

CRECIMIENTO VEGETATIVO, REPRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN DEL ÁRBOL DE PAPEL (*POLYLEPIS* SPP.) EN LA RESERVA FAUNÍSTICA DEL CHIMBORAZO: MONITORIZACIÓN DE LAS RESPUESTAS CLIMÁTICAS EN UN GRADIENTE ALTITUDINAL

Por. Jorge Albuixech Martí Ph.D.¹

Instituto de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar Matriz Guaranda
Av. Ernesto Che Guevara y Gabriel Secaira Guaranda-Bolívar-Ecuador
investigación@ueb.edu.ec

RESUMEN

Los ecosistemas forestales se verán afectados durante el próximo siglo por alteraciones en el régimen espacial y temporal de las precipitaciones, así como por un incremento generalizado de las temperaturas. En este escenario, el estudio de las dinámicas de crecimiento y reproducción en los bosques andinos se presenta como una herramienta valiosa para monitorizar los efectos del cambio climático y la acción antrópica sobre la frágil vegetación leñosa andina, que como en el caso de los bosques de *Polylepis* de los Andes han visto reducida enormemente su superficie en los últimos siglos. La presente propuesta de estudio de los ciclos de desarrollo y reproducción de *Polylepis* en un gradiente altitudinal nos permitirá contrastar las diferentes respuestas climáticas del crecimiento y reproducción entre sitios y predecir los efectos sobre dichas variables de un hipotético escenario de cambio climático. Para ello, se estudiará su fenología, la dinámica

estacional del crecimiento secundario y los efectos de la temperatura en la germinación. Se seleccionarán tres rodales de *Polylepis* a diferentes altitudes en las laderas del volcán Chimborazo para su muestreo mensual. Además, se instalarán registradores de temperatura, humedad y precipitación. Cabría esperar que variaciones en el régimen de precipitación y temperatura conllevaran diferentes estrategias de ajuste del crecimiento secundario y la fenología en *Polylepis*, en un gradiente altitudinal de los Andes septentrionales. Asimismo, se espera que el crecimiento y la reproducción en *Polylepis* se limitó a las estaciones favorables, deteniéndose cuando las temperaturas y la precipitación alcancen sus mínimos anuales.

Palabras Clave: *Polylepis* spp., crecimiento, reproducción, respuestas climáticas, gradiente altitudinal.



XXXI. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales se verán afectados durante el próximo siglo por alteraciones en el régimen espacial y temporal de las precipitaciones, así como por un incremento generalizado de las temperaturas, en el contexto del cambio climático (1). Siendo América Latina una de las regiones más vulnerables a esos cambios, sin tener por ello responsabilidad en la causa del fenómeno -la región da cuenta del 8% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (2)-. En este sentido, se espera que los bosques sufran alteraciones en su crecimiento y reproducción en respuesta al aumento de déficit hídrico inducido por el calentamiento global que conllevarán cambios en la dominancia de especies y en su estructura. Procesos que previsiblemente se verán agravados por los cambios de uso del territorio de las últimas décadas, como son la ampliación de la frontera agrícola y la creciente deforestación que alcanzado 3,9 millones de hectáreas por año para el periodo (2005-2010) según la Comisión Forestal para Latinoamérica y el Caribe (3). Además, en determinadas áreas andinas el uso de la leña como combustible aun supone un problema en la conservación de especies leñosas allí donde el crecimiento está limitado, así como el sobrepastoreo (4).

En este contexto, el estudio de las dinámicas de crecimiento y reproducción en los bosques andinos se presenta como una herramienta valiosa para monitorizar los efectos del cambio climático y la acción antrópica sobre la frágil vegetación leñosa andina, que como en el caso de los bosques de *Polylepis* de los Andes han visto reducida su superficie en aproximadamente un 95% en los últimos siglos (5, 6). Las especies leñosas más sensibles a estos cambios ambientales son aquellas que crecen con algún tipo de limitación y, por ende, las especies arbóreas propias del páramo andino, de clima extremo, pueden resultar útiles como bioindicadores. En este sentido, el género *Polylepis* ofrece una buena respuesta climática como muestran estudios previos (7, 8).

