

Estudio de los yacimientos del “copal de Colombia”
y su aplicación en los análisis de pérdida de biodiversidad

Mery Laura Ramos Ortega

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geóloga

Director

Xavier Delclòs Martínez

Geólogo PhD – Universitat de Barcelona

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

A mi papá José y a mi mamá Lilia por el amor, motivación y apoyo que me han brindado cada día para mi crecimiento personal y profesional.

A mi hermana Melissa por su acompañamiento antes, durante mi fase universitaria y su contribución a la mejora de mi tesis.

A mi hermana Mayerling y a mis sobrinos Leyder e Imanol por su paciencia y por estar siempre atentos/as al desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

A mi abuelita Rosa que me alegró cada día con su carisma, amor y atención, siempre vivirá en mi corazón.

A mis amigas/os Yari, Leidy, Laura, Ingrid, Marko, Nolan, al señor Scott, Alfonso “Pocho”, demás amigos/as y compañeros/as por cada uno de sus aportes y acompañamiento en este camino.

*A mi gatita Kenza por su compañía cada día mientras desarrollaba este documento
Y a mí, por enfrentar todas las dificultades y miedos que se pudieron presentar durante todo mi proceso con el fin de culminar mi fase en la universidad, y por todo lo que decidí mejorar, construir y deconstruir para crear una mejor versión de mí.*

SAEM

Agradecimientos

Al Dr. Xavier Delclòs Martínez, Catedrático de Paleontología del Departamento de Dinámica de la Tierra y el Océano, de la Facultad de Ciencias de la Tierra y director del grupo de investigación AMBERIA ("Ambar de Iberia") y miembro del grupo de investigación "Geología Sedimentaria" de la Universitat de Barcelona, quien me brindó la oportunidad de desarrollar el presente trabajo de investigación bajo su dirección. Gracias a su acompañamiento y aporte de conocimientos, tuve la fortuna de conocer y trabajar sobre "el copal de Colombia", temática poco conocida en el país, pero de la que se puede obtener valiosa información sobre cambios en la fauna y flora del territorio colombiano como de regiones neotropicales.

A la Dra. Sandra Uribe de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín) y al señor Angel Alberto, ex comerciante de "copal de Colombia" en el municipio de Segovia por su tiempo, disposición e intención para contribuir al desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander, a la Escuela de Geología y a cada docente por haberme brindado el espacio de aprendizaje para mi crecimiento tanto personal como profesional.

A mi familia, amigos y amigas, por tan preciado apoyo durante todo mi proceso en la universidad.

Por último, a las mujeres que abrieron el espacio para nosotras en la ciencia y en instituciones de educación superior.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	12
1.Planteamiento del problema	16
2. Objetivos.....	18
2.1 Objetivos Generales	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3. Marco teórico.....	19
3.1 Definición de copal	19
3.2 Método de estudio de la edad del copal.....	25
3.2.1 Edad del depósito sedimentario	25
3.2.2 Análisis termogravimétrico.....	25
3.2.3 Datación mediante ^{14}C	26
4. Metodología.....	33
4.1 Búsqueda bibliográfica	33
4.2 Búsqueda de ejemplares de “copal de Colombia”	34
4.3 Estudio de Campo	34
4.4 Trabajo de laboratorio y estudio de colecciones de copal obtenidas	39
4.4.1 Preparación de material para su estudio	39
4.4.1.1 Limpieza inicial de los especímenes.	39
4.4.1.2 Realización de las preparaciones.....	40
4.4.1.3 Cortado y pulido de las preparaciones.....	43
4.4.1.4 Montaje de muestras pequeñas sobre portaobjetos.	45

4.4.1.5 Consolidación de masas de copal o de resina de defaunación en bruto.	45
4.4.1.6 Condiciones de almacenamiento de las muestras.....	46
4.4.2 Estudio del material preparado.....	47
4.4.2.1 Descripción de muestras.	47
4.4.2.2 Análisis de laboratorio.....	49
4.5 Análisis de actuaciones para abordar el estudio del “copal de Colombia”	50
4.6 Elaboración de memoria final	51
5. Resultados.....	52
6. “Copal de Colombia”	52
6.1 Lugares de origen	52
6.2 Definición	54
6.4 <i>Hymenaea</i> , planta de origen y su distribución geográfica.....	57
6.5 Bioinclusiones en el “copal de Colombia”	61
6.5.1 Insectos	66
6.5.1.1 Diptera.	66
6.5.1.2 Hymenoptera.....	66
6.5.1.3 Coleoptera.	71
6.5.1.4 Orthoptera.	73
6.5.1.5 Isoptera.....	73
6.5.1.6 Psocodea.	74
6.5.1.7 Blattodea	76
6.5.2 Arácnidos	78
6.5.2.1 Arañas	78

6.5.2.2 Pseudoescorpiones.....	79
7. El “copal de Colombia” en el comercio internacional y en instituciones colombianas	81
7.1 El mercado del “copal de Colombia”	81
7.2 El “copal de Colombia” en instituciones colombianas públicas y privadas	83
8. Caso: Ámbar burmano, alternativas éticas para su extracción en un contexto de conflicto	87
9. Conclusiones	93
10. Recomendaciones.....	96
11. Consideraciones	97
Referencias Bibliográficas.....	99

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Resina formada en <i>Hymenaea verrucosa</i> (Antsiranana, Madagascar)	12
Figura 2. Localización de los principales depósitos de copal y ámbar en el mundo desde el Mioceno.....	14
Figura 3. Definición cronológica del copal	27
Figura 4. Terminología de resinas modernas y fósiles basadas en Anderson (1996)	28
Figura 5. Lugares en el mundo donde se ha encontrado copal.....	29
Figura 6. Valores máximos y mínimos de la edad del copal en ejemplares de diferentes países.....	30
Figura 7. Localización del municipio de Segovia, Antioquia	35
Figura 8. Proceso de excavación de una cata en la región de Sambava, Madagascar	37
Figura 9. Registro pedológico de catas realizadas en dos áreas de Sambava, Madagascar	38
Figura 10. Muestra de suelo obtenida de cata de Andranotsara (Sambava).....	38
Figura 11. Frascos de resina epoxi EPO-TEK 301-2.....	40
Figura 12. Preparación de muestra usando resina epoxi e introducción en la cámara de vacío. ..	41
Figura 13. Fotografía de cámara de vacío	42
Figura 14. Lijadora vertical circular.....	44
Figura 15. Muestra de espécimen de ámbar de Álava (Albiense, España) incluido en resina epoxi.	45
Figura 16. Fotografías Binocular con cámara clara (derecha) y cámara fotográfica.....	48
Figura 17. Gráfica de análisis IRTF de muestras de resina de <i>Hymenaea</i>	50
Figura 18. Distribución de las especies del género <i>Hymenaea</i> en Colombia.....	58
Figura 19. Árbol de <i>Hymenaea courbaril</i>	60

Figura 20. Frutos del algarrobo y resina.....	61
Figura 21. Pieza de “copal colombiano” con gran cantidad de bioinclusiones	62
Figura 22. Inclusiones bien preservadas en pieza de copal	62
Figura 23. Paleobiocenosis dominada por arañas subfósiles <i>Euryopsis/Esmertonella</i> (Theridiidae) del “copal de Colombia”	65
Figura 24. Fotomicrografía de <i>Euglossa cotylisca</i> en pieza de “copal de Colombia”	66
Figura 25. <i>Trigonisca ameliae</i> en copal holoceno de Colombia	69
Figura 26. Inclusión de <i>Stenommatius copalicus</i> , <i>Conotrachelus dyaethrius</i> y <i>Cydianerus eukrinus</i> en una pieza de “copal de Colombia”	72
Figura 27. <i>Bricasia colombiensis</i> en pieza de “copal de Colombia”	74
Figura 28. Cabeza de la <i>Brisacia colombiensis</i> en “copal de Colombia”	75
Figura 29. Ejemplar de <i>Euplocania</i> sp. indet. en una pieza de “copal de Colombia”	75
Figura 30. Cabeza de la <i>Euplocania</i> sp. indet., del “copal de Colombia”	76
Figura 31. <i>Euphyllodromia</i> cf. <i>angustata</i> del “copal de Colombia”	77
Figura 32. Microfotografía de <i>Paratemnoides nidificator</i> , ejemplar hembra en pieza de “copal colombiano”	80
Figura 33. Inclusión de <i>Pachychernes</i> aff. <i>subrobustus</i> , adulto en muestra de “copal de Colombia”	80
Figura 34. Pieza de copal exhibida en la colección del Servicio Geológico Colombiano	84
Figura 35. Localización de Myanmar (Birmania).....	87
Figura 36. Ejemplar de copal burmés con bioinclusión de restos de libélula.	88
Figura 37. Mapa del norte de Myanmar y sus distritos mineros	89

Figura 38. Proceso de cortado de piezas de ámbar en campo de personas desplazadas internamente

.....91

Resumen

Título: Estudio de los yacimientos del “copal de Colombia” y su aplicación en los análisis de pérdida de biodiversidad *

Autor: Mery Laura Ramos Ortega **

Palabras Clave: Copal, resina subfósil, Colombia, métodos de estudio, contenido paleobiológico, pérdida de biodiversidad.

Descripción: Se menciona por diversos autores que el “copal de Colombia” se ha extraído tradicionalmente del departamento de Santander y que ha sido producido por la leguminosa del género *Hymenaea*, distribuida por diversas zonas de la geografía colombiana. Sin embargo, aún no se tiene certeza si verdaderamente existen yacimientos de copal o solo es resina de defaunación extraída del árbol cuando está se ha secado. Gracias al desarrollo de una memoria sobre el “copal de Colombia”, considerando dicho material como una importante fuente de información paleobiológica de medios continentales y asimismo la divulgación de la metodología de trabajo paleontológico con bioinclusiones tanto en resina como copal desde su hallazgo en campo hasta su análisis en laboratorio, se pudo concluir que poco se sabe sobre el “copal de Colombia” en el país, a diferencia del entorno internacional, en donde se encuentra en mayor medida disponible en ofertas comerciales por internet. Se evidencia una falta de información sobre los lugares de extracción de “copal de Colombia” (y de los sitios que se tiene conocimiento están bajo el control de grupos paramilitares) como también lagunas en la datación de ejemplares a diferencia de la pieza de copal más antiguo correspondiente a una edad máxima de 10.612 +/-60 años, lo que dataría parte del “copal de Colombia” como verdadero copal del Holoceno. Por último, es importante resaltar la gran oportunidad que brinda el “copal de Colombia” para conocer y estudiar los cambios en los ecosistemas forestales neotropicales del Holoceno.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander. Director: Dr. Xavier Delclòs. Geólogo PhD. Universitat de Barcelona.

Abstract

Title: Study of the deposits of “Colombian copal” and its application in the analysis of biodiversity loss *

Author(s): Mery Laura Ramos Ortega **

Key Words: Copal, subfossil resin, Colombia, study methods, paleobiological content, biodiversity loss.

Description: Some authors referred that “copal from Colombia” has traditionally been extracted from the department of Santander and it has been produced by the legume of genus *Hymenaea*, which is distributed throughout various areas of the Colombian geography. However, it is not yet clear whether copal deposits really exist, or it is only defaunation resin extracted directly from the tree after it has gotten dried. Thanks to the state of art written about “copal from Colombia”, considering this material as an important source of paleobiological information of continental environments and also the disclosure of the paleontological work methodology with bioinclusions in both resin and copal from it has been discovered in the field to its analysis in the laboratory, it was possible to get to the conclusion that there is not much information known about “copal from Colombia” in the country itself, unlike abroad, where it is more widely available for sales offers on the internet. There is a lack of information about the places of extraction of “copal from Colombia” (and the very few known locations are controlled by paramilitary groups) as well as gaps in the dating of specimens unlike the 10,612 +/- 60 years piece of copal, corresponding to the oldest one dated, that allows to place some of the “Colombian copal” as a true Holocene copal. Finally, it is important to highlight the great opportunity provided by the “Colombian copal” to learn about and study the changes in the Holocene neotropical forest ecosystems.

* Bachelor Thesis

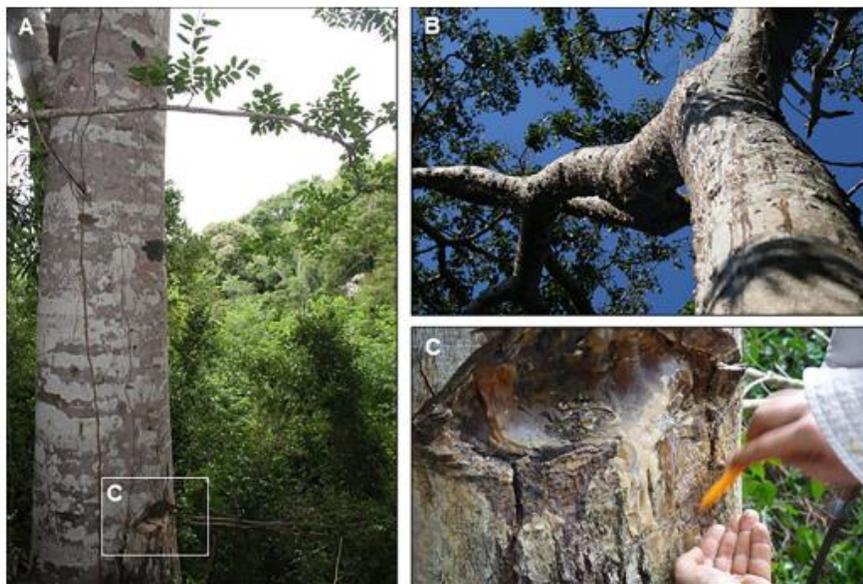
** Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Geology. Director: Dr. Xavier Delclòs. Geologist PhD. University of Barcelona.

Introducción

El ámbar y el copal se originan a partir de resina tanto de plantas gimnospermas como angiospermas (plantas con flores) (Figura 1), que se han endurecido de manera progresiva mediante la polimerización de sus compuestos no volátiles, y la pérdida de los volátiles. El ámbar está bien definido como una resina que se produjo hace millones de años, y que puede preservar diversos grupos de organismos, mientras que el término copal ha sido controvertido ya que se ha utilizado de manera distinta en diversos contextos y áreas de investigación. Esto se debe a que el término copal se ha utilizado sin considerar ninguna tipología de las resinas en función de sus diferentes estados de polimerización o de sus edades establecidas (Solórzano-Kraemer et al., 2020)

Figura 1.

Resina formada en Hymenaea verrucosa (Antsiranana, Madagascar)



Nota. Árbol de *Hymenaea verrucosa* en Madagascar donde se observa la formación de resina a partir de una herida en su corteza. **A.** Tronco, en Sacaramy (Antsiranana), con una considerable herida en su base. **B.** Corteza de árbol produciendo abundante resina en varias partes. **C.** Vista a detalle de la herida visualidad en **A**, con una producción importante de resina. Tomado de Delclòs et al. (2020).

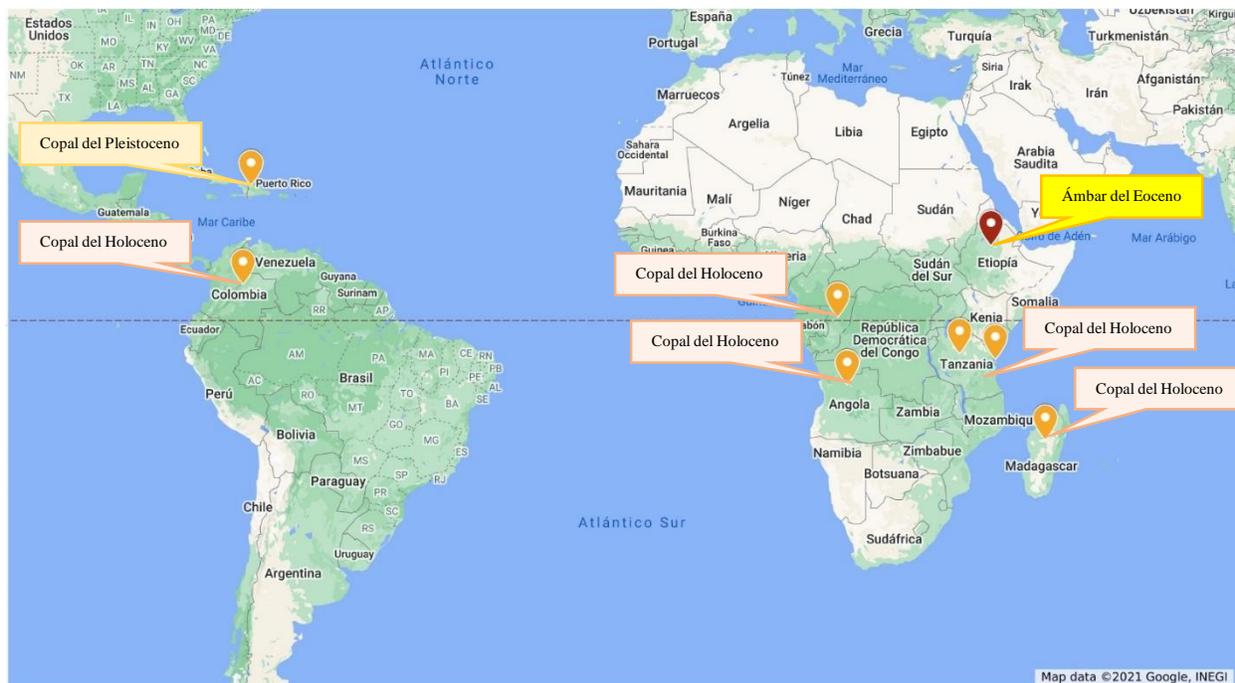
En general, el copal se considera un paso intermedio entre la formación de la resina (resina de defaunación, *sensu* Solórzano-Kraemer et al. 2020) y el ámbar, como resina de árbol que no está completamente fosilizada o polimerizada, por lo que todavía no ha perdido la mayor parte de sus compuestos volátiles. Sin embargo, el término es problemático en su definición (Gigliarelli et al., 2015) ya que se refiere tanto a la resina que tiene su origen en una gimnosperma (Géneros *Pinus* Linnaeus, 1753 o *Agathis* Salisburi, 1807) como a la de una angiosperma (Géneros *Protium* Burman, 1768, *Bursera* von Jacquin ex Linnaeus, 1762, *Liquidambar* Linnaeus, 1753, *Hymenaea* Linnaeus, 1753 y *Copaifera* Linnaeus, 1762). De estos géneros, solamente *Agathis*, *Hymenaea* y *Copaifera* han producido resina suficiente para originar depósitos de copal, y sólo *Hymenaea* y *Copaifera* tienen una distribución en Colombia.

El término copal se usa ampliamente para todas las resinas no fosilizadas en todo el mundo con límites temporales poco claros (Delclòs et al. 2020). Solórzano-Kraemer et al. (2020) acotan temporalmente el término copal entre los 2,58 millones de años y 1.750 d.C (año de inicio de la revolución industrial, y diferenciando entre copal del Pleistoceno y copal del Holoceno.

Desde la aparición durante el Mioceno del género de angiosperma leguminosa *Hymenaea* en el margen oriental de África, diversas especies han proporcionado importantes depósitos de copal o ámbar, tanto en África como en Centro- y Sudamérica donde se desplazaron seguramente mediante corrientes marinas (Delclòs et al. 2020; Bouju & Perrichot, 2020) (Figura 2), y donde se diversificaron en las 16 especies que se conocen actualmente (Fougère-Danezan et al. 2010).

Figura 2.

Localización de los principales depósitos de copal y ámbar en el mundo desde el Mioceno



Nota. Localización de los principales depósitos de copal y ámbar en el mundo: Suramérica (Colombia, copal del Holoceno), Centroamérica (República Dominicana, copal del Pleistoceno), África Occidental (Angola y Congo, copal del Holoceno) y África Oriental (Tanzania, Isla Zanzíbar y Madagascar, copal del Holoceno; Etiopía, ámbar del Mioceno), modificado de Google Maps. Autora: Mery Laura Ramos Ortega.

Según Gradstein (2015) existen en Colombia 5 especies de *Hymenaea*: *H. courbaril* (la más abundante, y conocida como algarrobo), *H. intermedia*, *H. martiana*, *H. oblongifolia* y *H. parvifolia*. Según su distribución geográfica y la reciente edad del copal es muy probable que el árbol productor del copal de Colombia en el departamento de Santander fuese *H. courbaril*, como se ha supuesto por algunos autores (McCoy et al. 2017), aunque también pudiera haber sido *H. oblongifolia*.

Desafortunadamente, en los últimos años no se han realizados estudios completos y concisos sobre si lo que se conoce como “copal de Colombia” es verdaderamente copal o resina recolectada directamente del árbol, acerca del árbol que origina dicha resina, la sistemática y filogenia de los grupos de artrópodos embebidos dentro de dicho material, dificultando asociarlos con un lugar de origen y la asignación de su edad, ya que muy pocas piezas cuentan con dataciones geoquímicas. Adicionalmente, la falta de estudios paleontológicos se evidencia también en la paleobotánica de Colombia ya que tampoco existen trabajos sobre macrorrestos asociados al copal ni sobre polen de los yacimientos. Es por esto importante aclarar que en esta memoria y siempre que no se conozca la edad absoluta (datada por ^{14}C) se hablará de “copal de Colombia” en genérico porque es cómo se le conoce comercialmente. Se utilizará la definición de copal o resina de defaunación (en sentido de Solórzano-Kraemer et al., 2020) cuando sepamos la edad absoluta de la muestras estudiadas.

Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo busca desarrollar una memoria sobre el “copal de Colombia” que contenga toda la información relevante que ha sido publicada hasta el momento por diversos autores y compartir la metodología que debe ser desarrollada en campo y laboratorio, en el caso de localizar yacimientos del copal o resina con bioinclusiones, ya que éstas representan una fuente importante de investigación, numerosas oportunidades para estudiar la biogeografía, el comportamiento, la extinción y los cambios evolucionarios de múltiples generaciones (Modi et al., 2021). Asimismo, proveen una fuente excepcional de información para interpretar los ecosistemas y ambientes terrestres (Peñalver et al., 2012; Bao et al., 2019)

1. Planteamiento del problema

El “copal de Colombia” ha sido citado tradicionalmente como extraído del departamento de Santander producido por la leguminosa del género *Hymenaea*, distribuida por diversas zonas de la geografía colombiana.

Si bien en el mercado internacional se vende “copal de Colombia” con una gran cantidad de insectos en su interior, poco se sabe sobre su origen geográfico preciso, si se encuentra en el subsuelo o si es resina recolectada directamente de los árboles. Análisis de ^{14}C realizados por diversos autores de piezas comercializadas las datan en un rango temporal amplio, entre menos de 60 años (resina de defaunación) a unos 10.600 años de antigüedad (copal del Holoceno).

El potencial de información que podrían aportar el estudio del contenido paleobiológico de estas resinas o copales a los estudios de pérdida de biodiversidad se ve considerablemente mermada a causa de la falta de una localización geográfica de los depósitos (si es que existen realmente), y de la necesidad en cada caso de hacer estudios de ^{14}C .

Por lo anteriormente expuesto, un problema importante es saber si existen o no depósitos de copal en Colombia, o se trata de resina recolectada. Es de suponer que las muestras que han dado edades de miles de años en los análisis de ^{14}C se trate de copal y se encontrará enterrado en algún yacimiento, por lo que es necesario hacer una búsqueda de éstos. Seguramente deben encontrarse todavía en las zonas donde viven los árboles productores *H. courbaril* o *H. oblogifolia*. Así que en el caso de ser posible tener acceso a alguno de estos yacimientos de copal, sería interesante hacer estudio del suelo que contienen las resinas, de que tipo es, los horizontes que contiene, y a que profundidad máxima se encuentran enterrado todavía el copal. Estas muestras se

analizarían con ^{14}C para obtener una edad máxima de muestras, para un futuro estudio comparativo entre yacimientos de Colombia (si hay más de uno), y su comparación con copales de otras regiones (Madagascar, República Dominicana, Congo o Angola) permitirán incrementar la información de la pérdida (o no) de biodiversidad de esta región de Colombia (Figura 2).

2. Objetivos

2.1 Objetivos Generales

Evaluar el estado del conocimiento sobre el “copal de Colombia”, considerando el copal como una fuente inestimable de información paleobiológica de medios continentales.

Conocer la metodología de trabajo paleontológico con bioinclusiones en resinas y copal, desde su estudio geológico y obtención en el campo hasta su estudio en laboratorio y publicación, con el fin de diseñar un proyecto de investigación sobre el copal colombiano.

2.2 Objetivos Específicos

Realizar una valoración con énfasis en la información geográfica (localización) de los afloramientos de “copal de Colombia”, para descubrir si este material es realmente copal (entre 1750 AD y -2,58 Ma AP), o una resina actual recolectada directamente de los árboles (resina de defaunación), en la propuesta de Solórzano-Kraemer et al., (2020).

Diseñar un proyecto de investigación para el estudio del copal de Colombia en base a los estudios realizados con el ámbar de España y el copal de Madagascar, enfocado al análisis de pérdidas de biodiversidad en selvas de la región Neotropical.

3. Marco teórico

3.1 Definición de copal

A causa del potencial excepcional de preservación, las resinas naturales polimerizadas han sido estudiadas por siglos en diferentes campos de investigación (Solórzano-Kraemer et al., 2020). Hasta hace poco ha habido una problemática importante en la definición de las resinas naturales y la terminología asociada como resultado del hecho de que una variedad considerable de éstas se ha usado en común. Según Vávra (2009), muchos de ellos no habían sido bien definidos del todo o habían sido utilizados por diferentes autores en distintas formas. La situación es aún más compleja porque en algunos países han sido descritas también muestras de ámbar de diferentes edades geológicas como copales.

El término científico "copal" había sido hasta hace poco un término ambiguo principalmente porque su edad no se había investigado adecuadamente y también a causa de los diferentes conceptos que habían sido establecidos para el copal y la resina que no tenían en cuenta la escala del tiempo geológico, la deforestación y la defaunación en el Antropoceno y la relevancia de su edad para los estudios de fauna y flora (Barnosky et al., 2011; Dirzo et al., 2014). Es por esto, que el término copal se había utilizado para definir aquellas resinas subfósiles que no se podían considerar ámbar por su supuesta reciente edad geológica y de formación.

