



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

“Revisión de los procedimientos empleados en la determinación del límite J/K y propuesta de acción para la aplicación en México”

Tesis que para obtener el Título de:

Licenciado en biología

Presenta:

Emmanuel Mendoza Hermosillo

Bajo la dirección de:

Dr. Carlos Esquivel Macías

MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO, OCTUBRE DE 2022 MÉXICO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
School of Engineering and Basic Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo., a 19 de octubre de 2022

Número de control: ICBI-D/1305/2022

Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio le comunico que el Jurado asignado al Pasante de la Licenciatura en Biología **Emmanuel Mendoza Hermosillo**, quien presenta el trabajo de titulación "**Revisión de los procedimientos empleados en la determinación del límite J/K y propuesta de acción para la aplicación en México**", después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente Dr. Víctor Manuel Bravo Cuevas

Secretario: Mtro. Jorge Alberto Santiago Bautista

Vocal: Dr. Carlos Esquivel Macías

Suplente: Dra. Katia Adriana González Rodríguez

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval
Director del ICBI



DEDICATORIA

Este documento está dedicado a futuros paleontólogos con interés en la resolución de las interrogantes del tránsito J/K en México, espero sea de ayuda.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero agradecer a Dios que me proporcione las herramientas requeridas para suscitar este trabajo.

Así mismo agradezco a mis padres que han dado todo de sí para que el día de hoy sea quien soy; ya que, el apoyo y paciencia brindada me permite concluir una etapa más de mi vida y me impulsa a retribuir a la sociedad.

Finalmente quiero reconocer a todo el personal académico que me oriento, motivo e incito en el desarrollo de esta investigación, así como a cada compañero tesista y colega que me acompañaron en esta aventura.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	II
LISTA DE TABLAS.....	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
1. GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 OBJETIVO GENERAL	7
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.5 JUSTIFICACIÓN	8
1.6 HIPÓTESIS DEL TRABAJO	8
1.7 MÉTODO	9
2. COMPARATIVA DE ESTUDIOS BIOESTRATIGRÁFICOS DE LA TRANSICIÓN J/K EN LA SMO DURANTE LA DÉCADA 2010-2020.	11
2.1. NORESTE DE MÉXICO.....	11
2.2 CENTRO-ESTE DE MÉXICO.....	13
3. CRITERIOS DE DISTINCIÓN DEL LÍMITE J/K ESTABLECIDOS Y UTILIZADOS POR EL BWG Y SU USO EN PERFILES RECONOCEDORES DE LA FRONTERA J/K EN MÉXICO ENTRE EL 2010 Y 2020.	15
4. EXPLORACIÓN DE AFLORAMIENTOS CON POTENCIAL DE CONTENCIÓN DEL LÍMITE J/K EN LAS CERCANÍAS DE TENANGO DE DORIA, HIDALGO. 16	
5. DISCUSIÓN	19
6. CONCLUSIONES	27
7. REFERENCIAS	29
8. ANEXO.....	35

Lista de figuras

Figura 1: Ruta seguida (línea azul) en la observación de afloramientos con posibilidad de contención del límite J/K.

Figura 2: Fragmento de la carta Geológico-Minera Pahuatlán F14-D73 con puntos de transición de acceso vial.

Figura 3: Sección avistada en contacto de formaciones con base en la carta Geológico-Minera Pahuatlán F14-D73.

Figura 4: Sección avistada en contacto de formaciones con base en la carta Geológico-Minera Pahuatlán F14-D73.

Figura 5: Extensión geográfica de la SMO (creada por Erika Paulina Castellanos Sánchez).

Figura 6: Comparación de algunas Biozonas de calpionélidos, propuestas por diversos autores (tomado y modificado de Benzaggagh, 2020).

Figura 7: Esquema de aplicación general de calpionélidos del Tetys propuesto por Benzaggagh (2020), del Titoniano Inferior al Valanginiano Superior. Distribución estratigráfica de los calpionélidos a través del límite J/K, especímenes ilustrados de calpionélidos, intervalos acme y evolución (tomado de Benzaggagh, 2020).

Lista de tablas

Tabla 1: Comparativa de estudios bioestratigráficos de la transición J/K del Noreste de México durante la década 2010-2020.

Tabla 2: Comparativa de estudios bioestratigráficos de la transición J/K del centro-este de México durante la década 2010-2020.

Tabla 3: Criterios de distinción del límite J/K establecidos y utilizados por el BWG y su uso en perfiles reconocedores de la frontera J/K en México entre el 2010 y 2020.