Polylepis es un género de la familia de las rosáceas que incluye árboles y arbustos. Los análisis filogenéticos

sugieren que *Polylepis* se desarrolló mediante poliploidización desde el género arbustivo y herbáceo *Acaena* (9). Su característico tronco retorcido presenta una corteza muy fina que se desprende de las ramas y tronco en finas películas membranosas (figura 1), razón por la cual se le conoce comúnmente como árbol de papel (10). La corteza de *Polylepis* posee propiedades medicinales para curar enfermedades respiratorias y renales y también se utiliza como tinte. El follaje es siempre verde, con hojas compuestas por pequeños folíolos y abundancia de ramas muertas. La floración y fructificación responden a la estacionalidad, ocurriendo en la estación húmeda cuando la disponibilidad hídrica es mayor y las temperaturas mínimas más altas (11). Este árbol se extiende de manera natural por los Andes centrales a unas altitudes que oscilan entre los 3500-5000 msnm -*Polylepis* spp. es el género de plantas leñosas capaz de crecer a mayores altitudes en todo el mundo-, ocupando en la Provincia de Bolívar las laderas de los volcanes menos expuestas a lluvias (observaciones personales).

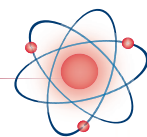


Figura 1. Detalle corteza *Polylepis* spp.

La significativa regresión de estos valiosos bosques andinos hace, por tanto, necesaria la implementación de una estrategia de conservación urgente. Siendo prioritario un estudio de los ciclos de crecimiento y reproducción del árbol de papel para profundizar en su conocimiento y respuesta al clima, y poder así velar por su conservación. La presente propuesta de estudio de los ciclos del árbol de papel en un gradiente altitudinal nos permitirá contrastar las diferentes respuestas climáticas del crecimiento y la reproducción entre sitios. Durante los últimos años, los factores que explican el rango altitudinal de las especies arbóreas ha sido una de las mayores preocupaciones en el campo de la ecología. La altitud afecta al crecimiento y a la reproducción y, por ende, determina los límites de distribución de las especies. Las especies adaptadas a la altitud, como es el caso de *Polylepis*, tienen en las altitudes inferiores -dentro de su rango- una mayor competencia con otras especies mejor adaptadas a las altas temperaturas, modulando así su crecimiento y reproducción en función de la altitud. Estudios previos han mostrado como el estrés climático modula el crecimiento primario y secundario a diferentes altitudes (12). Asimismo, la reproducción sexual se ve modulada por la altitud/latitud debido a las variaciones climáticas, que imponen constricciones en el establecimiento y desarrollo de las semillas (13). Por tanto, la modulación de estas variables -crecimiento y reproducción- regulada por la altitud nos permitirá predecir los efectos de un hipotético escenario de cambio climático en *Polylepis* spp.

Para el estudio de las respuestas climáticas de los ciclos de crecimiento y reproducción de *Polylepis* spp. en un gradiente altitudinal se abordaran en el presente proyecto cuatro ejes principales: estudios fenológicos, estudios de dinámica estacional del crecimiento secundario, reconstrucciones climáticas y propagación. En los cuatro casos apenas existen estudios para *Polylepis* spp. fortaleciendo aún más la necesidad de una monitorización durante dos años de las variables que pasamos a describir.

Una herramienta útil para monitorizar los efectos del cambio climático sobre el crecimiento de las plantas leñosas es el estudio de su fenología. Mediante el seguimiento fenológico podemos valorar la ocurrencia y duración en el tiempo del crecimiento vegetativo (14, 15), así como los efectos del cambio climático en el mismo (16). Las plantas establecen complejas relaciones entre fenofases y manifiestan una cierta flexibilidad fenológica en respuesta al clima, modificando sus ciclos inter-anales de producción de tallos,

frutos y raíces (17). Por tanto, a la vista de la notoria modulación climática de los ciclos de desarrollo de estas especies, es esperable que las relaciones entre sus variables de crecimiento y reproducción respondan a variaciones climáticas. Asimismo, se ha propuesto la monitorización de las variaciones estacionales en el contenido de agua a máxima hidratación de hojas y tallos del año, al estar el crecimiento primario significativamente relacionado con esta variable, habiendo dado buenos resultado su uso como estimador fenológico (18).