El término copal también es conocido porque había sido ampliamente utilizado sin considerar los diferentes estados de polimerización que permiten definir la tipología de las resinas. Todas las resinas tienen en su composición una parte de compuestos no volátiles y una parte de compuestos volátiles terpénicos que, al ser segregados por la planta y entrar en contacto con la atmósfera, se endurecen. Los compuestos no volátiles se recombinan formando otros, y los

volátiles se escapan hacia la atmósfera. Este proceso de recombinación y a la vez endurecimiento de la resina original se denomina *polimerización* o *maduración*, siendo el último término utilizado algunas veces para describir los procesos que se desarrollan durante el enterramiento y que transforman una resina, primero en copal y posteriormente en ámbar. El grado de maduración de una muestra de copal o de ámbar depende de su historial térmico durante el enterramiento y de la duración de éste (Brody et al., 2001).

Así, el *copal* será una resina cuyo origen proviene del exudado de las plantas (tanto gimnospermas y angiospermas), la cual se ha endurecido progresivamente a través de la polimerización parcial de los compuestos no volátiles (Solórzano-Kraemer et al., 2020) y que no ha perdido completamente sus compuestos volátiles. Mientras que el *ámbar* se considera una resina completamente polimerizada, siendo el resultado de la recombinación de los compuestos no volátiles y sin prácticamente compuestos volátiles en su composición (Clifford & Hatcher, 1995). Uno de los problemas que tendrá el *copal* al ser extraído del subsuelo es que al no haber perdido completamente sus volátiles, se alterará y puede destruirse completamente si no se trata o guarda en condiciones anoxigénicas.

La confusión terminológica entre lo que es copal o no lo es se ha derivado de los diversos usos que se le ha dado a través de la historia para diferentes propósitos en ámbitos comerciales, religiosos y científicos (geología, geoquímica y/o la paleontología) (Delclòs et al., 2020). Por ejemplo, en el ámbito comercial el copal se ha usado extensivamente durante centenares de años para confeccionar barniz de pinturas, procedente de plantas muy diferentes, tanto gimnospermas (copal de Nueva Zelanda) como de angiospermas (“copal de Colombia”). Asimismo, en algunas culturas se ha prescrito como medicina para curar enfermedades. En el ámbito religioso, en

Mesoamérica, los Aztecas quemaban el copal como ofrenda en sus rituales (Vandenabeele et al., 2003), o lo usaban para la construcción de mosaicos (Stacey et al., 2006).

De acuerdo con Gigliarelli et al. (2015), las principales civilizaciones, como por ejemplo los Mayas, utilizaron el término “copalli” para referirse a resinas producidas por diferentes géneros de árboles tales como *Pinus* Linnaeus, 1753 (Gymnospermae: Pinaceae); *Protium* Burman, 1768 y *Bursera* von Jacquin ex Linnaeus, 1762 (Angiospermae: Burseraceae); *Liquidambar* Linnaeus, 1753 (Angiospermae: Altingiaceae); e *Hymenaea* Linnaeus, 1753 y *Copaifera* Linnaeus, 1762 (Angiospermae: Fabaceae). Aspectos aún más confusos resultaron del hecho de que los Mayas de diferentes áreas geográficas designaron también la palabra “pom copal” a las resinas utilizadas para incienso, dependiendo de los materiales disponibles localmente (Vávra, 2009), mientras que los Aztecas les llamaban “copalli” (origen de la palabra copal en náhuatl) para el mismo propósito (Stacey et al., 2006). Los colonizadores españoles que llegaron a las Américas, durante los siglos XV-XVI, usaron igualmente el término copal o “copalli” para referirse a resinas de diferentes árboles utilizados por la civilización Azteca.

Basado en lo anterior, como señala Langenheim (2003), esto llevó a algunos investigadores del ámbar, como a Poinar (1992), a categorizar todas las resinas no fosilizadas en todo el mundo como copales y a establecer que el mejor criterio para decidir si una pieza de resina fosilizada era ámbar o copal eran sus características físicas, como su punto de fusión, dureza, solubilidad o reacción a los rayos ultravioleta (UV).

Por otro lado, en manuales mineralógicos que aportaron información detallada sobre su formación (Dammer & Tietze, 1928), el copal había sido designado como un término colectivo también, que resume un gran número de resinas duras que se parecen al ámbar. Se ha reportado

que ocurren en los trópicos y como fuentes botánicas se mencionan Leguminosae (*Hymenaea*) así como las coníferas (*Agathis*).

Langenheim (2003) consideró controvertido el término “copal”, pero generó confusión cuando mencionó su intención de seguir la terminología propuesta por Anderson (1996; Figura 4) con el fin de aplicar la edad geológica también para la definición del ámbar, pero en capítulos posteriores utilizó la expresión “copales duros” sin dar ninguna indicación de su significado ya que es un término no contemplado por Anderson. Incluso usó el término “copal” para referirse también a la resina que se encuentran en el interior de las vainas que contienen las semillas de *Hymenaea verrucosa*. En el curso de los siguientes cambios químicos, resumidos generalmente como "maduración de la resina", se cruza el límite entre "reciente" y "fósil" (Vávra, 2009).

Es difícil distinguir visualmente el ámbar del copal, aunque el último generalmente presenta un color más suave y apagado y es casi completamente soluble en solventes orgánicos como el cloroformo, mientras que el ámbar es parcialmente a pobremente soluble (Lambert et al., 2015). Sin embargo, por el valor comercial que representa el ámbar, en algunos casos el copal ha sido expuesto a calentamiento bajo presión en un autoclave con el fin de endurecerlo y cambiar el color, para que su apariencia sea más parecida al ámbar (Wunderlich, 2004) y venderlo como “ámbar del Caribe” así como venden el ámbar Dominicano (In Color, 2009). La diferencia principal entre el copal y el ámbar es su estado de polimerización y la edad establecida (Solórzano-Kraemer et al., 2020). Las estructuras y la composición de ámbar y el copal difieren debido a su origen botánico, condiciones geográficas, climáticas y las condiciones geológicas durante la formación que conducen a la diferencia en el grado de madurez de las resinas naturales (Bai et al., 2019).

El ámbar y el copal pueden distinguirse mediante *Espectroscopia Infrarroja (IRTF)* observando bandas exocíclicas de metileno en 887, 1642 y 3048 cm^{-1} (Grimalt et al., 1988), en el caso del copal, las dos últimas bandas son débiles, pero aun así pueden ser observadas y la banda 887 cm^{-1} es muy intensa; mientras que en el caso del ámbar estas bandas (1642 y 3048 cm^{-1}) son débiles o ausentes (Guiliano et al., 2007). En estos análisis la intensidad de la absorbancia en 1600-1800 cm^{-1} y 1300-1500 cm^{-1} está relacionado y condicionada por la historia de oxidación de las muestras, lo cual nos permite discriminar muestras de resina moderna (menos oxidada) de las que ya están fosilizadas (Wolfe et al., 2009). Otra posibilidad es el uso de análisis *FT-Raman* mediante la intensidad de bandas a 1646 y 1450 cm^{-1} y la determinación de su radio, este estudio tiene la ventaja de no ser destructivo e invasivo (Brody et al., 2001). El método permite una rápida identificación de compuestos orgánicos e inorgánicos (Vandenabeele et al., 2003), permite diferenciar fácilmente muestras de ámbar o de imitaciones de copal (Schrader et al., 2000), se puede determinar el origen geológico de muestras de ámbar (Edwards et al., 1996) y estudiar el proceso de maduración de resinas fósiles y subfósiles (Edwards et al., 1996; Brody et al., 2001).

Wang et al. (2010) hizo un análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas y las características espectrales del copal y el ámbar. Los resultados confirmaron que la fracción de masa del componente monómero del diterpeno puede ser utilizado para caracterizar la madurez, la cual es utilizada para distinguir el copal (bajo nivel de madurez) y el ámbar (alto grado de madurez). Rao et al. (2013) se basó en la *Espectroscopía Raman* para confirmar la presencia de terpenos en el copal.

Algunas resinas, como por ejemplo la producida por *Hymenaea* spp., tienen la propiedad de polimerizar más rápidamente lo que permite que la resina se endurezca en cuestión de días - dada la posición del grupo carboxílico en el ácido iso-ozic en la posición C4 y en la configuración

del enantion (Mills & White, 2015) dando la impresión de que es más vieja de lo que realmente es (Delclòs et al., 2020 ; Kaal et al., 2020).

Solórzano-Kraemer et al. (2020) afirman que es necesario conocer cuándo se produjo la resina o cuándo fue sepultada en un depósito geológico, con esta información es posible clasificar la resina y la resina fósil.

Por último, con el fin de diferenciar el copal de las resinas jóvenes o antiguas se introdujo un nuevo término: “resina de defaunación” y se propuso una definición más precisa del ámbar. La *resina de defaunación* es una resina reciente producida después de 1760 AD (Figura 3), la cual se diferencia del copal porque ésta fue sepultada rápidamente o recolectada justo antes de la degradación en la superficie del suelo, o incluso antes de que llegue al suelo (en el árbol). El término está basado en el concepto de defaunación propuesto por Dirzo et al. (2014) quienes lo han usado para denotar la pérdida de especies y poblaciones de la vida salvaje, así como la disminución local de la abundación de individuos debe tenerse en cuenta en el mismo sentido que la deforestación producida por la acción de los humanos.

Vale resaltar que el copal y la resina de defaunación proveen acceso a la biota que vivió en el comienzo de la revolución industrial, o bajo las condiciones antes de la revolución, lo cual permite realizar comparaciones de las comunidades de artrópodos existentes que han sido alteradas por las actividades humanas (Solórzano-Kraemer et al., 2020).

El *ámbar*, es una resina formada durante el Plioceno o antes (>2,58 Ma), si contiene inclusiones, muy probablemente, corresponden a especies extintas debido a su antigüedad, y pueden ser útiles para estudiar la evolución de los organismos. Para este caso, la edad puede ser determinada por estudios estratigráficos/paleontológicos y por edad absoluta, como por ejemplo

datación U-Pb de zircones en la matriz rocosa donde se encuentra la muestra de ámbar (Shi et al., 2012).

El uso correcto de estos términos, según Solórzano-Kraemer et al. (2020) va a aclarar y permitir estudios de organismos embebidos dentro de la resina, el copal y se les dará la importancia que merecen como archivo de información histórica. Asimismo, contribuirá al estudio de la fauna de artrópodos en países con una prioridad global de conservación por sus altos niveles de endemismo y amenaza.

3.2 Método de estudio de la edad del copal

Dentro de los métodos o criterios que existen para determinar cuándo una resina de defaunación puede ser definida como copal y su edad asociada, se encuentran:

3.2.1 Edad del depósito sedimentario

La edad del depósito sedimentario es un criterio que se ha utilizado para considerar una resina del subsuelo como copal y a menudo se ha limitado sin ningún criterio objetivo entre -10.000 años y 5 Ma (Poinar, 1992; Kosmowska-Ceranowicz, 2006). Sin embargo, la historia estratigráfica de la mayoría de los depósitos de copal, a excepción del de Madagascar (Delclòs et al., 2020) y de Nueva Zelanda, aún necesita ser estudiado y las edades de las diferentes muestras se mencionan en la literatura con rangos muy amplios.

3.2.2 Análisis termogravimétrico

El análisis termogravimétrico propuesto por Ragazzi et al., (2003) permite estimar la edad relativa de copales y ámbar. Se basa en que cuando se hace un análisis termogravimétrico diferencial, cada muestra analizada presenta un evento exotérmico principal, la temperatura varía entre resinas de diferentes edades. El valor creciente del pico exotérmico principal varía con el aumento de la edad de la muestra y te da una edad relativa entre las muestras, permitiendo

“organizarlas” temporalmente desde la más antigua a la más moderna. Así, el "copal de Madagascar" ha sido fechado del Holoceno a la actualidad (1.000-100 a) (Mccoy et al., 2017), aunque Solórzano-Kraemer et al., (2020) da edades inferiores a los 400 años mediante ^{14}C .

Hoy en día no hay ninguna técnica que utilice la pérdida de componentes volátiles como un indicador de edad para fósiles o resinas subfósiles, probablemente debido a la complejidad de estos componentes y la diversidad de los procesos tafonómicos, incluyendo el contexto geológico (Mccoy et al., 2017). Por otro lado, aunque el impacto de la alteración termal en resinas naturales puede ser utilizado para definir el tipo de depósitos de ámbar (Anderson, 1996; Seyfullah et al., 2015), el análisis termal solo permite una diferenciación relativa entre las muestras de ámbar y las resinas menos antiguas, en vez de una edad absoluta (Feist et al., 2007).

3.2.3 Datación mediante ^{14}C

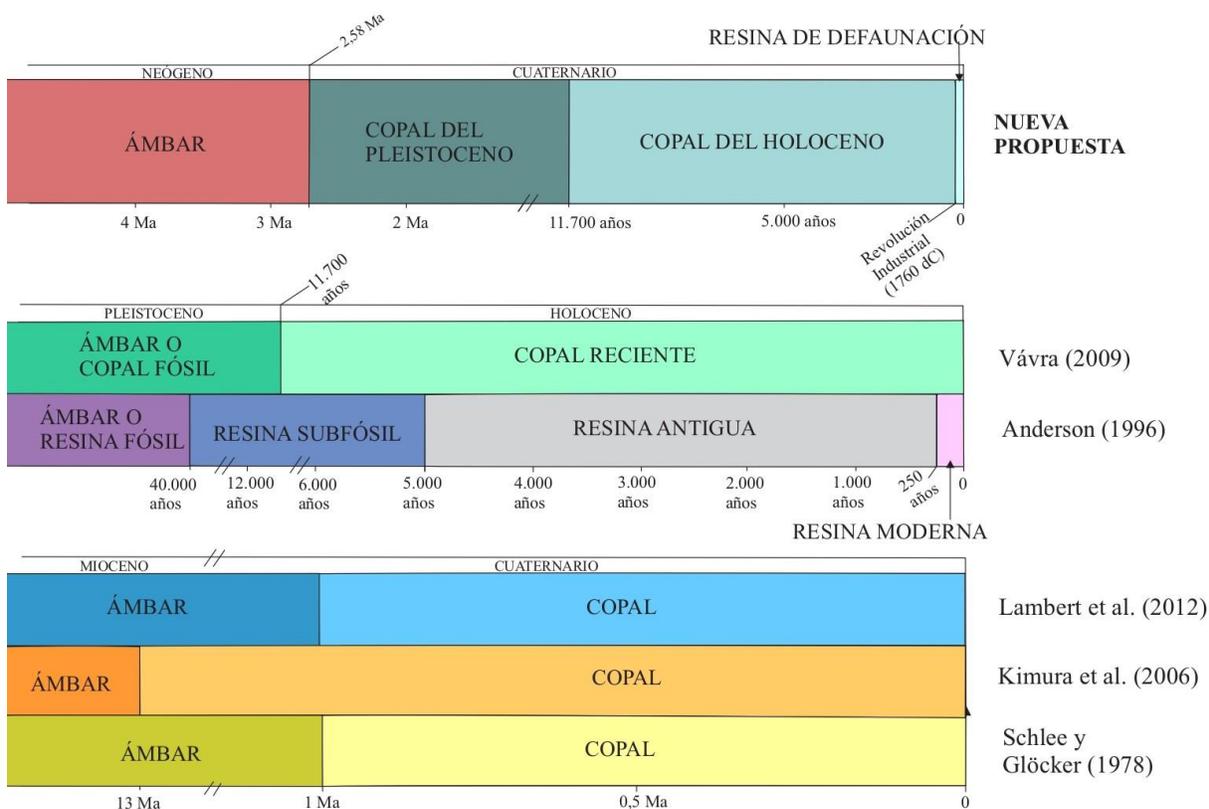
La datación mediante el análisis del ^{14}C para copal con bioinclusiones no es común (Solórzano-Kraemer et al., 2020). Los insectos atrapados en estos materiales cuando están recién producidos, por daños naturales en los árboles, son frecuentemente preservados en un casi perfecto estado tridimensional con todas las características externas visibles, es por ello que para el estudio de evolución y paleogeografía de los insectos en ámbar y copal, estos proveen algunos de los mejores fósiles conocidos (Burleigh & Whalley, 1983) y para tales estudios la claridad del material y la certeza de la edad geológica son factores importantes. La primera aplicación de la datación ^{14}C para una muestra de resina de edad cuestionable parece haber sido publicada por Vávra & Vycudilik (1976): una muestra de resina de la zona de Tennengebirge (cordillera de Salzburgo, Austria). El resultado fue 570 +/- 80 años, basado en una vida media de ^{14}C de 5.568 + 30 años, referida a 1950.

3.3 Propuestas de clasificación cronológica del copal

Cronológicamente, se han proporcionado diferentes edades para el copal por varios autores (Figura 3). Schlee y Glöckner (1978) fueron los primeros en denominar copal a una resina joven, con una edad máxima de -1.000.000 de años.

Figura 3.

Definición cronológica del copal



Nota. Nueva propuesta sobre definiciones de resina, copal y ámbar por parte de distintos autores con el fin de compararlas entre sí. La escala de tiempo varía para los 3 gráficos. Modificado de Solórzano-Kraemer et al. (2020).

Por otro lado, Anderson (1996) propuso una escala objetiva (Figura 4) basada en su datación de ^{14}C y usó el término “resina moderna” para aquellas resinas cuya producción fuese menor a 250 años; esto plantea un problema ya que cada año que pasa el límite inferior de “resina moderna” cambia (tomando como referencia la fecha actual desde 1771 d.C), (Solórzano-Kraemer

et al., 2020)). También introdujo el término “resinas antiguas” para las resinas con una edad entre -250 y -5.000 y las “resinas subfósiles” para las resinas entre -5.000 y -40.000 años de edad. No obstante, no consideró utilizar el término copal para ninguna de las etapas temporales del desarrollo de la resina al ámbar

Figura 4.

Terminología de resinas modernas y fósiles basadas en Anderson (1996)

Radiocarbono (^{14}C) edad (años AP)	
0-250	Resina moderna o resina reciente o copal (en circunstancias específicas)
250-5.000	Resina antigua
5.000-40.000	Resina subfósil
> 40.000	Ámbar, resina fósil o resinita

Nota. Clasificación de resinas según la edad obtenida por estudios de Radiocarbono, desde >40,000 años hasta reciente. Tomado de Anderson (1996).

Kimura et al. (2006a, 2006b) consideraron que la polimerización que transforma el copal en ámbar procede muy lentamente. Propusieron que se tarda unos 13 Ma para llegar a la mitad del proceso; esto significa, para estos autores, que el copal requiere algunos millones de años para transformarse en ámbar. Este concepto implica que el copal tiene una edad menor a 13 Ma y bajo esta vaga definición el ámbar de Perú o de Borneo tendrían que ser reclasificados como copal (Solórzano-Kraemer et al., 2020).

Vávra (2009) clasificó el copal en dos grupos: aquellos mayores al Holoceno se consideran ámbar o copal fósil (> 11.700 años de edad) vs aquellos más jóvenes que el Holoceno, que se denominan copal reciente.

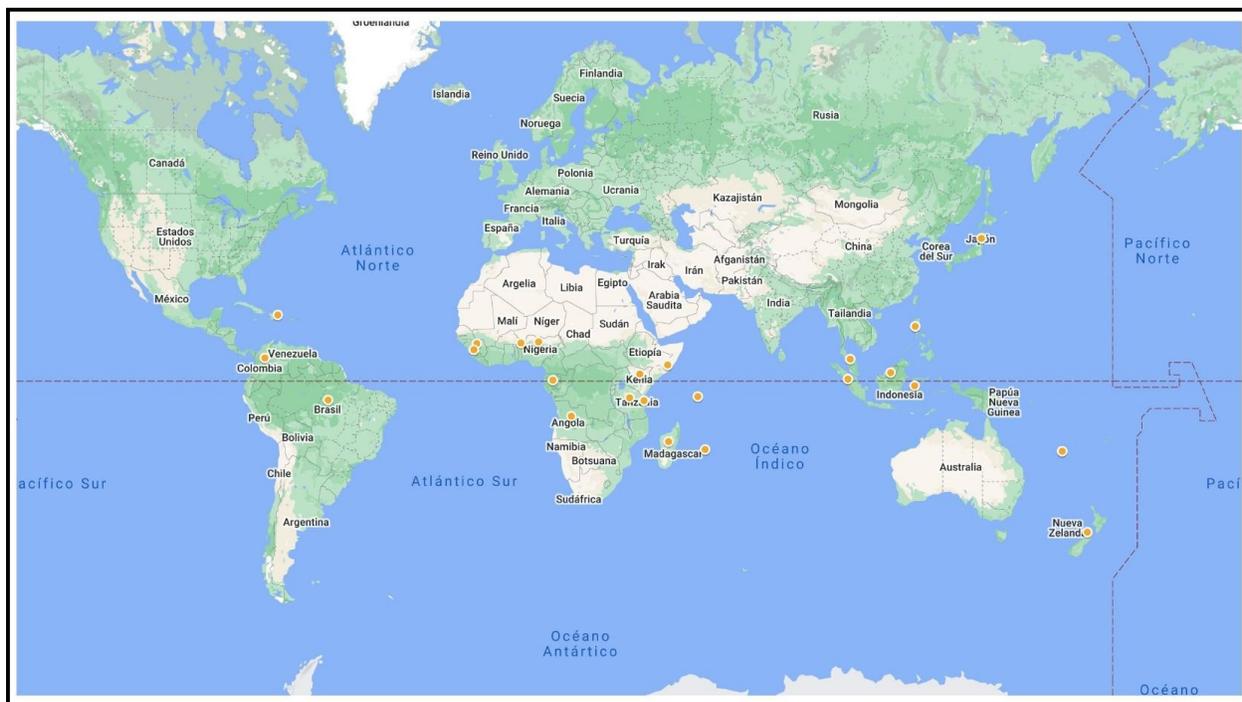
Lambert et al. (2012) consideraron que la resina que tiene miles de años de antigüedad, hasta un millón de años de antigüedad (Figura 1) conserva mejor su estructura molecular original

y se denomina más acertadamente; sin embargo, no hay evidencia para esto, y el proceso de fosilización de la resina permanece pobremente comprendido.

Según Solórzano-Kraemer et al. (2020) los lugares donde se han encontrado copal son (Figuras 5 y 6): América (Brazil, Colombia y República Dominicana), Este africano (Kenia, Somalia, Tanzania, Zanzíbar, Madagascar, Isla Mauricio y Seychelles), Oeste africano (Angola, Benín, Congo, Gabón, Ghana, Guinea, Nigeria y Sierra Leona), Asia (Borneo, Indonesia, Japón, Malasia, Filipinas y Sumatra) y Oceanía (Nueva Zelanda y Nueva Caledonia) (Grimaldi, 1996; Langenheim, 2003; Rice, 2006).

Figura 5.

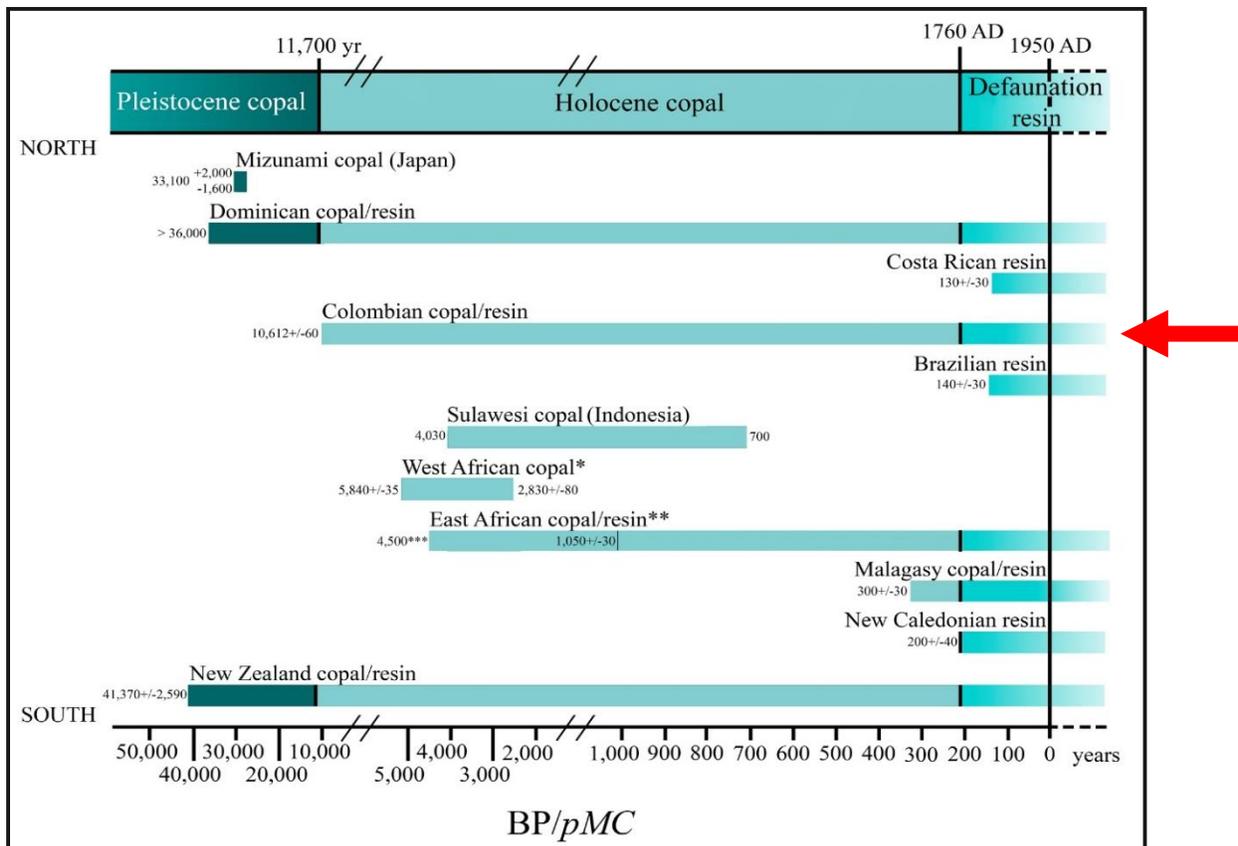
Lugares en el mundo donde se ha encontrado copal



Nota. Lugares en América, Este Africano, Oeste Africano, Asia y Oceanía donde se ha encontrado copal. Modificado de Google Maps. Autora: Mery Laura Ramos Ortega

Figura 6.

