.</b> Diagrama de sumatorias expresados en porcentajes para cada grupo ecológico..	45

**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Descripción de estratigrafía detallada del núcleo de sedimento de Oña (LS). .....	46
<b>Tabla 2.</b> Datación de radiocarbono $^{14}\text{C}$ . .....	46
<b>Tabla 3.</b> Taxa de polen y esporas encontrados en el núcleo de sedimento Laguna Sagrada (LS) con sus respectivos grupos ecológicos .....	47

## 1. RESUMEN

Por medio del análisis de polen, esporas y partículas de carbón fósil presentes en las muestras de un sedimento (Oña-LS) extraído de una laguna, se reconstruyó la historia vegetal, el clima y la influencia humana del páramo de Oña ubicada a 3303 m.s.n.m en el Sureste de los Andes ecuatorianos desde los ~1300 hasta ~90 años cal AP correspondientes al Holoceno tardío. En Oña-LS, tanto en los primeros 4 centímetros como en los últimos 4 centímetros, no se han encontrado registros fósiles debido a la composición del sedimento. Se distinguieron tres periodos principales, el primero comprendido entre los 1300 - 700 años cal AP coincidente con la Anomalía Climática Medieval (MCA), evento cálido. La vegetación del Páramo (PAR) se encuentra estable y presenta una alta diversidad, durante este periodo el Bosque Montano Alto (BMA) presenta sus valores más bajos a lo largo de todo el sedimento y el Bosque Montano Bajo (BMB) muestra una presencia relativamente baja. Los valores de las esporas de *Isoëtes*, *Phlegmariurus* y *Sphagnum* son altos lo que sugiere un ambiente húmedo, y la alta presencia de partículas de carbón sugieren la presencia de fuegos en la zona posiblemente de origen antropogénico, además la presencia de Solanaceae sugieren presencia humana. El segundo periodo comprendido entre los 700 – 400 años cal AP, periodo cálido coincidente con la mayor representación del BMA. La vegetación del PAR disminuye dando paso al aumento de la vegetación del BMA y BMB, la ausencia de Solanaceae y el rápido descenso de partículas de carbón sugieren la no presencia humana, que posiblemente influyó en la recuperación del BMA y BMB. Las esporas de *Isoëtes* y *Phlegmariurus* disminuyen lo que sugiere un ambiente más seco y cálido. Finalmente, el tercer periodo comprendido entre los 400 ~ 90 años cal AP, coincidente con la Pequeña Edad de Hielo (LIA), la vegetación del PAR se recupera debido a la época fría; este periodo presenta condiciones climáticas variables entre húmeda y seca que se puede evidenciar en la subida y el descenso de esporas de *Isoëtes* y polen de *Plantago*. La vegetación del BMA disminuyó, mientras que la vegetación del BMB presenta su valor más bajo a lo largo de todo el sedimento. En relación a la presencia humana, esta es evidente principalmente durante los 1300 – 700 años cal AP por la presencia de polen de Chenopodiaceae y la abundancia de partículas de carbón correspondientes a fuegos locales y regionales.

Palabras clave: Holoceno, Paleoecología, Azuay, Polen e Impacto humano

## 2. ABSTRACT

Through the analysis of pollen, spores, and fossil carbon particles present in sediment samples (Oña-LS) extracted from a lagoon, the plant history, climate, and human influence were reconstructed of the Oña páramo located at 3303 m.s.n.m in the Southeast of the Ecuadorian Andes from ~1300 to ~90 cal years BP corresponding to the late Holocene. In Oña-LS, both in the first 4 centimeters and in the last 4 centimeters, no fossil records have been found due to the composition of the sediment. Three main periods were distinguished, the first between 1300 - 700 cal years BP coincided with the Medieval Climate Anomaly (MCA), a warm event. The vegetation of the Páramo (PAR) is stable and presents a high diversity, during this period the Upper Montane Forest (UMF) presents its lowest values throughout the entire sediment and the Lower Montane Forest (LMF) shows a relatively low. The values of the spores of *Isoëtes*, *Phlegmariurus* and *Sphagnum* are high, suggesting a humid environment, and the high presence of carbon particles suggests the presence of fires in the area, possibly of anthropogenic origin, in addition, the presence of Solanaceae suggests human presence. The second period between 700 and 400 cal years BP, the warm period, coincides with the greatest representation of the BMA. The PAR vegetation decreasing giving way to the increase of the BMA and BMB vegetation, the absence of Solanaceae and the rapid decrease of carbon particles highlighting the non-human presence, which possibly influenced the recovery of the BMA and BMB. *Isoëtes* and *Phlegmariurus* spores decreased, suggesting a drier and warmer environment. Finally, in the third period between 400 ~ 90 cal years BP, coinciding with the Little Ice Age (LIA), the PAR vegetation recovers due to the cold season; this period presents variable climatic conditions between humid and dry that can be evidenced in the rise and fall of *Isoëtes* spores and *Plantago* pollen. The BMA vegetation ended, while the BMB vegetation presents its lowest value throughout the entire sediment. In relation to human presence, this is evident mainly during the 1300 - 700 cal years BP by the presence of Chenopodiaceae pollen and the abundance of charcoal particles corresponding to local and regional fires.

Keywords: Holocene, paleoecology, Azuay, Poland and human impact

### 3. INTRODUCCIÓN

La paleoecología a nivel etimológico es conocida como “La ecología del pasado” (Birks y Birks 1980); sin embargo, a veces se pasa por no se hace suficiente énfasis en las interacciones bióticas y abióticas que influyen en los resultados del estudio. Una definición más específica podría ser “La reconstrucción y estudio de ecosistemas pasados, incluyendo las relaciones entre los organismos y sus ambientes” (Roberts 1998; Rull, 2010). Una de las herramientas de la paleoecología, es la palinología, que se encarga del análisis de polen y esporas fósiles para reconstruir los ambientes del pasado; en este caso la palinología de sedimentos fósiles ayuda a explicar los cambios de la vegetación y clima durante el pasado creando una línea de tiempo. La palinología estudia y clasifica el polen y las esporas fósiles gracias a las características morfológicas que presentan los mismos, y son identificadas a nivel microscópico, llegando la mayoría de las veces a familia y género, esto nos permite dilucidar los cambios que ha tenido la vegetación en el pasado y las alteraciones que influyeron en la vegetación actual en el sitio de estudio (Faegri e Iversen, 1989).

Gracias a que las plantas producen granos de polen o esporas que se dispersan a través de polinizadores o del viento, estas se depositan paulatinamente en los sedimentos de lagunas, pantanos o turberas (Islebe, 1999). Los granos de polen o esporas son preservados gracias a la capa externa que los recubre llamada exina, compuesta por esporopolenina, puede tolerar altas temperaturas e incluso soportar exposiciones a ácidos o bases fuertes (Faegri e Iversen, 1989). Expuesto al aire el polen puede dañarse por efectos de oxidación o si la deposición es lenta, el polen puede quedar expuesto a los microbios presentes (Islebe, 1999). Los granos de polen presentan una buena conservación cuando se encuentran en condiciones anaeróbicas; al no estar en contacto con oxígeno, se evita el daño de la pared que recubre el polen (Parducci, Suyama, Lascoux y Bennet, 2005; Faegri e Iversen, 1989).

La palinología también analiza palinomorfos no polínicos, como es el caso de las partículas de carbón vegetal que ayudan en el análisis de los cambios del pasado y son una parte fundamental dentro de los estudios palinológicos; los datos de carbón pueden indicar perturbaciones ambientales causadas por el fuego que pudieron provocar incendios forestales (Kangur, 2002). Gracias al conteo de carbón vegetal se puede discernir la existencia de

incendios a través de los años y si la presencia de incendios causa alguna variación en la composición vegetal. Las partículas de carbón son clasificadas por su tamaño, lo que ayuda a inferir si las partículas provienen de una fuente cercana (partículas grandes) o lejana (partículas pequeñas). Junto a otras pistas, la cuantificación de las partículas de carbón, también ayuda a determinar si los incendios fueron de origen antropogénico o natural (Ohlson y Tryterud, 2000)

Gracias a que la paleoecología tiene como objetivo el reconstruir ecosistemas pasados se puede trabajar con un conjunto de datos a largo plazo que pueden ser evidencias climáticas, sociales y científicas del cambio climático y determinar cómo estas han influenciado en la vegetación pasada y actual. La historia del sitio permite contextualizar y explicar el paisaje actual. Para tomar acciones de conservación es necesario predecir las respuestas ecológicas a los cambios climáticos actuales, la paleoecología brinda herramientas para conocer las respuestas de la biodiversidad a cambios ambientales pasados (Maguire, Nieto-Lugilde, Fitzpatrick, Williams y Blois, 2015). La conservación ayuda a equilibrar los intereses del ser humano y la naturaleza y permite mantener los servicios ecosistémicos (Froyd y Willis, 2008; Davies y Bunting, 2010).

Para obtener información a largo plazo de los cambios en la vegetación de un ecosistema determinado, el polen y el carbón fósiles, nos permiten reconstruir las relaciones entre el clima, la vegetación, el fuego y en ocasiones actividades antropogénicas a lo largo del tiempo; con este fin es necesario extraer las muestras de sedimentos provenientes de cuerpos de agua como lagos, lagunas o turberas donde el polen se ha ido depositando paulatinamente (Whitlock y Larsen, 2001).

La reproducción sexual es uno de los métodos en los que las plantas logran reproducirse, este tipo de reproducción se da mediante la polinización, el cual consiste en el transporte del gametofito masculino (polen) desde los estambres al ovario de las flores. Es importante destacar las diferentes estrategias que han desarrollado las plantas para poder fecundar el óvulo, estas se conocen como el síndrome de polinización; así, las plantas polinizadas por animales se conocen como zoófilas, necesitan de la presencia de insectos o aves, entre otros; las plantas que son polinizadas por el viento se conocen como anemófilas,

estas generalmente producen mayor cantidad de polen y este suele encontrarse en altas cantidades dentro de los cuerpos de agua (Faegri e Iversen, 1989; Bush y Rivera, 2001).

### **3.1. Contextualización espacial del estudio**

El Ecuador posee 4 regiones, una de ellas es la Sierra que se extiende de norte a sur a lo largo de los Andes. Los Andes poseen una extensión aproximada de 7.500 km a lo largo de América del Sur. Los Andes en Ecuador tienen un ancho de 150 km. En Ecuador, los Andes se dividen en dos regiones: la de los Andes del Norte y la de los Andes del Sur. Los Andes del Norte incluyen las provincias de la sierra desde Carchi hasta Chimborazo, mientras que Los Andes del Sur incluyen las provincias de: Cañar, Azuay y Loja (White y Maldonado, 1991). Además, los Andes están conformados por dos cordilleras, la Cordillera occidental y la Cordillera oriental. Estas alcanzan elevaciones en un promedio de 3500-4000 msnm y las elevaciones máximas de sus cumbres alcanzan más de 6000 msnm, siendo el volcán Chimborazo el más alto con una altura de 6268 m.s.n.m. (Barba *et al.*, 2008; Hall *et al.*, 2008).

Ecuador presenta una variedad de climas y formaciones vegetales, debido a la altitud, cantidad de precipitación, topografía y temperatura (Acosta-Solís, 1968). Las principales formaciones vegetales andinas o ecosistemas andinos son: bosque montano bajo, bosque montano alto, subpáramo y páramo (León-Yáñez, 2011). El páramo, ubicado generalmente sobre los 3.300-3.500 msnm, en ambos lados de las dos cordilleras, representa un 5% del territorio ecuatoriano. Una de las principales características de este ecosistema es la presencia de pajonales de gramíneas mezcladas con una gran diversidad de hierbas y arbustos (Acosta Solís, 1968; Hofstede, 2001). La mayor concentración de este ecosistema se centra en las provincias de: Pichincha, Napo, Chimborazo, y Azuay, que representan el 60% del total de los páramos distribuidos a lo largo del país (Hofstede *et al.*, 2003). Los páramos del sur, a diferencia de los páramos del norte, inician a altitudes menores desde los 2900 m.s.n.m. (Hofstede *et al.*, 2002; MAE, 2013). Y su actividad volcánica está ausente actualmente, sin embargo, en algunas áreas existen capas delgadas de cenizas volcánicas jóvenes, estas cenizas jóvenes muchas veces han sido removidas por erosión (Podwojewski y Poulénard,

2000). Los páramos en el sur de Azuay tienen una gran cantidad de caminos y carreteras porque fueron utilizados por los incas y actualmente son utilizados las comunidades para la ganadería y cultivo de pino. Estos páramos tienen niveles relativamente bajos de materia orgánica del suelo y de actividad biológica (Hofstede *et al.*, 2002).