Resumen

La definición del límite Jurásico/Cretácico (J/K) está rodeado de complicaciones que impiden su reconocimiento preciso y la investigación nacional suele realizarse con herramientas diversas que generan resultados con dificultad de correlación; por lo que, en este trabajo se plantean las estrategias a realizar para la exploración óptima de los afloramientos contenidos en la Sierra Madre Oriental (SMO).

Se implementó una revisión bibliográfica que incluye los trabajos realizados en la SMO durante la década de 2010-2020 y los marcadores determinados para la definición del contacto J/K en el Tetys, lo que reveló que la determinación del lindero J/K en sedimentos mexicanos se realiza mediante el reconocimiento de la base de la subzona *Alpina* de calpionélidos; sin embargo, al evaluar si los trabajos nacionales de la década 2010-2020 habían hecho uso de los criterios de distinción del límite J/K determinados por el Grupo de Trabajo Berriasiano (BWG por sus siglas en inglés) se observó una aplicación casi nula de los mismos, lo que pone en evidencia que los estudios mexicanos del momento necesitan la integración de más información para facilitar la correlación con otras secciones; por ende, como medida de desarrollo de trabajos nacionales de mayor calidad se concluye que: en la SMO para identificar el contacto J/K es necesario el estudio de perfiles con buen estado de preservación y la ejecución de muestreos detallados; mientras que, para contribuir a la generación de resultados correlacionable se requiere buscar nanofósiles calcáreos o algún otro marcador secundario que otorgue precisión a la base del Cretácico e igualmente se debe intentar el uso de la biozonación de calpionélidos de mayor reconocimiento, si futuros estudios mexicanos ejecutan tales acciones se podrán aportar datos óptimos que faciliten la resolución de incógnitas de la frontera J/K.

Palabras claves: Correlación, límite Jurásico-Cretácico, identificación precisa y México.

Abstract

The definition of the Jurassic/Cretaceous (J/K) boundary is surrounded by complications that prevent its precise recognition and national research is usually carried out with diverse tools that generate results with difficulty of correlation; therefore, in this work we propose the strategies to be carried out for the optimal exploration of the outcrops contained in the Sierra Madre Oriental (SMO).

A literature review was implemented that includes the works carried out in the SMO during the decade of 2010-2020 and the markers determined for the definition of the J/K contact in the Tethys, which revealed that the determination of the J/K boundary in Mexican sediments is done through the recognition of the base of the *Alpina* subzone of calpionellids; However, when evaluating whether the national works of the decade 2010-2020 had made use of the criteria for distinguishing the J/K boundary determined by the Berriasian Working Group (BWG), an almost null application of the same was observed, showing that the Mexican studies of the moment need the integration of more information to facilitate the correlation with other sections; therefore, as a measure for the development of national works of higher quality it is concluded that: in the SMO to identify the J/K contact it is necessary to study profiles with a good state of preservation and the execution of detailed samplings; while, to contribute to the generation of correlatable results it is required to look for calcareous nannofossils or some other secondary marker that gives precision to the Cretaceous base and also the use of the biozonation of calpionellids of greater recognition should be tried, if future Mexican studies execute such actions it will be possible to provide optimal data that facilitate the resolution of unknowns of the J/K boundary.

Key words: Correlation, Jurassic-Cretaceous boundary, precise identification and México.

1. Generalidades

1.1 Introducción

El reconocimiento del límite J/K se encuentra rodeado de complicaciones que impiden la definición precisa del contacto entre ambos sistemas (Michalík y Reháková, 2011). La barrera que obstruye la delimitación entre los períodos J/K encuentra origen en los movimientos tectónicos transcurridos durante el tiempo de cambio entre sistemas, estas alteraciones ocasionaron disminución en el nivel del mar y áreas faciales aisladas que promovieron la carencia actual de algún marcador biológico, físico o químico contundente que delimite su estratotipo (Michalík y Reháková, *op. Cit.*); por tanto, para despejar las incógnitas que afectan el reconocimiento de la base del Cretácico es clave la búsqueda de resultados correlacionables.

El interés por esclarecer la frontera J/K emerge de la relevancia que presenta este dato para el desarrollo del conocimiento, la distinción entre linderos de la división J/K permite el correcto ordenamiento temporal e interpretación genética de las rocas, así como la localización de recursos naturales explotables (Vera-Torres, 1994), por ejemplo: el petróleo cuyas rocas fuente están depositadas durante el Jurásico Tardío (Martínez-Yáñez *et al.*, 2017); además, la definición de coordenadas de tiempo de los materiales reconocidos facilita la correlación de secciones estratigráficas (Vera-Torres, 1994); que a su vez, permiten el análisis de cuencas que nutren la geología histórica y por consecuencia deja entender la evolución de los fenómenos acaecidos a lo largo de la historia de la Tierra (Vera-Torres, 1994); de igual forma, el reconocimiento de la dinámica del comportamiento del planeta en el pasado otorga información que se usa para inferir sucesos futuros con los cuales se planifica la conservación del medio ambiente al prevenir catástrofes (Vera-Torres *op cit.*); aditivamente, determinar el final del Jurásico y el inicio del Cretácico ayuda en la comprensión de los procesos evolutivos de la biodiversidad que habitó en ese espacio temporal e incluso explica el origen de organismos existentes (Vera-Torres *ibid.*); por tanto, dilucidar la división J/K es necesaria para el desarrollo de la ciencia.