Por otra parte, para abordar y entender la respuesta del crecimiento secundario al clima en estos ambientes es necesario realizar estudios a escala intra-anual (19). El estudio intra-anual del desarrollo del anillo de crecimiento se ha abordado usando, de forma combinada o no, diferentes métodos: el marcado mediante heridas infringidas al xilema (20), la toma repetida de micro muestras de madera (21-23) y los dendrómetros (24, 25). A través de estos métodos se ha conseguido obtener una alta resolución temporal en la descripción del desarrollo del anillo de crecimiento (23), se han estudiado las propiedades anatómicas de los vasos (26), la dinámica estacional de la formación de la madera (27, 28) e incluso el crecimiento a nivel celular

El crecimiento secundario y, por tanto, la anchura de los anillos, depende de un amplio rango de factores ambientales y biológicos, tales como el clima, suelos, competencia inter- e intra-específica e incluso la inversión reproductiva, que parece estar relacionada con la reducción de diversas variables de crecimiento y secundario (29). Cuando la estacionalidad climática no es lo bastante acusada, como ocurre en el trópico, algunas especies pueden crecer más de una anillo por estación dificultando su datación cruzada -técnica que asigna a cada anillo de crecimiento el año exacto de su formación; figura 2- (30, 31). Sin embargo, en la alta montaña subtropical existen periodos del año donde el crecimiento podría detenerse por las bajas temperaturas mínimas y combinarse con el estudio de isótopos estables (32), facilitando así la datación, estudio de series dendrocronológicas y la subsecuente reconstrucción climática. Una buena aproximación a la metodología utilizada en dendrocronología la podemos encontrar en (33). El árbol de papel ya ha sido utilizado para llevar a cabo reconstrucciones climáticas -a través de series dendrocronológicas-, considerándose estas como las cronologías de anillos de crecimiento obtenidas a mayor altitud en el mundo -*Polylepis tarapacana* se utilizó en una reconstrucción climática en Argentina, creciendo los individuos muestreados a más de 4700 msnm- (7, 8).

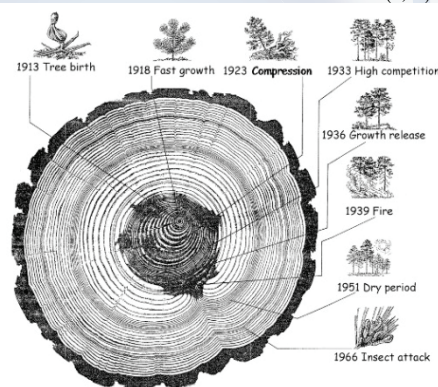
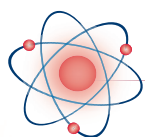


Figura 2. Historia de un árbol a través de sus anillos.



XXXIII. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La presente propuesta de estudio de los ciclos de desarrollo y reproducción del árbol de papel en un gradiente altitudinal de los Andes septentrionales (Reserva Faunística del Chimborazo) nos permitirá contrastar las diferentes respuestas climáticas del crecimiento y la reproducción entre sitios y predecir los efectos sobre dichas variables de un hipotético escenario de cambio climático. Contestando así a la pregunta: ¿contribuyen los patrones de crecimiento secundario y la fenología a explicar la respuesta climática de *Polylepis* spp. en un gradiente altitudinal?

Para ello, se abordaran en el presente proyecto cuatro tipos de estudios principales: estudios fenológicos, estudios de dinámica estacional del crecimiento secundario, reconstrucciones climáticas y propagación. En los cuatro casos apenas existen estudios para *Polylepis* spp. fortaleciendo aún más la necesidad de una monitorización de las citadas variables.

La alarmante regresión de los bosques de árbol de papel en los andes durante los últimos siglos justifica la investigación de sus dinámicas de crecimiento y reproducción para contribuir a su conservación ante la amenaza del cambio climático.

XXXIV. MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionaran tres rodales de *Polylepis* spp. a diferentes altitudes en las laderas del Chimborazo, dentro de la Reserva Faunística del Chimborazo. En cada uno de los sitios se seleccionarán 10 individuos adultos para el seguimiento de su fenología del crecimiento primario y secundario.