Valores máximos y mínimos de la edad del copal en ejemplares de diferentes países



Nota. Valores mínimos y máximos de edad obtenidos de diferentes copales mediante estudios de ^{14}C . Se puede ver que el “copal de Colombia” está datado para 10.612 +/-60 años de antigüedad. En las dataciones más recientes se trataría de resina de defaunación y las más antiguas de 1760 AD, de copal del Holoceno. Tomado de Solórzano-Kraemer et al. (2020).

Algunas muestras de copal de Kenia y Tanzania datadas mediante ^{14}C resultaron ser originadas por resina exudada alrededor de 1960 d.C (Burleigh & Whalley, 1983). Sin embargo, en yacimientos arqueológicos de Eshunna (Irán) y Dendera (Egipto) fechadas en 2500-2000 a.C se encontraron piezas de copal con bioinclusiones provenientes del Este Africano (Meyer et al., 1991; Creamer, 2014).

El copal dominicano puede alcanzar edades mayores a -36.000 años AP (edad convencional de radiocarbono, referida como AP que significa “antes del presente”) (Barker &

Mackey, 1985. En la literatura se han mencionado dos piezas de copal dominicano datadas 10.820 años AP y 1.700 años AP, respectivamente (Wunderlich, 1986) y otra pieza < 250 años AP (Felber, 1984). El copal de Japón, conocido como copal Mizunami, y el cual contiene inclusiones, puede alcanzar una edad de 33.100 años AP (Felber, 1984). El copal de Nueva Zelanda ha sido analizado con ^{14}C alcanzado una edad entre 2.000 - 37.000 años AP, sin embargo, estos ejemplares no contienen bioinclusiones (Lambert et al., 1993). Se ha datado un ejemplar de copal colombiano con una edad < 200 años AP (Felber, 1984) y otra pieza datada por Penney et al. (2013) con una edad de 10.600 años AP considerado copal (sub) joven (del Antropoceno). Adicionalmente se ha analizado una muestra de Copal Sulawesi (Célebes, Indonesia) obteniendo una edad de 4.000 años BP (Büsse et al., 2017).

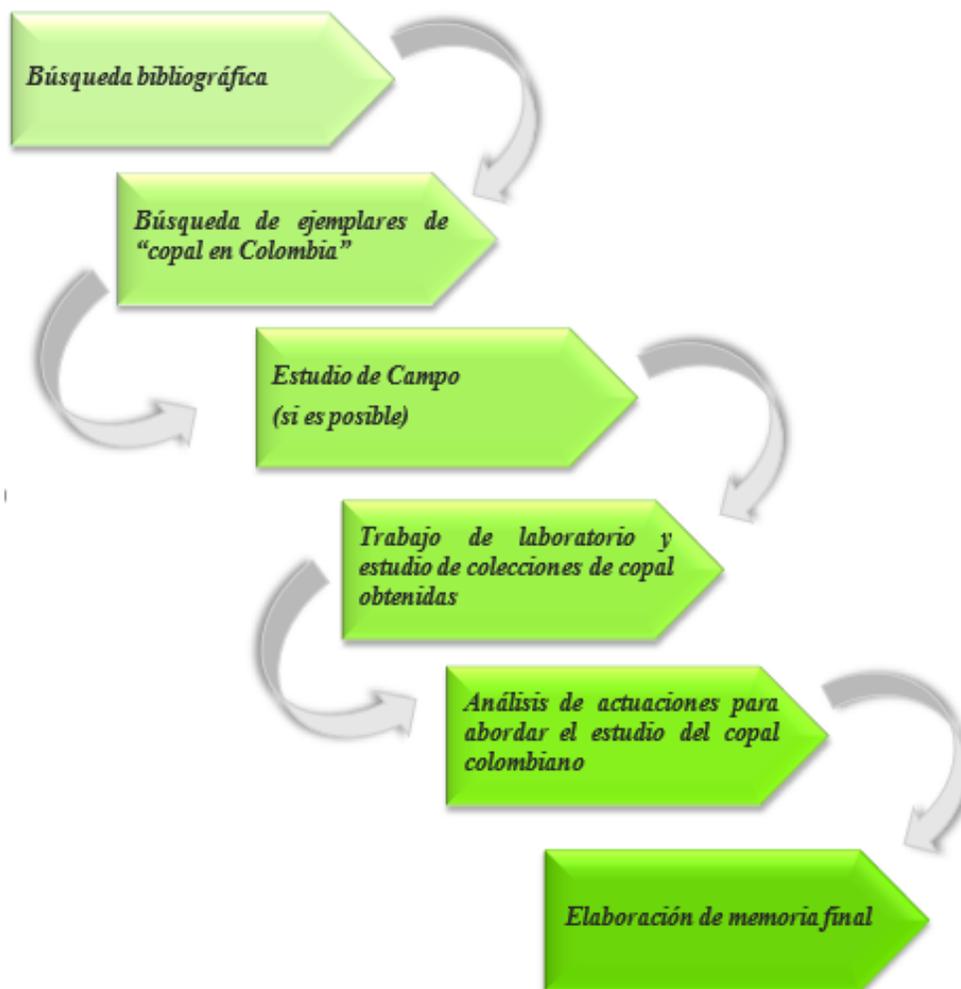
Los “copales” más jóvenes, que en realidad son resinas de defaunación y no copales (sensu Solórzano-Kraemer et al., 2020), usualmente utilizados para incienso, no se deberían confundir con el verdadero copal que es incorrectamente vendida como “ámbar” colombiano o “ámbar” malgache (Langenheim, 1969, 1990, 1995; Dählström & Brost, 1996; Grimaldi, 1996; Ross, 1998 Poinar & Poinar, 1999).

Teniendo en cuenta todo lo referido se considera *copal* aquella resina subfósil más antigua de 1760 AD y no con más de 2,58 Ma de antigüedad (Solórzano-Kraemer et al., 2020). En este periodo temporal, estos autores diferencian dos tipos de copal, *copal del Pleistoceno* (2.58 - 0.0117 Ma) y *copal del Holoceno* (0.0117 Ma - 1760 AD), correspondiente a las dos épocas geológicas establecidas para el periodo Cuaternario y más vieja que 1760 d.C (inicio de la revolución industrial, 261 años, basados en la fecha actual), la determinación de la edad puede llevarse a cabo con análisis de ^{14}C para muestras que no sean mayor a 50.000 - 60.000 años BP. La clasificación

según Solórzano-Kraemer et al., (2020) mencionada anteriormente ha sido escogida como definición apropiada del copal a lo largo del documento.

4. Metodología

Con el fin de cumplir los objetivos planteados, la metodología llevada a cabo para el desarrollo del proyecto de investigación tuvo 6 etapas consecutivas:



4.1 Búsqueda bibliográfica

Constituye la etapa inicial del trabajo investigativo en el que se buscó la base bibliográfica, incluyendo artículos científicos, libros, trabajos de grado y otras publicaciones que sean de interés para el desarrollo de la memoria que incluirá la valoración del “copal de Colombia”. Esta información, una vez ha sido seleccionada la más significativa, ha permitido incrementar el

conocimiento de donde pueden localizarse depósitos de copal en Colombia, conocer las lagunas de la investigación que se ha desarrollado hasta ahora y proponer un método de trabajo para aportar conocimiento de su utilización para el estudio de la defaunación de los puntos calientes de biodiversidad.

4.2 Búsqueda de ejemplares de “copal de Colombia”

Esta fase consistió en la búsqueda de instituciones públicas o privadas, vendedores/as (nacionales y extranjeros/as) que dentro de sus colecciones paleontológicas cuenten con ejemplares de “copal de Colombia”. Es posible que tanto dichas instituciones como vendedores/as cuenten con información de los lugares donde se encontró el copal, pues hasta el momento se desconoce el área geográfica de donde se obtiene, y si se obtiene del subsuelo, o es resina recolectada directamente del árbol.

4.3 Estudio de Campo

Se planeó realizar una salida de campo desde el 5 al 11 de agosto al municipio de Segovia localizado en el nordeste del departamento de Antioquia (Figura 4) con el fin de obtener muestras de copal o de resina de defaunación mediante la realización de calicatas en el suelo (superficie 1x1 m, y profundidad variable), llevando a cabo estudios estratigráficos, sedimentológicos, y geoquímicos mediante pruebas de ^{14}C para obtener la edad de las muestras (localizadas a diferentes profundidades de la calicata, y datar las encontradas a más profundidad, para conocer la edad máxima de las muestras). De esta manera determinar si lo comercializado como “copal de Colombia” es realmente copal o resina de defaunación obtenida directamente de los árboles. Si bien, de acuerdo con la literatura, la mayoría de lo comercializado como “copal de Colombia” proviene del departamento de Santander, dicha zona fue la única información consistente que se pudo obtener a través de la indagación en el apartado 4.2.

Figura 7.

Localización del municipio de Segovia, Antioquia



Nota. Localización del municipio de Segovia al nordeste del departamento de Antioquia, modificado de Google Earth.
Autora: Mery Laura Ramos Ortega.

Dicha salida de campo se haría en compañía del señor Ángel Alberto, quien años atrás comercializaba “copal de Colombia”, y dos estudiantes de maestría del Departamento de Entomología de la Universidad Nacional (sede Medellín) interesados en obtener muestras de “copal” para realizar descripciones morfológicas de insectos incluidos en las piezas (si así se encontraran), para añadir los resultados en su Proyecto de Investigación. Sin embargo, debido a que la zona cuenta con alta presencia paramilitar, y con la advertencia de mi tutor, el profesor Xavier Delclòs, de no poner en riesgo bajo ningún concepto mi integridad, la actividad acordada no pudo llevarse a cabo siguiendo a su vez el concepto emitido por el Consejo de Escuela en el Extracto del Acta 20 de 2021, celebrada el 26 de Julio, en donde el profesor Juan Diego Colegial, Coordinador Académico, y el profesor Mario García aconsejaron no viajar al sitio mencionado por

cuestiones de falta de seguridad en la zona y la complejidad por la presencia de grupos al margen de la ley.

Así, de acuerdo con mi tutor, se expondrán de manera teórica los requerimientos científicos que se plantearon desarrollar en el campo para completar la memoria del estudio científico del copal o resina de defaunación de Colombia. Esta investigación se ha expuesto en base a estudios previos sobre el “copal de Madagascar” de Delclòs et al. (2020), producido también por el género *Hymenaea* (*H. verrucosa*) y que fue durante centenas de años extraído para la industria de los barnices. De esta manera si en el futuro algún/a investigador/a pueda acceder a los lugares de producción de copal o resina de defaunación, tendrá una base para proceder.

- 1) Una vez el yacimiento de copal o resina de defaunación ha sido localizado y se han obtenido los permisos necesarios para la actividad a desarrollar, el objetivo es realizar una o varias calicatas en el suelo de 1 m² usando palas y picos, y una profundidad variable coincidente hasta ya no encontrar más registro de muestras de copal. La zona para excavar se puede delimitar mediante una cuadrícula con clavos y cuerda (Figura 8).

Las calicatas o catas son una de técnicas de prospección que consiste en realizar excavaciones cuadradas ya sea de manera manual (picos, palas) o mecánica (utilizando retroexcavadoras o maquinaria similar) hasta 4 m de profundidad para facilitar el reconocimiento geotécnico, estudios edafológicos o pedológicos de un terreno; sin embargo, esta medida puede variar dependiendo de las características del suelo, que aparezca roca o que la presencia de agua impidan seguir excavando, para observar las características de los terrenos superficiales, recolectar muestras inalteradas en forma de bloque o muestras alteradas no superficiales (Geoseismic, 2017).

- 2) Cuando se ha finalizado la excavación de la cata, se procede a identificar los horizontes o subhorizontes del suelo expuesto (Figura 8).
- 3) Se realizan columnas estratigráficas de registros pedológicos (Figura 10), se procede a recolectar muestras de roca y de copal o resina de defaunación de cada horizonte y subhorizontes diferenciados (Figura 11) a diferentes profundidades, para conocer la edad de cada una de ellas mediante estudios de ^{14}C . Así como también revisar el nivel de preservación o degradación de la resina en profundidad.

Figura 8.

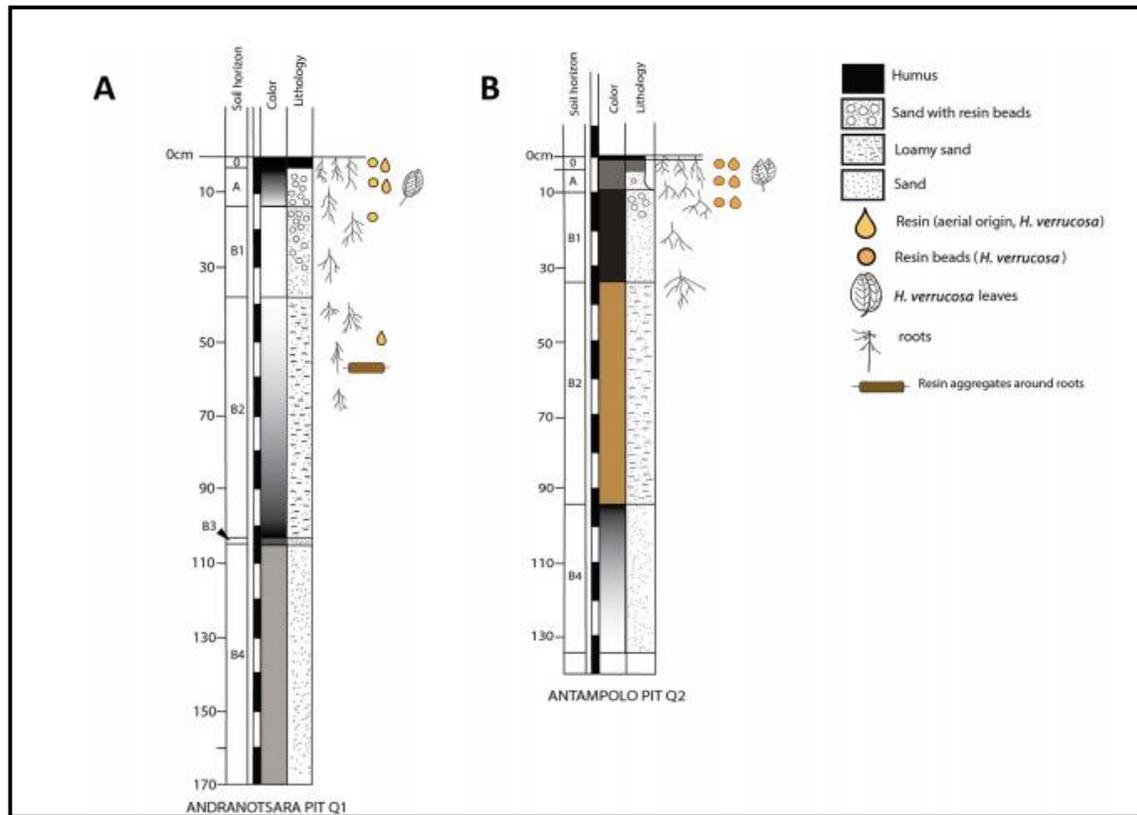
Proceso de excavación de una cata en la región de Sambava, Madagascar



Nota. En la izquierda: vista superior del inicio de la excavación de una cata en práctica de campo en Andranotsara (Sambava), Madagascar, región mencionada como la zona en la que se ha encontrado “copal de Madagascar” según investigadores y vendedores locales. En la derecha: **A.** Vista superior de la cata finalizada al llegar a un nivel donde ya no hay presencia ni de resina de defaunación ni de copal. **B.** Identificación de los niveles de suelos obtenidos en la excavación de la cata, hacia el lado izquierdo se reconoce también el afloramiento de una raíz de *Hymenaea verrucosa* cerca del nivel O y A. Tomado de Delclòs et al. (2020).

Figura 9.

Registro pedológico de catas realizadas en dos áreas de Sambava, Madagascar



Nota. **A.** Columna estratigráfica de registro pedológico de la cata en Andranotsara, 170 cm de profundidad, mayor contenido de raíces, algunos restos de hojas de *Hymenaea* y resina de defaunación en los primeros 30 cm con granulometría granodecreciente hacia los 70 cm de profundidad. **B.** Columna estratigráfica de registro pedológico de la cata en Antampoilo, 140cm de profundidad con mayor contenido de raíces, restos de hojas de *Hymenaea* y resina en los primeros 20 cm en la vertical, con granulometría mayormente arenosa. Tomado de Delclòs et al. (2020).

Figura 10.

Muestra de suelo obtenida de cata de Andranotsara (Sambava)



Nota. Muestra del horizonte A, se observan pequeñas bolitas de resina (soil beds) que contienen hongos, agregados de humus con cuarzo, algunas raíces, granos de cuarzos y pellets. Tomado de Delclòs et al. (2020).

4.4 Trabajo de laboratorio y estudio de colecciones de copal obtenidas

4.4.1 Preparación de material para su estudio

La metodología que se sugiere llevar a cabo para preparar el copal o la resina de defaunación colectada en campo con el fin de realizar estudios de descripción y catalogación de las bioinclusiones, será basada en la propuesta de Corral et al. (1999) y Sadowski et al. (2021), ya que la preparación de material tanto para resinas jóvenes como copal es igual al utilizado para el ámbar de acuerdo con las indicaciones brindadas por mi tutor Dr. Xavier Delclòs.

4.4.1.1 Limpieza inicial de los especímenes. En el laboratorio se recomienda lavar el copal o resina de defaunación con agua desmineralizada con el fin de eliminar restos de minerales arcillosos sueltos y/o sales solubles que contenga la roca de donde se extrajo. Si estos están muy adheridos al copal o resina de defaunación, se puede utilizar un bisturí o una cubeta de ultrasonidos para retirarlos.

En el caso de que las piezas de copal o resina de defaunación presenten una corteza opaca o una superficie muy alterada, será necesario pulir una pequeña porción de la muestra, para así descubrir si ésta contiene restos fósiles. Podría ser necesario también utilizar bisturí nuevamente, antes de incluir las muestras en resina sintética, para remover impurezas situadas sobre las inclusiones biológicas o superficies internas alteradas.

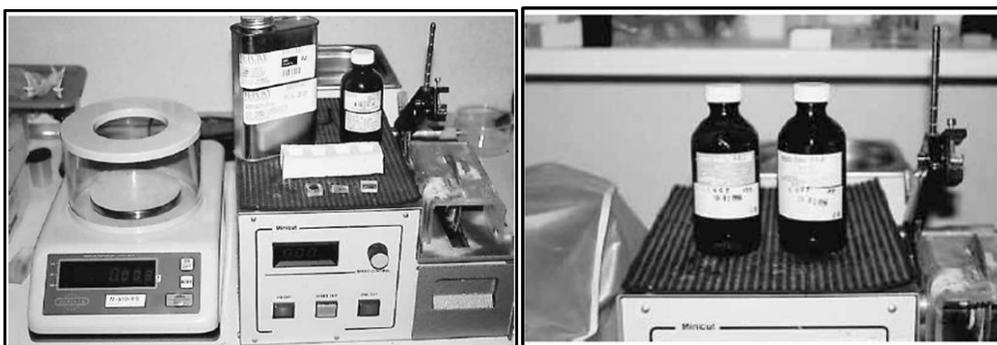
Se realiza una intensa prospección del material bruto con la ayuda de un estereoscopio zoom (9x – 40x), el cual tiene un sistema de iluminación mejor que otros, ya que no somete el copal o resina de defaunación a un aumento brusco de la temperatura mientras que posibilita una iluminación concentrada sobre las muestras, permitiendo identificar posibles grietas internas que podrían dificultar el estudio de la fauna y flora incluida.

4.4.1.2 Realización de las preparaciones. Se procede a rellenar las superficies de grietas internas del copal o resina de defaunación, en caso de encontrar, con un líquido o un polímero poco viscoso que tenga un índice de refracción similar al de la resina fósil (esto permitirá durante el estudio del material, hacer dibujos con cámara clara, sin ninguna deformación). Siguiendo la técnica utilizada por Grimaldi (1993) se utiliza resinas epoxi, a temperatura ambiente y una cámara de vacío convencional que facilita la penetración de la resina en las fracturas. Dicho polímero es muy útil por ser un plástico termoestable, resistente, de elevada adherencia y con un índice de encogimiento lineal al curar bajo $< 0.5\%$, en comparación los poliésteres y poliacrilatos.

Se sugiere utilizar la marca EPO-TEK 301-2 (Figura 11) provee un índice de refracción próximo al de las resinas fósiles, grandes propiedades adhesivas, muy buenas propiedades ópticas, una mínima contracción al polimerizar y la menor viscosidad de todas las resinas utilizadas para preparar inclusiones, por lo que fluye muy bien, favoreciendo la penetración en grietas minúsculas cuando se usa una cámara de vacío; haciendo imperceptibles las fracturas rellenadas con esta resina.

Figura 11.

Frascos de resina epoxi EPO-TEK 301-2



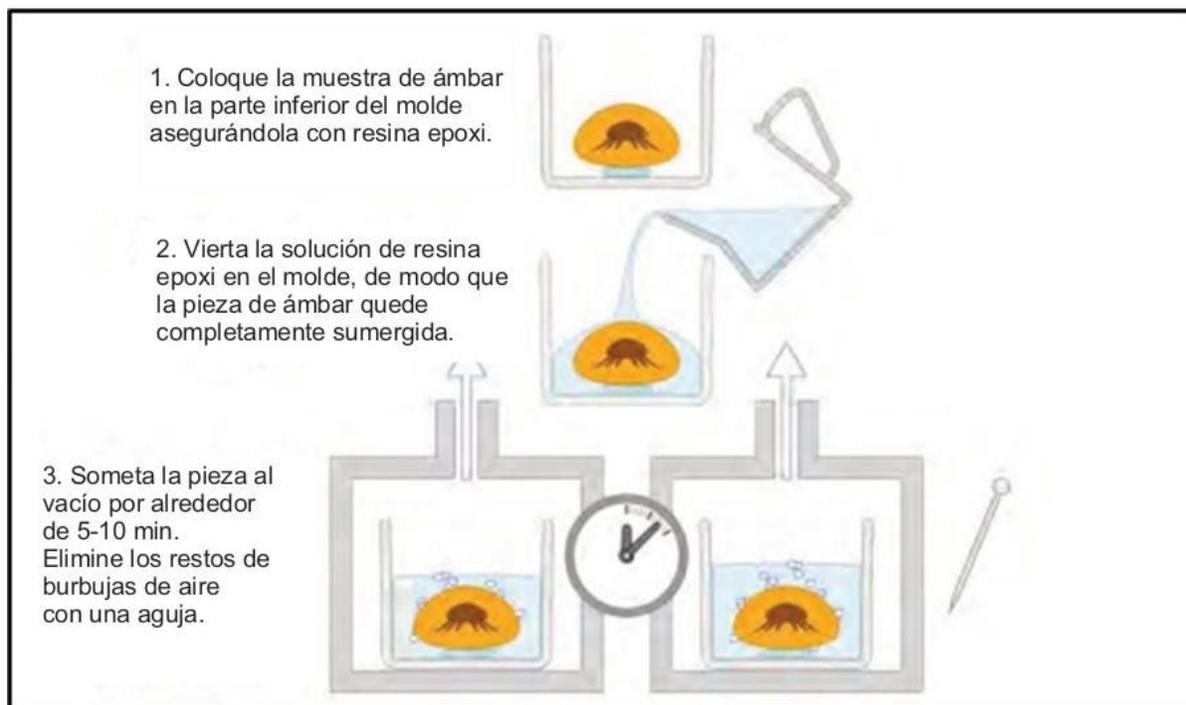
Nota. En la derecha: Recipientes de resina epoxi EPO-TEK 301-2 utilizados durante la preparación de muestras de ámbar obtenidas en el yacimiento de Álava, España. En la izquierda: sobre la cortadora circular MINICUT 40, se observan el recipiente de silicona y algunas preparaciones delante de los recipientes de resina EPO-TEK 301. Tomado de Corral et al. (1999).

De esta manera, se devuelve la transparencia a la pieza y se soluciona el problema de reflexión de los rayos de luz sobre discontinuidades del material (efecto espejo) que ocurre durante la prospección de las inclusiones, lo cual impide una visión completa de ellas, dificultando su estudio y la realización de fotografías. Así, la observación de la muestra queda solamente limitado por la transparencia del copal o la resina de defaunación.

Se sugiere ser cuidadoso/a al calcular las cantidades que se usarán de resina epoxi y catalizador, ya que son muy pequeñas, y mezclar bien los componentes para asegurar que la muestra quede bien cubierta por ésta y evitar que la superficie del material quede pegajosa aún después de endurecer el resto del plástico.

Figura 12.

Preparación de muestra usando resina epoxi e introducción en la cámara de vacío.



Nota. Ilustración del proceso de preparación de la muestra de copal o de la resina de defaunación mediante la 1) y 2) introducción de esta en resina epoxi hasta quedar completamente sumergida, 3) la muestra se lleva a una cámara de vacío, el aire ha ingresado desde el exterior a los 10 min aprox., y las microfracturas se han llenado, en caso de quedar burbujas de aire, estas pueden llevarse a la superficie con una aguja fina. Tomado y modificado de Sadowski et al. (2021).

Una vez se ha preparado la resina epoxi, se incluye en ella la muestra de copal o resina de defaunación, la cual de estar bien seca y limpia (Figura 13), y se introduce en la cámara de vacío (Figura 14) especialmente diseñada para consolidar muestras geológicas porosas, friables o poco cementadas (siguiendo la técnica descrita por Tucker (1988)). Así se logra que la resina epoxi penetre perfectamente por los poros de la muestra, y al endurecer se podrán realizar láminas delgadas para estudios petrológicos. Esta cámara de vacío es mejor que las tradicionales porque elimina dentro de la cámara el aire de la mezcla (base epoxídica y catalizador) y de la muestra de copal o resina de defaunación, antes de que ambos entren en contacto.