1.2 Antecedentes

En México el ahínco por evidenciar el punto limítrofe J/K tiene como causa la detección de la Provincia Petrolera Tampico-Misantla, ésta provincia posee la mayor cantidad de rocas fuente de hidrocarburos depositadas en el Jurásico Tardío (Martínez-Yáñez *et al.*, 2017); sin embargo, la principal formación contenedora de rocas fuente de hidrocarburos de la Provincia Petrolera Tampico Misantla es la Formación Pimienta (PEMEX, 2013 *en* Martínez-Yáñez *et al.*, 2017), la cual se sedimentó durante un episodio de acelerado cambio global a través del límite Titoniano-Berriasiano (Martínez-Yáñez *et al.*, 2017); por tanto, la existencia de hidrocarburo en territorio nacional en sedimentos cercanos al cambio de periodos J/K impulsó la delimitación de la base del Cretácico.

En un principio la distinción del límite superior del sistema Jurásico en México se llevó a cabo mediante criterios litoestratigráficos; por lo que, al noreste de la república se encontraba el límite J/K trazado por el contacto entre las formaciones La Casita (periodo Jurásico) y Taraises (periodo Cretácico), mientras que al centro se ubicaba mediante la contigüidad entre la Formación Pimienta (periodo Jurásico) y la Formación Tamaulipas Inferior (periodo Cretácico) (Adatte *et al.*, 1994a); no obstante, la introducción de técnicas bioestratigráficas derrumbó gradualmente la distinción entre los periodos Jurásico y Cretácico con base en el cambio litológico.

En México inició el estudio de rocas sedimentarias del intervalo J/K mediante marcadores bioestratigráficos con Burckhardt (1930) al delimitar sistemas del Mesozoico con macrofósiles; mientras que, la investigación de microfósiles en la resolución temporal del tránsito J/K tiene origen con Bonet (1956) al efectuar una zonificación del Jurásico Superior-Cretácico Inferior con base en tintínidos; sin embargo, el crecimiento de la investigación de los organismos fósiles de finales del Jurásico e inicios del Cretácico a lo largo del mundo dio a conocer material biológico diverso y provincialismo que distinguió la división de distintos dominios marinos Tetys, Boreal y Austral y sus respectivos fósiles (Westermann 2000a; b); por tanto, la diferenciación de dominios marinos orientó la investigación mexicana a organismos particulares.

Con la distinción de la región Boreal, Austral y la del Tetys se reveló que la fauna nacional era propia del Tetys; por lo que, los trabajos de reconocimiento del límite J/K mediante bioestratigrafía realizados en México se adaptaron a los criterios de identificación establecidos para el Tetys en el “Coloque Sur la limite Jurassique-Crétacé” realizado en Lyon-Neuchatel en 1973 (Wimbledon *et al.*, 2011; Michalík y Reháková, 2011; López-Martínez *et al.*, 2013), tales criterios indicaban que para la identificación de la base del Cretácico en el Tetys se requería el registro de la base de la asociación de amonites de *Pseudosubplanites grandis* Mazenot, 1939 y *Berriasella jacobi* Mazenot, 1939 biozona *Grandis-Jacobi* (Wimbledon *et al.*, 2011; Michalík y Reháková, 2011; López-Martínez *et al.*, 2013) y/o el contacto entre la biozona de calpionélidos *Crassicollaria* y la biozona *Calpionella* (Michalík y Reháková, 2011; López-Martínez *et al.*, 2013); por tanto, en México se desarrolló una línea de investigación de macrofósiles con base en amonites y una línea de microfósiles con base en calpionélidos (Cantú-Chapa, 1989).

La obtención de datos de la línea de identificación del límite J/K con base en amonites y la información adquirida por la línea de calpionélidos en sedimentos mexicanos permitió la integración de los resultados donde cada investigador evaluó y argumentó la relevancia de los amonites o los calpionélidos como fósiles delimitadores del final del Jurásico e inicios del Cretácico; en consecuencia, las posturas finales de la comparación de datos de calpionélidos y amonites dividió los argumentos en favor del estudio de cada grupo fósil.