La dinámica estacional del crecimiento secundario se estudiará mensualmente, desde marzo de 2013 hasta marzo de 2014 (un año más si el proyecto es renovado). Los dendrómetros de banda (Agriculture Electronics Corporation, Tucson, USA) se instalarán a 1,3 m de altura. Antes de instalar los dendrómetros se retirará la corteza del perímetro del tronco con una lima. Los dendrómetros se leen mensualmente con una precisión de 0,1 mm y dichas lecturas (crecimiento perimetral acumulado) se convierten en datos de incremento radial considerando el diámetro medio de cada tronco. Para estimar las tasas de crecimiento (mm día⁻¹) las lecturas consecutivas de crecimiento se restan, para posteriormente dividirse por el número de días del intervalo entre sucesivas lecturas. Las diferencias mensuales de crecimiento radial acumulado para cada año obtenidas con los dendrómetros se usarán utilizando un modelo lineal mixto de medidas repetidas, introduciendo el diámetro a 1,3 m (dbh) como covariable.

La fenología se estudiará mediante muestreos mensuales en los que se evaluara, a través de observaciones visuales, el porcentaje de la copa en cada uno de los siguientes estadios fenológicos: floración, fructificación, desarrollo de los tallos y senescencia de las hojas; siguiendo los procedimientos descritos por Montserrat-Martí *et al.* (2004). Solo se considera que las fenofases ocurren en los individuos cuando se producen en el 5% o más de las ramas de sus copas. El contenido de agua a máxima hidratación de las hojas y tallos de las distintas cohortes de una rama de tres años se calculará mensualmente para 5 individuos marcados de cada sitio. El tallo principal de las ramas se cortará bajo

XXXV. RESULTADOS ESPERADOS

Cabría esperar que variaciones en el régimen de precipitación y temperatura conllevaran diferentes estrategias de ajuste del crecimiento secundario y la fenología en *Polylepis* spp. Asimismo, se espera que el crecimiento y la reproducción en *Polylepis* se limitó a las estaciones favorables, deteniéndose cuando las temperaturas y la precipitación alcancen sus mínimos anuales, y observándose un gradiente de respuesta en función de la altitud donde crecen los ejemplares muestreados. Los resultados obtenidos permitirán orientar las prácticas de gestión y conservación de los bosques de árbol

de agua destilada, para evitar la cavitación de los vasos y se mantendrá con el corte sumergido en un recipiente con agua a 4 °C en un ambiente saturado de humedad durante 24 horas. Posteriormente, se pesarán las distintas fracciones en fresco en una balanza de precisión (0,01 mg) y se secarán en una estufa de aire forzado a 60 °C hasta su total desecación para posteriormente obtener sus pesos secos. Finalmente, el contenido de agua a máxima hidratación de cada fracción y cohorte se obtendrá mediante la siguiente fórmula:

$$WTC = ((PF - PS) * 100) / PF$$

donde PF es el peso fresco a máxima hidratación y PS es el peso seco.

Para la elaboración de la reconstrucción climática se seguirán los tres pasos metodológicos comunes en la mayoría de los estudios dendrocronológicos: colección y preparación de muestras -se extraen testigos de madera con una barrena de Pressler-, datación cruzada y medición -medición de la anchura de los anillos y comparación entre secuencias- y construcción de cronologías -comparando los registros climáticos y elaborando las reconstrucciones climáticas-. El número de árboles muestreados por sitio depende de la naturaleza del estudio, si bien, entre 15 y 20 árboles serán adecuados para estudiar las relaciones entre el clima y el crecimiento.

La temperatura y la humedad relativa del aire se medirán cada hora cada sitio de estudio mediante un registrador (HOBO H08, Onset Co., California). La precipitación mensual se obtendrá mediante un pluviómetro (RainWise 99753-12). Además, para la realización de la reconstrucción climática se recopilarán datos climatológicos de los últimos 30 años en estaciones cercanas a los sitios de muestreo.