Figura 13.

Fotografía de cámara de vacío



Nota. Cámara de vacío utilizada en el Museo de Ciencias Naturales de Álava durante la preparación de muestras de ámbar con resina EPO-TEK 301. Tomado de Corral et al. (1999).

Alrededor de unos 10 minutos después de que el vacuómetro indique una lectura de 15-25 mm Hg, el aire ingresa a la cámara desde el exterior, muy lentamente hasta que se logre recuperar la presión atmosférica normal. Aquí, la resina epoxi comienza a penetrar por las microfracturas, las cuales habrán quedado rellenas completamente en menos de 1 h. En caso de que algunas burbujas de aire no hayan salido con el vacío, se puede utilizar una aguja fina para llevarlas hacia la superficie mientras la resina epoxi esté aún líquida (Figura 13).

El endurecimiento de la resina EPO-TEK 301-2 a temperatura ambiente termina a las 24h; sin embargo, se recomienda esperar al menos de 1 a 3 semanas para que la resina adquiera todas sus propiedades de dureza.

El principal inconveniente de las resinas epoxi es que no son reversibles y su remoción puede generar algunos problemas. Es por ello, que su eliminación debe hacerse mecánicamente con lija o bisturí, después de ablandarla sumergiéndola en acetona o etanol, siempre y cuando la muestra de copal o resina de defaunación. Se aconseja evitar el uso de desintegradores químicos, basados en el cloruro de metileno, que hinchan y degradan la resina epoxi porque estos también acaban degradando el copal o resina de defaunación.

4.4.1.3 Cortado y pulido de las preparaciones. El uso de la cortadera circular de precisión facilita la operación de cortado y pulido de la muestra de copal o de resina de defaunación. De hecho, cortar y pulir un trozo de copal o de resina de defaunación puede realizarse previamente a su inclusión en la resina epoxi con el fin de eliminar el exceso de material y aislar una determinada inclusión dentro de la pieza, o también puede realizarse durante la elaboración de la preparación.

El lijado y afinado tienen como objetivo la eliminación de parte del copal o resina de defaunación que rodea a las inclusiones, así como de ciertas impurezas, y sirve para dar la forma prácticamente definitiva a las preparaciones. Se inicia el lijado haciendo uso de una lijadora vertical circular (Figura 15), donde se colocan discos adhesivos de carburo de silicio de grano 320. Posteriormente, el afinado se realiza de forma manual con una lija de agua de grano 1200 pegada a una placa de policarbonato y agua, con este procedimiento se eliminan las marcas dejadas por la sierra y otras ralladuras producidas durante el corte del material, garantizando una mejor calidad y un brillo alto que facilitará el estudio de las inclusiones.

Figura 14.*Lijadora vertical circular*

Nota. Detalle de la lijadora vertical durante el lijado de un espécimen de ámbar de Álava incluido en resina epoxi. Tomado de Corral et al. (1999).

Para finalizar, el pulido también se hace manualmente frotando primero de manera energética las preparaciones de copal o resina de defaunación sobre una lija de grano 4000 humedecida con agua, y luego sobre un trapo de terciopelo o gamuza al que se le adiciona una pasta de pulido (compuesta de polvo de óxido de cerio + agua).

La forma y tamaño final de las preparaciones van a depender de la morfología y ubicación de las inclusiones dentro del copal o resina de defaunación. Se aconseja que en mayor medida se corten superficies planas ortogonales, las cuales permitirán llevar a cabo una completa descripción dorsal, ventral y lateral de las inclusiones fósiles (Figura 16).

Figura 15.

Muestra de espécimen de ámbar de Álava (Albiense, España) incluido en resina epoxi.



Nota. Fotografía de preparación finalizada de un espécimen de Hymenoptera, Trigonalidae en ámbar incluido en resina epoxi, tamaño de la preparación 5,2 x 3 mm. Tomado de Corral et al. (1999).

4.4.1.4 Montaje de muestras pequeñas sobre portaobjetos. Para la preparación de especímenes muy pequeños (≤ 1 mm), las piezas de copal o de resina de defaunación se cortan y pulen con mucho cuidado, siguiendo el mismo proceso explicando anteriormente, y se pegan sobre un portaobjetos de vidrio excavado con resina Epoxi EPO-TEK 301-2, sellándolos después con un cubreobjetos de vidrio. Si quedan burbujas al final, esto no es un problema ya que normalmente se quedan en el exceso de resina epoxi y no sobre el fragmento de copal o resina de defaunación.

4.4.1.5 Consolidación de masas de copal o de resina de defaunación en bruto. Dependiendo del estado de conservación de la pieza de copal o de la resina de defaunación, será necesario solidificarlo previamente en el mismo yacimiento para su extracción. Según las condiciones de humedad del terreno y de los propios especímenes, se elegirá el tipo de consolidante. Si el copal o la resina de defaunación presenta una humedad muy elevada se puede optar por emulsiones acrílicas (Primal AC 33), dispersiones de acetato de polivinilo (Mowilith) o dispersiones acrílicas (Primal WS 24).

Existen limitaciones para consolidar *in situ* si la roca está saturada de agua, porque las emulsiones o dispersiones podrán tardar demasiado tiempo en secarse. En estos casos, se sugiere

extraer el espécimen dentro de un bloque de matriz que asegure la integridad de la pieza. Para consolidarlo se necesitará envolver en varias láminas de plástico transparente (por ejemplo: el polietileno que se usa para envolver alimentos) y después se procede a inyectar el consolidante con jeringuillas a través de diferentes aberturas hechas en el envoltorio. Una vez ha secado, puede retirarse el plástico y no habrá peligro de que se desprendan algunas partes de la pieza.

Por otro lado, en el caso de que el copal o la resina de defaunación no esté húmedo, es mejor usar resinas acrílicas Paraloid B72 y B67, ya que cuentan con una alta estabilidad química y cromática, buenas propiedades adhesivas, mínima interferencia con espectroscopia de infrarrojos (FTIR) y fácil reversibilidad (Thickett et al, 1995). El consolidante deberá aplicarse con brocha o jeringuillas.

4.4.1.6 Condiciones de almacenamiento de las muestras. Teniendo en cuenta la susceptibilidad al deterioro que tienen las piezas de copal o de resina de defaunación al ser expuestas a diferentes factores ambientales (pérdida de volátiles), brindar unas condiciones estable de almacenamiento es esencial para cualquier colección, incluso cuando éstas han sido embebidas en resina epoxi (Sadowski et al., 2021).

Con el fin de crear y mantener un ambiente adecuado para la mayoría de tipos de colección de fósiles, ámbar, copal y resina de defaunación será importante propiciar un HR (humedad relativa) entre $37 \pm 2\%$ and $53 \pm 2\%$ (Pastorelli et al., 2013b; Mecklenburg et al., 2004), el rango de la temperatura no debe ser mayor a 22°C y menor a 17° (Thickett et al., 1995; Pastorelli, 2009) y la exposición a la luz debe ser limitada (Pastorelli, 2009; Pastorelli et al., 2011; Waddington, 2011; Girad et al., 2012 y Bisulca et al., 2012). Sin embargo, para ejemplares en exposición, será necesario un vidrio con filtros específicos para la protección de los rayos UV y así evitar que la radiación dañe los ejemplares (Dunnill, 2014). Es importante mencionar también que las resinas

embebidas en resina EPO-TEK 301-2, a pesar de ser la resina epoxi más resistente de todas las resinas artificiales, deben también mantenerse protegidas de la exposición a la luz (Down, 2001).

4.4.2 Estudio del material preparado

4.4.2.1 Descripción de muestras. Las bioinclusiones en copal separadas y preparadas en resina sintética, como se ha expuesto anteriormente, pueden ser estudiadas bajo binocular o microscopio (Figura 17), dependiendo de la magnitud de la bioinclusión, y de lo pequeño que sean los caracteres que observar. Tanto el binocular como el microscopio, deben tener acoplada un tubo de dibujo o cámara clara, que permitirá dibujar los ejemplares, o el detalle de los caracteres que necesitemos para ejemplificar y describir nuestra bioinclusión. La cámara clara permite mediante la observación a través de los oculares, por un ojo, el ejemplar real que tenemos bajo el microscopio o binocular y por el otro la punta de nuestro lápiz sobre una hoja de papel. Esta doble visión permite “pasar” el lápiz por encima del ejemplar e ir dibujando en la hoja de papel los caracteres que observamos, sin ningún tipo de deformación, lo que permite obtener dibujos de los ejemplares, o detalles de éstos, con gran precisión, a la vez que tomar medidas.

Figura 16.

Fotografías Binocular con cámara clara (derecha) y cámara fotográfica



Nota. En la izquierda: fotografía de binocular con cámara clara (derecha) y cámara fotográfica (arriba), utilizado para el dibujo y descripción de muestras preparadas. En la derecha: microscopio con cámara clara (tubo ubicado a la derecha) utilizado para el dibujo y descripción de muestras preparadas. La cámara fotográfica (arriba) permite captar imágenes y tomar medidas de las estructuras de detalle a estudiar. Autor: Dr. Xavier Delclòs.

Una vez finalizados los dibujos con la cámara clara a lápiz, éstos son escaneados y retocados con software de dibujo para clarificar mejor los dibujos, diferenciar a colores por ejemplo la nerviación de dos alas superpuestas, lo que permite una mejor comparación con ejemplares anteriormente publicados y prepararlos para ser incluidos en publicaciones científicas.

Para exponer también los resultados en revistas científicas es necesario tener una cámara digital de fotografía acoplada al microscopio y al binocular (Figura 17) para hacer fotos de cuerpo entero del material a estudiar y también de aquellos caracteres que se utilicen para la determinación taxonómica de los ejemplares estudiados.

Paralelamente a la parte gráfica del trabajo científico será necesario hacer una descripción minuciosa del ejemplar a estudiar, para así poder desarrollar su sistemática y taxonomía, poderlo

comparar con ejemplares de la misma familia publicados con anterioridad, si son formas conocidas y/o si existen actualmente, o por el contrario son especies nuevas para la ciencia.

El estudio de caracteres, en comparación con los que presentan las formas actuales, pueden darnos noticia de características etológicas (de comportamiento) o de relación (intra- o interespecíficas), pero también biogeográficas o climáticas.

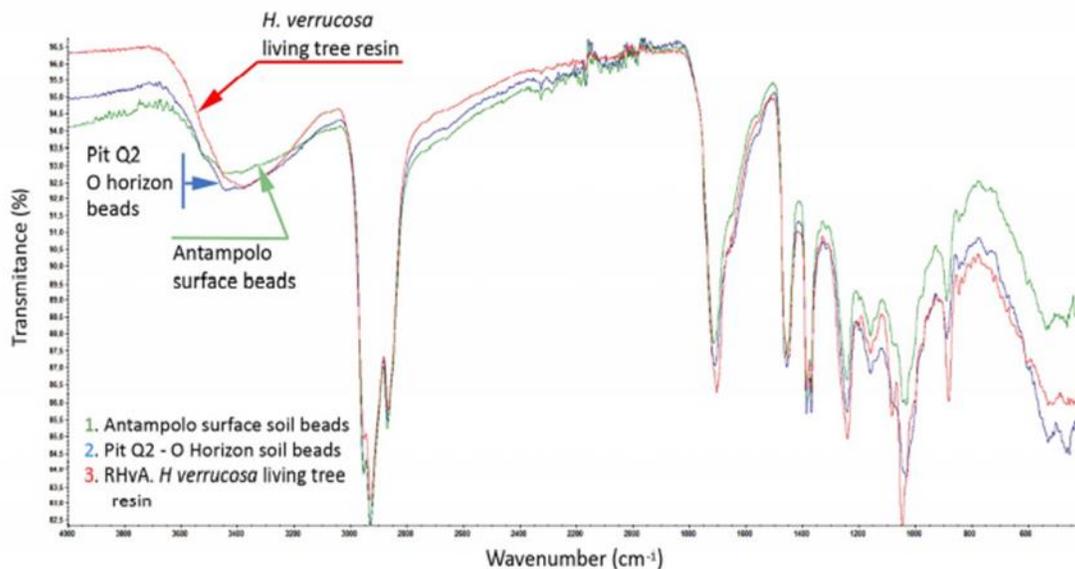
4.4.2.2 Análisis de laboratorio. En el laboratorio se tendrían que hacer, al menos 4 tipos de análisis con el material obtenido de las calicatas.

Para caracterizar el origen de la resina contenida en los horizontes del suelo (si fueron o no producidas por *Hymenaea*) de cada una de las catas se procede a realizar análisis de IRTF (Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier), de los cuales se obtendrán gráficas con dos variables Transmitancia o Absorbancia (%) vs Longitud de la onda (cm^{-1}).

Es recomendable usar varias muestras en el análisis para así poder realizar comparaciones entre ellas, por ejemplo: una muestra de resina de *Hymenaea verrucosa* que se encuentre en el sector y muestras de diferentes horizontes de suelo en las catas excavadas (Figura 19). Asimismo, se debe realizar el análisis de ^{14}C para obtener una edad radiométrica aproximada de las muestras.

Figura 17.

Gráfica de análisis IRTF de muestras de resina de *Hymenaea*



Nota. Análisis IRTF de 3 muestras obtenidas para determinar el origen de la resina con contenido de hongos conservados en el horizonte O del suelo de catas en la región de Sambava, Madagascar. El análisis incluye muestras de resina de: 1. La superficie del suelo en diferentes partes de Antampolo; 2. Muestras del horizonte O de la cata 2 (Cata Q2) de Antampolo y 3. Muestra de resina de un árbol de *H. verrucosa* en Antampolo. Tomado de Delclòs et al. (2020).

Si se desea realizar un estudio micromorfológico de las bolitas de resina (soil beads, Figura 8) recolectadas, se puede realizar mediante un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) que permite obtener imágenes tridimensionales de alta resolución. Por último, en el caso de que las muestras de copal tengan bioinclusiones, estas también se pueden escanear por tomografía computarizada de la misma manera que el ámbar.

4.5 Análisis de actuaciones para abordar el estudio del “copal de Colombia”

En esta etapa, se estudió cómo abordar el estudio del “copal de Colombia” con base a cómo se ha abordado el estudio del ámbar o el copal en algunos países. A partir de la actuación para el estudio del ámbar en España, del copal y de la resina de defaunación de Madagascar, para que al localizar algunos yacimientos de copal se diseñe un proyecto de investigación sobre el copal

colombiano, en la vertiente de cómo el estudio de éste puede ayudar a la comprensión del cambio de la biodiversidad en las selvas tropicales de nuestro país.

4.6 Elaboración de memoria final

En esta última fase, como trabajo final se ha elaborado una memoria con el estado de conocimiento del “copal de Colombia”, que incluye todos los datos geológicos y paleontológicos que se puedan obtener y actualizar. Inicialmente se planteó publicar una síntesis del documento producido en una revista del SCI. Desafortunadamente, esto no será posible ya que no pudo realizarse actividad de campo y posteriormente análisis de laboratorio de las muestras por razones de seguridad en la zona encontrada, por lo que, desafortunadamente, no hay datos nuevos sobre el “copal de Colombia” susceptibles de ser publicados en una revista prestigiosa. Así no se ha conseguido obtener información de primera mano, ni de los lugares donde se extrae el “copal de Colombia”, ni si es verdaderamente copal o es resina de defaunación que se recolecta directamente de los árboles, y tampoco una edad absoluta basada en muestras encontradas por nosotros/as en calicatas.

5. Resultados

Gracias a la metodología llevada a cabo, se logró realizar una compilación y síntesis de conocimientos que se tienen hasta la actualidad sobre el “copal del Colombia” para el desarrollo del estado de conocimiento sobre dicha temática que se presentará a continuación, y también un planteamiento a estudio científico desde campo a laboratorio, en caso de encontrar yacimientos de copal e investigadores/as deseen seguir con la línea de investigación, una vez puedan acceder de manera segura a estos.

6. “Copal de Colombia”

El “copal de Colombia” ha proporcionado importantes novedades en el campo de la paleobiología por ser el más antiguo de Sudamérica y que preserva una gran diversidad de bioinclusiones. Este copal está permitiendo reconocer y estudiar ecosistemas forestales del Holoceno, edad geológica que se desarrollan las selvas tropicales actuales, después de la última gran glaciación global y que llegan al desarrollo y distribución actuales.

6.1 Lugares de origen

El “copal de Colombia” resalta la relevancia para la ciencia, ante todo para la disciplina entomológica, de fama por su belleza y diversidad bioinclusiones en artrópodos (mayoritariamente insectos) a nivel mundial, pero prácticamente desconocido en el país y mayoritariamente disponible para coleccionistas en ofertas comerciales a través del internet (Zenner de Polanía, 2004). La razón principal puede ser la ausencia de conocimientos acerca de los lugares donde se encuentran los depósitos (si es que existen), los cuales aparentemente son solo explotados para

finés de venta al exterior. Las piezas más bonitas se ofrecen al público a través de diversas páginas en internet, la mayoría de Estados Unidos y Canadá, pero también algunas páginas europeas, que muestran fotografías de ejemplares con inclusiones de todo tipo de insectos y arañas. El valor comercial de las piezas con inclusiones de insectos varía de unos pocos a varios miles de dólares, dependiendo el tamaño, color, transparencia y del tipo de espécimen en su interior.

El “copal de Colombia” es muy famoso y controvertido, a menudo promocionado como ámbar, procede de diferentes regiones no determinadas con exactitud, tales como Antioquia, Santander, Magdalena Medio y Andes Colombianos. DuBoi & La Polla (1999), al revisar unas hormigas preservadas en el copal colombiano, indican como procedencia los departamentos de Boyacá y Santander sin especificar sitios exactos, a veces hacen referencia a la localidad “Peña Blanca” en Santander (Zenner de Polanía, 2004). Poinar (1996) indicó muestras de copal en los Departamentos de Santander, Boyacá, Antioquia y Bolívar, más específicamente, cerca de los municipios de Bucaramanga, Girón, Bonda, Medellín, Peñablanca, Mariquita y el Valle de Jesús.

Aparentemente, no se puede comprar copal; la mayoría ha sido llevado al exterior probablemente en forma clandestina, irrespetando la legislación ambiental y de protección al patrimonio existente en el país, ante todo aquella que hace referencia a “colecciones” y exportación de especímenes, aunque sean muertos, de insectos y otros animales sin los permisos respectivos (Zenner de Polanía, 2004). No hay duda de que la resina fosilizada (o subfósil) procedente de Colombia es copal o resina de defaunación y no ámbar, ya que en Colombia aún no se ha descubierto ámbar y que lo que se comercializa como “copal de Colombia” es copal (si se encuentra en el subsuelo) o resina de defaunación reciente recolectada directamente en los árboles de algunas regiones.

Lo valioso del “copal de Colombia” son las inclusiones de insectos, de sus asociaciones y de otros artrópodos y de probablemente de partes de plantas. A pesar de su reciente formación (a escala geológica) asumiendo que las bioinclusiones pueden tener alrededor de 250 años (Solórzano-Kraemer et al., 2020), nos permitirían igualmente realizar comparaciones con la fauna y la flora existente en la actualidad e indicar si algunas especies ya dejaron de existir (Zenner de Polanía, 2004). Sin embargo, debido a su corta edad precisamente, puede restar interés para su estudio por parte de entomólogos ya que no reconocen el valor que pueden tener estas piezas para las colecciones y museos, el estudio de poblaciones de insectos vivientes o extintos, en relación con la actividad humana en los últimos siglos o las migraciones.

6.2 Definición

El “copal de Colombia” tiene su origen en una resina producida por árboles leguminosos del género *Hymenaea* (Caesalpinaceae) (Langenheim, 1995, 2003; Poinar, 1992; Poinar & Poinar 1994; Poinar 1996). Poinar (1996) indicó que la resina la produjo el árbol algarrobo (*Hymenaea courbaril*, *H. oblongifolia* y *H. parvifolia*), que se encuentra ampliamente distribuida en el Sur de México, América Central, Las Antillas y las regiones del norte de Sudamérica.

6.3 Edad

La edad del “copal de Colombia” aún permanece como una pregunta abierta (Poinar et al., 2017). Según Stinchcomb (1998) hay dudas sobre si el “copal de Colombia” ha de ser considerado *fósil* o *subfósil*, si el material es del Pleistoceno o más antiguo, y si las inclusiones son recientes o fósiles.

De acuerdo con Langenheim (1990) el “copal de Colombia” ha sido considerado de edad “Terciaria” por algunos autores. Por el contrario, Poinar (1992) indicó que todo el material de “copal de Colombia” que se conocía hasta el momento tenía una edad de Pleistoceno (2,58 Ma, -

11.700 años). Sin embargo, más tarde Poinar (1996) también afirmó, sin mostrar ningún tipo de estudio, que la mayoría de piezas de “el copal de Colombia” tenían menos de 500 años.

Grimaldi (1996) sugirió un rango amplio que abarca 50 años hasta 1,6 millones de años, y en su libro “Ámbar: una ventana al pasado” mencionó que muchas de las piezas que contienen termitas y otras inclusiones de insectos son vendidas a coleccionistas amateurs como “*ámbar del Plioceno*” (aprox. 2 M.a), aun cuando las pruebas de ^{14}C indican una edad de unos cientos de años, como los demás depósitos de copal de *Hymenaea*. En contraste a lo anterior, Clifford et al. (1997) afirmó una edad de 200 años obtenida en algunos ejemplares, y por lo tanto corresponden prácticamente a resina reciente (resina de defaunación).

Stinchcomb (1998) incluyó incertidumbre a la interpretación de si es o no copal, estimó que su edad es Plioceno, ubicándola entre 2,5 - 6 Ma afirmando, no obstante, que la resina es joven (subfósil) y no debe ser llamada “ámbar”, debido a que a) sus bioinclusiones son similares o idénticas a las asociaciones de artrópodos de los bosques tropicales modernos, b) se disuelve en solventes orgánicos si se expone por un tiempo suficiente c) las dataciones de ^{14}C que se han realizado a algunos ejemplares sugieren una edad de cientos de años y d) el material es recolectado por locales de depósitos superficiales (esto se supone ya que se desconoce completamente dónde y cómo se obtiene el “copal de Colombia”). Dubois & Lapolla (1999) sugirieron para el “copal de Colombia” una edad del Plioceno-Pleistoceno o reciente que oscila entre los 10 y 500 años.

Adicionalmente, aunque había cierta incertidumbre sobre la edad real del “copal de Colombia”, se creyó que las especies encontradas en éste tenían una edad del Oligoceno a Mioceno (Martínez-Richa et al., (2000) o una edad de 10.000 años (Brody et al., 2001).

Autores como Johnson (2004) han estimado su edad a través de análisis de ^{14}C , lo que les permitió concluir una edad de “varios cientos de años” según los resultados obtenidos del personal del Museo Americano de Historia Natural.

Perkins (2004) aseguró que el “ámbar de Colombia” (que según él hasta el momento se ha comprobado que es copal) puede abarcar, dependiendo del sitio de hallazgo, un rango de edad entre 2 y 20 millones de años. Asimismo, añade que en la actualidad estudios geológicos son imposibles, dado el dominio de los cárteles de la droga y de la guerrilla de los sitios donde se asume que se encuentran los yacimientos o “minas” (como le llaman los comerciantes y extractores).

Otros autores sugirieron que el “copal de Colombia” puede tener hasta una edad de miles de millones de años (Azar et al., 2009; lo más probable que corresponda a una errata tipográfica y se refiera a miles de años), o un rango de edad de unas décadas a unos miles de años (Judson, 2010).

Posteriormente, Penney et al. (2012) sostienen que el “copal de Colombia” es (sub)reciente en edad, datado entre la posterioridad a la II Guerra Mundial hasta hace aproximadamente 1.736 +/- 35 años. Ward Aber (2004), realizando el mismo tipo de análisis estimó que el copal procedente del departamento de Santander tendría una edad de 250 años.