En defensa del uso de amonites para marcar el contacto J/K se encontraba Cantú-Chapa (1989) quien comparó datos extraídos de pozos petroleros del este del país y pronunció que la fauna de amonites poseía un intercambio faunístico importante coincidente con el cambio de litología entre formaciones con el cual infería el tránsito de sistemas J/K; y así mismo, Cantú-Chapa (*op cit.*) aseguró que los datos otorgados por calpionélidos eran insuficientes para diferenciar el cambio de períodos.

Como impulsores del estudio de calpionélidos se encontraron Stinnesbeck *et al.* (1993) con información extraída de tres perfiles de Mazatepec, Puebla y Adatte *et al.* (1994a; b) con datos pertenecientes al noreste (San Pedro del Gallo, Durango; Puerto Piñones y Sierra de Jabalí, Coahuila y área de Monterrey-Linares, específicamente

Iturbide, Nuevo León) y centro-este (Mazatepec y Tehepican, Puebla y Guapotes, Veracruz) del país, ellos argumentaron que los calpionélidos poseen un alto potencial de correlación transatlántica lo que fortalece el uso de los calpionélidos como delimitadores del límite J/K en perfiles nacionales; no obstante, Stinnesbeck *et al.* (1993) y Adatte *et al.* (1994a; b) mostraron que los calpionélidos registrados en sedimentos mexicanos carecen de presencia o grado de conservación en los estratos contenedores del límite J/K; sin embargo, por medio del principio de superposición de estratos y el reconocimiento de la biozona *Calpionellopsis* del Berriasiano Superior lograron demostrar que en perfiles mexicanos el contacto litoestratigráfico es diacrónico con relación a la escala de tiempo geológico; finalmente, Stinnesbeck *et al.* (1993) y Adatte *et al.* (1994a; b) mencionaron que la fauna de amonites identificada en México se conforma en gran cantidad de fauna endémica y requiere calibración.

Los estudios de finales del siglo XX concluían que para México la carencia de estratos contenedores de calpionélidos indicadores de la base del Cretácico en buen estado y la gran fauna de amonites endémicos en México ponía a los sedimentos mexicanos con la incapacidad de reconocer la frontera J/K con base en lo determinado en el “Coloque Sur la limite Jurassique-Crétacé” de 1973 (Stinnesbeck *et al.*, 1993; Adatte *et al.*, 1994a; b).

Ya para inicios del siglo XXI fue evidente que el uso de los criterios establecidos y la variedad y particularidad del material bioestratigráfico existente alrededor del mundo no permitió el establecimiento de la Sección Estratotipo y Punto de Límite Global (GSSP por sus siglas en inglés) (Michalík y Reháková, 2011); por ello, el BWG inició un conjunto de investigaciones y consensos de diversas secciones del Tetys para identificar y evaluar aquellos marcadores estratigráficos con potencial para ayudar a definir el límite J/K, lo que resultó en el estudio de los siguientes marcadores (Wimbledon *et al.*, 2011):

Marcadores primarios:

1. Base de la zona *Calpionella* – subzona *Alpina*
2. Explosión de *Calpionella alpina* Lorenz, 1902 de forma pequeña y globular
3. Dato de Primera Aparición (FAD por sus siglas en inglés) de *Nannoconus steinmannii minor* Deres y Achéritéguy, 1980 y *N. kamptneri minor* Bralower, Monechi y Thierstein, 1989.

4. Base de M18r

Marcadores secundarios de soporte:

1. Base de M19n.1n
2. Base de M19n.1r
3. FADs de *Warrenia californica* Monteil, 1992, *Dichadogonyaulax bensonii* Monteil, 1992 y *Apiculatisporis verbitskayae* Dörrhöfer, 1979
4. Base de la zona *Subcraspedites lamplughi*
5. Base de la zona *Pseudosubplanites grandis*
6. Datos de Última Aparición (LADS por sus siglas en inglés) de *Dichadogonyaulax panneae* Norris, 1965, *Egmontodinium polyplacophorum* Gitmez y Sarjeant, 1972, etc. en la extinción del Portlandiano tardío
7. FADs de *Matonisporites elegans* Hunt, 1985 y *Aequitriradites spinulosum*

Posterior al reconocimiento de marcadores primarios y secundarios con potencial de distinción del contacto J/K a evaluar, en México prosiguió la exploración del tránsito J/K lo que permitió la identificación de la frontera J/K en perfiles de Potrero Prieto Galeana (Regalet-Figueroa, 2011) y San José de Iturbide (López-Martínez *et al.*, 2015a), Nuevo León, Apulco, Puebla (López-Martínez *et al.*, 2013) y en El Padhí, Hidalgo (Martínez-Yáñez *et al.*, 2017), el criterio usado para definir el inicio del Cretácico fue en su mayoría el reconocimiento de la base de la subzona *Alpina*; en consecuencia, el trabajo nacional (López-Martínez *et al.*, 2013; 2015a; Martínez-Yáñez *et al.*, 2017) contribuyó al soporte de la base de la subzona *Alpina* como marcador delimitador del tránsito J/K.