Una gran parte de la población ecuatoriana depende de manera directa o indirecta de los páramos (Medina y Mena 2001) y estos forman parte de una gran cantidad de áreas protegidas del país (Camacho, 2014). Sin embargo, en los últimos dos siglos, la destrucción de los páramos ha sido un proceso continuo debido a la presencia de los humanos para satisfacer sus necesidades, principalmente para la ganadería y agricultura (Hofstede *et al.*, 2002). También, existen otras alteraciones recientes como extracciones mineras, introducción de especies exóticas para la forestación, construcción de sistemas de drenaje y represas (Hofstede *et al.*, 2002).

Los páramos son proveedores de agua a los valles interandinos y ciudades aledañas (Buytaert *et al.*, 2006), y almacenadores de carbono (Medina, Mena y Josse., 1999). Su principal servicio ecosistémico es la gran cantidad de agua y su calidad debido a que estos suelos regulan el agua proveniente de las precipitaciones y del derretimiento de la nieve y el hielo de la parte superior de los páramos (Carrillo-Rojas *et al.*, 2019; Morocho y Chunchu, 2019). Estos ecosistemas presentan suelos con una buena conductividad hidráulica (Buytaert *et al.*, 2006; Podwojewski y Poulenard, 2000), conocidos como “esponja de agua”, debido a su alta capacidad de retención de agua de los suelos, puede almacenar alrededor del 200% de su peso en seco (Camacho, 2014). La importancia social del páramo comenzó a ser estudiada a partir de los años 70 y 80, con el incremento de investigaciones científicas, especialmente dentro del campo de la botánica por parte de la Pontificia Universidad Católica de Ecuador y la Universidad Central del Ecuador. Durante la última década del siglo 20, el descubrimiento de la diversidad de los páramos de Ecuador comenzó a atraer más estudios, así como el interés por la conservación de este ecosistema (Hofstede, 2001).

Dentro del país los estudios paleoecológicos se han realizado en todas las regiones, sobre todo en la Sierra debido a la abundancia de lagunas glaciares que son ambientes óptimos para la conservación del polen. Por ejemplo, estudios dentro de la provincia de Azuay, específicamente en el Parque Nacional Cajas, demuestran que las condiciones

durante la última glaciación fueron más frías y húmedas, luego las condiciones fueron cambiando a un clima más cálido a lo largo del Holoceno pero los cambios no fueron uniformes y la influencia humana tuvo un impacto cada vez más importante (Hansen et al., 2003; Ormaza, 2019; Villota y Behling, 2013).

### **3.2. Contextualización temporal del estudio**

A lo largo del Holoceno Tardío (3.000– 90 cal años AP), se han documentado dos grandes eventos climáticos globales, el primero, la Anomalía Climática Medieval (MCA; por sus siglas en ingles) y segundo, la Pequeña edad del Hielo (LIA; por sus siglas en ingles). La MCA, según los registros tuvo lugar entre los 1.050 – 650 años AP, la cual consiste en un periodo caliente en donde la temperatura aumento aproximadamente 0,6°C (Mann, 2002a). La MCA, también tuvo un gran impacto en América del Sur, según confirman algunos estudios realizados en Ecuador (Défaz, 2016; López, 2016; Lüning, Gałka, y Vahrenholt, 2017; Ormaza, 2019). El segundo evento climático, Pequeña Edad del Hielo (LIA), como su nombre lo indica fue un periodo frío, en donde la temperatura descendió entre 0,6 – 1°C y donde existió una expansión de glaciares de montaña entre los 650 – 100 años AP (Mann, 2002b).

Dentro de este periodo existe evidencia de asentamientos humanos en la provincia de Cañar, entre los más importantes: el pueblo Cañari, en el periodo de integración (400 - 1.500 años d.C) (Montes y Martínez, 2010), la invasión Inca (1463 d.C) y, por último, la conquista española (1532 d.C) (Pohle, 2008).

El pueblo Cañari se desarrolló entre los 1550 hasta los 450 años cal AP, habitó el territorio que ahora pertenece a las provincias de Cañar, Azuay y sur de Chimborazo, eran un pueblo de guerreros y labradores que aprovechaban las condiciones climáticas del páramo para la producción de papa, melloco, quinua, habas, entre otros, además existían diversas especies leñosas, árboles y hierbas que fueron utilizadas para el fuego y para las construcciones con el techo de paja. El nombre "Cañar" está compuesto por dos palabras: "can" y "ara". La primera significa serpiente y la segunda es guacamaya (Iglesia, 1977).

Adoptaron ese nombre debido a que solían tener la creencia de que eran descendientes de la culebra y de la guacamaya. Su organización social no era por nombramiento, más bien se basa en los méritos alcanzados a lo largo de la vida, el pueblo Cañari era un pueblo unido en donde la colaboración es un valor importante, sus viviendas eran rústicas hechas generalmente de piedra y solían vivir con sus cuyes (Pichisaca, 2001). Los cañaris eran especialistas en trabajos de alfarería, agricultura y guerreros (Molina, 1992).

La conquista Inca en el Ecuador inicio aproximadamente en los 487 años cal AP (Pohle, 2008), en la segunda mitad del siglo XV liderada por Túpac Yupanqui, avanzando hacia el norte desde el Cusco, la conquista pudo ser motivada por la producción agrícola de los valles andinos. Después de la batalla de Yahuarcocha, el imperio incaico se asentó alrededor de dos grandes centros de poder ubicados en Tomebamba (Cuenca), donde nació Huayna Cápac, hijo de Túpac Yupanqui, y Kitu (Quito) (Hidalgo Mora, 2017). Fortalecieron su imperio con la ubicación de otras ciudades en lugares estratégicos como: Llaqta Kunga, Karanki, Mucha, Hatun Kañar, entre otros y la construcción de un sistema vial llamado Qhapaq Ñan que conectaba todo el territorio del Tahuantinsuyo, este camino fue utilizado para la actual red vial latinoamericana, conocida como la Panamericana (Martínez y Morillo, 2015).

La conquista española en Ecuador inicio aproximadamente en el año 418 cal AP (Pohle, 2008), cuando Francisco de Pizarro y Diego de Almagro partieron desde Panamá hasta Ecuador para enfrentarse con el imperio Inca (Oberem, 1974), una causa principal para la derrota del imperio inca frente a los españoles fue la lucha por el poder entre los dos hijos de Huayna Cápac, Atahualpa y Huáscar, quienes fueron asesinados durante la conquista española (Meyers, 1998; Buenaño y Stalin, 2022). Los cañaris fueron uno de los grupos étnicos que tuvieron un rol importante dentro de la conquista española, la necesidad de liberarse del yugo incaico y de la crueldad de Atahualpa los llevo a ser aliados y guías de los españoles, los cañaris lograron que sus tierras fueran regresadas, sin embargo al finalizar la conquista sus privilegios fueron revocados, el pueblo Cañari sufrió un descenso poblacional durante la conquista española y después fueron insultados y maltratados junto con los demás grupos étnicos de Ecuador (Varón, 1996; Buenaño y Stalin, 2022).

### **3.3. Diversidad florística y estudios paleoecológicos en Ecuador.**

La región neotropical posee la mayor diversidad de plantas en el mundo, cuenta con aproximadamente 124 993 especies, que corresponde al 33% de plantas vasculares identificadas a nivel mundial (Lughadha et al., 2016; Ulloa et al., 2017). Ecuador es considerado como uno de los países con mayor diversidad a nivel mundial, la gran diversidad se da gracias a la presencia de la cordillera de los Andes, ubicación en la zona tropical, influencia de corrientes marinas y corrientes atmosféricas de la zona intertropical, cuenca amazónica y del Océano Pacífico (Ministerio del Ambiente, 2016; Vásconez, 2017). En Ecuador existen aproximadamente 25000 especies de plantas vasculares de las cuales 4500 son especies endémicas (León-Yáñez et al., 2011).

Los primeros estudios paleoecológicos dentro de Ecuador fueron realizados en el archipiélago de Galápagos (Colinvaux, 1972). A lo largo de este siglo, la mayoría de estudios palinológicos se han concentrado en el sur del Ecuador (Hansen et al., 2003; Niemann y Behling, 2008, 2009, 2010; Niemann, Haberzettl y Behling, 2009; Villota, 2010; Rodríguez y Behling, 2012; Jantz y Behling, 2012; Villota, León-Yáñez y Behling, 2012; Villota y Behling, 2013; Frederick, Brunelle, Morrison, Crespo y Johnson, 2018; Ormaza, 2019). Además existe un estudio realizado en la Laguna de Mojanda (Villota, Behling y León-Yáñez, 2017) y el páramo del Guagua Pichincha (Boada, 2013).

Se ha propuesto que el típico pajonal observado en los páramos se ha ido formando debido a las quemadas y el pastoreo por asentamientos antropogénicos desde hace miles de años (Camacho, 2014). Durante el holoceno medio al tardío (hace 4000-1000 años) los incendios en la zona de Cajanuma en el Parque Nacional Podocarpus fueron frecuentes (Villota y Behling, 2013). Estudios en el sur de Ecuador sugieren que luego de las sequías del Holoceno medio, las comunidades de pajonal se expandieron rápidamente causando la modificación del paisaje (Niemann y Behling, 2008). Según Niemann y Behling (2007) se ha encontrado la presencia de actividad antropogénica desde el Holoceno medio, en “El Tiro”, zona ubicada al norte del Parque Nacional Podocarpus.

En este sentido, esta investigación pretende contribuir al estudio de la historia de la vegetación en los páramos de Ecuador, y por medio de la paleoecología estudiar los cambios

de la vegetación en un páramo ubicado al sur de Ecuador en Azuay durante los últimos 1300 años cal AP, y relacionarlos con los eventos climáticos y la composición de vegetación a través del tiempo. Se analizará la dinámica vegetal y climática y se evaluará la influencia humana reflejada en el polen de taxa de plantas cultivadas y partículas de carbón fósiles que muestran la existencia de asentamientos humanos desde hace miles de años. Este estudio forma parte de un proyecto más grande que estudia el ecosistema del páramo de la provincia del Azuay durante el Holoceno.

### **3.4 OBJETIVOS**

#### **3.4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Reconstruir la dinámica vegetal, climática y la influencia humana en el páramo de Oña, Azuay-Ecuador, durante los últimos 1300 años.

#### **3.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la dinámica vegetal y climática en el páramo de Oña, Azuay-Ecuador, durante los últimos 1300 años, a través del estudio de polen fósil.
- Identificar la influencia humana en el páramo de Oña, Azuay-Ecuador, durante los últimos 1300 años, a través del estudio de polen y carbón fósil.
- Determinar las similitudes y diferencias en la dinámica vegetal, climática y la influencia humana entre los páramos de Oña, y otros páramos estudiados al norte y sur de la región, durante los últimos 1300 años.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1.1 Ubicación

El sitio de estudio (Figura 1), el páramo de Oña, ubicado en la Provincia de Azuay al Sur de Ecuador en el cantón San Felipe de Oña a 3303 m.s.n.m. Según el sistema de clasificación del MAE (2013), es un tipo de ecosistema conocido como herbazal de páramo. La laguna donde fue tomada la muestra, en las coordenadas 3°32'12.11" S 79°07'15.6" W, se encuentra ubicada al costado de la carretera, aproximadamente a 8,5 km del centro del pueblo de Oña en dirección Sureste. Es parte de una de las 29 lagunas dentro del territorio de la Comuna Marcos Pérez de Castilla, un área protegida de 8.604 hectáreas dentro del Sistema de Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) (Figura 2), y fue declarada el 26 de abril de 2019 como la segunda área protegida comunitaria del país. Esta zona protegida alberga 83 especies de aves, más de 9 especies de mamíferos y cientos de plantas (Sorgato, 2019).

#### 4.1.2 Suelos

Suelos derivados de andosoles con un profundo horizonte A, caracterizados por etapas de meteorización, rico en materia orgánica en la capa superior (20cm), son suelos débiles debido a suelos altamente porosos, gracias a las condiciones climáticas de alta humedad contiene gran cantidad de agua por unidad de volumen (80-90% por  $\text{cm}^3$ ) y poseen una excelente regulación hídrica, estos suelos con gran retención hídrica normalmente son los más frágiles y con cambios irreversibles, además tiene un pH ácido (Poulenard, Podwojewski y Herbillon, 2003; Buytaert *et al.*, 2006; MAE, 2013). Los suelos presentan una constitución química e hidrológica que difiere de los páramos del norte (Buytaert *et al.* 2005).

Según Carrión, Dueñas-Tovar, Jaya-Montalvo y Jiménez-Orellana (2022) Azuay posee el valor más alto del índice de ocurrencia de minerales (11), la gran diversidad de este, está asociado con intrusivos que albergan depósitos epitermales, por ejemplo: Cu, Au, Ag volcanogénicos de Sulfuros Masivos provenientes del cretácico. Estas tierras están caracterizadas por un relieve más accidentado sobre formaciones metamórficas, sedimentos, suelos saturados ricos en minerales junto con paleosoles ferralíticos desaturados (Moreno, Yerovi, Herrera, Yáñez, y Espinosa, 2018).