Usualmente se ha datado dentro de un rango de edad de 60 años (post bomba atómica) a 2,5 Ma (Holoceno-Pleistoceno) (Poinar, 1992; Lambert et al., 1995; Anderson, 1996; Stinchcom, 1998; Ragazzi et al., 2003; Penney et al., 2013). Sin embargo, hasta el momento la muestra de copal colombiano más antigua formalmente datada por medio de ^{14}C en el laboratorio de Espectrometría de Masas con Acelerador de la Universidad de Arizona, con bioinclusiones de unas

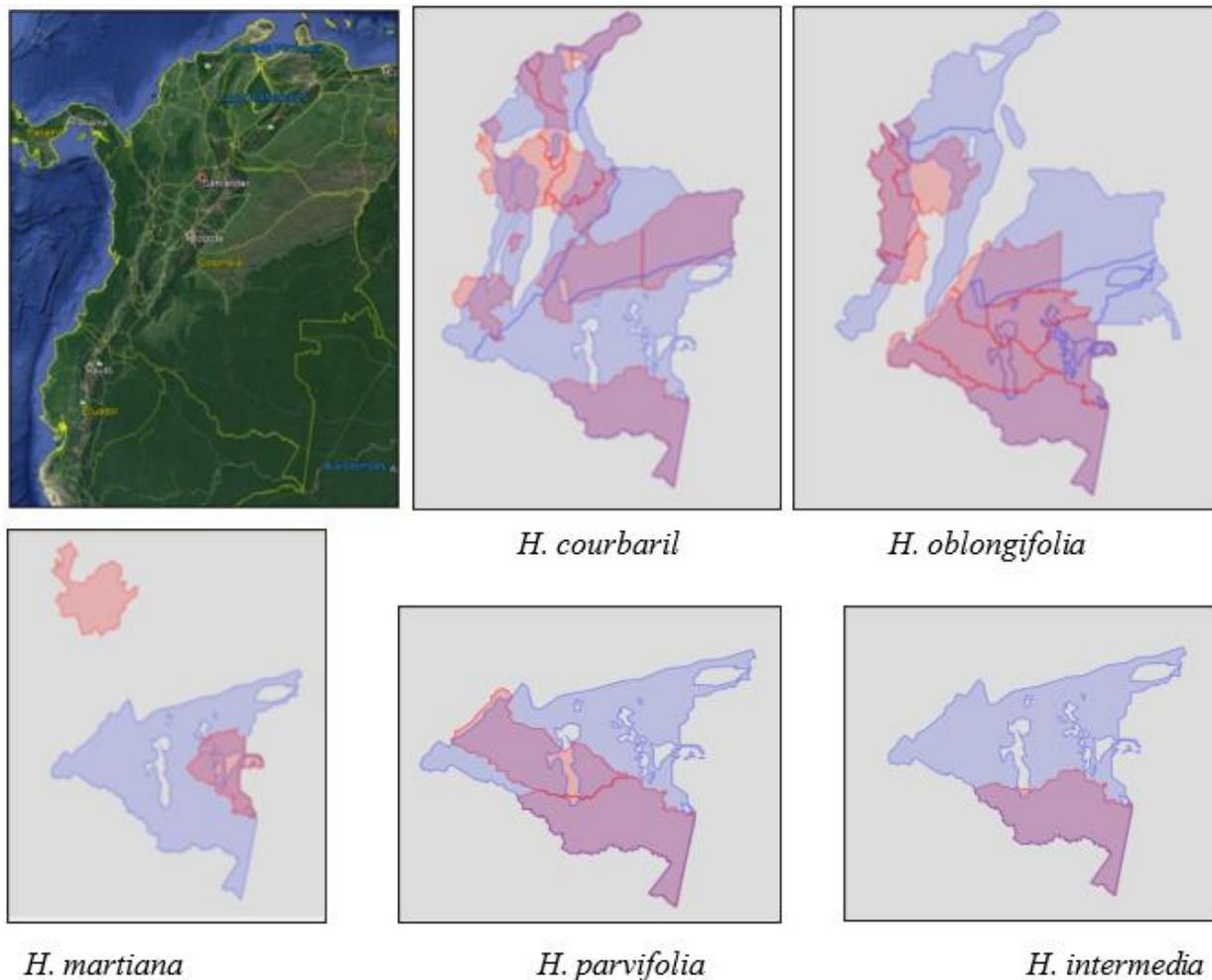
especies de abejas sin aguijón, ha arrojado una edad de 10.612 +/- 62 años (Penney et al., 2013; Penney, 2016).

6.4 *Hymenaea*, planta de origen y su distribución geográfica

El género más basal de *Hymenaea* se conoce en África oriental y algunas islas índicas con la única especie *H. verrucosa*, observándose la mayor diversidad y disparidad del género en Sudamérica donde se utilizan para la comercialización de su madera y resina. Algunas especies producen más resina que otras, lo que les da la posibilidad de crear con el tiempo depósitos de copal (Colombia, Venezuela o República Dominicana) o ámbar (Etiopía, República Dominicana y México) (Solórzano-Kraemer et al., 2020).

No todos los organismos que viven alrededor o encima de los árboles de *Hymenaea* son atrapados por la resina en la misma cantidad a las proporciones que existen en vida (Solórzano-Kraemer et al., 2020) y es por esta razón que los copales y los ámbares no reflejan exactamente las comunidades que existieron hace miles o millones de años.

Según Grandstein (2015) existen en Colombia 5 especies de *Hymenaea* (Figura 18): *H. courbaril* (la más abundante, y conocida como algarrobo), *H. intermedia*, *H. martinia*, *H. oblongifolia* y *H. parvifolia*. En todos los casos se trata de leguminosas con porte de árbol, *H. courbaril* es la que presenta en las regiones biogeográficas de Amazonia, Andes, Llanura del Caribe y Orinoquía (llanos Orientales) y distribuida por los Departamentos de Amazonas, Antioquia (San Jerónimo, Santa Fe de Antioquia y Liborina), Atlántico, Bolívar, Boyacá, Cauca, La Guajira, Magdalena, Meta, Quindío, Santander, Cundinamarca (en el valle del río Magdalena) y Vichada, y presenta una mayor amplitud altitudinal, de 30 a 2000 m, (Unalmed & Sena, 2004; Alzate Tamayo et al., 2008). García Barriga (1974) especifica su existencia en San Gil (Santander) y también entre Sanabalarga y Campeche (Atlántico).

Figura 18.*Distribución de las especies del género Hymenaea en Colombia*

Nota. Género *H. courbaril* distribuido en las regiones biogeográficas de Amazonia, Andes, Llanura del Caribe y Orinoquía (llanos Orientales), *H. oblongifolia* distribuido en las regiones biogeográficas de Amazonía, Guayana y Serranía de La Macarena, Llanura del Caribe, Orinoquía, Pacífico y Valle del Magdalena, *H. martiana*, *H. parvifolia* e *H. intermedia* distribuidas en la región biogeográfica de Amazonía. Tomado de Grandstein (2015).

La otra especie que presenta una gran distribución es *H. oblongifolia*, registrándose en las regiones biogeográficas de Amazonía, Guayana y Serranía de La Macarena, Llanura del Caribe, Orinoquía, Pacífico y Valle del Magdalena y distribuida por los Departamentos de Amazonas, Antioquia, Caquetá, Chocó, Guaviare, Meta, Putumayo, Valle y Vaupés (Serna Mosquera et al., 2011). Las otras tres especies solo se encuentran en la región biogeográfica de Amazonía, pero

distribuidas por los Departamentos de Amazonas a unos 130 m de altitud (*H. intermedia*), Antioquia y Vaupés a unos 250 m de altitud (*H. martiniana*) y de Amazonas y Caquetá a unos 230 m de altitud.

Si se observa la distribución de las cinco de especies *Hymenaea* en Colombia y teniendo en cuenta la reciente edad del copal, es muy probable que el árbol productor del “copal de Colombia”, en el caso específico en el departamento de Santander fuese *H. courbaril*, como se ha supuesto por algunos autores (McCooy et al., 2017), aunque también pudiera haber sido, por su distribución actual, *H. oblongifolia*.

Existe controversia acerca de la producción de resinas por *H. courbaril*, ya que, aunque en general se acepta que el origen de la resina pudiera ser una herida (Langenheim, 1990), experiencias descritas por Iturralde-Vinent (2001) indican que quebrar una rama o causar daño a la corteza del algarrobo no la produce si el árbol está sano.

Tampoco observó su producción semanas después del daño casado a los árboles por un huracán, pero sí detectó resina debajo de la corteza, en sitios donde insectos habían causado daño o construido sus nidos.

Hymenaea courbaril se caracteriza por ser un árbol grande y robusto (Figura 19), subcaducifolio, de 10 a 25 (40) m de altura con un diámetro de hasta 1.5 m. El tronco es derecho, a veces cubierto por una excreción gomosa, al que se le llaman anime, del latín medieval *amineus* (blanco). Su copa es redonda y muy densa, con follaje denso verde claro y brillante, sus ramas gruesas ascendente y una corteza externa ligeramente escamosa a lisa, pardo grisáceo.

Figura 19.

Árbol de Hymenaea courbaril



Nota. Izquierda: *Hymenaea courbaril* donde se observa la altura del tronco y su follaje. Tomado de Monaco Nature Encyclopedia, <https://www.monaconatureencyclopedia.com/hymenaea-courbaril/?lang=es>. Centro: tronco de *H. courbaril* y derecha: Vista frontal de la flor del algarrobo, género *Hymenaea courbaril*, se observan pétalos grandes y blancos. Tomado de Wikipedia, https://es.wikipedia.org/wiki/Hymenaea_courbaril.

Sus flores son grandes, blancas, verdosas, fuertemente perfumadas, extendidas, de 3.5 cm de diámetro y 1.5 cm de largo (Figura 19). Los frutos que contienen las semillas son vainas ligeramente aplanadas, de 10 a 17.5 cm de largo (Figura 20), sumamente leñosa, verdosa a moreno oscuro, con pulpa harinosa de color amarillo, dulce y comestible (Pennington & Sarukhán, 2005)

Antiguamente la resina de *H. courbaril* era un ingrediente de ungüentos y emplastos, pero en la actualidad su uso es solo para barnices e incienso. La madera es utilizada para artesanías, trabajos de tornería e instrumentos musicales (pianos y guitarras), construcciones rurales y navales, muy apreciada para la ebanistería, para la leña y carbón (Funk et al., 2007).

Figura 20.*Frutos del algarrobo y resina*

Nota: Fotografía donde se puede observar la disposición del fruto del algarrobo en el árbol, el contenido amarillo y pulposo del fruto y resina recolectada que se forma sobre las cicatrices de la corteza y en el subsuelo. Tomado de Wikipedia, https://es.wikipedia.org/wiki/Hymenaea_courbaril.

6.5 Bioinclusiones en el “copal de Colombia”

Las bioinclusiones en el copal pueden ser muy informativas a diferentes niveles (Penney et al., 2012). No son muy comunes los especímenes de “copal de Colombia” con un peso superior a 1kg (usualmente formado en el subsuelo, en las raíces) y pueden contener algunos centenares de inclusiones, las cuales murieron en cuestiones de minutos (o segundos) respecto a las demás, usualmente están separadas unos cuantos centímetros (Figura 21). Debido a la escasa edad de estas resinas, el nivel de preservación es usualmente alto (Figura 22). Stinchcomb (1998) afirma que el “copal de Colombia” se caracteriza por tener insectos de gran tamaño y diversos, los cuáles pueden ser bien observados a través de la resina por el color claro que la caracteriza, aunque esto puede estar condicionado por la selección de las muestras.

Figura 21.

Pieza de “copal colombiano” con gran cantidad de bioinclusiones



Nota. Pieza de copal donde se observa variedad de insectos de diferentes tamaños incluidos en la resina. Tomado de Penney & Preziosi (2010).

Figura 22.

Inclusiones bien preservadas en pieza de copal



Nota. Fotografía de microscopio en el que al lado izquierdo se observa: **A.** araña cangrejo (Araneae: Thomisidae) en pieza de copal de Madagascar y hacia el lado derecho, **B.** un trips (Thysanoptera: Phlaeothripidae), de pieza de “copal de Colombia”. Tomado de Penney & Preziosi (2010).

Sin embargo, algunas de las pocas especies descritas del “copal de Colombia” están extintas, por ejemplo, la abeja de la orquídea descrita por Hinojosa-Díaz & Engel (2007) y la

mariposa que aún no se ha descrito (T. Emmel), o que también podría pertenecer a especies existentes que aún tampoco se han descrito en la fauna reciente (Penney et al., 2013). Algunas familias de insectos existentes son únicamente conocidas como bioinclusiones del “copal de Colombia”, por ejemplo, la familia Ptiloneuridae (Azar et al., 2009).

Si se enterrase ahora y se descubriera dentro de 20 millones de años este el “copal de Colombia” proporcionaría a los futuros investigadores una idea sobre nuestra actual crisis de biodiversidad a la que a menudo se hace referencia como la sexta extinción masiva. Para futuros investigadores, estos fósiles proporcionarían una idea de la biodiversidad de los ecosistemas forestales neotropicales que nos esforzamos en conservar en la actualidad (Penney & Preziosi, 2010, 2013). Tales ecosistemas tienen un potencial notoriamente bajo de fosilización debido a la naturaleza cálida y húmeda, también a la cantidad de descomponedores y recicladores que contiene.

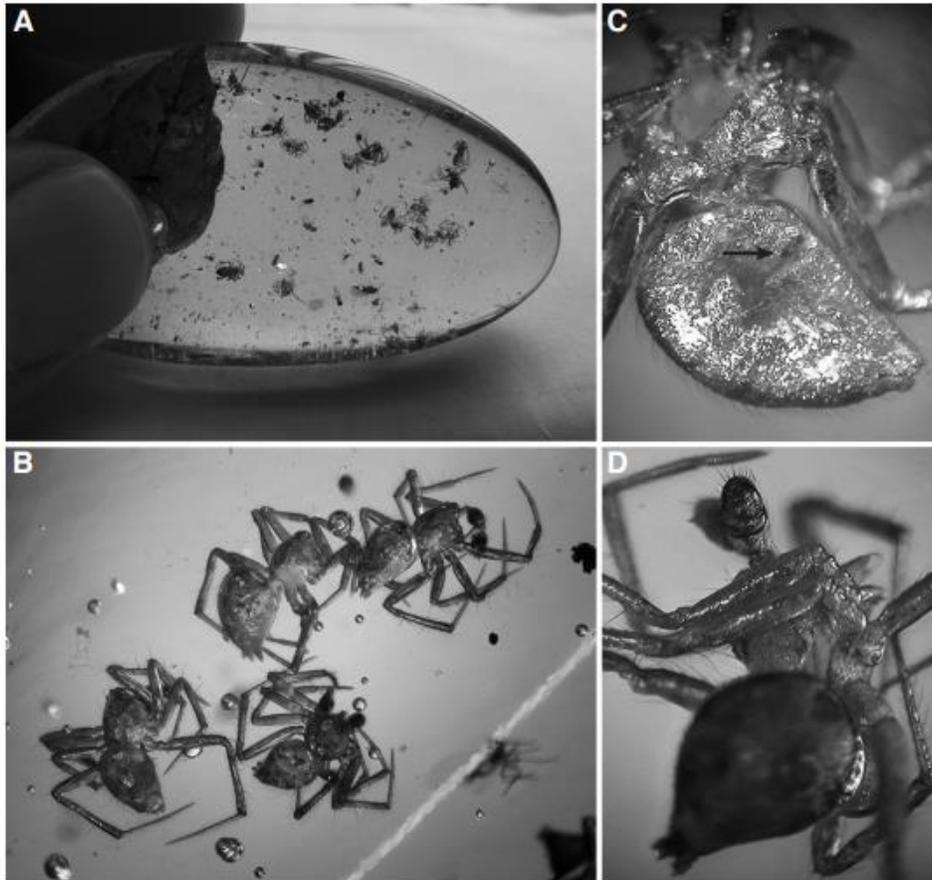
La estructura comunitaria de inclusiones en el copal, lo que se denominan sininclusiones (todo el conjunto de bioinclusiones de una misma pieza de copal), puede servir como un proxy para entender el sesgo de preservación en el ámbar. Por ejemplo, el conjunto de organismos que atrapó la resina que forma el “copal de Colombia” se espera que sea análogo al conjunto de organismos que atrapó la resina que originó el ámbar de República Dominicana o de México, de hace unos 17 M.a, ya que ambos ocurrieron en ecosistemas de bosques neotropicales y ambos fueron producidos por el mismo género de árbol *Hymenaea*. Es interesante hacer mención que se ha demostrado que las arañas del ámbar dominicano tienen origen en Suramérica, o al menos afinidades (Penney, 2008) y un estudio de un conjunto de hormigas preservado en “copal de Colombia” mostró mayor similitud a las que se encuentran conservadas en el ámbar dominicano

que en las existentes en la fauna colombiana, aunque este resultado podría haber sido un artefacto en las metodologías de muestreo (Dubois & Lapolla, 1999).

En observaciones preliminares de una muestra de 3 kg de “copal de Colombia” Penney & Preziosi (2010, 2013) describieron 16 órdenes de artrópodos: Araneae y Acari (arácnidos) y Archaeognatha, Ephemeroptera, Isoptera, Mantodea, Blattodea, Hemiptera, Thysanoptera, Psocodea, Orthoptera, Diptera, Coleóptero, Hymenoptera, Lepidoptera y Trichoptera (insectos). Estos mismos autores muestran interesantes ejemplos de co-ocurrencia (dos grupos diferentes atrapados a causa de una actividad que los relaciona) que es poco probable que hayan ocurrido por azar. Así encuentran una paleobiocenosis inusual de arañas (Figura 23) y una especie de escarabajo, *Termitodious* sp. (Scarabaeidae: Aphodiinae), que regularmente convive con termitas del género *Coptotermes* (Penney et al., 2012).

Figura 23.

Paleobiocenosis dominada por arañas subfósiles Euryopis/Esmertonella (Theridiidae) del “copal de Colombia”



Nota. **A.** Fotografía de la pieza de copal completa, **B.** Imagen de cerca de las inclusiones de arañas, **C** La flecha dibujada indica los genitales de un espécimen hembra, **D.** Genitales de un espécimen macho, cuyo cuerpo tiene una longitud de 2mm. Tomado de Penney et al. (2012).

Sin embargo, no ha habido nunca un equipo de investigación colombiano que estudiara de manera pluridisciplinar el contenido faunístico del “copal de Colombia”, por lo que todos los estudios realizados y publicados se han basado exclusivamente en la especialidad de los autores, y no con el objetivo de visualizar el conjunto o asociación preservada en su interior

A continuación, se resumen los principales estudios sistemáticos sobre diferentes órdenes de insectos y arañas que han involucrado ejemplares en el “copal de Colombia”.

6.5.1 Insectos

6.5.1.1 Diptera. Del orden Diptera (como por ejemplo zancudos) se tienen constancia de la presencia de especies de las familias Dolichopodidae, Tipulidae y Mycetophylidae (Penney & Preziosi, 2010).

6.5.1.2 Hymenoptera. De este orden han aparecido las familias Chalcididae (avispa parásita) y Apidae (Penney & Preziosi, 2010) y Formicidae (Dubois & Lapolla, 1999), abejas y hormigas respectivamente.

Abeja de las orquídeas (Hymenoptera: Apidae)

Las aproximadamente 125 especies de abejas de las orquídeas (Euglossini) son las visitadoras de este grupo de plantas neotropicales. La especialización de muchas especies de orquídeas respecto a un reducido número de especies de abejas euglósidas las hace dependientes de los servicios de polinización de estas abejas (Roubik & Ackerman, 1987).

Figura 24.

Fotomicrografía de Euglossa cotylisca en pieza de “copal de Colombia”



Nota. En la fotografía se observa en la parte superior la pieza de copal completa con una abeja que quedó atrapada en el lado lateral del material; mientras que en la parte inferior se tiene una vista clara y más cerca de la parte dorsal de la abeja. Tomado de Hinojosa-Díaz & Engel (2007).

Las abejas de las orquídeas son una de las 4 tribus modernas de Apinae Corbiculate y son, según evidencia morfológica, de comportamiento y paleontológica, también combinada con análisis de secuencias de ADN, un grupo representativo del primer linaje que se ramificó de las ancestrales corbiculatas (Schutlz et al., 1999, 2001; Engel, 2001a, 2001b; Noll, 2002).

Las Euglossines tienen un registro fósil pobre que consiste en dos especies extintas descritas en el ámbar del Mioceno de la República Dominicana.

Una nueva especie de abeja de las orquídeas *Euglossa (Euglossa)* se encuentra en la colección del Museo Británico de Historia Natural en Londres (Figura 24). Es el tercer espécimen de abejas de este grupo y el primero formalmente descrito en Suramérica. A juzgar por la edad del fósil y la presumible ausencia de la especie en la fauna moderna, se presume que la especie se ha extinguido de manera relativamente reciente (Hinojosa-Díaz & Engel, 2007).

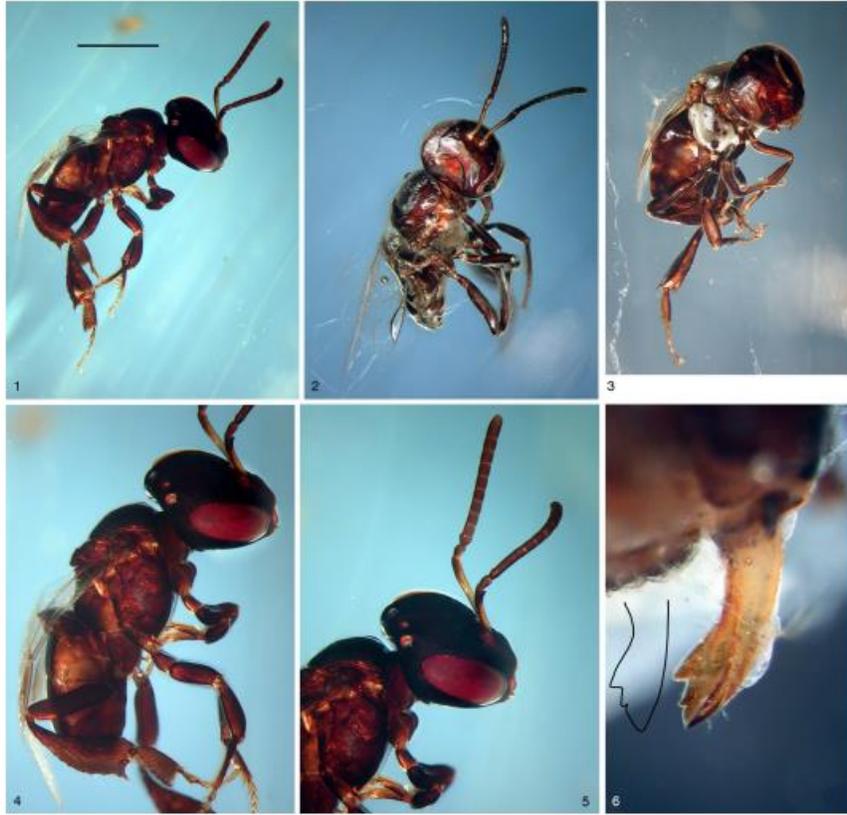
Afortunadamente el único individuo *E. (Euglossa) cotylisca* preservado es macho, lo que permite una comparación más minuciosa con los taxones modernos y una aproximación más cercana de sus afinidades a otras especies filogenéticas, y también genera ciertamente interés para entender las extinciones recientes locales en la fauna de las abejas de las orquídeas en Sudamérica (Hinojosa-Díaz & Engel, 2007).

Tradicionalmente la taxonomía del género *Euglossa* se ha basado por los caracteres sexuales externos de los machos, como son la superficie setosa (peluda) de la mesotibia (en 2° par de patas), las diversas modificaciones del segundo esternón metasomal y la forma de las metatibias (en 3^{er} par de patas). *Euglossa (Euglossa) cotylisca* muestra una notoria depresión en la superficie que no está presente en ninguna de las especies existentes del género (Hinojosa-Díaz & Engel, 2007). Estos autores consideran que esta inusual depresión de la metatibia pudo haber aumentado la absorción de las sustancias químicas recolectadas por la abeja.

Abeja sin aguijón (Hymenoptera: Apidae)

Se descubrió una nueva especie de abeja sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) que se extrajo de una muestra de copal menos polimerizada y se realizó una disección bajo microscopio como si hubiera sido recientemente capturada (Figura 25). Fue posible examinar características que se consideran diagnosticas para especies existentes, el ejemplar del “copal de Colombia” estudiado es cercano taxonómicamente a las especies vivas (Penney et al., 2013).

La abeja es una nueva especie próxima a *Trigonisca longitarsis*, y se identificó como una *Trigonisca ameliae*, cuya edad corresponde a 10.612 ± 60 años (de acuerdo con el AMS de la Universidad de Arizona), que solo se ha conocido en muestras de copal holoceno del departamento de Santander. Este ejemplar representa la muestra de copal colombiano más antiguo datado radiométricamente, y no se puede eliminar la posibilidad de que sea una especie existente que aún habita en Suramérica (Penney et al., 2013) y que aún no ha sido encontrada. La única especie existente conocida de Colombia la *Trigonisca schulthessi*, la cual es diferente al espécimen en el copal porque solo tiene un diente mandibular pequeño y la pilosidad antenal es corta (Camargo & Pedro, 2005).

Figura 25.*Trigonisca ameliae en copal holoceno de Colombia*

Nota. **1.** Fotomicrografía del holotipo a una escala de 1.00 mm; **2.** Paratipo 1 en el cual se puede observar la venación alar; **3.** Paratipo 2; **4.** Microfografía del holotipo en vista lateral donde se aprecia su cuerpo completo; **5.** Detalle de la cabeza y las antenas de la abeja con ausencia de setas; **6.** Paratipo 3 mostrando la mandíbula izquierda después de que la inclusión fue extraída usando cloroformo. Tomado de Penney et al. (2013).

La habilidad para extraer inclusiones de resinas (sub)fósiles permite estudios más precisos sobre la biodiversidad de bosques tropicales del Cuaternario, como también estudios de la paleobiología molecular y los cambios tafonómicos fisicoquímicos que resultan de los procesos diagenéticos.

Estudiar los (sub)fósiles de las abejas sin aguijón tienen el potencial de ser informativos sobre los procesos biogeográficos del pasado y realizar comparaciones sobre las extinciones de estos en las islas respecto los linajes continentales.

Hymenoptera: Formicidae

Las hormigas a pesar de que dominan los ecosistemas terrestres son relativamente poco comunes como fósiles y subfósiles; sin embargo, se han reportado hormigas preservadas en copal en localidades en Colombia (Dubois & Lapolla, 1999).

Poinar (1996) indicó que la mayoría de los ejemplares de “copal de Colombia” provienen de Santander, Boyacá y Bolívar; más específicamente de las ciudades o pueblos como Bucaramanga, Girón, Bonda, Peñablanca, Mariquita, el Valle de Jesús y Medellín (siendo este último en el departamento de Antioquia). Los primeros depósitos se han encontrado a lo largo de cortes de carretera (Dubois & Lapolla, 1999).

El material provenía de los departamentos de Santander y Boyacá, los cuales se encuentran adyacentes en los Andes Colombianos. La profundidad de las capas que contienen copal es de 1 a 3 metros bajo la superficie del suelo y mayor a 10 metros, para Santander y Boyacá respectivamente.

Para el departamento de Boyacá se reportaron 5 subfamilias de hormigas: Dolichoderinae, Formicinae, Myrmicinae, Ponerinae y Pseudomyrmicinae (dentro de las cuales hay 21 géneros representados, siendo *Azteca* el género con mayor representación). En el departamento de Santander se reportaron 6 subfamilias: Dolichoderinae, Ecitoninae, Formicinae, Myrmicinae, Ponerinae y Pseudomyrmicinae (dentro de las cuales hay 24 géneros representados).