Tras el estudio y comparación de distintos puntos de Europa, Norte de África, Norte y Sur América y Asia, y al evaluar los marcadores propuestos, en Junio de 2016 el BWG realizó una votación formal y seleccionó “**la base de la subzona *Alpina* como marcador primario para la base del piso Berriasiano**” (Wimbledon, 2017) e igual estableció como principales datos de soporte las FADs de los siguientes nanocónos: “**FAD de *Nannoconus wintereri*** Bralower, Monechi y Thierstein, 1989 (debajo de la base de la subzona *Alpina*)” (Wimbledon, 2017 ;Wimbledon *et al.*, 2020a), “**FAD de *Hexalithus strictus*** Bergen, 1994 (debajo de la base de la subzona *Alpina*)” (Wimbledon *et al.* 2020a) y “**FAD de *Nannoconus steinmannii minor*** (justo encima de la base de la subzona *Alpina*)”

(Wimbledon, 2017; Wimbledon *et al.*, 2020a); así mismo, el BWG remarcó que para proporcionar el más efectivo marcador del límite J/K era necesario calibrar los calpionélidos con magnetoestratigrafía (Wimbledon, 2017); por consiguiente, el BWG termino de identificar los marcadores estratigráficos delimitadores del contacto J/K.

Al reconocer los criterios de definición del lindero J/K el BWG se enfocó en el registro del mejor sitio candidato a GSSP (Wimbledon, 2017); de ahí que, el BWG registró los resultados bioestratigráficos y paleomagnéticos de perfiles de la cuenca Vocontiana (Le Chouet, Le Ravin de Font de Saint Bernard, Charens, Belvedere y Tré Maroua) y examinó la variación de la sedimentación y de los eventos de amonites, calpionélidos y nanofósiles, en relación entre sí y con la magnetozona en la búsqueda del mejor contendiente del GSSP (Wimbledon *et al.*, 2020b), lo que resulto en la elección de Tré Maroua como la propuesta óptima a GSSP debido a su representación de eventos nanofósiles bien desarrollados situados en la base de la subzona *Alpina* y la presencia de M19n.1r inmediatamente por encima (Wimbledon *et al.*, 2020a; b).

A partir de los avances realizados hasta el día de hoy el principal problema del límite J/K a resolver gira entorno a las dificultades de correlación; por ello, la actividad del BWG se ha centrado en la búsqueda de proxies para estos diversos marcadores en zonas empobrecidas bióticamente, en otras regiones marinas y en zonas de sedimentación no marinas (Wimbledon *et al.*, 2020a).

1.3 Objetivo general

Examinar las técnicas ocupadas en la determinación del contacto J/K mediante el análisis de trabajos realizados en México y su comparación con los criterios de definición en el Tetys, para proponer estrategias de acción que favorezcan el estudio del límite J/K en México.

1.4 Objetivos específicos

- Entender las propiedades particulares del límite J/K en perfiles nacionales (formaciones en donde se ubica y sus características, condiciones de presencia y conservación de los grupos fósiles representativos y estrategias a usar en los afloramientos para apoyar a la definición del contacto).
- Identificar la similitud de estrategias utilizadas en trabajos locales de la década 2010-2020 para la exploración de la frontera J/K.
- Comprobar el uso de los criterios delimitadores implementados por el BWG en el estudio del lindero J/K en perfiles mexicanos.
- Distinguir las estrategias a utilizar para desarrollar resultados con mayor posibilidad de correlación en México.
- Explorar secciones de la SMO en Hidalgo con el afán de identificar un afloramiento de potencial estudio.

1.5 Justificación

La distinción precisa de la frontera J/K es la base para la progresión del entendimiento de lo acaecido en ese lapso temporal; no obstante, la identificación del tránsito entre el periodo Jurásico y el periodo Cretácico se encuentra rodeado de controversias que dificultan su definición y requiere que el desarrollo de las investigaciones sea con la mayor sincronía, para así generar resultados comparables que permitan la resolución de las diversas interrogantes; por tal motivo, es importante que las acciones a realizar permitan la obtención de resultados correlacionables.

1.6 Hipótesis del trabajo

Si se reconocen acciones que provoquen la distinción del inicio del Cretácico y además promuevan resultados correlacionables en México el desarrollo de futuros trabajos locales contará con las bases metodológicas para contribuir eficientemente a la resolución de interrogantes que rodean el tránsito J/K.