#### **4.1.3 Clima**

El aire cálido húmedo proveniente de las tierras bajas de la Amazonía choca con las masas de aire frías de las montañas provocando el clima en la parte occidental de la cordillera oriental, esto causa la lluvia en las montañas andinas. El clima es característico por presentar noches frías y días frescos. La época seca de los páramos del sur es corta, comienza en diciembre y termina en marzo (Niemann y Behling, 2007), mientras que los meses con mayores niveles de precipitación son entre abril hasta agosto (Ledru, 2013). En general los páramos reciben alrededor de 1500mm anuales de lluvia (Varela y Ron, 2018). El promedio de la temperatura es aproximadamente de 8°C, en algunas épocas del año la temperatura puede bajar los 0°C (Macas Sarango, 2011).

Específicamente, en la zona de estudio las temperaturas oscilan entre los valores 3 y 8°C entre los meses de octubre y diciembre y posee una precipitación anual entre los 1000-2000 mm (Macas Sarango, 2011).

#### **4.1.4 Vegetación actual**

Dentro de los páramos del sureste del Ecuador se encontraron alrededor de 55 familias, 90 géneros y 136 especies de plantas. Las familias más diversas en especies fueron: Asteraceae (19), Ericaceae (13) y Melastomataceae (10) (Keating, 2008).

El ecosistema en donde se encuentra el sitio de estudio está dominado por gramíneas, presenta géneros como: *Calamagrostis*, *Agrostis*, *Festuca*, *Cortaderia* y *Stipa*, *Bromus*, *Paspalum*, *Lolium*, entre otros, la abundancia y la diversidad de esta familia en este ecosistema se debe a las adaptaciones que han tenido para poder sobrevivir en condiciones con temperaturas muy bajas y la disponibilidad de agua (Velázquez, Herrera, y Fiallos, 2015).

Los parches de arbustos están representados por géneros como: *Diplostegium*, *Hypericum* y *Pentacalia*. Presenta gran cantidad de hierbas en roseta, almohadillas, rastreras y erectas. (Ramsay y Oxley, 1997; MAE, 2013).

Específicamente dentro del Área Comunitaria Protegida “Marcos Pérez de Castilla” se han registrado un total de 141 géneros, 243 especies y 66 familias. 24 especies se identificaron como endémicas, según la lista de la IUCN (2019), 15 especies se encuentran bajo la categoría de Vulnerable, mientras que las 9 restantes se encuentran en la categoría de En Peligro. Las familias más abundantes son: Asteraceae, Melastomataceae, Ericaceae y Poaceae. Los géneros más diversos fueron: *Brachyotum*, *Miconia*, *Symplocos* y *Gentianella* (Herbario Azuay, 2023).

## **4.2 TRABAJO DE CAMPO**

### **4.2.1 Colecta de sedimento**

Para el análisis palinológico se ubicó una laguna dentro de la provincia de Azuay, en el cantón San Felipe de Oña, ubicada a 3303 m.s.n.m (S 3°32'12.11"; W 79°07'15.6"), ubicada a 30 minutos cerca de la ciudad de Oña.

De la laguna ubicada cerca de la carretera, se extrajo una porción de sedimento de 50cm, utilizando una barrena de perforación (Russian corer), el sedimento extraído fue protegido con plástico protector para luego ser transportado al laboratorio de Botánica Andina y Paleoecología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), en donde fue almacenado en una habitación oscura a 4°C para prevenir cualquier tipo de contaminación

y conservarlo en óptimas condiciones, se nombró al sedimento extraído con las siglas “Oña-LS” para tener un control sobre el mismo en el laboratorio de paleoecología de la PUCE.

## **4.3 TRABAJO DE LABORATORIO**

### **4.3.1 Estratigrafía**

Con el sedimento extraído se analizó la estratigrafía, se registró el color, la presencia de materia orgánica y otros materiales constitutivos como arcilla, limo y tefras.

### **4.3.2 Dataciones**

Se obtuvo una muestra del sedimento entre los 45 - 46 cm de profundidad, esta fue enviada al laboratorio Beta Analytic ubicado en Miami, EEUU para determinar la edad del sedimento con dataciones con radiocarbono  $^{14}\text{C}$  a través de un Acelerador de Espectrometría de Masas. La parte superior del sedimento se asumió que corresponde a la fecha de colección (2017). Las edades fueron calibradas con la vida media de Libby de 5.568 años y corregidas para la fracción isotópica total, se expresan en años calibrados antes del presente (años cal AP), teniendo en cuenta el año 1950 como el “presente”.

### **4.3.3 Proceso químico**

A lo largo del sedimento se tomaron 22 submuestras de un  $1\text{cm}^3$  en intervalos de cada dos centímetros, empezando desde el centímetro 5 y con excepción las 4 últimas que fueron tomadas a los 42 cm, 43 cm, 45 cm y 46 cm. En cada muestra se añadió 1 tableta de esporas de *Lycopodium clavatum* el cual funciona como marcador, después se las sometió al tratamiento estándar químico (Faegri e Iversen, 1989), (Anexo 2), para eliminar carbonatos, silicatos y tinturar polen y esporas de las muestras del sedimento. Los marcadores son contados al mismo tiempo que los granos de polen para establecer una relación entre el polen

nativo y el marcador. El ácido clorhídrico (HCl) ayudó a eliminar los carbonatos y el ácido fluorhídrico (HF) los silicatos (González, Almendros y Álvarez, 2009); posteriormente se realizó un tratamiento químico para la tinción de las muestras conocido como acetólisis, para ello se utilizó ácido acético glacial (CH<sub>3</sub>COOOH) que deshidrata el material, anhídrido acético ((CH<sub>3</sub>C)<sub>2</sub>O) y ácido sulfúrico, para tinturar la muestra (Faegri e Iversen, 1989).

#### **4.3.4 Identificación y conteo de polen**

Para poder realizar el conteo de polen, fue necesario realizar placas para microscopio utilizando un portaobjetos donde se colocó glicerina sólida para montar el material fósil en la placa, se coloca un cubreobjetos y se las sella con laca. Posterior a eso se inició el conteo de cada submuestra realizada bajo el microscopio con un lente de 40x. Para la clasificación y cuantificación de polen, esporas, partículas de carbón y marcadores durante el conteo de cada submuestra se establecieron los siguientes parámetros:

- Polen: se cuantificaron y clasificaron taxonómicamente al menos 300 granos de polen por submuestra.
- Esporas: se clasificaron y cuantificaron taxonómicamente el total de esporas encontradas en cada submuestra hasta alcanzar el número de granos de polen mínimo (300).
- Carbón: se clasificaron en 2 rangos de tamaños: 10 a 100µm (Carbón 1) y >100 µm (Carbón 2) y se cuantificaron hasta contar 100 marcadores por cada submuestra.
- Marcadores: se cuantificaron todos los marcadores encontrados hasta encontrar mínimo 300 granos de polen.

El polen y esporas se clasificaron según su taxón en cada muestra, con el fin de reconstruir la vegetación del pasado; las partículas de carbón evalúan la presencia o no de quemadas locales o regionales en la zona de estudio y los marcadores (que son un número conocido de esporas) tienen la función de ayudar a calcular la concentración de polen y

esporas presentes en las submuestras, así como la concentración de carbón, estas dos medidas son extrapoladas al sedimento colectado (Villota, 2010).

La clasificación de los granos de polen y esporas se realizó a través de la publicación de Hooghiemstra (1984), la base de datos del Laboratorio de Paleoecología y Botánica Andina de la PUCE y la base de datos del Departamento de Palinología y Dinámica del Clima, Universidad de Göttingen (Behling, 1993). Mientras que, para la clasificación de las partículas de carbón por rangos de tamaño, se utilizó un lente con una regla incorporada. La regla tiene 100 divisiones, cada una representa  $2.5\mu\text{m}$  en el lente de 40x.

#### **4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

Los datos obtenidos de la clasificación y cuantificación de polen, esporas y carbón fueron ingresados al software TILIA, donde se calculó: la concentración y la tasa de acumulación de polen y carbón; y los datos de polen fueron convertidos a porcentajes. En el mismo software se calculó la edad para cada una de las submuestras del sedimento, y se añadió información sobre la estratigrafía para a través del software TILIAGRAPH obtener el diagrama de la representación gráfica de los porcentajes de carbón y taxa de polen y esporas (Villota, 2010; López, 2016).

Posteriormente, se realizó un análisis de conglomerados conocido como “CONISS” (por su abreviación en inglés de stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares) para definir las zonas estratigráficas. El programa apila los datos que muestran una abundancia polínica similar (composición vegetal similar) y define espacialmente en el diagrama los cambios significativos en la composición vegetal para así poder establecer una zona (Grimm, 1987; Villota, 2010; Frederick et al., 2018). A través de esto, se evidenció las diferencias climáticas que existieron durante el período investigado.

#### **4.5 DIAGRAMA DE TAXA DE POLEN Y ESPORAS Y DIAGRAMA DE SUMATORIA POR ECOSISTEMA**

Para los diagramas se agruparon los taxa de polen y esporas por ecosistema, según investigaciones previas de Jantz y Behling (2012), Boada (2013), Villota, León-Yáñez y Behling (2015) y Ormaza (2019). Los valores de cada taxa representados en el diagrama se encuentran en porcentaje calculado en base al total de granos de polen por cada submuestra tomada del sedimento “Oña-LS”.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. ESTRATIGRAFÍA

El núcleo del sedimento de Laguna sagrada de Oña (Oña-LS) de longitud de 50 cm, está compuesto principalmente de material arcilloso. . Empezando desde la parte inferior, 50 – 47 cm, el sedimento presenta tefra compacta. Entre los 45 – 28,5 cm existe materia orgánica con restos vegetales. Entre los 28,5 – 27,5 cm hay presencia de material compacto fino. Desde los 27,5 – 22 cm existe material compacto con arcilla fina y restos vegetales poco descompuestos. Entre los 22 - 14,5 cm existe material compacto con arcilla fina. Desde los 14,5 - 7 cm hay presencia de acilla con restos vegetales. Finalmente, desde los 7 - 0 cm existe material limoso con presencia de abundantes raíces y material vegetal poco descompuesto. En la tabla 2, se describe con mayor detalle la estratigrafía del núcleo extraído.

### 5.2 CRONOLOGÍA

La cronología de Oña-LS está determinada por 1 datación de radiocarbono a una profundidad de 45 cm. La datación a los 45 cm de profundidad (5 cm antes del final del sedimento) nos indica la edad más antigua del sedimento que es de 1430  $\pm$ 30 años, lo que indica que el sedimento corresponde al Holoceno Tardío (1300 – 90 años cal AP).

La tasa de sedimentación es uniforme a lo largo de todo el sedimento, su valor es de 0,33 mm/año en todas las zonas polínicas desde el año 88 (5 cm) hasta el 1327 años cal AP (46 cm).

### 5.3 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE POLEN

La abundancia de los taxa identificados en cada centímetro se encuentra expresada en porcentajes. El diagrama de grupos incluye los taxa con porcentajes mayores a 2%, con excepción de Chenopodiaceae y *Rumex* que a pesar de presentar un porcentaje menor a 1%

son importantes para interpretar la presencia humana en la zona. Específicamente, se representan 32 diferentes taxones de polen de un total de 51 identificados y 4 tipos de esporas de un total de 7 identificadas (Figura 3 y 4, Tabla 3). Los taxa identificados fueron clasificados en 6 grupos ecológicos según los tipos de vegetación presentes en el área de estudio: bosque montano bajo (BMB), bosque montano alto (BMA), páramo (PAR), intervención humana (IH), acuático, Lycophyta y Bryophyta (Villota, 2010). El dendrograma realizado con el programa CONISS indica 5 diferentes zonas denominadas: LS-I, LS-II, LS-III, LS-IV, LS-V (Figura 4).

La concentración de polen abarca un rango de 8855 – 255.892 granos/cm<sup>3</sup> mientras que la tasa de acumulación fue de 295 – 8459 granos/cm<sup>2</sup>/año. La concentración de partículas de carbón 10 – 100 µm (C1) fue de 24.392 – 356.501 partículas/cm<sup>3</sup>; la concentración de carbón > 100 µm (C2) fue de 208 – 16.053 partículas/cm<sup>3</sup>. La concentración de carbón C1 y C2 fue mayor en las zonas LS-I y LS-II que las zonas LS-III, LS-IV y LS-V. Con respecto a la tasa de acumulación de carbón, en (C1) varía entre 813 – 11.883 partículas/cm<sup>2</sup>/año mientras que (C2) varía entre 7 – 531 partículas/cm<sup>2</sup>/año (Figura 4).