Las hormigas preservadas en el copal tienen diferencias entre sí, lo cual podría indicar diferentes ambientes. De los géneros que se encontraron en el departamento de Santander, un número significativo de géneros eran típicamente terrestres más que arbóreos. Se propuso la hipótesis de que la mayoría de la resina atrapó especímenes terrestres o que estaban en la superficie del suelo. Respecto a los géneros encontrados en el departamento de Boyacá, un alto porcentaje

eran hormigas típicamente arbóreas, y por la hipótesis propuesta fue que las resinas atraparon especímenes mientras se alimentaban arriba de la superficie del suelo. Algunos fósiles de los géneros *Neivamyrmex*, *Smithistruma* y *Strumigenys* son conocidos exclusivamente de Santander, mientras que otros géneros como *Acromyrmex* y *Cephalotes* son únicamente del departamento de Boyacá.

6.5.1.3 Coleoptera. Los escarabajos están representados por las familias Staphylinidae, Scolytidae (Penney & Preziosi, 2010), y familia Curculionidae.

Gorgojos (Coleoptera: Curculionidae)

En el “copal de Colombia” se han descubierto y descrito 3 nuevas especies de gorgojos (familia Curculionidae) en el departamento de Santander (Poinar et al., 2017): *Stenommatius copalicus*, *Conotrachelus dysaethrius* y *Cydianerus eukrinus* de las subfamilias Dryophthorinae, Molytinae y Entiminae respectivamente. Son el primer registro de la familia Curculionidae en el “copal de Colombia” (Figura 26).

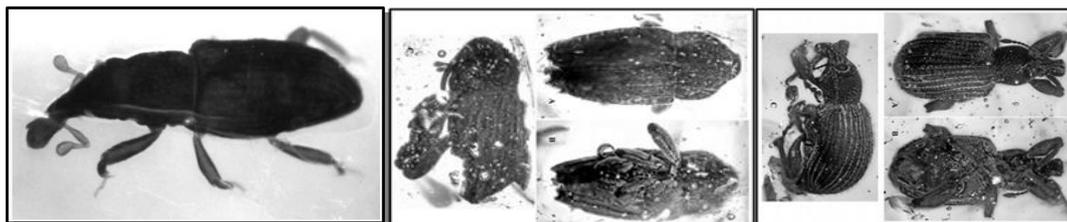
Stenommatius copalicus se caracteriza por su cuerpo elongado, en su parte dorsal es débilmente convexo y de color rojizo, su cabeza es relativamente pequeña y junto a un cuarto de su mandíbula es de color marrón oscuro. Sus ojos son grandes, estrechamente ovalados, casi planos y se encuentran ubicados bastante cerca entre sí en la parte inferior de la cabeza. Sus antenas se disponen insertadas lateralmente cerca de la mitad de la mandíbula y son relativamente pequeñas, tiene élitros elongados, poco convexos, patas cortas con uñas pequeñas y simples, dispuestas libremente. Por último, se le distingue un diente con forma apiculada, es decir con la punta más o menos aguda *Stenommatius copalicus*. Éste fue encontrado completo dentro de una pieza de copal alargada, su lado ventral era casi invisible debido a la ubicación en la resina, estaba acompañado de sininclusiones de otros animales: un isóptero alado, 6 insectos pequeños sin identificar, algunas

partes de cuerpos de insectos (antenas, patas, torso). La pieza de copal también contenía burbujas de gas y pequeñas grietas distribuidas difusamente.

La *Stenommatius copalicus* difiere del ejemplar fósil *S. pulvereus* (Davis & Engel, 2006) encontrado en el ámbar dominicano porque sus alas anteriores (élitre) son más cortas, una puntuación (pequeños surcos) pronotal más débil, un estrechamiento de las alas anteriores en el ápice $\frac{1}{4}$ y su cuerpo es de color marrón. Por otro lado, difiere del *S. leptorhinus* (Poinar & Legalov, 2015) porque su cuerpo es más grande y tiene un protórax (primero de los tres segmentos del tórax) más largo con intervalos igual de anchos como las estrías. El *Stenommatius copalicus* sp. nov. es similar al reciente *S. sulcifrons* de América, pero se diferencia en base a su cuerpo que es más ancho, y los humeros del primer par de patas son fuertemente convexos (Poinar et al., 2017).

Figura 26.

Inclusión de *Stenommatius copalicus*, *Conotrachelus dyaethrius* y *Cydianerus eukrinus* en una pieza de “copal de Colombia”



Nota. De izquierda a derecha: Holotipo de *Stenommatius copalicus*, vista desde el dorso lateral, se observa su cuerpo elongado y de color oscuro con una cabeza relativamente pequeña. Holotipo de *Conotrachelus dyaethrius* observado en 3 vistas: **A.** Vista dorsal. **B.** Vista ventral. **C.** Vista lateral. *Cydianerus eukrinus* observado en 3 vistas: **A.** Vista dorsal. **B.** Vista ventral. **C.** Vista lateral. Vista lateral Tomado de Poinar et al. (2017).

La nueva especie *Conotrachelus dyaethrius* presenta un cuerpo ligeramente elongado, dorsalmente convexo, de color rojo, lampiño, con escamas erectas o semierectas bastante elongadas. mandíbula alargada y ligeramente curva con dientes grandes. Sus ojos son grandes, ovalados, y casi planos, su frente también es casi plana. Las antenas se encuentran dispuestas lateralmente antes de llegar a la mitad de la mandíbula, son bastante largas con grandes escamas

elongadas. El protórax tiene forma de campana sin grupos erectos de escamas, élitros con forma trapezoidal y abdomen plano. Las patas son bastante largas, con sus fémures claramente adheridos y ligeramente aplanados; la tibia es aplanada también, curva y sin apículos. Sus uñas largas se disponen libremente, divergen entre sí y tienen terminaciones puntudas.

La especie *Conotrachelus dysaethrius* se diferencia de la *C. pertusicossis* (Fiedler, 1944) que también se encuentra en el país, debido al color rojizo de su cuerpo, la mandíbula ligeramente curva, y el ápice de las alas anteriores es redondeado. Asimismo, se distingue del *C. subquadraticollis* colombiano (Fiedler, 1944) porque su mandíbula es más larga, el protórax más angosto, los húmeros más suavizados y el ápice de los élitros (alas anteriores) porta unos grandes dientes romos.

La especie *Cydianerus eukrinus* tiene un cuerpo ancho y elongado, dorsalmente convexo, de color rojo brillante. La cabeza es grande y con mandíbulas cortas y curvas, placa nasal prominente, mentón con bellosidades; ojos grandes, ovalados y ligeramente convexos con una frente plana; las mandíbulas tienen marcas prominentes de inserción en el proceso de árboles caducifolios. Las antenas insertadas lateralmente en la mandíbula, son elongadas y muy cerca del inicio de los élitros. Las piernas son largas, con los fémures debilmente clavados sin dentículos con la tibia aplanada, casi recta sin terminaciones apicales. Sus uñas son largas y simples.

6.5.1.4 Orthoptera. De la familia Gryllidae se han encontrado estadios juveniles (Penney & Preziosi, 2010).

6.5.1.5 Isoptera. Restos de adultos alados de termitas y de ejemplares de la casta trabajadora son comunes en el “copal de Colombia” (Penney & Preziosi, 2010). Asimismo, trazas de túneles en piezas de este copal o resina de defaunación, también han sido reconocidas.

6.5.1.6 Psocodea.

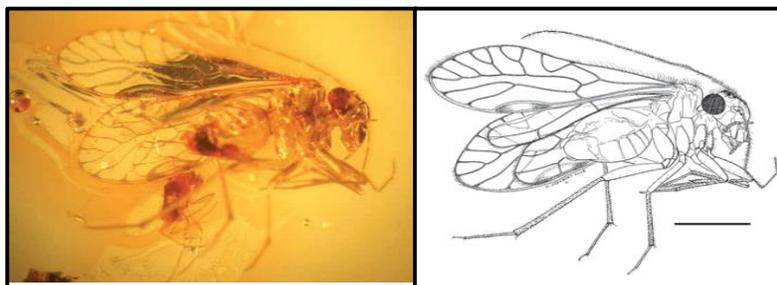
Psocodea: Ptiloneuridae

Psocodea es un pequeño grupo de aproximadamente 10.000 especies modernas descritas. Están bien representada en el registro fósil tanto de compresión (en roca) como inclusiones en el ámbar (Vishnyakova, 1975; Sparh 1992; Gelhous & Johnson, 1996; Azar 2000; Baz & Ortuño, 2000, 2001; Poinar & Milki, 2001; Perrichot et al., 2003; Azar & Nel, 2004; Grimaldi & Engel, 2006b).

Actualmente, en el orden de los Psocodea se reconocen tres subórdenes: Troctomorpha, Triogiomorpha y Psocomorpha. En el “copal de Colombia” del departamento de Santander se ha encontrado *Bricasia colombiensis* (Figuras 31 y 32) y *Euplocania* sp. indet. (Figuras 33 y 34), ambas de la familia Ptiloneuridae (Azar et al., 2009) y representan el primer fósil representativo de este género y el primer registro en Colombia.

Figura 27.

Bricasia colombiensis en pieza de “copal de Colombia



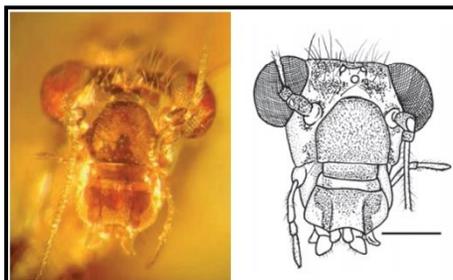
Nota. Fotografía de Holotipo de *Bricasia colombiensis* con su respectivo dibujo a cámara clara, la escala corresponde a 1mm. Tomado de Azar et al. (2009).

El ejemplar de *Bricasia colombiensis* se encuentra en la colección del Museo Nacional de Historia Natural de París (Figuras 31 y 32). Su cuerpo tiene una longitud aproximada de 2.45 mm, una cabeza alargada, antenas largas con 11 flagelómeros filiformes, ojos muy redondeados,

maxilar segmentado en 4 partes, patas segmentadas en 3 partes, uñas distales con un diente preapical y alas amplias con venas distribuidas a lo largo de éstas (Azar et al., 2009).

Figura 28.

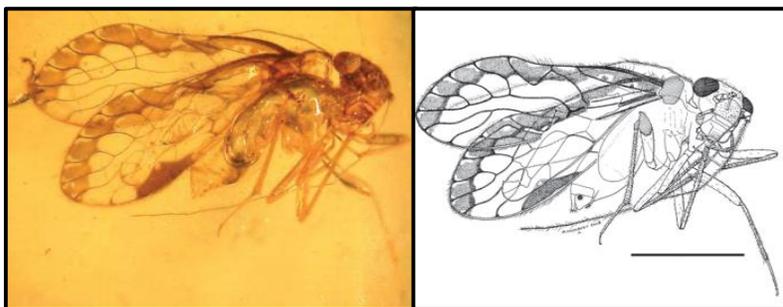
Cabeza de la Bricasia colombiensis en “copal de Colombia”



Nota. Fotografía y dibujo la cabeza (vista frontal) del holotipo *Bricasia colombiensis*, la escala corresponde a 0.3 mm. Tomado de Azar et al. (2009).

Figura 29.

Ejemplar de Euplocania sp. indet. en una pieza de “copal de Colombia”

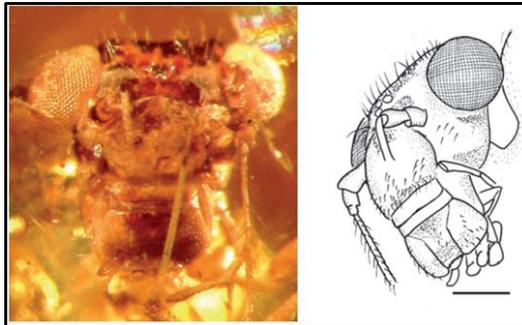


Nota. Fotografía de *Euplocania sp. indet.*, COLOMBIA-2^a con su respectivo dibujo a cámara clara, la escala corresponde a 1 mm. Tomado de Azar et al. (2009).

El ejemplar de *Euplocania sp. indet.* (Figuras 33 y 34) se encuentra también en la colección del Museo Nacional de Historia Natural de París, y su cuerpo se caracteriza por tener una longitud total de 3.75 mm, cabeza elongada, ojos redondos, maxilar dividido en 4 partes, antena filiforme con 11 flagelómeros elongados, cuya longitud va disminuyendo progresivamente. Sus patas con un diente apical en las uñas terminales (Azar et al., 2009).

Figura 30.

Cabeza de la Euplocania sp. indet., del “copal de Colombia”



Nota. Fotografía y dibujo de la cabeza (vista frontal) de *Euplocania* sp.indet., la escala corresponde a 0.3 mm. Tomado de Azar et al. (2009).

6.5.1.7 Blattodea***Ectobiidae: Euphyllodromia Shelford***

Los bosques tropicales de Suramérica y América Central representan uno de los centros modernos de diversidad de especies de cucarachas. La fauna de cucarachas de estas regiones permanece pobremente conocida, con muchos nuevos taxones esperando ser descritos. El género *Euphyllodromia* Shelford, fue originalmente descrito como un subgénero de *Pseudophyllodromia* (Anisyutkin, 2011).

Figura 31.

Euphyllodromia cf. angustata del “copal de Colombia”



Nota. Fotografía de *E. cf. angustata* hembra. Tomado de Anisyutkin (2011)

Euphyllodromia cf. angustata, se conoce por un ejemplar hembra del “copal de Colombia” del departamento de Santander (Figura 35) estudiado por (Anisyutkin, 2011). Para este autor, el “copal de Colombia” tiene una edad del Holoceno.

Este espécimen está relacionado con la especie existente, *E. angustata*, pero difiere de ella en la forma de la placa genital femenina. Un carácter inusual para el género es la presencia de dos espinas apicales (generalmente 3) en el margen anterior del fémur. Pero el armamento de las patas es variable y es imposible tener en cuenta este carácter basándose en solo un ejemplar. Sin embargo, ahora se sabe que los caracteres más útiles para la identificación de especies son los de los machos y las descripciones basadas en las hembras son, por regla general, insuficientes. Además, la fauna existente de cucarachas neotropicales está lejos de ser un inventario completo y la hembra de *E. angustata* descrita en el “copal de Colombia” podría pertenecer a una especie existente. Por esta razón se hace imposible nombrar una nueva especie basada en un único ejemplar hembra (Anisyutkin, 2011).

6.5.2 Arácnidos

6.5.2.1 Arañas

Penney et al. (2012) encontraron en una pieza de copal holoceno o de resina de defaunación (1736 +/- 35 años)- del departamento de Santander que contiene una paleobiocenosis de arañas. La pieza contiene 26 arañas del género actual *Euryopsis/Emertonella* de la familia Theridiidae, 18 individuos machos y 8 hembras, diferenciados/as en base a las genitales (Figura 24). No fue posible asignar con certeza dichas bioinclusiones a alguna de las especies existentes, aunque no hay razón para sugerir que estas bioinclusiones pertenezcan a una especie extinta.

Dentro de la pieza de copal holoceno, en asociación con las arañas, se encontraron otras bioinclusiones (tipo sininclusiones) como dípteros (moscas y mosquitos), psócidos, himenópteros (avispa y hormigas) y una hoja.

Según los autores, la primera fue que esta pieza de copal contuviera probablemente una población de arañas sociales. El paradigma del comportamiento social en artrópodos es visto en los diversos himenópteros eusociales como hormigas, abejas y avispa, y en los isópteros (termitas), en las que diferentes castas se han desarrollado para ejercer diferentes roles a costa de su propia reproducción, y tanto en isópteros (Barremiense) y en hormigas y avispa (Cenomaniense) este comportamiento ya estaba presente en el Cretácico (Martínez-Delclòs & Martinell, 1995; Zhao et al., 2020).

En contraste, especies de arañas eusociales son poco comunes hoy día y son desconocidas en el registro fósil (Penney et al., 2005). Ciertamente, la mayoría de las arañas son agresivas y este comportamiento social en ellas debe ser un fenómeno aparecido relativamente reciente en términos geológicos. La posibilidad de que una inclusión en el copal pueda ser de una especie extinta o existente resalta la importancia de considerar tanto la información neontológica (organismos

actuales) como paleontológica (fósiles) cuando se describe un nuevo taxón de regiones productoras de copal (Penney et al., 2005; Azar et al., 2009).

El descubrimiento de especímenes subfósiles como el ejemplar encontrado, en el cual los individuos coexistieron tanto en el tiempo como en el espacio, proveen un enfoque potencial y nuevas oportunidades para la investigación en la paleobiología molecular, como por ejemplo la extracción de ADN de inclusiones en copal para investigar cambios en la variación genética dentro de un mismo grupo en una escala evolutiva y del tiempo geológico (Penney et al., 2012), no obstante ver Peris et al. (2020). La información genética de los especímenes en copal cerraría la brecha entre la biodiversidad contemporánea/existente en los museos y el registro fósil, e informaría directamente a investigaciones filogenéticas y de genética evolutiva. Asimismo, aún más importante, las inclusiones en el copal podrían ceder información sobre cómo ha sido la variación genética dentro de las especies a lo largo de una escala de unos miles de años (Penney et al., 2012).

6.5.2.2 Pseudoescorpiones

Atemnidae y Chernitidae

Los primeros pseudoescorpiones reconocidos en el “copal de Colombia” corresponden a un pseudoescorpión hembra de las especies actuales *Paratemnoides nidificator* (Familia Atemnidae) (Figura 36) y un adulto de *Pachychernes* aff. *subrobustus* (Familia Chernitidae), que representa el primer registro del género *Pachychernes* en Colombia (Figura 37) (Judson, 2010).

Figura 32.

Microfotografía de Paratemnoides nidificator, ejemplar hembra en pieza de “copal colombiano”



Nota. Paratemnoides nidificator hembra observado en vista dorso-lateral. Tomado de Judson (2010).

Las inclusiones son abundantes en el “copal de Colombia”, pero los arácnidos apenas están comenzando a recibir atención (Lourenço, 1996, 2000; Bosselaers, 2004; Wunderlich, 2004a, 2004b; Penney et al. 2005; Bosselaers et al. 2010); de hecho, no se ha descrito ninguna especie de pseudoescorpiones en ejemplares de copal (Judson, 2010).

Figura 33.

Inclusión de Pachychernes aff. subrobustus, adulto en muestra de “copal de Colombia”



Nota: Pachychernes aff. subrobustus en vista dorsal. Tomado de Judson (2010).

La importancia de los pseudoescorpiones en el copal es más teórica que real hasta el momento, porque el conocimiento de la fauna existente en regiones neotropicales como en

Colombia no es suficiente (Heurtault, 1986; Ceballos & Florez, 2007) para poder hablar de formas actuales o extintas, pues existen pocos trabajos de este grupo publicados.

7. El “copal de Colombia” en el comercio internacional y en instituciones colombianas

No existe hasta el momento ningún trabajo científico publicado que indique ni uno de los yacimientos o cómo se obtiene el “copal de Colombia”. Mayoritariamente es un producto comercial que sale del país para su venta en el extranjero, y la totalidad de los trabajos sobre sus bioinclusiones denotan una falta de localidad de origen. Se cita como “copal de Colombia” y mayoritariamente con origen en de la región de Santander, pero sin una localidad precisa dentro de sus 30.537 km², aunque como se ha explicado se tiene noticia que aparece o se extrae de otros departamentos.

7.1 El mercado del “copal de Colombia”

Como no existe un mercado interior del “copal de Colombia” se realizó una búsqueda por internet de vendedores locales y extranjeros que lo ofrecieran en venta. Se contactaron vendedores/as locales de Antioquia, Cundinamarca y Bolívar y extranjeros/as de México, Argentina, Chile, Francia, Vietnam y mayoritariamente de Estados Unidos, a través de las plataformas de *Mercado libre*, *Ebay* y *Facebook*, por *Gmail* y llamadas telefónicas, con el fin de obtener algún tipo de información sobre la planta de origen del “copal de Colombia”, la localización de sus yacimientos, edad y aclarar si lo que venden como “copal de Colombia” es resina extraída directamente del árbol o realmente copal.

Con respecto a los y las comerciantes colombianos/as, en general, brindaron información bastante vaga sobre el origen geográfico del “copal de Colombia” o algunos se negaron para proveer detalles acerca de dónde compran u obtienen el material que venden como copal “por la

preocupación de ver su negocio afectado” aún después de haber explicado brevemente el motivo académico de la investigación. Es posible que esto sugiera que lo que se vende como “copal de Colombia” sea en realidad resina recolectada en los árboles, ya que de enterarse los coleccionistas extranjeros que se trata de un producto reciente, dejaran de compararlo; si se esconde el origen real, se mantienen las ventas. Es por ello por lo que ninguna de las personas contactadas ha tenido interés en realizar pruebas de Carbono 14 con el fin de datarlas.

En contraste a la respuesta brindada por la mayoría de los/as vendedores/as locales, los y las comerciantes extranjeros/as fueron más colaborativos/as, aunque no tuvieran información clara ya que la gran mayoría de estas personas compraron el copal en ferias de otros países sin ninguna memoria o información básica entregada de la procedencia de las piezas. De los pocos datos brindados, a nivel internacional el “copal de Colombia” que se vende proviene mayoritariamente del departamento de Santander (Serranía de los Yariagués, Barrancabermeja), Córdoba (Puerto Nariño) y el material que se vende dentro del territorio colombiano proviene de Bolívar (zona rural de Cantagallo de la Serranía de San Lucas) y, Antioquia (Municipio de Zaragoza, Municipio de Segovia, Vereda Lejanías en el Municipio de Remedios y el municipio de Guaguas). En general tanto vendedores/as locales como extranjeros/as se refieren al material ya sea como “copal o ámbar colombiano” (a pesar de que es claro que hasta el momento en Colombia no hay ámbar) y relacionan su origen botánico con la planta del algarrobo o *Hymenaea courbaril*. Algunos/as comerciantes mencionan que se extrae directamente del árbol, lo cual permite pensar que lo comercializado es resina de defaunación y otros/as vendedores/as afirman que se ha recolectado del subsuelo en yacimientos de origen desconocido.

7.2 El “copal de Colombia” en instituciones colombianas públicas y privadas

Con el fin de tener acceso a muestras de copal para realizar estudios geoquímicos o en recopilar algún tipo de información bibliográfica/memorias sobre la edad de la resina y origen botánico (incluyendo la distribución de la planta) se contactó el departamento de Geociencias de la Universidad Nacional sede Bogotá, Departamento de Geociencias de la Universidad de los Andes, Museo Nacional Colombiano, Museo Nacional de la Universidad de Antioquia, Museo el Fósil de Villa de Leyva, Museo del Oro en Bogotá, Instituto Alexander Von Humboldt y el Museo Entomológico de la Universidad del Valle, pero ninguna de estas instituciones tenían conocimiento sobre el “copal de Colombia” o algún tipo de información asociada. Por otro lado, el Museo Paleontológico de Villa de Leyva tiene sólo una muestra de copal (pieza en exhibición) y aunque posiblemente se trate de una pieza colombiana no se cuenta con información específica de su procedencia. Dado que es una única pieza y que se encuentra en exhibición, no se pudo utilizar para estudios geoquímicos.

El Servicio Geológico Colombiano en su sede principal cuenta con tres piezas de copal, de las cuales sólo se ha tenido acceso a una foto (Figura 38), que hacen parte de la exhibición y dentro de las cuales se puede apreciar restos de insectos, la procedencia geográfica o botánica de las piezas es desconocido.

Figura 34. Pieza de copal exhibida en la colección del Servicio Geológico Colombiano

Pieza de copal exhibida en la colección del Servicio Geológico Colombiano



Nota: Pieza de “copal colombiano” proveniente de Norte de Santander. Tomado de <https://www2.sgc.gov.co/sgc/Museo/Colecciones/Paleontologia/plantas/Paginas/default.aspx>

En el Centro de Investigaciones Paleontológicas en Villa de Leyva el Dr. Javier Luque realizó trabajos sobre el copal (no ha sido posible contactarle hasta el momento) y la única información con la que cuenta la institución es un banner que puede revisarse personalmente en una visita al Centro. Por último, se contactó con el Museo Entomológico de la Universidad Nacional sede Antioquia, quienes no cuentan con información o muestras del copal de Colombia; sin embargo, la coordinadora de la maestría en Entomología, la Dra. Sandra Uribe, se interesó en brindarnos apoyo y acompañamiento para la realización de una salida de campo en el departamento de Antioquia con el fin de realizar excavaciones para localizar yacimientos de copal, la cual no pudo llevar a cabo por motivos de seguridad en la zona de interés, como se mencionó anteriormente en el inciso 4.3. La Dra. Sandra Uribe estuvo dirigiendo también una tesis de Maestría para realizar un inventario de los insectos encontrados en el copal del departamento del Santander, pero esta no llegó a feliz término debido a la pandemia.