1.7 Método

Por medio de la herramienta Google Académico se realizó la búsqueda de los trabajos de exploración del tránsito J/K en perfiles de la SMO más recientes, como criterio de modernidad se tomó la década 2010-2020 por ser un lapso reciente al comienzo de este trabajo (2019); consecuentemente, se identificaron y compararon las condiciones de estudio y sus resultados.

Se continuó la indagación por medio del buscador Google Académico y se investigaron (tanto en inglés como en español) los criterios delimitadores de mayor reconocimiento para definir la base del Cretácico; posteriormente, se observó el uso de los marcadores del contacto J/K establecidos para el dominio al que pertenecen las formaciones mexicanas dentro de los estudios del país que reportaron la definición de la frontera J/K durante la década 2010-2020.

Finalmente se estudió el conjunto de datos para identificar las estrategias a realizar en sedimentos mexicanos para lograr la distinción del límite J/K y poder contribuir con la formación de resultados correlacionables que permitan la resolución de las incógnitas del inicio del Cretácico.

Como medida adicional se emprendieron 2 salidas de campo a las inmediaciones de Tenango de Doria (Figura1) y por medio de la carta Geológica-Minera Pahuatlán F14-D73 se buscaron afloramientos que contuvieran el contacto entre la Fm. Pimienta y la Fm. Tamaulipas Inferior para observar y comprender la situación de los potenciales perfiles de estudio en el estado de Hidalgo.