El porcentaje del contenido en agua del suelo (humedad del suelo) se medirá mensualmente con un sensor manual de humedad del suelo (Theta Probe ML2X, Delta-T, Cambridge, RU) que se introducirá a una profundidad de unos 15 centímetros. En cada muestreo se tomarán 4 medidas equidistantes bajo el área de proyección al suelo de la copa de cada árbol marcado (n=10 por sitio). Posteriormente, los valores medios para cada árbol se calibrarán a partir de muestras de suelo de humedad conocida siguiendo el procedimiento de (34).

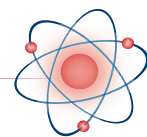
La influencia del clima (precipitación, temperatura, humedad relativa y humedad del suelo) en las tasas de crecimiento detectadas por los dendrómetros y la fenología se analizará mediante el coeficiente de correlación de Pearson y Spearman. Las correlaciones se efectuaron en cada sitio, año y periodo de crecimiento intra-anual y cada fenofase, con los promedios o totales de precipitación, temperatura, humedad relativa y humedad del suelo considerados 7, 10, 20 y 30 días antes de la fecha de muestreo.

Los datos muestreados se analizarán utilizando diferentes técnicas estadísticas. Antes de realizar los distintos análisis estadísticos se comprobará la distribución normal de las variables mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, así como la homogeneidad de las varianzas mediante el contraste de Levene. Los análisis estadísticos de las variables muestreadas se realizarán usando el programa SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

de papel en la cordillera andina en un hipotético escenario de cambio climático.

XXXVI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IPCC, Intergovernmental Panel for Climate Change. IPCC Technical Paper on Climate Change and Water. Draft for Government and Expert Review., (2007).
2. G. Honty, "América Latina frente al cambio climático" (2007).
3. FAO, "Informe 27 Sesión de la Comisión Forestal para Latinoamérica y el Caribe" (Asunción, Paraguay, 2012).