### 5.3.1 Zona LS-I (46 – 30 cm, 1300 – 850 años cal AP, 9 muestras)

El bosque montano bajo (BMB) está representado con valores bajos (1,7 – 5,7%) (Figura 4), está caracterizado en su mayoría por polen de Moraceae/Urticaceae (0,9 – 3,4%), *Piper* (0,3 – 1,6%) y *Acalypha* (0- 1,2%) (Figura 3). El bosque montano alto (BMA) está caracterizado por valores de 8,5 a 16,6%, en el que se observa con mayor proporción a *Weinmannia* (0,3 – 6,5%), *Hedyosmum* (1,8 – 4,1%) y *Podocarpus* (1,5 – 4,2%); Solanaceae (0,4 – 2%), *Morella* (0,1 – 1,6%), Melastomataceae (0,7 – 1,4%) y *Clethra* (0 – 1,2%) tienen valores menores a 2%, mientras que *Alnus* (0 – 0,6%), *Dalea* (0 – 0,4%),

*Symplocos* (0 – 0,4%) y Rubiaceae (0 – 0,3%) presentan valores inferiores a 1%. El páramo (PAR) está caracterizado por los valores más altos (76,9 – 88,3%) de esta zona, está representado principalmente por polen de Poaceae (49,6 – 72,9%) y Asteraceae (3,4 – 13,8%); Ericaceae (0,6 – 5,9%), *Hypericum* (0 – 5,8%), *Plantago* (0 – 5,2%) y Xyridaceae (0,5 – 5,7%) presentan valores inferiores a 6%, mientras que Gentianaceae (0,2 – 2,4%),

*Valeriana* (0,4 – 2%), *Geranium* (0,2 – 1,8%), *Sisyrinchium* (0 – 1,6%), Iridaceae (0 – 1,4%) *Gunnera* (0,1 – 0,4%), *Moritzia* (0 – 0,4%), Fabaceae (0 – 0,3%) presentan los valores más bajos dentro de este grupo ecológico. Lycophyta (LYC) comprende valores entre 8,8 – 25%, y está caracterizada en su mayoría por esporas de *Isoëtes* (8,8 – 23,4%) que se encuentran estables en toda la zona además de *Phlegmariurus* (0 – 2,5%). El grupo Bryophyta (BRY) comprende rangos del 0,4 al 2,7% y está representado únicamente por el género *Sphagnum* (0,4 – 2,7%). El grupo Pteridophyta (PTE) comprende rangos entre 0 al 0,2% y está representado por el género *Jamesonia* (0 – 0,2%). El grupo Acuática (3,1 – 7,9%) está representado únicamente por la familia Cyperaceae (3,1 – 7,9%). El grupo Intervención Humana (IH) (0 – 0,5%) está representada por el Género *Rumex* (0 – 0,5%) y la familia Chenopodiaceae que se encuentra ausente en esta zona.

### 5.3.2 Zona LS-II (30 – 25 cm, 850 – 700 años cal AP, 3 muestras)

El BMB se mantiene estable en toda la zona con valores del 5,2 al 5,6%, representado por polen de Moraceae/Urticaceae (0,9 – 3,4%), siguiéndole *Piper* (0,3 – 1,6%) y finalmente *Acalypha* (0 – 1,2%). El BMA (17,5 – 18,6%) presenta un ligero incremento en comparación de la zona LS-I causado por la presencia de polen de *Weinmannia* (4,8 – 5,2%), le sigue *Hedyosmum* (4,5 – 4,5%) y *Podocarpus* (1,7 – 4,1%); *Clethra* (1,5 – 1,7%), Melastomataceae (0,7 – 1,1%), *Alnus* (0 – 1%) y Solanaceae (0 – 1%) presentan valores menores a 2%, mientras que *Morella* (0,4 – 0,7%), *Dalea* (0 – 0,7%), Rubiaceae (0 – 0,7%) y *Symplocos* (0 – 0,4%) presentan valores inferiores a 1%. El PAR está caracterizado con valores del 71,4 al 74,7%, representado mayormente por la presencia de Poaceae (49,3- 52%) y Asteraceae (8,3 – 10,8%), los granos de polen de *Hypericum* (3 – 4,1%), *Valeriana* (0 – 1,5%), Gentianaceae (1,1 – 1,4%) y Ericaceae (0,4 – 1,4%) presentan valores inferiores a 4,1%, *Geranium* (0,3 – 0,4%), *Plantago* (2,6 – 3,8%), mientras que Xyridaceae (0 – 0,4%), y *Moritzia* (0,3 – 0,4%) presentan valores inferiores a 1%. LYC (9,3 – 30,5%) está representado por esporas de *Isoëtes* (7,2 – 28,6%) que presentan un pico al inicio de la zona y *Phlegmariurus* que comprende los rangos entre el 1,9 al 2,1%. BRY (0,7 – 1%) está caracterizado únicamente por el género *Sphagnum* (0,7 – 1%). El grupo Acuática (6,6 – 14,1%) está representando por

la familia Cyperaceae (6,6 – 14,1%). Los granos de polen de IH se encuentran ausentes en esta zona.

### 5.3.3 Zona LS-III (25 – 15 cm, 700 – 400 años cal AP, 5 muestras)

El BMB está caracterizado con sus valores más altos (6,1 – 12,6%) a lo largo de todo el sedimento, debido al aumento de polen de *Acalypha* (2,3 – 7,7%) al final de la zona, y al ligero aumento de granos de Moraceae/Urticaceae (2,2 – 5,9%) y *Piper* (0 – 3,2%). El BMA, está representado también con los valores más altos (34,7 – 52,4%) a lo largo de todo el sedimento, está caracterizado por polen de *Hedyosmum* (11- 15,4%), *Weinmannia* (3,2 – 14,5%) y *Podocarpus* (8,1 – 13,5%), seguido de granos de polen de Melastomataceae (1,7 – 6,9), *Dalea* (0 – 5,1%), *Morella* (0,5 – 5%), *Symplocos* (0,3 – 3,4%), *Alnus* (0,8 – 3,2%), y Solanaceae (0 – 1,7%) que representan una proporción menor, mientras que Rubiaceae (0 – 0,6%) y *Clethra* (0 – 0,3%) presentan los valores más inferiores en comparación con el resto de granos de polen. Por otro lado, el PAR está representado por los valores más bajos (38,9 – 54,4%) a lo largo de todo el sedimento, caracterizado en su mayoría por polen de Poaceae (27,2 – 34,8%), Asteraceae (3,7 – 6,7%), e *Hypericum* (0,3 - 6%); *Geranium* (1,1 – 4,2%), Fabaceae (0 – 3,1%), *Plantago* (0 – 2,3%), Ericaceae (0 – 2,2%), *Gunnera* (0 – 1,4%) y *Moritzia* (0 – 1,4%) presentan valores inferiores en comparación de la presencia de Poaceae, mientras que Gentianaceae (0 – 0,3%), *Sisyrinchium* (0 – 0,3%), Xyridaceae (0 – 0,3%) y *Valeriana* (0 – 0,2%) presentan valores menores a 0,5%. LYC (1,4 – 15,8%) está representado por esporas de *Isoëtes* (1,4 – 15,5%) que presentan un descenso y un ligero pico al final de la zona y *Phlegmariurus* que tiene valores entre el 0 y 0,5%. El grupo Acuática (1,5 – 17,4%) está representado por Cyperaceae (1,5 – 17,4%) que presenta un pico al inicio de la zona. IH (0 – 0,6%) está representado únicamente por Chenopodiaceae (0 – 0,6%) debido a que *Rumex* se encuentra ausente. Los grupos BRY y PTE se encuentran ausentes en esta zona.

### 5.3.4 Zona LS-IV (15 – 9 cm, 400 – 200 años cal AP, 3 muestras)

El BMB presenta valores estables entre 1,5 – 2,4%, está caracterizado por polen de Moraceae/Urticaceae (0,5 – 1,5%) y *Acalypha* (0 – 0,9%), mientras que *Piper* se encuentra ausente. Los valores de los taxones del BMA (30,4 – 39,6%) disminuyen ligeramente en

comparación con los valores del BMA de la zona LS-III, debido a la disminución de polen de *Hedyosmum* (9 - 14%) y *Podocarpus* (10,5 - 12,4%); *Weinmannia* (0,7 - 3,7%) experimenta una drástica disminución; Melastomataceae (2,4 - 3,9%), *Morella* (0 - 3,7%), y *Symplocos* (0 - 1,7%) también disminuyen y presentan valores inferiores a 4% al igual que *Alnus* (0,5 - 2,2%), mientras que *Dalea* (0 - 0,7%), Solanaceae (0 - 0,7%) y *Clethra* (0 - 0,2%) presentan valores inferiores a 1%. El PAR muestra un leve incremento en sus valores (56,6 - 66,2%) ocasionado por el incremento de polen de Poaceae (21,8 - 31%) y el leve incremento de polen de Asteraceae (10,1 - 17,7%), los valores de *Hypericum* (2,7 - 6,6%), *Plantago* (1,7 - 5,8%), y Ericaceae (1,1 - 3,6%) aumentan en relación a LS-III y se mantienen estables durante toda el periodo representando en LS-IV, *Moritzia* (1,1 - 2,7%) aumenta ligeramente Fabaceae (1,2 - 2,2%), *Gunnera* (0,7 - 1,5%), Gentianaceae (0,2 - 1,5%), *Geranium* (0,2 - 1,5%) y *Valeriana* (0 - 0,5%) presentan los valores más bajos entre los taxones de páramo. LYC presenta los valores más altos (8,4 - 24,7%) a lo largo de todo el sedimento, está representado en su mayoría por esporas de *Isoetes* (8- 24,7%) con los valores más altos a lo largo de todo el sedimento y un incremento notable al final de la zona y *Phlegmariurus* con valores bajos (0 - 0,4%). PTE presenta valores bajos (0 - 0,2%) y está representado únicamente por *Jamesonia* (0 - 0,2%). El grupo Acuática (4,1 - 27,5%) incrementa, representado por la familia Cyperaceae que presenta valores altos (4,1 - 27,5%) en este periodo. IH (0 - 1%) en esta zona está representado solo por la familia Chenopodiaceae (0 - 1%) debido a que *Rumex* se encuentra ausente.

### 5.3.5 Zona LS-V (9 - 5 cm, 200 ~ 90 años cal AP, 2 muestras)

El BMB presentado sus valores más bajos (0,3 - 3%) a lo largo de todo el sedimento, se encuentra representado por granos de polen de *Acalypha* (0 - 2,7%), mientras que polen de Moraceae/Urticaceae (0,3 - 0,6%), *Piper* (0 - 0,6%) presentan valores menores que 1%. El BMA (19,6 - 26%) presentan un ligero decrecimiento en sus valores en comparación de la zona LS-IV y está representado mayormente por polen de *Hedyosmum* (3,8 - 13,5%); *Podocarpus* (3,3 - 6,3%), *Weinmannia* (3 - 4,4%) y Rubiaceae (0,6 - 3,7%); *Morella* (0 - 2,3%), *Alnus* (0 - 2%), *Clethra* (0 - 1,3%) y *Symplocos* (0 - 1,3%) se presentan en menor

proporción a esta zona, mientras que Melastomataceae (0 – 0,7%), Solanaceae (0 – 0,3%) y *Dalea* (0 – 0,3%) se encuentran casi ausentes. El PAR presenta un incremento en sus valores (71,1 – 76,6%) muy diferente a la situación en la zona LS-III, está representado por polen de Poaceae (38,5 -58,2%), seguido de valores inferiores de Asteraceae (2,5 – 15,4%) y *Moritzia* que presenta su valor más alto (0 – 8,9%) a lo largo de todo el sedimento; Gentianaceae (0,3 – 5,1%), Ericaceae (0,6 – 5%), Fabaceae (0,6 – 2,3%), *Hypericum* (0,7 – 2%), *Geranium* (1 – 1,9%), *Plantago* (0,6 – 1,7%) y *Valeriana* (0 – 1,3%) también son importantes para el incremento del PAR en esta zona; *Gunnera* (0 – 0,7%), y Xyridaceae (0 – 0,7%) presentan los valores más bajos de este grupo. LYC presenta los valores más bajos (2,5 – 6,3%) de todo el sedimento debido al descenso de la presencia de Esporas de *Isoëtes* (0 - 6%) que desaparecen al final de la zona y *Phlegmariurus* con valores entre el 0 y 2,5%. BRY (0,3 – 1,3%) está representado solo por el género *Sphagnum* (0,3 – 1,3%) que en la zona LS-III y LS-IV se encontraba ausente. PTE presenta los valores más altos (0 – 1,3%) a lo largo de todo el sedimento y está representado solo por el género *Jamesonia* (0 – 1,3%). El grupo Acuática presenta sus valores más altos (27,3 – 183,5%) a lo largo de todo el sedimento, está caracterizado por polen de la familia Cyperaceae. IH (0 – 1,3%), está representada por la familia Chenopodiaceae (0 – 0,6%) y el género *Rumex* (0 – 0,7%).