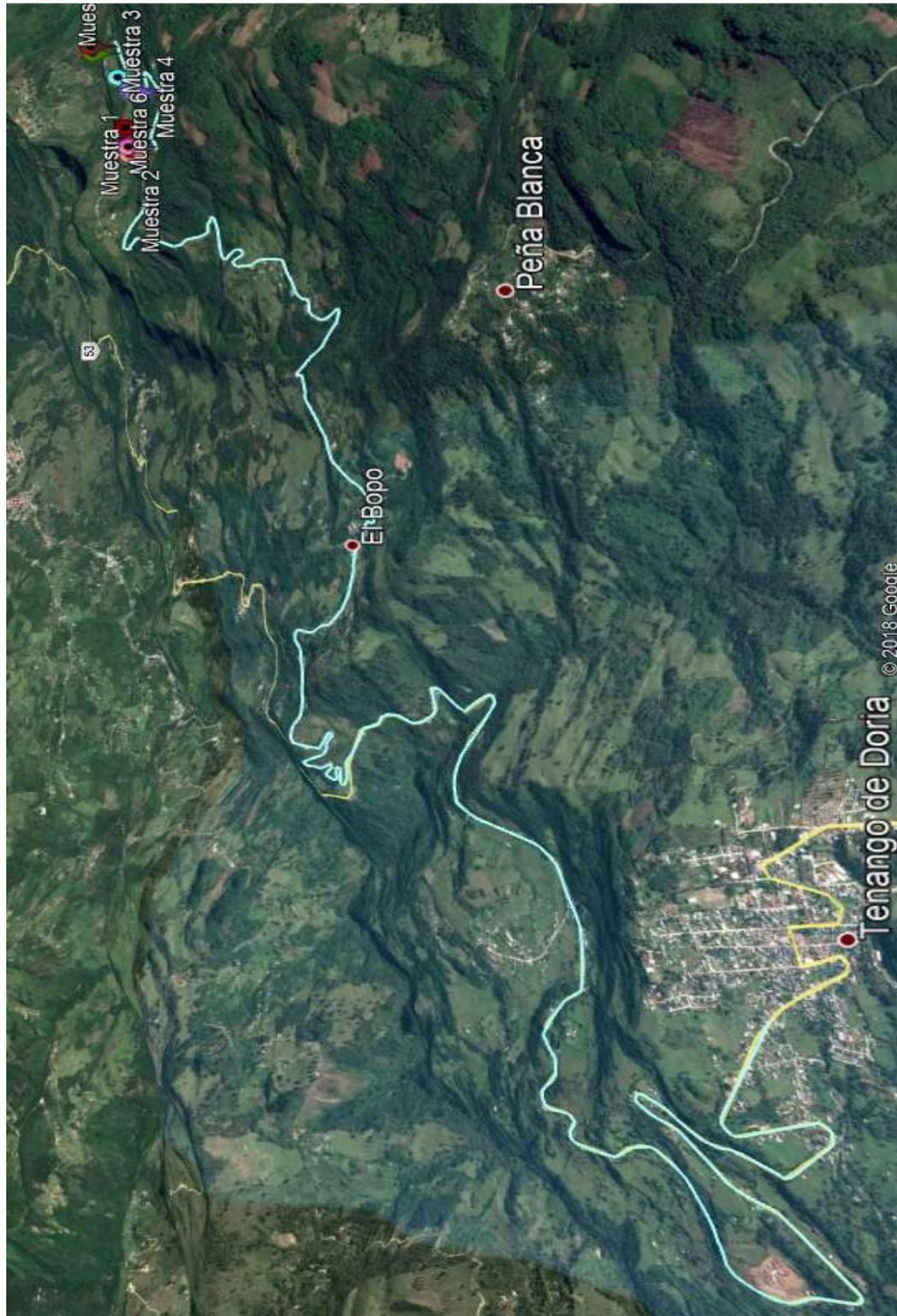


Figura 1: Ruta seguida (línea azul) en la observación de afloramientos con posibilidad de contención del límite J/K.

2. Comparativa de estudios bioestratigráficos de la transición J/K en la SMO durante la década 2010-2020.

2.1. Noreste de México

La exploración del límite J/K en el noreste de la SMO durante la década de 2010-2020 mediante técnicas bioestratigráficas tiene el estudio de tres secciones diferentes (Potrero Prieto Galeana y San José de Iturbide, Nuevo León y Huizachal, Tamaulipas), como coincidencia de los trabajos del noreste se tiene el registro y uso de calpionélidos como grupo fósil delimitador de intervalos de la escala de tiempo geológico y en los perfiles de registro del contacto J/K igual concuerdan en la exploración de afloramientos que presentan un contacto concordante transicional entre la Fm. La Casita y la Fm. Taraises; de ahí en fuera, cada trabajo usa una biozonación o conjunto de biozonas de calpionélidos diferente e igualmente el criterio de distinción de la frontera J/K fue variable, para mayor detalle véase Tabla 1.

Autor	Regalet-Figueroa (2011)	Eguiluz de Antuñano <i>et al.</i> (2012)	López-Martínez <i>et al.</i> (2015a)
Sitio de estudio	Potrero Prieto Galeana, Nuevo León	Huizachal, Tamaulipas	San José de Iturbide, Nuevo León
Tipo de contacto estratigráfico entre Fm. La Casita y Fm. Taraises	Concordante transicional	Discordante paralelo	Concordante transicional
Propiedades de muestreo	Colecta de muestras en intervalo de 50 cm	No se especifica	Muestreo detallado capa por capa
Reconocimiento del límite J/K	Si	No	Si
Grupos fósiles usados bioestratigráficamente	Calpionélidos	Calpionélidos	Calpionélidos

Indicador de la frontera J/K reconocido	Cambio morfológico de <i>Calpionella alpina</i> y <i>Tintinopsella carpathica</i> Murgeanu y filipescu, 1933	n/a	Base de la zona <i>Calpionella</i> , subzona <i>Alpina</i>
Biozonación usada	Remane (1985)	Remane (1971) apoyada de Remane <i>et al.</i> (1986) y Reháková y Michalík (1997)	Biozona propia con base en Remane (1971), Pop (1994), Oloríz <i>et al.</i> (1995), Reháková y Michalík (1997), Andreine <i>et al.</i> (2007) y López-Martínez <i>et al.</i> (2013).
Formación en la que se encontró el lindero J/K	Parte terminal de la Fm. La Casita	n/a	Parte superior de la Fm. La Casita cerca del contacto transicional con la Fm. Taraises

Tabla 1: Comparativa de estudios bioestratigráficos de la transición J/K del Noreste de México durante la década 2010-2020.

2.2 Centro-este de México

La exploración del límite J/K en el centro-este de la SMO durante la década de 2010-2020 mediante técnicas bioestratigráficas tiene el estudio de tres secciones diferentes (Apulco, Puebla, Tamazunchale, San Luis Potosí y El Padhí, Hidalgo), como coincidencia de los trabajos del centro-este se tiene el registro y uso de calpionélidos como grupo fósil delimitador de intervalos de la escala de tiempo geológico, además de haber realizado un muestreo detallado y en los perfiles de registro del contacto J/K igual concuerdan en la exploración de afloramientos que presentan un contacto concordante entre la Fm. Pimienta y la Fm. Tamaulipas Inferior y en el uso de la base de la subzona *Alpina* como delimitador de la frontera J/K; de ahí en fuera, cada trabajo que reconoció el lindero J/K uso una biozonación o conjunto de biozonas de calpionélidos diferente, para mayor detalle véase Tabla 2.