Colombia cuenta con varias normativas nacionales para la protección y conservación del material paleontológico como: 1) *la Ley 397 de 1997 (Ley de la Cultura, modificada por la ley 1158 de 2008)* cuyo fin es proteger la excavación, comercialización y exportación ilegal del contenido paleontológico, 2) las facultades otorgadas por el Congreso de la República al *Servicio Geológico Colombiano*, a partir del 2011, con el objetivo de que esta institución sea la encargada de la conservación del patrimonio paleontológico, llevar el inventario y registro de fósiles y yacimientos, procedimiento de préstamo temporal de fósiles, entre otras actividades, 3) *el decreto 1353 de 2018 y la Resolución 732 de 2018* para el marco de protección del patrimonio geológico y paleontológico como parte del patrimonio cultural y natural de nación, para la elaboración de un Plan de Manejo y Protección de toda área de interés y 4) *el artículo 8 de la Constitución Política de 1991* donde se expresa que “es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación”. A nivel internacional, se encuentra amparado por el artículo *Iro de la Convención de 1970 de la UNESCO*, el *Comité Intergubernamental* para fomentar el retorno de bienes culturales a sus países de origen o su restitución en caso de apropiación ilícita y la Comunidad Andina de las Naciones, de la cual Colombia es miembro, se encarga de promover la protección y recuperación de bienes culturales del Patrimonio Arqueológico, Histórico, Etnológico y Artístico de la Comunidad Andina. Sin embargo, gracias al desarrollo del presente trabajo ha quedado expuesta la problemática sobre la falta de cumplimiento de esta normativa tanto por parte de la ciudadanía como por el gobierno colombiano, debido a que la gran mayoría de piezas de “copal de Colombia” se encuentran en territorio extranjero ya sea en colecciones de Museos o de compradores/as particulares, y el gobierno tampoco las reclama de vuelta, lo cual crea un gran obstáculo para el desarrollo de proyectos de investigación para el conocimiento y aprovechamiento del material. Es por ello de vital importancia que el gobierno se encargue de

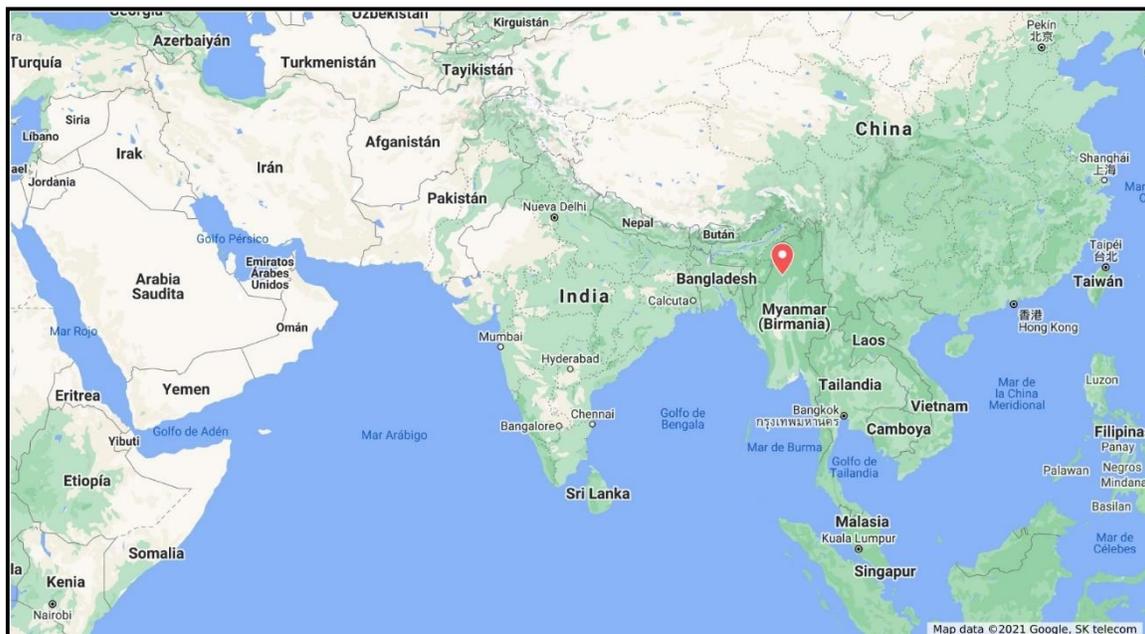
revisar cómo se está vigilando el patrimonio paleontológico de Colombia sobre todo en los sitios de extracción informal, iniciar trámites para solicitar la devolución de material que se encuentra en Museos en el extranjero (amparados bajo la normatividad) y promover la realización de un correcto inventariado del material que se encuentra en algunas instituciones, como por ejemplo el Servicio Geológico Colombiano no cuenta con ninguna memoria asociada a su exhibición de copal. Asimismo, es precisa la participación y compromiso de instituciones privadas que se encarguen del estudio de la paleontología, en la protección de los fósiles, de los yacimientos paleontológicos y la divulgación del material paleontológico, para así cultivar una concientización en población joven y adulta de lo relevante que es proteger el patrimonio paleontológico de Colombia. Es necesario que instituciones de educación superior, públicas o privadas, enseñen la importancia de preservar y estudiar los fósiles como patrimonio de la nación, tanto a la comunidad universitaria como al público en general por medio de charlas, capacitaciones, proyectos comunitarios, etc., con el objetivo de que la comunidad en general contribuya a su protección. Por último, es necesario insistir en inversión estatal para contar con la infraestructura necesaria para el debido estudio, almacenamiento de ejemplares y personal capacitado; ya que la justificación principal para llevarse las muestras fuera del territorio nacional es porque no hay suficientes laboratorios especializados en el tema debido a la poca importancia que se le ha dado, lo que ha hecho que el “copal de Colombia” haya pasado en mayor medida a un plano de interés comercial.

8. Caso: Ámbar burmano, alternativas éticas para su extracción en un contexto de conflicto

El ámbar burmés o Kachin proviene de Myanmar o Birmania, país localizado en el sureste asiático (Figura 35).

Figura 35.

Localización de Myanmar (Birmania)



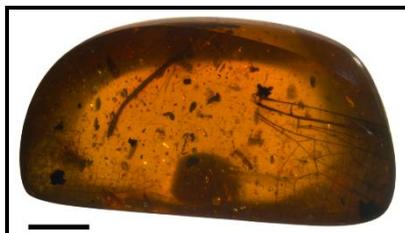
Nota. Myanmar (Birmania), país localizado en el sureste asiático. Modificado de Google Maps. Autora: Mery Laura Ramos Ortega

El ámbar tiene una edad aproximada de 99 millones de años, correspondiente al Cretácico Superior y es de gran interés paleontológico por la diversidad de bioinclusiones que contiene, como artrópodos (en su mayoría insectos y arácnidos), aves, lagartos, serpientes, ranas y fragmentos de dinosaurios (Figura 36). No obstante, debido a numerosas publicaciones de diversos autores y miembros de la Sociedad Paleontológica de Vertebrados, se ha generado gran controversia en lo que concierne a su investigación y comercialización por su supuesto rol en la financiación del conflicto interno en Myanmar, incluso llevando a solicitar a más de 300 editores de revistas del mundo prohibir el envío de investigaciones relacionadas con piezas adquiridas en Myanmar

después de junio del 2017, en su defecto retomar investigaciones y hacer publicaciones una vez el conflicto interno sea resuelto. De acuerdo con Miliband (2016) este conflicto es la guerra civil en curso más larga del mundo con una duración de 7 décadas, la cual comenzó con la creación de insurgencias desde 1948 -una vez el territorio se había independizado del Reino Unido- y ha sido en su gran mayoría de base étnica, con una variedad de organizaciones luchando contra el Tatmadaw (fuerzas armadas de Myanmar) y el ejército de Myanmar cometiendo graves abusos contra la minoría rohingyá, lo cual ha llevado a miles de personas a cruzar la frontera con Bangladesh.

Figura 36.

Ejemplar de copal burmés con bioinclusión de restos de libélula.



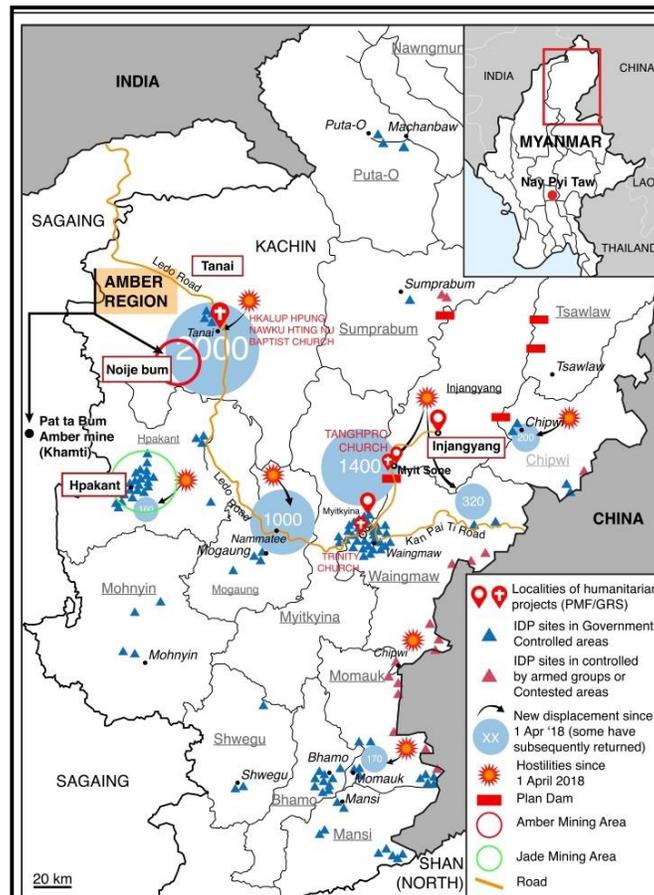
Nota. Ala de la libélula *Burmalingenia* en pieza de ámbar birmano, mostrando la típica coloración roja del ámbar. Barra de escala = 5 mm. Tomado de https://en.wikipedia.org/wiki/Burmese_amber

Sin embargo, esta sugerencia según el Consejo de Derechos Humanos de las Naciones Unidas en vez de solucionar la situación, la empeora ya que afecta directamente a los mineros burmeses, cuyo sostenimiento económico se basa en esta actividad y no necesariamente se encuentran en zonas de conflicto (Figura 37), diferente a las minas cerca de Tanai, en el Valle Hukawng (Peritti, 2021). Es por ello por lo que afirma que las actividades de extracción del ámbar que se han estado llevando a cabo a partir del 2017, sí pueden realizarse bajo parámetros éticos y condiciones especiales (Rayfield et al. 2020b), con el objetivo de ayudar a la comunidad científica de Burmania para aumentar el conocimiento sobre la temática y respaldar a las comunidades que

se dedican a la minería o al corte de las piezas encontradas, cuyas actividades son fundamentales para las investigaciones científicas.

Figura 37.

Mapa del norte de Myanmar y sus distritos mineros



Nota. Mapa del norte de Birmania donde se localizan los diferentes distritos mineros, áreas de conflicto, los campamentos para personas desplazadas y las áreas de proyectos humanitarios. Tomado de Peretti (2021)

Investigaciones realizadas por el Consejo de Derechos Humanos de las Naciones Unidas ha expuesto que el principal sustento para la financiación del conflicto por parte de militares Birmanos son el jade y el rubí; aunque también han recibido información acerca de personas torturadas por las fuerzas armadas lo que llevó a Tatmadaw tomar el control en minas de ámbar en

Tanai para intervenir en las actividades mineras lideradas por el Ejército de Independencia de Kachin, quienes entre los años 2016 y 2018 controlaron la producción del ámbar.

Por otro lado, el CDH pidió al gobierno birmano realizar una adenda en la constitución que coloque a las fuerzas militares bajo control civil, ya que actualmente se encuentra como una institución autónoma y han estado cometiendo también severas violaciones de derechos humanos. Asimismo, publicó una lista que contiene los nombres de compradores de ámbar tanto públicos y privados que deben evitarse y reafirma su intención en apoyar la continuación de extracción de este recurso natural (Peretti, 2021), enfatizando la importancia sobre los derechos humanos. Dentro de dicha lista no hay nombres de personas o compañías reportadas como involucradas en el conflicto interno de Myanmar, u operando en las minas de Khamti.

Debido a que en Tanai la producción de ámbar se vio mermada, gran cantidad de la población se dirigieron a los campos de personas desplazadas, y desarrollaron un sistema de cortado (Figura 38) respaldado por ámbar de zonas fuera del conflicto, estos campos ya tienen una década en funcionamiento lo cual permite reafirmar que todo el conflicto en el área es precede a los eventos que se desarrollaron después del 2017 (Poinar, 2020). Es importante resaltar que estos campos se benefician muy bien de las actividades de corte y que están directamente involucrados en el proceso científico, ya que su función es clasificar las inclusiones que se encuentren; de hecho, gracias esto se han publicado más de 700 artículos. Adicionalmente, según un análisis realizado por Poinar (2020) entre 2015 y 2019 indicó que los grupos armados y los militares Burmeses no se tenían un beneficio económico significativo proveniente de la minería del ámbar debido al bajo contenido fósil que se estaba encontrando en las piezas extraídas, lo que hace en su mayoría que no estén interesados en apoyar la producción de ámbar para su financiamiento, así que el interés hacia el ámbar burmés queda para personas con formación de la comunidad local.

Figura 38.

Proceso de cortado de piezas de ámbar en campo de personas desplazadas internamente



Nota. Ejemplo de proceso de cortado de piezas en campo de personas internamente desplazadas en Hkta Cho, 2018. **A.** Vista interior del campamento, **B-D, F-G.** mujeres y hombres clasificando y cortando las piezas de ámbar, **E.** Poster de la Alta Comisión para Refugiados de las Naciones Unidas. **H.** Documento de asistente de protección en el campamento. **I-J.** Miembros de una familia trabajando juntos/as en el proceso de clasificación de piezas. Tomado de Peretti (2021)

Las actividades en los campamentos significan mucho para las familias ya que a través de éstas generan sus propios ingresos, y lo más importante es que están fuera de una zona de conflicto (Peretti, 2020).

A pesar de que la situación del conflicto interno en Birmania es compleja, las actividades de minería afectan el medio ambiente y pocas piezas logran hacer parte de colecciones de museos, prohibir la investigación y la comercialización del ámbar no es una solución, de acuerdo con las Naciones Unidas ya que habrá una sobreexplotación del recurso y de las comunidades. Es de vital importancia que la comunidad paleontológica actúe en pro de mejorar la situación y valore el esfuerzo de las comunidades mineras. Peretti (2021) afirma que el panorama en Myanmar puede mejorar declarando las minas como Patrimonio Mundial, creando regulaciones para la minería,

aportando conocimiento geológico sobre la zona y cuidando de los afloramientos. De esta manera, se conseguirán importantes colecciones y se permitirá promover una divulgación científica bajo estándares éticos no solo a personas locales sino también a turistas, y también darle el reconocimiento que ameritan a las personas de los campamentos y de las minas.

Por último, como menciona Ji (2019) etiquetar el ámbar burmés como “ámbar del conflicto” es cruel para la población indígena quienes han intentado recuperar los territorios mineros múltiples veces y así irse de los campamentos para hacer lo que más quieren: trabajar en sus minas.

9. Conclusiones

Poco se sabe desde el punto de vista científico sobre el “copal de Colombia” en el país a pesar de que es considerado por algunos autores como la resina fosilizada que contiene la mayor diversidad de inclusiones de artrópodos a nivel mundial, y en mayor medida disponible para coleccionistas en ofertas comerciales por internet. El copal más antiguo datado en Colombia con ^{14}C indica una edad máxima de 10.612 +/-60 años, lo que dataría parte del “copal de Colombia” como verdadero copal holoceno, en el límite temporal con el copal pleistoceno (sensu Solórzano-Kraemer et al., 2020). No obstante, se desconoce la edad de la mayor parte de las piezas de “copal de Colombia” lo que evita que podamos hablar de todas ellas como que son copal.

Se evidencia una falta de información de los lugares de extracción del “copal de Colombia” lo que influye en saber si son resinas subfósiles encontradas en el subsuelo o si es recolectada en los árboles directamente (la resina de *Hymenaea* seca en poco tiempo), como ocurre con el “copal de Madagascar”. La razón principal de la ausencia de conocimientos acerca de los sitios donde se encuentran los depósitos (si es que existen), es que aparentemente solo son explotados con fines de venta al exterior de Colombia sin ningún tipo de documentación/memoria adjunta.

El “copal de Colombia” ha brindado importantes novedades en la paleobiología por ser el más antiguo de Sudamérica y la preservación de una gran diversidad de bioinclusiones (mayoritariamente insectos). Este copal brinda la oportunidad de conocer y estudiar ecosistemas forestales neotropicales del Holoceno, cuya importancia radica en que es la edad geológica en la que se desarrollan las selvas tropicales actuales, después de la última glaciación y que llega a la distribución que conocemos hoy día. Sin embargo, desafortunadamente, no se ha conocido de un equipo de investigación colombiano que se interese en estudiar de forma pluridisciplinar el

contenido faunístico del “copal de Colombia”, por lo que todos los estudios realizados y publicados se han basado únicamente en la especialidad e interés particular de cada autor/a.

La importancia de las inclusiones en el copal queda principalmente para ilustrar cambios que han ocurrido en los ecosistemas boscosos en periodos relativamente recientes (por eso es importante hablar de resina de defaunación), y su potencial valor en estudios ecológicos moleculares de especies que se han extinguido recientemente y especies existentes de las que nunca se han recogido como especímenes vivos.

Las bioinclusiones dentro del copal, de igual manera, brindan mucha información sobre cambios que han ocurrido en la fauna y en la flora, en los comportamientos de las especies que se conocen en el momento y tienen gran utilidad para entender la pérdida de biodiversidad de los bosques tropicales. Por ejemplo, el hallazgo de una nueva especie macho de abeja de orquídeas *E. (Euglossa) cotylisca* por Hinojosa-Díaz & Engel (2007) podrá ayudar a entender las extinciones locales de las abejas de las orquídeas en Sudamérica. Las diferencias encontradas en las hormigas estudiadas por Dubois & Lapolla (1999) brindaron una referencia sobre los diferentes ambientes en los que los insectos pudieron haberse desarrollado, siendo éste arbóreo o terrestre. La *Brisacia colombiensis* y *Euplocania* sp. indet. de la familia Ptiloneuridae representan el primer fósil de este género y el primer registro en el país. Y la pieza encontrada por Penney et al. (2012) que contiene una paleobiocenosis de arañas permitió conocer comportamiento social de las arañas, el cual tuvo que ser un fenómeno desarrollado recientemente (términos geológicos), ya que estas se caracterizan por ser agresivas y territoriales entre sí. Asimismo, este hallazgo podría ser un potencial para futuros estudios de cambios de variación genética dentro de un mismo grupo en una escala evolutiva.

Hasta el momento no se ha podido brindar información precisa sobre la especie de *Hymenaea* que da origen a la resina del “copal de Colombia”, es por ello importante continuar la línea de investigación y una vez sea posible acceder a los yacimientos, tomar muestras para realizar los respectivos estudios.

Sería interesante en gran medida continuar la búsqueda de colecciones de piezas de “copal de Colombia” para revisar si hay más órdenes de insectos distintos a los que ya han sido publicados.

Por último, queda como responsabilidad de las comunidades científicas que se dedican a la paleontología, apoyar la extracción y la investigación ya sea copal o ámbar, como también valor el esfuer en zonas complejas como Birmania, en donde las comunidades se sustentan económicamente gracias a este y además proveen gran información que puede ser divulgada no únicamente a nivel local, sino también a nivel internacional, con fines de declarar estas zonas como patrimonio para su protección y adecuada explotación bajo criterios éticos.

10. Recomendaciones

Se aconseja gestionar acompañamiento estatal para las posibles futuras labores de campo en el Municipio de Segovia por parte de investigadores/as con el fin de obtener muestra de copal o de resina de defaunación en los yacimientos, debido a la alta presencia de grupos al margen de la ley.

Crear mayores medidas de seguridad para evitar que el material salga del país con fines de ventas a particulares extranjeros/as y control en las zonas de extracción de copal o resina de defaunación. Como también promover campañas de sensibilización para niños/as, jóvenes y adultos con el fin de proteger el Patrimonio Paleontológico de Colombia

Por último, en caso de obtener muestras de copal para trabajar en laboratorio, siguiendo la metodología usada por Corral et al., (1999) y Grimaldi (1993), se recomienda únicamente tratar las piezas con Resina Epoxi para estudiar inclusiones que de otro modo sería imposible, debido al alto nivel de agresividad y degradación que genera este material en los recipientes de caucho de silicona usados para este propósito.

11. Consideraciones

En el plan de trabajo inicialmente se presentaron 4 objetivos específicos:

Realizar una valoración con énfasis en la información geográfica (localización) de los afloramientos de “copal de Colombia”, para descubrir si este material es realmente copal (entre 1750 AD y -2,58 Ma AP), o una resina actual recolectada directamente de los árboles (resina de defaunación), en la propuesta de Solórzano-Kraemer et al., (2020).

Efectuar estudios geológicos, principalmente estratigráficos, sedimentológicos, geoquímicos (datación ^{14}C) y paleontológicos, en caso de que sea posible localizar algún yacimiento *in situ* de copal en Colombia.

Desarrollar una catalogación de colecciones de copal en Colombia, estudio del material depositado en ellas e identificación de algunas bioinclusiones.

Diseñar un proyecto de investigación para el estudio del copal de Colombia en base a los estudios realizados con el ámbar de España y el copal de Madagascar, enfocado al análisis de pérdidas de biodiversidad en selvas de la región Neotropical.

Sin embargo, el Objetivo Específico 2 no pudo cumplirse debido a que no fue posible realizar la salida de campo al “yacimento” de copal localizado en el municipio de Segovia (gracias a información brindada por el señor Angel Alberto, ex comerciante de “copal de Colombia”) siguiendo la advertencia de mi tutor, el profesor Xavier Delclòs, de no poner en riesgo bajo ningún concepto mi integridad, y el concepto emitido por el Consejo de Escuela en el Extracto del Acta 20 de 2021, celebrada el 26 de Julio del presente año, en donde el profesor Juan Diego Colegial,

Coordinador Académico, y el profesor Mario García aconsejaron no viajar al sitio, a causa de la alta presencia paramilitar que se encuentra en la zona.

El Objetivo Específico 3 tampoco pudo llevarse a cabo puesto que en Colombia de todas las instituciones públicas y privadas que fueron contactadas, únicamente el Servicio Geológico Colombiano y el Museo Paleontológico de Villa de Leyva cuenta con muestras de copal, las cuales por encontrarse en exhibición no se pueden ser utilizadas para estudios. La escasa presencia del “copal de Colombia” en instituciones con colecciones geológicas y/o paleontológicas reafirma la necesidad de este estudio, de poner en valor “el copal de Colombia” para el país, pues es un producto muy conocido y localizable en diferentes instituciones públicas y colecciones privadas del extranjero.

Referencias Bibliográficas

- Alzate Tamayo, L., Arteaga González, D., & Jaramillo Garcés, Y. (2008). Propiedades farmacológicas del Algarrobo (*Hymenaea courbaril* Linneaus) de interés para la industria de alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 100-111.
- Anderson, B. (1996). The nature and fate of natural resins in the geosphere-VII. A radiocarbon (¹⁴C) age for description of immature natural resins: an invitation to scientific debate. *Organic Geochemistry*, 25(314), 251-253. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(96\)00137-4](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(96)00137-4)
- Anderson, K.B., & Crelling, J.C. (Eds.). (1996). *Amber, Resinite, and Fossil Resins*, ACS Symposium Series, No. 617. American Chemical Society.
- Anisyutkin, L. N. (2010). A review of the genus *Euphyllodromia* Shelford, 1908 (Dictyoptera : Ectobiidae) with description of three new species. *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, 315(4), 369–398.
- Azar, D. (2000). *Les ambres mésozoïques du Liban* (Ph.D. thesis), Université Paris XI, Paris, France.
- Azar, D., & Nel, A. (2004). Four new Psocoptera from Lebanese amber (Insecta: Psocomorpha: Trogiomorpha). *Ann. Soc. entomol. France*, 40(2), 185-192.
- Azar, D., Nel, A., & Waller, A. (2009). Two new Ptiloneuridae from Colombian copal (Psocodea: Psocomorpha). *Denisia*, 26, 21–28.
- Bai, F., Liang, H., & Qu, H. (2019). Structural Evolution of Burmese Amber during Petrification Based on a Comparison of the Spectral Characteristics of Amber , Copal , and Rosin. *Journal of Spectroscopy*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2019/6904541>

- Bao, T., Wang, B., Li, J., & Dilcher, D. (2019). Pollination of Cretaceous flowers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(49), 24707–24711. <https://doi.org/10.1073/pnas.1916186116>
- Barker, H., & Mackey, J. (1985). British Museum Natural Radiocarbon Measurements, III. *The British Museum Quarterly*, 33(1), 51–68. <https://doi.org/10.2307/4422813>
- Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O. U., Swartz, B., Quental, T. B., Marshall, C., McGuire, J. L., Lindsey, E. L., Maguire, K. C., Mersey, B., & Ferrer, E. A. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?. *Nature*, 471(7336), 51–57. <https://doi.org/10.1038/nature09678>
- Baz, A., & Ortuño, V. M. (2000). Archaeatropidae, a new family of Psocoptera from the Cretaceous amber of Alava, Northern Spain. *Ann. Entomol. Soc. America*, 93: 367-373.
- Baz, A., & Ortuño, V. M. (2001). New genera and species of empheriids (Psocoptera: Empheriidae) from the Cretaceous amber of Alava, northern Spain. *Cret. Res.* 22, 575-584.
- Bisulca, C., Nascimbene, P.C., Elkin, L., & Grimaldi, D.A. (2012). Variation in the deterioration of fossil resins and implications for the conservation of fossils in amber. *Am. Mus. Novit*, 3734, 1–19.
- Bosselaers, J. (2004). A new *Garcorops* species from Madagascar copal (Araneae: Selenopidae). *Zootaxa*, 445, 1–7.
- Bosselaers, J., Dierick, M., Cnudde, V., Masschaele, B., Van Hoorebeke, L., & Jacobs, P. (2010). High-resolution X-ray computed tomography of an extant new *Donuea* (Araneae: Liocranidae) species in Madagascan copal. *Zootaxa*, 2427: 25–35.