## 6. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

El estudio del polen y esporas fósiles del núcleo de sedimento (Oña-LS), extraído de una laguna a 3303 m.s.n.m refleja el cambio de la vegetación y el clima que se han producido a nivel local en el páramo de Oña, Azuay, durante el Holoceno tardío. En base a los registros de polen obtenidos se infiere que la vegetación de páramo fue dominante a lo largo de todo el sedimento con excepción de la zona LS-III donde presentó sus valores más bajos, y en la cual los valores de BMA Y BMB fueron los más altos (Figura 4). Todos los grupos ecológicos dentro de este estudio (PAR, BMA, BMB, AQ, IH) han presentado variaciones en sus valores, debido a que cada zona presenta aumentos o disminuciones de los taxa, influenciados por los cambios ambientales a lo largo del periodo. Dentro de los resultados se identifican episodios importantes que coinciden con dos grandes eventos climáticos a nivel global como: la Anomalía Climática Medieval (MCA) (zona LS-I y zona LS-II) y la Pequeña Edad de Hielo (LIA) (zona LS-IV y zona LS-V) además del calentamiento global actual (Figuras 3 y 4).

Los principales representantes de la vegetación de PAR fueron Poaceae, Asteraceae, *Hypericum* y *Plantago* mientras *Acalypha* y Moraceae/Urticaceae lo son del BMB, y *Hedyosmum*, *Podocarpus*, *Weinmannia* y Melastomataceae del BMA (Figura 3).

Los indicadores de presencia humana como Chenopodiaceae y *Rumex*, aparecen a lo largo del sedimento en casi todas las zonas con excepción de la zona LS-II, estos indicadores van relacionados con los valores de las partículas de carbón indicadores de fuego, la mayor presencia de partículas de carbón de 10 – 100  $\mu\text{m}$  y de partículas  $>100 \mu\text{m}$  se evidencia en la zona LS-I y LS-II, mientras que en las zonas LS-III, LS-IV y LS-V los valores para ambos tipos de partículas disminuyen, lo que podría indicar la disminución o ausencia de presencia humana (Niemann y Behling, 2007).

Existen posibles razones para el aparente descenso de la población humana: primero, entre los 700 – 400 años cal AP las condiciones climáticas se vuelven relativamente secas, por lo que posiblemente la población humana abandonó el sitio hacia lugares más húmedos, segunda, la conquista Inca, que inició en los 487 años cal AP por el sur del Ecuador avanzando rápidamente hacia el norte (Pohle, 2008) y la tercera, la conquista española en el

siglo XVI, a partir de 1.532 D.C. (418 años cal AP) que pudo haber sido una causa para el descenso en la población indígena debido a la llegada de enfermedades del viejo mundo, la esclavitud y las luchas por territorios (Berrío, Hooghiemstra, Marchant y Rangel, 2002; Niemann y Behling, 2008; Niemann y Behling, 2009).

El sedimento estudiado nos permite distinguir tres períodos principales donde existen cambios en la composición de la vegetación que pueden relacionarse con importantes eventos climáticos y son los que se discuten a continuación:

### **6.1 Período cálido coincidente con la Anomalía Climática Medieval (MCA), 1300 – 700 cal años AP (LS-I y LS-II)**

Durante los 1300 – 700 cal años AP la vegetación del sitio estuvo dominada en su mayoría por Poaceae, cuyo polen alcanzó en la zona LS-I, el valor más alto en todo el sedimento, este taxón, junto con otros taxa menos abundantes como: Asteraceae, *Hypericum*, *Plantago* y Ericaceae representaron a la vegetación del PAR durante estos años (Bakker, Moscol Olivera y Hooghiemstra, 2008). Poaceae, es una familia común en elevaciones altas, debido a su gran producción de polen, además de su gran tolerancia para las altas elevaciones (Niemann et al., 2010). La vegetación de páramo (PAR) presente en esta zona (LS-I) llegó aquí a su registro más alto a lo largo de todo el sedimento y se mantuvo estable a lo largo de toda la zona, mientras que en la zona LS-II, existió un leve decrecimiento en la vegetación de PAR (Figura 4). La abundancia relativa de estos taxa, parece indicar que las condiciones climáticas durante este periodo fueron cálidas, esta época relativamente cálida coincide temporalmente con el MCA (Mann, 2002a; Ledru, 2013).

A pesar de que existió dominancia de la vegetación de PAR durante este periodo, la baja abundancia de *Hypericum*, *Plantago* y Ericaceae sugieren que existieron otros factores que favorecieron el crecimiento de Poaceae, como el fuego y la condición climática cálida.

Por otro lado, en la zona LS-I, el BMA tiene su valor más bajo a lo largo de todo el sedimento, está representado por *Weinmannia*, *Hedyosmum* y *Podocarpus* que son árboles o arbustos característicos de los bosques andinos. *Hedyosmum* y *Podocarpus* son

característicos de bosques andinos de montaña, en la zona LS-II los valores del BMA incrementan gracias al aumento en abundancia de granos de polen de *Hedyosmum*, *Podocarpus*, *Weinmannia* y *Clethra*, este último taxa indica la recuperación del bosque (Marchant et al., 2002; Villota y Behling, 2013). El BMB, en la zona LS-I está representado por Moraceae/Urticaceae y *Piper*, ambas presentes en zonas de media altitud. Moraceae/Urticaceae es menos abundante a mayor altitud, son taxa anemófilos, por lo tanto, generalmente se encuentra sobrerrepresentadas; *Piper* es menos abundante cuando existe menos humedad (Bush y Rivera, 2001; Marchant et al., 2002). En la zona LS-II los taxa más importantes son Moraceae/Urticaceae y *Piper*, además de *Acalypha*, que son árboles o arbustos que presentan un ligero aumento en abundancia e indican áreas disturbadas (Marchant et al., 2002)

Se observaron altas cantidades de esporas de Isoëtes, sugiriendo la existencia de cuerpos de agua (Baker et al, 2008; Villota et al., 2014).

Las partículas de carbón vegetal alcanzaron su registro más alto a lo largo de todo el sedimento y sugieren que el fuego era frecuente, posiblemente causado por la quema de la vegetación de páramo y de los bosques (Bakker et al, 2008). En esta zona, existe tanto partículas de carbón pequeñas (0 – 100  $\mu\text{m}$ ) como carbón grandes (>100  $\mu\text{m}$ ), esto indicaría fuegos regionales como locales respectivamente (Bakker et al, 2008).

Al analizar el núcleo de sedimento OÑA LS se encuentra que durante los 1300 hasta los 700 años las condiciones climáticas fueron cálidas y húmedas, este periodo cálido se lo atribuye a la presencia del MCA, mientras que la presencia de Poaceae, *Plantago* y esporas de *Isoëtes*, *Phlegmariurus* y *Sphagnum* indican condiciones húmedas, a pesar de que se encuentran altos niveles de partículas de carbón. Este periodo climático de temperaturas altas se evidencia en varios estudios paleoecológicos realizados a lo largo de la sierra andina (Villota et al., 2015; Défaz, 2016; López, 2016; Villota et al., 2017; Ledru et al., 2017). Sin embargo existen otros estudios que indican condiciones relativamente secas como el realizado en la cuenca occidental de la Amazonía (1000 años cal AP –presente) (Weng, Bush y Athens, 2002), y otras que indican condiciones más frías como el estudio en Pantano de Pecho (Wille, Hooghiemstra, Hofstede, Fehse, Sevink, 2002).

## 6.2 Periodo con mayor representación del BMA, 700 - 400 cal años AP (LS-III).

Durante los 700 - 400 cal años AP la vegetación del sitio estaba dominada por los valores más altos de BMA registrados a lo largo de todo el sedimento, estos valores se reflejaron por la ocurrencia significativa de granos de polen de: *Hedyosmum*, *Podocarpus*, *Weinmannia* y Melastomataceae, y la presencia de *Morella*, *Symplocos* y *Dalea*. Aparentemente, las condiciones climáticas pudieron favorecer al movimiento cuesta arriba de la línea superior del bosque ayudando a *Hedyosmum*, *Podocarpus* y *Symplocos* a colonizar mayores elevaciones (Villota et al., 2012). *Hedyosmum*, *Podocarpus* y Melastomataceae son árboles o arbustos presentes en hábitats andinos de montaña distribuidos en distintas elevaciones (Marchant et al., 2002). Además, la disminución de *Isoëtes* en la zona sugiere disminución de cuerpos de agua (Bakker et al, 2008).

Los valores de BMB alcanzaron su registro más alto a lo largo de todo el sedimento, *Acalypha* y Moraceae/Urticaceae aumentaron rápidamente en abundancia. *Acalypha* es un género favorecido por ambientes secos y puede ser común en áreas levemente perturbadas (Marchant et al., 2002); además su alta representación dentro de esta zona puede deberse a que su polen es dispersado por el viento, y así puede ser transportado a mayores altitudes (Hansen y Rodbell, 1995). Moraceae/Urticaceae normalmente se encuentra altitudes medias y en ocasiones se les asocia con áreas perturbadas, su alta representación en esta zona también podría explicarse por su manera de dispersión por medio del viento (Marchant et al., 2002).

El PAR alcanzó los valores más bajos en todo el sedimento, representado por la presencia de granos de polen de Poaceae, Asteraceae e *Hypericum*. Poaceae es una familia que generalmente representa condiciones ambientales secas (Jantz y Behling, 2012), de igual manera el aumento de Asteraceae se debe a su preferencia por ambientes relativamente secos (Villota y Behling, 2013). El descenso en abundancia de *Plantago* en la zona, se atribuye a condiciones climáticas más secas (Bakker et al, 2008) Al igual que la casi desaparición de Apiaceae y *Valeriana* debido a que estos tres taxa son favorecidos en climas húmedos (Marchant et al., 2002; Niemann y Behling 2007).

Entre los años 700 hasta los 400 años cal AP se evidencian condiciones climáticas secas que coinciden con el rápido aumento de la vegetación del BMA con polen de

*Weinmannia* y Melastomataceae, sin embargo, se observan niveles relativamente bajos de partículas de carbón, este periodo seco coincide con otros estudios paleoecológicos como el realizado en la cordillera oriental en Ecuador (Ledru, 2013), El Cajas (Ormaza, 2019) y en Quimsacocha (3800 m.s.n.m) en donde se evidencia un periodo de desecación (Weng *et al.*, 2004).

### **6.3 Periodo frío coincidente con la Pequeña Edad de Hielo (LIA), últimos 400 años cal AP (LS-IV y LS-V).**

Durante los últimos 400 años, la vegetación de PAR se recuperó y presentó valores más altos frente a los otros tipos de vegetación. La vegetación de PAR estuvo bien representada por Poaceae, Asteraceae, *Hypericum*, *Plantago* y Ericaceae. Esta recuperación de vegetación de PAR durante este periodo puede ser explicado por el evento climático LIA (Pequeña Edad de Hielo por sus siglas en Ingles *Little Ice Age*), que en Ecuador se dividió en dos fases, la primera: desde los 400 – 200 años cal AP caracterizado por un clima frío y húmedo y la segunda: desde los 200 - 150 años cal AP caracterizado por un clima frío y seco (Ledru et al, 2013).

Durante los 400 - 200 años cal AP la presencia de Poaceae, *Hypericum* y *Plantago* sugieren condiciones frías en el ambiente (Marchant et al., 2002; Villota et al., 2017), además el rápido aumento en abundancia de Cyperaceae y *Plantago* refleja condiciones húmedas y posiblemente la presencia de cuerpos de agua (Wille et al., 2002). Los valores máximos de Asteraceae indican una posible expansión hacia elevaciones menores de la vegetación del PAR (Bakker et al, 2008).

La vegetación del BMA estuvo representada por la abundante presencia de *Hedyosmum* y *Weinmannia* que sugieren condiciones húmedas en el ambiente (Marchant et al., 2002). La vegetación del BMB presentó sus valores más bajos a lo largo de todo el sedimento y el descenso del complejo Moraceae/Urticaceae y *Piper* sugieren condiciones climáticas frías, al igual que la ausencia de polen de *Acalypha* que indica condiciones menos secas (Marchant et al., 2002). Asimismo, las esporas de *Isoëtes* aumentaron rápidamente en abundancia reflejando la presencia de cuerpos de agua y la humedad del suelo (Villota et al.,

2012) lo cual se confirma gracias a la abundancia de esporas de *Phlegmariurus* (Hansen et al., 2003).

Durante los 200 - 150 años cal AP, la vegetación de PAR aumentó en abundancia, esta estuvo representada por Poaceae, Asteraceae, *Hypericum* y *Plantago*, la abundancia de estos taxa sugiere condiciones aún frías en el ambiente (Villota et al., 2012). La vegetación del BMA tuvo un leve descenso, *Hedyosmum* y *Weinmannia* fueron menos presentes en comparación con la zona LS-IV, esto sugiere que la humedad disminuyó (Marchant et al., 2002). El BMB presenta un ligero pico en la zona LS-V representado por *Acalypha*, la presencia de este puede atribuirse a condiciones más secas, en esta zona Asteraceae se volvió más abundante mientras que *Hedyosmum* disminuyó, lo puede indicar que la humedad disminuyó (Bakker et al, 2008).