4. A. Cierjacks, N. Rühr, K. Wesche, I. Hensen, Effects of altitude and livestock on the regeneration of two tree line forming *Polylepis* species in Ecuador. *Plant ecology* 194, 207 (2008/02/01, 2008).
5. M. Kessler, L. P. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, Ed. (2006).
6. J. Fjeldsá, M. Kessler, Conserving the biological diversity of *Polylepis* woodlands of the highlands of Peru and Bolivia: A contribution to sustainable natural resource management in the Andes. NORDECO, Ed., (Copenhagen, 1996).
7. J. Argollo, C. Solíz, R. Villalba, Dendrochronological potential of *Polylepis tarapacana* in the Central Andes of Bolivia. *Ecología en Bolivia* 39, (2004).
8. C. Solíz et al., Spatio-temporal variations in *Polylepis tarapacana* radial growth across the Bolivian Altiplano during the 20th century. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281, 296 (2009).
9. M. Kerr. A phylogenetic and biogeographic analysis of the Sanguisorbeae (Rosaceae) with emphasis on the pleistocene radiation of the high Andean genus *Polylepis*. University of Maryland: Maryland (2003).
10. E. Patzelt, Flora del Ecuador. B. C. d. Ecuador, Ed., (Quito, Ecuador, 1996).
11. V. Velez, J. Cavelier, B. Devia, Ecological traits of the tropical treeline species *Polylepis quadrijugata* (Rosaceae) in the Andes of Colombia. *Journal of Tropical Ecology* 14, 771 (1998).
12. A. Alla, J. J. Camarero, P. Rivera, G. Montserrat-Martí, Variant allometric scaling relationships between bud size and secondary shoot growth in *Quercus faginea*: implications for the climatic modulation of canopy growth. *Ann. For. Sci.* 68, 1245 (2011/10/01, 2011).
13. D. García, R. Zamora, J. M. Gómez, P. Jordano, J. A. Hódar, Geographical variation in seed production, predation and abortion in *Juniperus communis* throughout its range in Europe. *Journal of Ecology* 88, 435 (2000).
14. R. Borchert, Phenology and ecophysiology of tropical trees: *Erythrina Poepigiana* O. F. Cook. *Ecology* 61, 1065 (1980).
15. T. T. Kozlowski, Growth and development of trees. Academic Press, New York., (1971).
16. T. H. Sparks, E. P. Jeffree, C. E. Jeffree, An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological records from the UK. *International Journal of Biometeorology* 44, 82 (2000/08/01, 2000).
17. G. Montserrat-Martí, S. Palacio-Blasco, R. Milla Gutiérrez, Fenología y características funcionales de las plantas leñosas mediterráneas. En: Valladares F (ed) *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp 129-162, (2004).
18. S. Palacio et al., Seasonal variability of dry matter content and its relationship with shoot growth and nonstructural carbohydrates. *New Phytologist* 180, 133 (2008).
19. S. Rossi, A. Deslauriers, Intra-annual time scales in tree rings. *Dendrochronologia* 25, 75 (2007).
20. U. Schmitt, R. Jalkanen, D. Eckstein, Cambium dynamics of *Pinus sylvestris* and *Betula* spp. in the northern boreal forest in Finland. *Silva. Fenn.* 38, 167 (2004).
21. L. Marion, J. Gricar, P. Oven, Wood formation in urban Norway maple trees studied by the micro-coring method. *Dendrochronologia* 25, 97 (2007).
22. S. Rossi et al., Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. *New Phytologist* 170, 301 (2006).
23. G. W. Van Der Werf, U. G. W. Sass-Klaassen, G. M. J. Mohren, The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. *Dendrochronologia* 25, 103 (2007).
24. A. Deslauriers, H. Morin, C. Urbinati, M. Carrer, Daily weather response of balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) stem radius increment from dendrometer analysis in the boreal forests of Québec (Canada). *Trees* 17, 477 (2003).
25. A. Deslauriers, S. Rossi, T. Anfodillo, Dendrometer and intra-annual tree growth: What kind of information can be inferred? *Dendrochronologia* 25, 113 (2007).
26. B. Jones, J. Tardif, R. Westwood, Weekly xylem production in trembling aspen (*Populus tremuloides*) in response to artificial defoliation. *Can. J. Bot.-Rev. Can. Bot.* 82, 590 (May, 2004).
27. H. Mäkinen, J.-W. Seo, P. Nöjd, U. Schmitt, R. Jalkanen, Seasonal dynamics of wood formation: a comparison between pinning, microcoring and dendrometer measurements. *European Journal of Forest Research* 127, 235 (2008).
28. M. Suzuki, K. Yoda, H. Suzuki, Phenological comparison of the onset of vessel formation between ring-porous and diffuse-porous deciduous trees in a Japanese temperate forest. *IAWA Journal* 17, 131 (1996).
29. J. Camarero, J. Albuixech, R. López-Lozano, M. Casterad, G. Montserrat-Martí, An increase in canopy cover leads to masting in *Quercus ilex*. *Trees - Structure and Function* 24, 909 (2010).
30. F. H. Schweingruber, Tree rings and environment. P. H. Bern, Ed., (1996).
31. T. H. G. Wils, I. Robertson, Z. Eshetu, U. G. W. Sass-Klaassen, M. Koprowski, Periodicity of growth rings in *Juniperus procera* from Ethiopia inferred from crossdating and radiocarbon dating. *Dendrochronologia* 27, 45 (2009).
32. D. A. Rozendaal, P. Zuidema, Dendroecology in the tropics: a review. *Trees* 25, 3 (2011/02/01, 2011).
33. H. C. Fritts, *Tree Rings and Climate*. Academic Press, New York, (1977).
34. C. S. Campbell, *Calibrating ECH2O soil moisture probes*. (Onset Computer Corporation, Pocasset, Massachusetts, 2004).

XXXVII. BIOGRAFÍA



Jorge Albuixech es Licenciado en Ciencias Ambientales por la Universidad Miguel Hernández, Máster en Ingeniería Agroforestal por la Universidad de Zaragoza, Máster en Cooperación por la Universidad Jaume I y Ph.D. en Ciencias Agrarias y del Medio Natural por la Universidad de Zaragoza. Desarrolló su tesis doctoral en el campo de las Ciencias Forestales en el CSIC (Centro Superior de Investigaciones Científicas). Cuenta con numerosos artículos en revistas internacionales de impacto, ha participado en proyectos internacionales de investigación y cooperación, y ha trabajado como docente investigador en diferentes universidades de Latinoamérica, África y Europa