- Brody, R. ., Edwards, H. G. M., & Pollard, A. M. (2001). A study of amber and copal samples using FT-Raman spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 57(6), 1325–1338. [https://doi.org/10.1016/s1386-1425\(01\)00387-0](https://doi.org/10.1016/s1386-1425(01)00387-0)
- Bouju, V., & Perrichot, V. (2020). A review of amber and copal occurrences in Africa and their paleontological significance. *Bulletin De La Societe Geologique De France*, 191, 17.
- Burleigh, R., & Whalley, P. (1983). On the relative geological ages of amber and copal. *Journal of Natural History*, 17(6), 919–921. <https://doi.org/10.1080/00222938300770721>
- Büsse, S., von Grumbkow, P., Mazanec, J., Tröster, G., Hummel, S., & Hörnschemeyer, T. (2017). Note on using nuclear 28S rDNA for sequencing ancient and strongly degraded insect DNA. *Entomological Science*, 20(1), 137–141. <https://doi.org/10.1111/ens.12242>
- Camargo, J. M. F., & Pedro, S. R. M. (2005). Meliponini Neotropicais: O gênero *Dolichotrigona* Moure (Hymenoptera, Apidae, Apinae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 49, 69–92.
- Ceballos, A., & Florez, D. E. (2007). Pseudoescorpiones de Colombia (Arachnida: Pseudoscorpiones): lista actualizada de especies. *Biota Colombiana*, 8, 47–51.
- Clifford, D. J., & Hatcher, P. G. (1995). Structural transformations of polylabdanoid resinites during maturation. *Organic Geochemistry*, 54(2), 407–418. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(95\)00022-7](https://doi.org/10.1016/0146-6380(95)00022-7)
- Clifford, D. J., Hatcher, P. G., Botto, R. E., Muntean, J. V., Michels, B., & Anderson, K. B. (1997). The nature and fate of natural resins in the geosphere - VIII. NMR and Py-GC-MS characterization of soluble labdanoid polymers, isolated from Holocene Class I resins. *Organic Geochemistry*, 27(7–8), 449–464. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(97\)00043-0](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00043-0)

- Corral, J. C., López, R., Valle, D. E. L., Alonso, J., Corral, J. C., López, R., Valle, D. E. L., & Alonso, J. (1999). El ámbar Cretácico de Álava (Cuenca Vasco-Cantábrica, Norte de España). *Est. Mus. Cienc. Nat. de Alava*, 14(2), 7–21.
- Creamer, P. M. A. (2014). *Comparison of Resinous Artifacts in the Ancient Near East*. (PhD Thesis). Ohio State University, Columbus.
- Dahlström, A., & Brost, L. (1996). *The amber book*. Geoscience Press.
- Dammer, B., & Tietze, O. (1928). *Die Nutzbaren Mineralien mit Ausnahme der Erze und Kohlen*. Antiquariat Stadler.
- Davis, S. R., & Engel, M. S. (2006). Dryophthorine weevils in Dominican amber (Coleoptera: Curculionidae). *Transactions of the Kansas Academy of Science*, 109, 191-198.
- Delclòs, X., Peñalver, E., Ranaivosoa, V., & Solórzano-Kraemer, M. M. (2020). Unravelling the mystery of “Madagascar copal”: Age, origin and preservation of a Recent resin. *PLoS ONE*, 15(5), 1-32. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232623>
- Diccionario Enciclopédico de la Medicina Tradicional Mexicana*. Biblioteca digital de la Medicina Tradicional Mexicana. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/demtm/index.html>
- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J. B., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401–406. <https://doi.org/doi:10.1126/science.1251817>
- Down, J.L. (2001). Review of CCI research on epoxy resin adhesives for glass conservation. *Stud. Conserv*, 46, sup. 1, 39–46.

- Dubois, M. B., & Lapolla, J. S. (1999). A Preliminary Review Of Colombian Ants (Hymenoptera: Formicidae) preserved in Copal. *Entomological News*, 110, 162–172. <http://biostor.org/reference/76589>
- Dunnill, C.W. (2014). UV Blocking glass: low cost filters for visible light photocatalytic assessment. *Int. J. Photoenergy*, 407027. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/407027>
- Edwards, H. G. M., Farwell, D. W., & Daffner, L. (1996). Fourier-transform Raman spectroscopic study of natural waxes and resins. I. *Spectrochimica Acta - Part A Molecular Spectroscopy*, 52(12), 1639–1648. [https://doi.org/10.1016/0584-8539\(96\)01730-8](https://doi.org/10.1016/0584-8539(96)01730-8)
- Engel, M.S. (2001a). A monograph of the Baltic amber bees and evolution of the Apoidea (Hymenoptera). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 259, 1–192.
- Engel, M.S. (2001b). Monophyly and extensive extinction of advanced eusocial bees: insights from an unexpected Eocene diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 98(4), 1661–1664.
- Engel M. S. (2020) Myanmar: paleontologists must stop buying conflict amber. *Nature*, 584(7822), 525. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-02432-z>
- Feist, M., Lamprecht, I., & Frank, M. (2007). Thermal investigations of amber and copal. *Thermochimica Acta*, 458(1–2), 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2007.01.029>
- Felber, H. (1984). Vienna Radium Institute Radiocarbon dates XIV. *Radiocarbon*, 26(3), 441–448.
- Fiedler, C. (1944). Neue südamerikanische Conotrachelus aus der Sammlung Chevrolat's im Reichsmuseum in Stockholm (Col. Curc. Cryptorhynch.). *Arkiv för Zoologie*, 35A, 1-63.

- Funk, V. A., Berry, P. E., Alexander, S., Hollowell, T. H., & Kelloff, C. L. (2007). Checklist of the Plants of the Guiana Shield (Venezuela: Amazonas, Bolivar, Delta Amacuro; Guyana, Surinam, French Guiana). *Contr. U.S. Natl. Herb*, 55, 1–584.
- Fougère-Danezan M., Herendeen P.S., Maumont S., Bruneau A. (2010). Morphological evolution in the variable resin-producing Detarieae (Fabaceae): do morphological characters retain a phylogenetic signal? *Annals of Botany*, 105, 311–325. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp280>
- García Barriga, H. (1974). *Flora Medicinal de Colombia*. Tomo I. Instituto de Ciencias Naturales. U.N Imprenta Nacional, Bogotá.
- Gelhaus, J.K., & Johnson, R. (1996). First record of crane flies (Tipulidae: Limoniinae) in Upper Cretaceous Amber from New Jersey, U.S.A. *Trans. American Entomol. Soc*, 122, 55-65.
- Geoseismic. (2017). *¿Qué son las calicatas?..* <https://www.geoseismic.cl/calicatas/>.
- Gigliarelli, G., Becerra, J. X., Curini, M., & Marcotullio, M. C. (2015). Chemical Composition and Biological Activities of Fragrant Mexican Copal (*Bursera* spp). *Molecules*, 20(12), 22383–22394. <https://doi.org/10.3390/molecules201219849>
- Girard, V., Franz, C., & Solórzano-Kraemer, M.M. (2012). Management of the Senckenberg amber collection and research developments. *The Geological Curator*, 9, 373–380.
- Grandstein, S.R. (2015). *Hymenaea*. En Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (Eds.). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Grimaldi, D. (1993). The care and study of fossiliferous amber. *Curator*, 36(1): 31-49.
- Grimaldi, D. A. (1996). *Amber: Window to the Past*. Harry N. Abrams, Inc., in association with the American Museum of Natural History.

- Grimaldi, D., & Engel, M. S. (2006b). Extralimital Fossils of the “Gondwanan” Family. Sphaeropsocidae (Insecta: Psocodea). *American Mus. Nov*, 3523, 1-18.
- Grimalt, J., Simoneit, R.T., Hatcher, P.G., & Nissenbaum, A. (1998). The molecular composition of ambers. *Organic Geochemistry*. 13, 677–690.
- Guiliano, M., Asia, L., Onoratini, G., & Mille, G. (2007). Applications of diamond crystal ATR FTIR spectroscopy to the characterization of ambers. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 67(5), 1407–1411.
<https://doi.org/10.1016/j.saa.2006.10.033>
- Heurtault, J. (1986). Les Pseudoscorpions de Madagascar: Réflexions sur la répartition géographique. En: Eberhard, W. G., Lubin, Y. D. & Robinson, B. C. (Eds.): *Proceedings of the ninth International Congress of Arachnology, Panama*, 1983, 127–129.
- Hinojosa-Díaz, I. A., & Engel, M. S. (2007). A new fossil orchid bee in colombian copal (hymenoptera: Apidae). *American Museum Novitates*, 2811(3589), 1–7.
[https://doi.org/10.1206/0003-0082\(2007\)3589](https://doi.org/10.1206/0003-0082(2007)3589)
- In Color. (2009). *Amber- The Caribbean Approach*. www.gemstone.org
- Iturrealde-Vinent, M. A. (2001). Geology of the amber-bearing deposits of the greater antilles. *Caribbean Journal of Science*, 37(3–4), 141–167.
- Johnson, T. (2004). *Understanding the important differences between copal and Amber*.
<http://uky.edu/AS/Geology/webdogs/amber/copal.html>
- Judson, M L I. (2010). Redescription of *Chelififer eucarpus Dalman* (Arachnida, Chelonethi, Withiidae) and first records of pseudoscorpions in copal from Madagascar and Colombia. *Palaeodiversity*, 3, 33–42.

- Kaal, J., Martín, M., Kerner, A., Wenig, P., Mccoy, V. E., Mayo, C., & Mayo, J. (2020). Golden artefacts, resin figurines, body adhesives and tomb sediments from the pre-Columbian burial site El Caño (Gran Coclé, Panamá): Tracing organic contents using molecular archaeometry. *Journal of Archaeological Science*, 113(105045). <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.105045>
- Kimura H., Tsukada, Y., Chujo R., & Sasaki K. (2006a). Structural study of amber by high-resolution solid-state NMR. *Society of Amber Studies of Japan*, 6, 1–14
- Kimura H., Tsukada Y., Mita H., Yamamoto Y., Chujo R., & Yukawa T. (2006b). A spectroscopic index for estimating the age of amber. *Bull Chemical Society of Japan*, 79, 451–453.
- Kosmowska-Ceranowicz, B. (2006). Definitions and nomenclature of fossil resins. En Kosmowska-Ceranowicz B., & Gierlowski W. (Eds.), *Amber Views, Opinions* (pp. 75–77). The International Amber Association.
- Lambert, J. B., Johnson, S. C., Poinar, G. O., & Frye, J. S. (1993). Recent and fossil resins from New Zealand and Australia. *Geoarchaeology*, 8(2), 141–155. <https://doi.org/10.1002/gea.3340080206>
- Lambert, J. B., Johnson, S. C., & Poinar, G. O. Jr. (1995). Resins from Africa and South America: criteria for distinguishing between fossilized and recent resin based on NMR spectroscopy. En: K. B. Anderson & J.C. Crelling (Eds.), *Amber, Resinites, and Fossil Resins* (pp. 193–202). American Chemical Society, Symposium series 617.
- Lambert, J. B., Tsai, C. Y., Shah, M. C., & Hurltley, A. E. (2012). Distinguishing amber and copal classes by protonmagnetic resonance spectroscopy. *Archaeometry*, 2, 332–348. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2011.00625>

- Lambert, J. B., Santiago-Blay, J. A., Wu, Y., & Levy, A. J. (2015). Examination of amber and related materials by NMR spectroscopy. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 53(1), 2–8.
<https://doi.org/10.1002/mrc.4121>
- Langenheim, J. H. (1969). Amber: A Botanical Inquiry. *Science*, 163(3872), 1157–1169.
<https://doi.org/doi:10.1126/science.163.3872.1157>
- Langenheim, J. H. (1990). Plant resins. *American Scientist*, 78, 16- 24.
- Langenheim, J. H. (1995). Biology of amber-producing trees: focus on case studies of Hymenaea and Agathis. En Anderson, K.B & Crelling, J.C. (Eds.), *Amber, resinite, and fossil resins*, (pp. 1-31) American Chemical Society.
- Langenheim J. H. (2003). *Plant resins. Chemistry, Evolution, Ecology, Ethnobotany*. Timber Press.
- Lourenço, W. (1996). Premier cas connu d'un sub-fossile de scorpion dans le copal de Madagascar. *Comptes rendus de l'Académie des sciences, Série 2, Sciences de la terre et des planètes*, 323, 889–891.
- Lourenço, W. (2000): Premier cas d'un sub-fossile d'araignée appartenent au genre *Archaea* Koch & Berendt (Archaeidae) dans le copal de Madagascar. *Comptes rendus de l'Académie des sciences, Série 2, Sciences de la terre et des planètes*, 330, 509–512.
- Martínez-Delclós, X., & Martinell, J. (1995). The oldest known record of social insects. *Journal of Paleontology*, 69, 594–599.
- Martínez-Richa, A., Vera-graziano, R., Rivera, A., & Joseph-nathan, P. (2000). A solid-state ¹³C NMR analysis of ambers. *Polymer*, 41(2), 743–750.

- Mccooy, V. E., Boom, A., Solórzano, M. M., & Gabbott, S. E. (2017). The chemistry of American and African amber , copal , and resin from the genus *Hymenaea*. *Organic Geochemistry*, *113*, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2017.08.005>
- Mecklenburg, M.F., Tumosa C.S., & Pride, A. (2004). Preserving Legacy Buildings. *HVAC Retrofit: A supplement to ASHRAE Journal*, *46*, S18–S23.
- Meyer, C., Todd, J. M. & Beck, C. W. (1991). From Zanzibar to Zagros: A copal pendant from Eshnunna. *Journal Near East Studies*, *50*, 289–298
- Miliband, D. (2016). "Cómo llevar la paz a la guerra civil más larga del mundo".
- Mills, J. & White, R. (2015). *Organic Chemistry of Museum Objects*, 2nd Edition.
- Modi, A., Vergata, C., Zilli, C., Vischioni, C., Vai, S., Tagliazucchi, G. M., Lari, M., Caramelli, D., & Taccioli, C. (2021). Successful extraction of insect DNA from recent copal inclusions: limits and perspectives. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86058-9>
- Monaco Nature Encyclopedia. (2021). *Hymenaea courbaril*. <https://www.monaconatureencyclopedia.com/hymenaea-courbaril/?lang=es>
- Noll, F.B. (2002). Behavioral phylogeny of *corbiculate Apidae* (Hymenoptera; Apinae), with special reference to social behavior. *Cladistics*, *18*(2), 137–153.
- Pastorelli, G. (2011). Identification of volatile degradation products from Baltic amber by headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry. *Anal. Bioanal. Chem*, *399*, 1347– 1353.
- Pastorelli, G., 2009. *Archaeological Baltic amber: degradation mechanisms and conservation measures* (Doctoral Thesis). University of Bologna, Italia.

- Pastorelli, G., Shashoua, Y., & Richter, J. (2013b). Hydrolysis of Baltic amber during thermal ageing -An infrared spectroscopic approach. *Spectrochim. acta Part A: Mol. Biomol. Spectrosc.*, 106, 124–128.
- Penney, D., & Preziosi, R. (2013). Copal and other subfossil resins. Sub-fossils in copal: An undervalued scientific resource. En B. Kosmowska-Ceranowic, W. Gierlowski & E. Sontag (Eds.), *International Amber Researcher Symposium* (pp. 40-45).
- Penney, D., & Preziosi, R. F. (2010). On Inclusiones in Subfossil Resins (Copal). En D. Penney (Ed.), *Biodiversity of fossils in amber from the major world deposits* (pp. 299-303). Siri Scientific Press.
- Penney, D. (2008). *Dominican Amber Spiders: A comparative palaeontological-neontological approach to identification, faunistics, ecology and biogeography*. Siri Scientific Press.
- Penney, D. (2016). Sub/fossil resin research in the 21st Century: trends and perspectives. *Palaontologische Zeitschrift*, 90(2), 425–447. <https://doi.org/10.1007/s12542-016-0294-8>
- Penney, D., Green, D. I., Titchener, S. B., Titchener, B. G., Brown, T. A., & Preziosi, R. F. (2012). An unusual palaeobiocoenosis of subfossil spiders in Colombian copal. *Bulletin of the British Arachnological Society*, 15(7), 241–244. <https://doi.org/10.13156/arac.2012.15.7.241>
- Penney, D., Green, D. I., Wadsworth, C., Kennedy, S. L., Preziosi, R. F., & Brown, T. A. (2013). Extraction of inclusiones from (sub)fossil resins, with description of a new species of stingless bee (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) in Quaternary Colombian copal. *Paleontological Contributions*, 7.
- Penney, D., Ono, H., & Selden, P. A (2005). A new synonymy for the Madagascan copal spider fauna (Araneae, Selenopidae). *Journal of Afrotropical Zoology*, 2, 43–46.

- Penney, D., Wadsworth, C., Fox, G., Kennedy, S. L., Preziosi, R. F., & Brown, T. A. (2013). Absence of ancient DNA in sub-fossil insect inclusions preserved in “Anthropocene” Colombian copal. *PloS One*, 8(9), 7–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073150>
- Pennington T.D., & Sarukhán J. (2005). *Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies*. Universidad Nacional Autónoma de México. Tercera edición.
- Peñalver, E., Labandeira, C. C., Barrón, E., Delclòs, X., Nel, P., Nel, A., Tafforeau, P., & Soriano, C. (2012). Thrips pollination of Mesozoic gymnosperms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(22), 8623–8628. <https://doi.org/10.1073/pnas.1120499109>
- Peretti, A. (2021). An alternative perspective for acquisitions of amber from Myanmar including recommendations of the United Nations Human Rights Council. *Int J Humanitarian Action*, 6, 12. <https://doi.org/10.1186/s41018-021-00101-y>
- Peris, D., Janssen, K., Barthel, H. J., Bierbaum, G., Delclòs, X., Peñalver, E., Solórzano-Kraemer, M. M., Jordal, B. H., & Rust, J. (2020). DNA from resin-embedded organisms: Past, present and future. *PLoS ONE*, 15(9 September), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239521>
- Perkins, R. (2004). Fossil Amber or fossil resin. Rockhound News. *Memphis Archaeological and Geological Society*, 30(3), 1-5-8.
- Perrichot, V., Azar, D., Néraudeau, D & Nel, A. (2003). New Psocoptera in the Lower Cretaceous ambers of southwestern France and Lebanon (Insecta: Psocoptera: Trogiomorpha). *Geol. Mag.* 140, 669-683.
- Poinar, G.O. Jr. (1992). *Life in Amber*. Stanford University Press.

Poinar, G. O., Jr., & Poinar, R. (1994). The quest for life in ambar. *Addison-Wesley Publ., Reading, Mass*, 13, 219.

Poinar, G. O. Jr. (1996). Older and Wiser. *Lapidary Journal*, 52-56.

Poinar, G., & Poinar, R. (1999). *The amber forest: a reconstruction of a vanished world*. Princeton University Press.

Poinar, G. Jr., & Legalov, A. A. (2015). New species of the genera *Dryophthorus* Germ. and *Stenommatius* Woll. (Coleoptera: Dryophthoridae) in Dominican amber. *Historical Biology*, 27 (5), 508-513.

Poinar, G., Bukejs, A., & Legalov, A. A. (2017). First records of weevils (Coleoptera: Curculionidae) in quaternary Colombian copal. *Revista Colombiana de Entomologia*, 43(1), 85–90. <https://doi.org/10.25100/socolen.v43i1.6654>

Poinar, G.O., & Milki, R. (2001). *Lebanese amber. The oldest ecosystem in fossilized resin*. Oregon State University Press, Corvallis.

Poinar, G. (2020). Burmese amber fossils, mining, sales and profits. *Geoconservation Res*, 3(1),12–16

Ragazzi, E., Roghi, G., Giaretta, A., & Gianolla, P. (2003). Classification of amber based on thermal analysis. *Thermochimica Acta*, 404(1–2), 43–54. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(03\)00062-5](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(03)00062-5)

Rao, Z. F., Xie, J., & Dong, K. (2013). Spectroscopy characteristics of amber, copal resin and rosin. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory*, 30(2), 720–724.

- Rayfield, E.J., Theodor J.M., & Polly D. (2020b) *Further information on Myanmar amber, mining, human rights violations, and amber trade*. [https:// vertpaleo.org/wp-content/uploads/2021/02/Amber-Resources.pdf](https://vertpaleo.org/wp-content/uploads/2021/02/Amber-Resources.pdf) .
- Rice, P. C. (2006). Amber. En Author House (Ed), *Golden Gem of the Ages*.
- Ross, A. (1998). *Amber*. Natural History Museum.
- Roubik, D.W., & Ackerman. J.D. (1987). Long term ecology of euglossine orchid-bees (Apidae: Euglossini) in Panama. *Oecologia*, 73(3), 321– 323.
- Sadowski, E., Schmidt, A. R., Seyfullah, L. J., Solórzano-kraemer, M. M., Neumann, C., Hamann, C., Milke, R., & Nascimbene, P. C. (2021). *Earth-Science Reviews*, 2020, 103653. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103653>
- Schlee, D., & Glöckner, W. (1978). Bernstein–Bernsteine und Bernstein-Fossilien. *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde*, ser. C. 8, 1–72.
- Schrader, B., Schulz, H., Andreev, G. N., Klump, H. H., & Sawatzki, J. (2000). Non-destructive NIR-FT-Raman spectroscopy of plant and animal tissues, of food and works of art. *Talanta*, 53(1), 35–45. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(00\)00385-4](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(00)00385-4)
- Schultz, T.R., Engel, M. S., & Prentice, M. (1999). Resolving conflict between morphological and molecular evidence for the origin of eusociality in the “corbiculate” bees (Hymenoptera: Apidae): a hypothesis-testing approach. *University of Kansas Natural History Museum Special Publication*, 24, 125–138.
- Serna Mosquera, Y., Borja De La Rosa, A., Fuentes Salinas, M., & Corona Ambriz, A. (2011). Propiedades tecnológicas del Algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber) de Bagadó-Chocó, Colombia. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 17(3), 11.

Servicio Geológico Colombiano. (s.f). Colección de plantas.

<https://www2.sgc.gov.co/sgc/Museo/Colecciones/Paleontologia/plantas/Paginas/default.aspx>

Shi, G., Grimaldi, D. A., Harlow, G. E., Wang, J., Wang, J., Yang, M., Lei, W., Li, Q., & Li, X. (2012). Age constraint on Burmese amber based on U-Pb dating of zircons. *Cretaceous Research*, 37, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2012.03.014>

Solórzano-Kraemer, M. M., Delclòs, X., Engel, M. S., & Peñalver, E. (2020). A revised definition for copal and its significance for palaeontological and Anthropocene biodiversity-loss studies. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76808-6>

Sparh, U. (1992): Ergänzungen und Berichtigungen zur Keilbachs Bibliographie und Liste der Bernsteinfossilien. Klasse Insecta (Ausgenommen: Apterygota, Hemipteroidea, Coleoptera, Hymenoptera, Mecopteroidea). *Stuttgarter Beitr. Naturk.*, (B) 182, 1-102.

Stacey, R. J., Cartwright, C. R., & Mcewan, C. (2006). Chemical Characterization of ancient Mesoamerican “copal” resins. Preliminary result. *Archaeometry*, 48(2), 323–340. <https://doi.org/doi:10.1111/j.1475-4754.2006.00259.x>

Stinchcomb, B. L. (1998). M.A.P.S Digest. *Mid-America Paleontology Society*, 21(6).

Thickett, D., Cruickshank, P., & Ward, C. (1995). The conservation of amber. *Stud. Conserv*, 40, 217–226.

Tucker, M. (1988). *Techniques in Sedimentology*. Backwell Scientific Publications, Oxford.

Unalmed-Sena. (2004). Algarrobo. <http://www.unalmed.edu.co/-lforest/PDF/Algarrobo.pdf>

United Nations Human Rights Council. (2019) Independent international fact finding mission on Myanmar. Human Right Council Forty-second Session, United Nations

<https://www.ohchr.org/EN/HRBodies/HRC/MyanmarFFM/Pages/ReportHRC42thSession.aspx> .

United Nations Human Rights Council. (2020). Independent international factfinding mission on Myanmar. Available at: <https://www.ohchr.org/en/hrbodies/hrc/myanmarffm/pages/index.aspx> .

Vandenabeele, P., Grimaldi, D. M., Edwards, H. G. M., & Moens, L. (2003). Raman spectroscopy of different types of Mexican copal resins. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 59(10), 2221–2229. [https://doi.org/10.1016/S1386-1425\(03\)00066-0](https://doi.org/10.1016/S1386-1425(03)00066-0)

Vávra, N., & Vycudilik, W. (1976). Chemische Untersuchungen an fossilen und subfossilen Harzen. *Beitr. Paläont.*, 1, 121–135.

Vávra, N. (2009). Amber , fossil resins , and copal – contributions to the terminology of fossil plant resins. *Denisia*, 86, 213–222.

Vishnyakova V.N. (1975). Psocoptera in Late Cretaceous insectbearing resins from the Taimyr. *Entomol. Rev.*, 54: 63–75.

Waddington, J. (2011). Identification and Care of Amber. *Conserve O Gram, National Park Service* 11, 1–5.

Wang, Y., Jiang, W. Z., & Chen, X. Y. (2010). Gemological characteristics and infrared absorption spectra of amber and its imitation. *Shanghai Land & Resources*, 2(2), 58–62.

Ward Aber, S. (2004). Copal an immature and controversial resin.

Wikipedia. (2017). *Hymenaea courbaril*. https://es.wikipedia.org/wiki/Hymenaea_courbaril

- Wolfe, A. P., Tappert, R., Muehlenbachs, K., Boudreau, M., McKellar, R. C., Basinger, J. F., & Garrett, A. (2009). A new proposal concerning the botanical origin of Baltic amber. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1672), 3403–3412.
- Wunderlich, J. (1986). Spinnenfauna gestern und heute. Eric Bauer Verlag bei Quelle & Meyer.
- Wunderlich, J. (2004). Fossil Spiders in Amber and Copal. *Arachnologische Mitteilungen*, 30(December 2005), 32–34. <https://doi.org/10.5431/aramit3005>
- Wunderlich, J. (2004a). Subrecent spiders (Araneae) in copal from Madagascar, with descriptions of new species. *Beiträge zur Araneologie*, 3B, 1830–1853.
- Wunderlich, J. (2004b). Two new fossil spider species in copal from Colombia (Araneae: Onopidae and Dictynidae). *Beiträge zur Araneologie*, 3B, 1854–1859.
- Zenner de Polanía, I. (2004). Historia embebida en resina: ámbar y copal. *Actualidad & Divulgacion Científica*, 7(2), 21-32.
- Zhao, Z., Yin, X., Shih, C., Gao, T., & Ren, D. (2020). Termite colonies from mid-Cretaceous Myanmar demonstrate their early eusocial lifestyle in damp wood. *National Science Review*, 7(2), 381–390. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz141>