De igual manera, el descenso de *Isoëtes* nos puede indicar que el ambiente se está transformando en un ambiente más seco, los cuerpos de agua pudieron estar desecándose gradualmente (Hansen y Rodbell, 1995; Bush et al., 2005; Boada, 2013). Del mismo modo, Poaceae presentó un aumento rápido en abundancia hacia el final de la zona, lo que sugiere condiciones más secas (Niemann y Behling, 2008; Frederick et al., 2018).

Durante las dos últimas zonas del sedimento (400 ~ 90 años cal AP) las condiciones climáticas fueron frías y húmedas y relativamente secas en los últimos años, atribuidas a la Pequeña edad del Hielo (LIA), en el páramo de Papallacta se observa una máxima expansión del hielo (220 años cal AP) y el aumento de la vegetación del PAR (Ledru et al., 2013), en el Parque Nacional Cajas, se evidencia un aumento de la vegetación del PAR, en el cual se observa un aumento de polen de Poaceae y *Valeriana* (Hansen et al., 2003)

#### **6.4 Asentamientos humanos**

Los resultados obtenidos en la secuencia LS sugieren que las dinámicas de vegetación pudieron haber respondido a otros factores de cambio además de las condiciones climáticas. La familia Chenopodiaceae; es un indicador de presencia humana (Behling, Negret y Hooghiemstra, 1998; Marchant et al, 2002), y estuvo presente en casi todas las zonas con

excepción de la zona LS-II. Como se ha mencionado anteriormente, las partículas de carbón pequeñas sugieren la presencia de fuego regional, mientras que las grandes fuego local, y ambos tipos de partículas estuvieron presentes en todas las zonas. Sin embargo en la zona LS-I es en donde alcanzaron sus valores más altos a lo largo de todo el sedimento que coincide temporalmente con el evento climático MCA. Por otro lado, *Rumex*; también es considerado indicador de impacto humano posiblemente por actividades agrícolas (Bakker et al., 2008; Rodríguez y Behling, 2012), sin embargo solo se encontró su presencia al final del sedimento (Zona LS-V). La presencia de Solanáceas (Solanaceae), que son árboles, arbustos o hierbas con una amplia distribución (Marchant et al, 2002), en ocasiones pueden ser indicadores de presencia humana debido a su importancia alimenticia como el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) que eran y son utilizados como una de las principales fuentes de alimento (Samuels, 2015).

Entre los años 1300 – 700 años cal AP la abundante presencia de partículas de carbón grandes, que sugiere que el fuego se hizo más común en la zona, junto con la presencia de Chenopodiaceae y Solanaceae, sugieren que probablemente existió un asentamiento humano. Este periodo (Zona LS-I y Zona LS-II) coincide temporalmente con el desarrollo del pueblo Cañari (1500 – 450 años cal AP), y con su ubicación geográfica en las provincias de Cañar, Azuay y sur de Chimborazo (Montes y Martínez, 2010; Ortega Heras y Atancuri Pacurucu, 2011).

Esta posible presencia humana con ayuda de las condiciones climáticas pudo haber sido otro de los factores importantes para los cambios de la vegetación registrados en la zona LS-III. En la antigüedad la base de alimentación de los Cañarís era la producción de papa, melloco, mashua, quinua, entre otros, por lo que necesitaban grandes extensiones de suelo para la siembra de estos productos (Pichisaca, 2001), que realizan a través de la quema de los pajonales del páramo. La disminución de la vegetación de PAR y la recuperación del BMA y BMB puede ser explicada por el abandono de asentamientos humanos en el sitio, debido al descenso de Solanaceae y partículas de carbón, además del clima cálido. En un estudio realizado en “Las Tres lagunas”, en el suroeste de los Andes ecuatorianos, los fuegos que inician desde el Holoceno temprano indican el impacto humano (Jantz y Behling, 2012), mientras que en El Cajas el primer signo de impacto humano se reporta alrededor de los 1500

años cal AP con la presencia de partículas de carbón (Ormaza, 2019), atribuida a la presencia del pueblo Cañari (1550 a 450 años cal AP) debido a su amplia distribución geográfica.

Además la poca abundancia de la vegetación del BMA entre los 1300 – 700 años cal AP también pudo haber sido causada por la presencia humana, debido a la necesidad de madera seca para la iniciación de las quemadas locales, especies de *Weinmannia* y *Melastomataceae* son utilizadas principalmente como leña (Aguirre, Cabrera, Sánchez, Merino y Maza, 2003), mientras que *Podocarpus* y *Symplocos* son talados principalmente para la utilización de su madera y fabricación de utilidades (Jijón Moreira, 2015).

Por otro lado, el aumento de la vegetación del BMA entre los 700 a 400 años cal AP (zona LS-III), posiblemente fue causado por la ausencia de población humana en el sitio. La disminución de *Chenopodiaceae* y el rápido descenso de partículas de carbón grandes y pequeñas sugieren que la población humana abandonó el sitio permitiendo la recuperación del BMA (Behling, Negret y Hooghiemstra, 1998; Marchant et al, 2002). Este abandono del sitio podría ser explicado debido a las condiciones climáticas secas que presentó la zona, evidenciado por la disminución de *Plantago* y esporas de *Isoetes* (Baker et al, 2008; Villota et al., 2014).

Entre los años 400 a 90 años cal AP (zona LS-IV y LS-V) la vegetación del PAR vuelve a ser dominante en el sitio, las posibles razones para esta recuperación del PAR pueden ser las luchas e invasiones en el sitio. Aproximadamente en los 487 años cal AP inicio la conquista Inca por el sur de Ecuador, produciendo un descenso poblacional debido a los enfrentamientos entre nativos y conquistadores (Incas), además según Varón (1996): la lucha entre los dos hijos de Huayna Cápac, termino en el asesinato de poblaciones enteras y la destrucción de la sede estatal del imperio Inca en Tumipampa y en los 418 años cal AP inició la conquista española que también provocó la disminución de la población indígena (Pohle, 2008). El descenso poblacional junto con las condiciones climáticas frías del LIA pudieron haber favorecido la expansión del PAR, como también la disminución de los bosques. Por último, la presencia de *Rumex* en la zona LS-V indica impacto humano sobre la vegetación y este taxa puede volverse más abundante en suelos quemados o sometidos a pastoreo (Bakker et al., 2008), sin embargo, la presencia de partículas de carbón pequeñas y grandes es escasa desde los 700 hasta los 90 años cal AP (zonas LS-III, LS-IV y LS-V).

## 7. CONCLUSIONES

El análisis paleoecológico realizado a partir de los datos de polen, esporas y carbón obtenidos del sedimento de tierra Oña-LS, recuperado de la “Laguna Sagrada”, ubicada en el sureste de los andes ecuatorianos, provincia del Azuay, comprende los eventos climáticos sucedidos entre ~1300 a ~90 años cal AP y datos sobre la vegetación, el clima y el impacto humano.

Las condiciones climáticas registradas durante los ~1300 – 700 años cal AP son cálidas y húmedas. Se evidencia la influencia de la Anomalía Climática Medieval (MCA) en la vegetación del sitio de estudio, las condiciones climáticas húmedas se manifiestan en la gran presencia de esporas de *Isoëtes*, *Phlegmariurus* y *Sphagnum* y el polen de *Plantago*, y las condiciones cálidas y húmedas en la gran presencia de *Podocarpus* y *Hedyosmum*.

Temporalmente cuando ocurre la MCA existe la presencia del pueblo Cañari, durante este periodo se evidencian altos registros de partículas de carbón que sugieren la presencia de fuegos locales y regionales. Además existe una alta presencia de Chenopodiaceae que sugiere asentamientos humanos. La presencia humana posiblemente influyó en la vegetación del sitio, debido a la utilización de la vegetación del BMA y BMB para construcciones o herramientas.

Durante los 700 – 400 años cal AP la vegetación del PAR disminuyó y el BMA y BMB se recuperó. Las esporas de *Isoëtes* y *Phlegmariurus* y polen de *Plantago* descendieron lo que sugiere un clima más seco que el periodo anterior. Las partículas de carbón disminuyen sugiriendo un abandono de la población humana del sitio que coincide temporalmente con la llegada de los incas (487 años cal AP) y con la conquista española (418 años cal AP), lo que posiblemente permitió la recuperación del BMA y BMB.

Las condiciones climáticas comprendidas entre los 400 a ~90 años cal AP coincidieron temporalmente con la Pequeña Edad de Hielo (LIA), en donde la vegetación del BMA y BMB disminuyeron posiblemente por las condiciones climáticas frías que favorecieron a la recuperación de la vegetación del PAR. La presencia de *Rumex* sugiere influencia humana, sin embargo, la presencia de las partículas de carbón no fue significativa por lo que no se asegura influencia humana en la época.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Solís, M. (1968). *Divisiones fitogeográficas y formaciones geobotánicas del Ecuador* (No. 581.9866 A2D5).
- Aguirre, Z., Cabrera, O., Sanchez, A., Merino, B., y Maza, B. (2003). Composición florística, endemismo y etnobotánica de la vegetación del Sector Oriental, parte baja del Parque Nacional Podocarpus. *Lyonia*, 3(1), 5-14.
- Bakker, J., Moscol Olivera M., y Hooghiemstra, H. (2008). Holocene environmental change at the upper forest line in northern Ecuador. *The Holocene*, 18(6), 877-893.
- Barba, D., Robin, C., Samaniego, P., y Eissen, J. P. (2008). Holocene recurrent explosive activity at Chimborazo volcano (Ecuador). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(1), 27-35
- Berrío, J. C., Hooghiemstra, H., Marchant, R., y Rangel, O. (2002). Late-glacial and Holocene history of the dry forest area in the south Colombian Cauca Valley. *Journal of Quaternary Science. Quaternary Research Association*, 17(7), 667-682.
- Birks, HJB y Birks, HH. (1980). *Quaternary Palaeoecology*, E. Arnold, London.
- Boada Viteri, S. C. (2013). *Historia de la vegetación del Páramo del Guagua Pichincha durante los últimos 730 años*. (Bachelor's thesis, PUCE-Quito).
- Buenaño, E., & Stalin, J. (2022). *Cultura Cañarí y su papel en el contexto de la conquista española durante el siglo XVI* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Bush, M. B., y Rivera, R. (2001). Reproductive ecology and pollen representation among neotropical trees. *Global Ecology and Biogeography*, 10(4), 359-367.
- Buytaert, W., Wyseure, G., De Bièvre, B., y Deckers, J. (2005). The effect of land-use changes on the hydrological behavior of Histic Andisols in south Ecuador. *Hydrol. Process* 19:3985–3997.

- Buytaert W., Célleri R., De Bièvre B., y Cisneros F. (2006). *Hidrología del páramo andino: Sistema de Clasificación 220 propiedades, importancia vulnerabilidad. Investigaciones biofísicas en el páramo*. GTP/Abya Yala.
- Buytaert, W., Célleri, R., Bert De Bièvre, Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J. y Hofstede, R. (2006). "Human Impact on the Hydrology of the Andean Páramos." *Environmental Sciences* 79: 53–72.
- Camacho, M. (2014). Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Revista Anales* (Vol. 1, No. 372, pp. 77-92).
- Cañadas, L. (1983). *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*. Quito: Banco Central.
- Carrillo-Rojas, G., Silva, B., Rollenbeck, R., Célleri, R., y Bendix, J. (2019). The breathing of the Andean highlands: Net ecosystem exchange and evapotranspiration over the páramo of southern Ecuador. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265, 30-47.
- Carrión-Mero, P., Dueñas-Tovar, J., Jaya-Montalvo, M., Berrezueta, E., y Jiménez-Orellana, N. (2022). Geodiversity assessment to regional scale: Ecuador as a case study. *Environmental Science & Policy*, 136, 167-186.
- Colinvaux, P. A. (1972). Climate and the Galapagos islands. *Nature*, 240 (5375), 17.
- Davies, A. L., y Bunting, M. J. (2010). Applications of palaeoecology in conservation. *The Open Ecology Journal*, 3(1).
- Défaz, A. (2016). *Historia de la vegetación del volcán Chimborazo durante el Holoceno Tardío*. (Disertación de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Faegri, K. e Iverson, J. (1989). *Textbook of pollenanalysis*. 4th edition. Chichester, JohnWiley.
- Fiallos, L., Herrera, R. S., y Velásquez, R. (2015). Characterization and in situ selection of promissory grasses species in the Ecuadorian Páramo grasslands ecosystem. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(3), 407-414.

- Frederick, L., Brunelle, A., Morrison, M., Crespo, P. y Johnson, W. (2018). Reconstruction of the mid-Holocene paleoclimate of the Ecuadorian Andean páramo at Tres Lagunas, Ecuador. *The Holocene*, 28(7) 1041–1056 doi:10.1177/0959683618761547.
- Froyd, C. A., y Willis, K. J. (2008). Emerging issues in biodiversity & conservation management: the need for a palaeoecological perspective. *Quaternary Science Reviews*, 27(17-18), 1723-1732.
- González Rodríguez, D., Almendros García, P., y Álvarez Álvarez, J. M. (2009). Métodos de análisis de elementos en suelos: disponibilidad y fraccionamiento. *Anales de Química* 105(3), 205–212. ISSN 1575-3417.
- Hall, M. L., Samaniego, P., Le Pennec, J. L., y Johnson, J. B. (2008). Ecuadorian Andes volcanism: A review of Late Pliocene to present activity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(1), 1-6.
- Hansen, B. C., y Rodbell, D. T. (1995). A late-glacial/Holocene pollen record from the eastern Andes of northern Peru. *Quaternary Research*, 44(2), 216-227.
- Hansen, B., Rodbell, D., Seltzer, G., Leon, B., Young, K., y Abbott, M. (2003). Late glacial and Holocene vegetation history from two sites in the western Cordillera of southwestern Ecuador. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 194(1-3), 79-108.
- Hidalgo Mora, N. I. (2017). *Análisis histórico de la batalla de Yahuarcocha y su entorno para la animación turística de su patrimonio cultural* (Bachelor's thesis).
- Herbario Azuay. “Bases de datos de las colecciones del Herbario HA” [en línea]. Azuay, Ecuador: Herbario HA. 2023 Universidad de Azuay [consultado 2023-01-02]. Disponible en <https://herbario.uazuay.edu.ec/>
- Hofstede, R. (2001). El descubrimiento del ecosistema escondido. En Mena V., P., G. Medina y R. Hofstede (Eds.) (2001). *Los Páramos del Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas*. Quito: Abya Yala/Proyecto Páramo.

- Hofstede, R., Coppus, R., Vásconez, P. M., Segarra, P., Wolf, J., y Sevink, J. (2002). El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador. *Ecotropicos*, 15(1), 3-18.
- Hofstede, R., Groenendijk, R. Coppus, J. Fehse y J. Sevink.(2002). Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes. *Mountain Research and Development* 22 (2): 159-167
- Hofstede, R., Segarra, P. y Mena, P. (Eds.). (2003). *Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos*. Quito: Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia.
- Iglesia, Á. M. (1977). *Cañar: Síntesis Históricas*. Azogues: Editorial América.
- Islebe, G. (1999). La Paleoecología: bases y su aplicación. *Foresta Veracruzana*, 1(2), 47–50.
- Jantz, N., y Behling, H. (2012). A Holocene environmental record reflecting vegetation, climate, and fire variability at the Páramo of Quimsacocha, southwestern Ecuadorian Andes. *Veget Hist Archaeobot*. 21:169–185.
- Jijón Moreira, A. P. (2015). *Conocimiento tradicional etnobotánico del área de influencia del Bosque Protector Aguarongo, Azuay, Ecuador* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Kangur, M. (2002). Methodological and practical aspects of the presentation and interpretation of microscopic charcoal data from lake sediments. *Vegetation history and archaeobotany*, 11(4), 289-294.
- Keating, P. L. (2008). The floristic composition and biogeographical significance of a Megadiverse Páramo Site in the southern Ecuadorian Andes<sup>1</sup>. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 135(4), 554-570.
- Ledru, M. P., Jomelli, V., Samaniego, P., Vuille, M., Hidalgo, S., Herrera, M., y Ceron, C. (2013). The Medieval climate anomaly and the Little Ice Age in the eastern Ecuadorian Andes. *Climate of the Past*, 9(1), 307-321.

- León-Yáñez, S. (2011). La flora de los páramos ecuatorianos. En: Mena, P., Castillo, S., Flores, S., Hofstede, R., Josse, C., Lasso, S. y Ortiz, D. (Eds.) (2011). *Páramo. Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado*. Quito: EcoCiencia/Abya-Yala/ECOBONA.
- López, G. (2016). Historia de la vegetación y el clima en el páramo del Ángel (Carchi, Ecuador) durante los últimos 2400 años (Disertación de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Lughadha, E. N., Govaerts, R., Belyaeva, I., Black, N., Lindon, H., Allkin, R., Magill, R. E., y Nicolson, N. (2016). Counting counts: revised estimates of numbers of accepted species of flowering plants, seed plants, vascular plants and land plants with a review of other recent estimates. *Phytotaxa*, 272(1), 82-88
- Lüning, S., Gałka, M., y Vahrenholt, F. (2017). Warming and cooling: the medieval climate anomaly in Africa and Arabia. *Paleoceanography*, 32(11), 1219-1235.
- Macas Sarango, A. C. (2011). *Plan de Desarrollo Turístico para el cantón San Felipe Oña, provincia del Azuay* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Mann, M. E. (2002a). Medieval climatic optimum. *Encyclopedia of global environmental change*, 1, 514-516.
- Mann, M. E. (2002b). Little ice age. The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change. *Encyclopedia of global environmental change*, 1, 504-509.
- Marchant, R., Almeida, L., Behling, H., Berrío, J. C., Bush, M., Cleef, A. y Salgado-Labouriau, M. L. (2002). Distribution and ecology of parent taxa of pollen lodged within the Latin American Pollen Database. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 121(1), 1-75.
- Martínez, M. Á. N., y Morillo, J. A. (2015). El QHAPAQ ÑAN, camino principal andino: patrimonio cultural de la humanidad de Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú. *Novum Otium*, 1(1), 11-22.

- Maguire, K. C., Nieto-Lugilde, D., Fitzpatrick, M. C., Williams, J. W., y Blois, J. L. (2015). Modeling species and community responses to past, present, and future episodes of climatic and ecological change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46, 343-368.
- Medina, G. y P. Mena Vásconez. (2001). *Los Páramos en el Ecuador. 1-24*, in P. Mena, G. Medina y R. Hofstede (eds.): *Los páramos del Ecuador*. Quito, Editorial Abya Yala.
- Medina, G., P. Mena y C. Josse (Eds.). (1999). El Páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. *Serie Páramo 1*. GTP/Abya Yala. Quito.
- Meyers, A. (1998). *Los Incas en el Ecuador: análisis de los restos materiales*. Abya Yala. Quito.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.
- Ministerio del Ambiente (MAE). (2016). "Estrategia Nacional de Biodiversidad 2015- 2030. Primera edición. Quito, Ecuador. Recuperado de:  
<http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/WebAPs/Estrategia%20Nacional%20de%20Biodiversidad%202015-2030%20-%20CALIDAD%20WEB.pdf>
- Molina, M. J. (1992). *Arqueología Ecuatoriana. Los Cañaris*. Quito. Editorial Abya Yala.
- Montes, M. y Martínez, J. (Eds.) (2010). *I encuentro de Arqueólogos del Norte de Perú y Sur del Ecuador: Memorias. Relaciones interregionales y perspectivas del futuro*. Cuenca: Pedro Jorge Vera CCE.
- Moreno, J., Yerovi, F., Herrera, M., Yáñez, D. y Espinosa, J. (2018). Suelos de las Tierras Altas. En: Espinosa, J., Moreno, J., Bernal, G. (eds) *Los Suelos del Ecuador. Serie de libros sobre suelos del mundo*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-25319-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-25319-0_3)
- Morocho, C. C., y Chunchu, G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), 71-83.

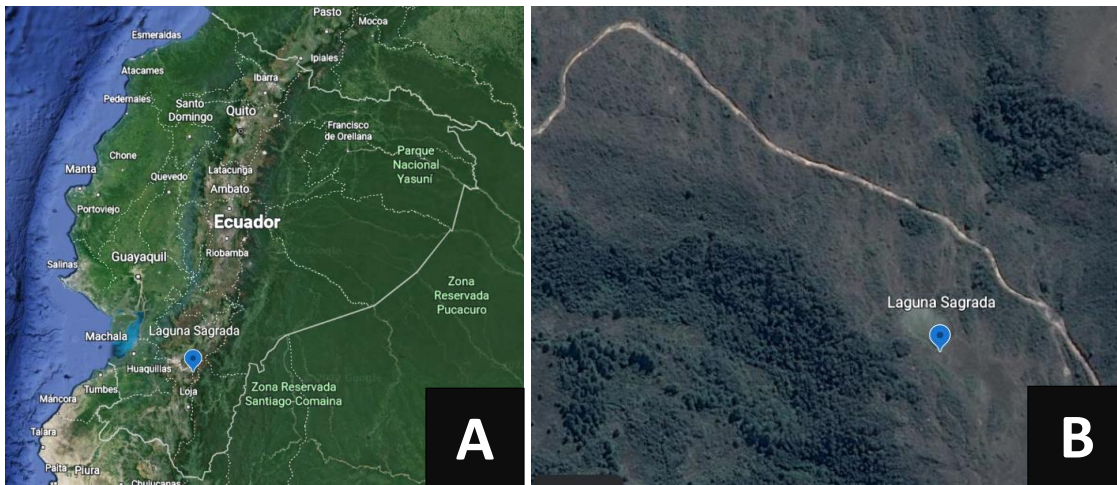
- Niemann, H., y Behling, H. (2007). Late Quaternary vegetation, climate and fire dynamics inferred from the El Tiro record in the southeastern Ecuadorian Andes. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 23(3), 203–212.
- Niemann, H. y H. Behling. (2008). Late Quaternary vegetation, climate and fire dynamics inferred from the El Tiro record in the southeastern Ecuadorian Andes. *Journal of Quaternary Science* 23: 203-212.
- Niemann, H., y Behling, H. (2009). Late Pleistocene and Holocene environmental change inferred from the Cocha Caranga sediment and soil records in the southeastern Ecuadorian Andes. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 276(1- 4), 1-14.
- Niemann, H., Haberzettl, T., y Behling, H. (2009). Holocene climate variability and vegetation dynamics inferred from the (11700 cal. yr BP) Laguna Rabadilla de Vaca sediment record, southeastern Ecuadorian Andes. *The Holocene*, 19(2), 307- 316.
- Niemann, H., y 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. *Vegetation History and Archaeobotany*, 19(1), 1.
- Oberem, U. (1974). Los cañaris y la conquista española de la sierra ecuatoriana otro capítulo de las relaciones interétnicas en el siglo xvi. *Journal de la Société des Américanistes*, 263-274.
- Ohlson, M., y Tryterud, E. (2000). Interpretation of the charcoal record in forest soils: forest fires and their production and deposition of macroscopic charcoal. *The Holocene*, 10(4), 519-525.
- Ormaza Rodríguez, A. M. (2019). *Reconstrucción de la vegetación, el clima y el impacto humano durante el Holoceno medio y tardío en el páramo del Cajás, Cuenca–Ecuador* (Bachelor's thesis, PUCE-Quito).

- Ortega Heras, M. J. y Atancuri Pacurucu, N. P. (2011). *Los nuevos descubrimientos de los Asentamientos Cañaris*. (Bachelor's thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador).
- Parducci, L., Suyama, Y., Lascoux, M., y Bennett, K. D. (2005). Ancient DNA from pollen: a genetic record of population history in Scots pine. *Molecular Ecology*, 14(9), 2873-2882.
- Pichisaca, I. Q. (2001). *Historia del Pueblo Cañari*. Revista Yachaikuna, 1.
- Podwojewski, P. y J. Poulenard. (2000). Los suelos de los páramos del Ecuador. *Serie Páramo (Suelos)*, (5), 5-25.
- Pohle, P. (2008). The People Settled Around Podocarpus National Park. *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador*, 25–36. doi:10.1007/978-3-540-73526-7\_3
- Poulenard, J., Podwojewski, P. y Herbillon, AJ (2003). Características de Andisoles no alofánicos con propiedades hídricas de los páramos ecuatorianos. *Geoderma*, 117 (3-4), 267-281.
- Ramsay P.M., y Oxley E.R. (1997). The growth form composition of plant communities in the ecuadorian páramos. *Plant Ecology* 131,173-192.
- Roberts, N (1998). *The Holocene. An environmental history*, Blackwell, Oxford.
- Rodríguez, F., y Behling, H. (2012). Late Holocene vegetation, fire, climate and upper forest line dynamics in the Podocarpus National Park, southeastern Ecuador. *Vegetation History and Archaeobotany*, 20(1), 1-14.
- Rull, V. (2010). Ecology and palaeoecology: two approaches, one objective. *The Open Ecology Journal*, 3(1).
- Samuels, J. (2015). Biodiversity of food species of the Solanaceae family: a preliminary taxonomic inventory of subfamily Solanoideae. *Resources*, 4(2), 277-322.
- Sorgato, V. (2019). *Dos siglos de lucha comunitaria para proteger bosques y páramos en Ecuador*. Mongabay. Recuperado de: <https://es.mongabay.com/2019/07/areas-comunitarias-de-ecuador-marco-perez-de-castilla/>

- Ulloa, C. U., Acevedo-Rodríguez, P., Beck, S., Belgrano, M. J., Bernal, R., Berry, P. E., Brako, L., Celis, M., Davidse, G., Forzza, Gradstein, S. R., Hokche, O., León, B., León-Yáñez, S., Magill, R. E., Neill, D. A., Nee, M., Raven, P. H., Stimmel, H., Strong, M. T., Villaseñor, J. L., Zarucchi, J. L., Zuloaga, F. O., y Jørgensen, P. M. (2017). An integrated assessment of the vascular plant species of the Americas. *Science*, 358(6370), 1614-1617.
- Varela, L. A., y Ron, S. R. (2018). *Geografía y clima del Ecuador*. BIOWEB. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Disponible en <<https://bioweb.bio/geografiaClima.html/>> Consulta: 28 de noviembre 2019
- Varón, R. (1996). *Los Cañaris, centinelas de los conquistadores*. Obtenido de <https://books.openedition.org/ifea/2716?lang=es#text>
- Vásconez, P. M. (2017). Los páramos ecuatorianos: Paisajes diversos, frágiles y estratégicos. *Revista AFESE*, 54(54).
- Velázquez, R., Herrera, R. S., y Fiallos, L. (2015). Flora diversity in the Ecuadorian Páramo grassland ecosystem. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(3), 399-405.
- Villota, A. (2010). *Estudio Palinológico de las lagunas Natasas en el Páramo de Jimbura, Loja, Ecuador*. (Disertación de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Villota, A., León-Yáñez, S., y 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 American Earth Sciences*, 40, 85-93.
- Villota, A. y Behling, H. (2013). Late Quaternary vegetation, climate, and fire dynamics: human impact and evidence of past *Polylepis* populations in the northern Andean depression inferred from the El Cristal record in southeastern Ecuador. *Ecotropica*, 19(1-2), 39-58.
- Villota, A., Behling, H. y León-Yáñez, S. (2017). Three millennia of vegetation and environmental dynamics in the Lagunas de Mojanda region, northern Ecuador. *Acta Paleobotánica* 57(2), 407-421. doi: 10.1515/acpa-2017-0016.

- Weng, C., Bush, M. B., y Athens, J. S. (2002). Holocene climate change and hydrarch succession in lowland Amazonian Ecuador. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 120(1-2), 73-90.
- Weng C, Bush MB y Chepstow-Lusty AJ. (2004). Holocene changes of Andean alder (*Alnus acuminata*) in highland Ecuador and Peru. *Journal Quaternary Sciences*. 19:685–91.
- White, S., y Maldonado, F. (1991). The use and conservation of natural resources in the Andes of southern Ecuador. *Mountain Research and Development*, 37-55.
- Whitlock, C., y Larsen, C. (2001). Charcoal as a fire proxy. *Tracking environmental change using lake sediments: terrestrial, algal, and siliceous indicators*, 75-97.
- Wille, M., Hooghiemstra, H., Hofstede, R., Fehse, J. y Sevink, J. (2002). Upper forest line reconstruction in a deforested area in northern Ecuador based on pollen and vegetation analysis. *Journal Tropical Ecology*. 18(03):409–40.

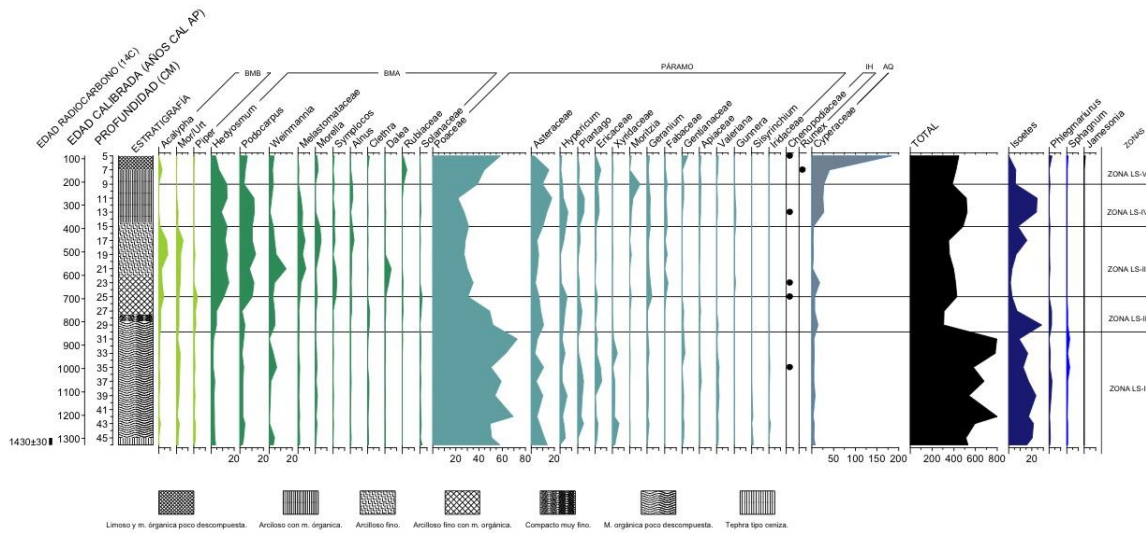
## 9 FIGURAS



**Figura 1. Mapa de la ubicación del área de estudio.** A) Mapa del Ecuador. B) Mapa de la zona específica del estudio (Laguna Sagrada, San Felipe de Oña, Azuay).

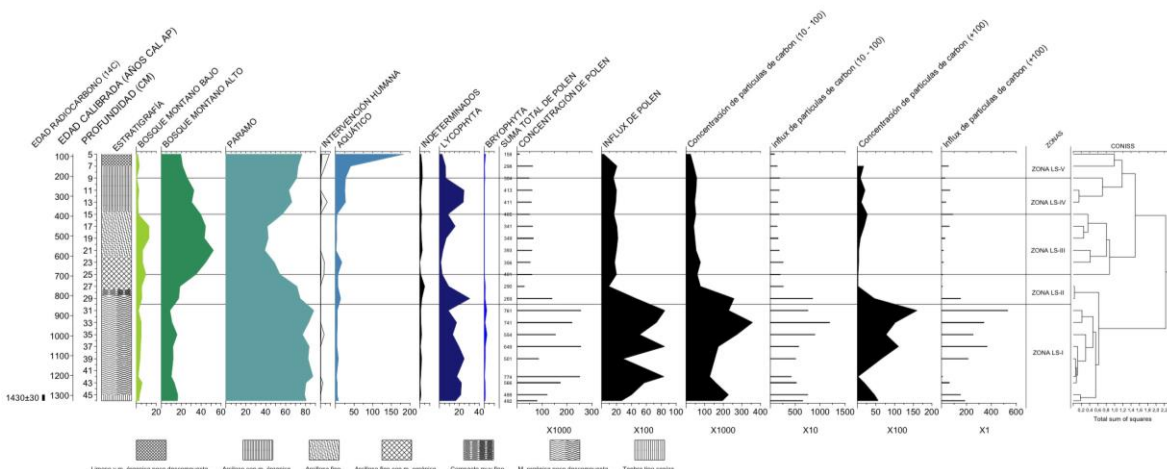


**Figura 2. Ubicación del área de estudio.** La equis hace referencia al sitio donde se extrajo el sedimento estudiado que se encuentra dentro del área protegida comunitaria Marcos Pérez de Castilla.



**Figura 3. Diagrama de porcentaje de taxa de polen y esporas.** Obtenidos del análisis de datos en el sedimento LS tomado de “Laguna Sangrada de Oña”. Se incluye la edad obtenida mediante dataciones con radiocarbono 14C, los porcentajes de los taxa más frecuentes (>2%), ordenados de mayor a menor según su grupo ecológico. En la parte izquierda la edad calibrada en años antes del presente (AP), el detalle de la estratigrafía y la profundidad del sedimento.

BMB= Bosque Montano Bajo; BMA= Bosque Montano Alto; PAR= Páramo; IH= Intervención Humana e IND= Indeterminadas



**Figura 4. Diagrama de sumatorias expresados en porcentajes para cada grupo ecológico.** Al lado derecho el dendrograma desarrollado por CONISS.

## 10 TABLAS

**Tabla 1. Descripción de estratigrafía detallada del núcleo de sedimento de Oña (LS).**

El núcleo de sedimento de 50 cm fue colectado de una laguna pequeña ubicada a 3303 m.s.n.m., en la Comuna Marcos Pérez de Castilla en la provincia de Azuay (3°32'12.11" S 79°07'15.6" W).

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Color</b>	<b>Descripción de material</b>
0-7	Café verdoso	Material limoso. Presencia de abundantes raíces y material vegetal poco descompuesto.
7-14.5	Café verdoso con franjas naranjas y negras	Arcilloso con restos vegetales.
14.5-22	Café verdoso con franjas naranjas	Material compacto con arcilla muy fina.
22-27.5	Café verdoso con franjas negras	Material compacto con arcilla muy fina, con restos vegetales poco descompuestos.
27.5-28.5	Franjas con color café grisáceo	Compacto muy fino.
28.5-45	Negro	Materia orgánica con restos vegetales.
45-50	Gris claro	Tephra compacta, tipo ceniza.

**Tabla 2. Datación de radiocarbono  $^{14}\text{C}$ .** La datación fue realizada en el Laboratorio Beta Analytic Inc. (Miami, USA) por medio de un acelerador de espectrometría de masas (AMS), del núcleo de sedimento Cajas. Cada muestra tiene su código, descripción, profundidad (cm) a la que fue tomada la muestra, datación calibrada ( $2\sigma$  cal).

<b>Código laboratorio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Profundidad</b>	<b><math>^{14}\text{C}</math> (BP)</b>	<b><math>2\sigma</math> cal (BP)</b>
Beta-482383	Color gris claro material tipo ceniza compacto	45-47	1430 +/- 30	1352-1270

**Tabla 3. Taxa de polen y esporas encontrados en el núcleo de sedimento Laguna Sagrada (LS) con sus respectivos grupos ecológicos**

<b>Grupo ecológico</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>
Bosque Montano Bajo (BMB)	Euphorbiaceae	<i>Acalypha</i>
	Moraceae/Urticaceae	Indeterminada
	Piperaceae	<i>Piper</i>
Bosque Montano Alto (BMA)	Adoxaceae	<i>Viburnum</i>
	Araliaceae	<i>Oreopanax</i>
	Betulaceae	<i>Alnus</i>
	Chloranthaceae	<i>Hedyosmum</i>
	Clethraceae	<i>Clethra</i>
	Cunoniaceae	<i>Weinmannia</i>
	Elaeocarpaceae	<i>Vallea</i>
	Fabaceae	<i>Dalea</i>
	Melastomataceae	Indeterminada
	Meliaceae	Indeterminada
	Mimosaceae	Indeterminada
	Myricaceae	<i>Morella</i>
	Myrsinaceae	<i>Myrsine</i>
	Myrtaceae	Indeterminada
	Papaveraceae	<i>Bocconia</i>
Podocarpaceae	<i>Podocarpus</i>	

	Proteaceae	<i>Oreocallis</i>
	Rubiaceae	Indeterminada
	Solanaceae	Indeterminada
	Symplocaceae	<i>Symplocos</i>
Páramo (PAR)	Apiaceae	Indeterminada
	Alstroemeriaceae	<i>Bomarea</i>
	Asteraceae	Indeterminada
	Boraginaceae	<i>Moritzia</i>
	Brassicaceae	Indeterminada
	Bromeliaceae	Indeterminada
	Calceolariaceae	<i>Calceolaria</i>
	Campanulaceae	<i>Lysipomia</i>
	Caprifoliaceae	<i>Valeriana</i>
	Ericaceae	Indeterminada
	Fabaceae	Indeterminada
	Gentianaceae	<i>Gentianella</i>
	Geraniaceae	<i>Geranium</i>
	Gunneraceae	<i>Gunnera</i>
	Hypericaceae	<i>Hypericum</i>
	Iridaceae	<i>Sisyrinchium</i>
		Indeterminada
	Orobanchaceae	<i>pedicularis</i>
	Plantaginaceae	<i>Plantago</i>
	Poaceae	Indeterminada
	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>
	Sacrophulariaceae	Indeterminada
	Verbenaceae	Indeterminada
Xyridaceae	Indeterminada	
Acuático	Cyperaceae	Indeterminada
	Chenopodiaceae	Indeterminada

Intervención humana (IH)	Oxalidaceae	Indeterminada
	Polygonaceae	<i>Rumex</i>
Lycophyta (LYC)	Isoëtaceae	<i>Isoëtes</i>
	Lycopodiaceae	<i>Phlegmariurus</i>
Bryophyta (BRY)	Pteridaceae	<i>Jamesonia</i>
	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>
Pterydophyta (PTE)	Osmundaceae	<i>Osmunda</i>
Euglyphida	Euglyphidae	<i>Assulina</i>
Streptophyta	Zygnemataceae	<i>Mougeotia</i>