Autor	López-Martínez <i>et al.</i> (2013)	López-Martínez <i>et al.</i> (2015b)	Martínez-Yáñez <i>et al.</i> (2017)
Sitio de estudio	Apulco, Puebla	Tamazunchale, San Luis Potosí	El Padhí, Hidalgo
Tipo de contacto estratigráfico entre Fm. Pimienta y Fm. Tamaulipas Inferior	Concordante transicional	n/a (estudio basado en Fm. Pimienta)	Concordante
Propiedades de muestreo	Muestreo de alta resolución, varias secciones delgadas del mismo nivel estratigráfico	Muestreo detallado capa por capa y extracción de al menos dos láminas delgadas (de orientación diferente) por cada nivel	Muestreo detallado capa por capa
Reconocimiento del límite J/K	Si	No (Pérdida de subzona <i>Alpina</i> y subzona <i>Ferasini</i> por estratos de bentonita y brecha)	Si

Grupos de organismos fósiles registrados	Calpionélidos y dinoflagelados calcáreos	Calpionélidos	Calpionélidos
Indicador de la frontera J/K reconocido	Base de la biozona <i>Calpionella</i> , subzona <i>Alpina</i>	n/a	Base de la biozona <i>Calpionella</i> , subzona <i>Alpina</i>
Biozonación usada	Remane <i>et al.</i> (1986), Altiner y Özkan (1991), Reháková (1995), Pop (1997), Reháková y Michalík (1997), Grün y Blau (1997), Lakova <i>et al.</i> (1999), Skourtsis-Coroneou y Solakius (1999), Grabowski y Pszcólkowski (2006), Andreini <i>et al.</i> (2007), Boughdiri <i>et al.</i> (2009), Benzaggagh <i>et al.</i> (2010), Lukeneder y Reháková (2007), Pruner <i>et al.</i> (2010) y otros.	Reháková y Michalík (1997)	Reháková y Michalík (1997)
Formación en la que se encontró el lindero J/K	Cerca de la parte más alta de la Fm. Pimienta en la transición con la Fm. Tamaulipas Inferior	Se infiere dentro de la Fm. Pimienta; ya que, se registra una sección de la misma formación que contiene rocas del Titoniano tardío al Berriasiano tardío	Fm. Pimienta

Tabla 2: Comparativa de estudios bioestratigráficos de la transición J/K del centro-este de México durante la década 2010-2020.

3. Criterios de distinción del límite J/K establecidos y utilizados por el BWG y su uso en perfiles reconocedores de la frontera J/K en México entre el 2010 y 2020.

En los estudios que identificaron el contacto J/K en México entre el lapso 2010-2020 se observa que no soportan la distinción de la base de la subzona *Alpina*, ni tampoco calibran los datos de calpionélidos con magnetoestratigrafía; también, se puede apreciar que en los trabajos de López-Martínez *et al.* (2013; 2015a) y de Martínez-Yáñez *et al.* (2017) se hace uso del marcador primario de la base del Cretácico; sin embargo, la implementación única de la propuesta biozonal de Reháková y Michalík (1997) solo es aplicada en Martínez-Yáñez *et al.* (2017) (Tabla 3).

Criterios y herramientas de identificación del contacto J/K reconocidos por el BWG (Wimbledon, 2017; Wimbledon <i>et al.</i> , 2020a)	Trabajos con reconocimiento del límite J/K en la SMO entre 2010-2020			
	Regalet-Figueroa 2011	López-Martínez <i>et al.</i> (2013)	López-Martínez <i>et al.</i> (2015a)	Martínez-Yáñez <i>et al.</i> (2017)
Base de subzona <i>Alpina</i> (marcador primario)	✗	✓	✓	✓
Soporte de identificación de la base de la subzona <i>Alpina</i> : FAD de <i>Nannoconus wintereri</i> (debajo de la base de la subzona <i>Alpina</i>), FAD de <i>Hexalithus strictus</i> (debajo de la base de la subzona <i>Alpina</i>) y FAD de <i>Nannoconus steinmannii minor</i> (justo encima de la base de la subzona <i>Alpina</i>)	✗	✗	✗	✗
Biozonación de calpionélidos de Reháková y Michalík (1997)	✗	Uso parcial	Uso parcial	✓
Calibración de calpionélidos con magnetoestratigrafía	✗	✗	✗	✗

Tabla 3: Criterios de distinción del límite J/K establecidos y utilizados por el BWG y su uso en perfiles reconocedores de la frontera J/K en México entre el 2010 y 2020.

4. Exploración de afloramientos con potencial de contención del límite J/K en las cercanías de Tenango de Doria, Hidalgo.

De la exploración de afloramientos se identificaron tres puntos de acceso vial donde la carta Geológico-Minera Pahuatlán F14-D73 reporta el contacto entre la Fm. Pimienta y la Fm. Tamaulipas Inferior (Figura 2); no obstante, los perfiles suelen estar revestidos de vegetación (Figura 3) y los afloramientos son recubiertos rápidamente de la flora local (Figura 4).

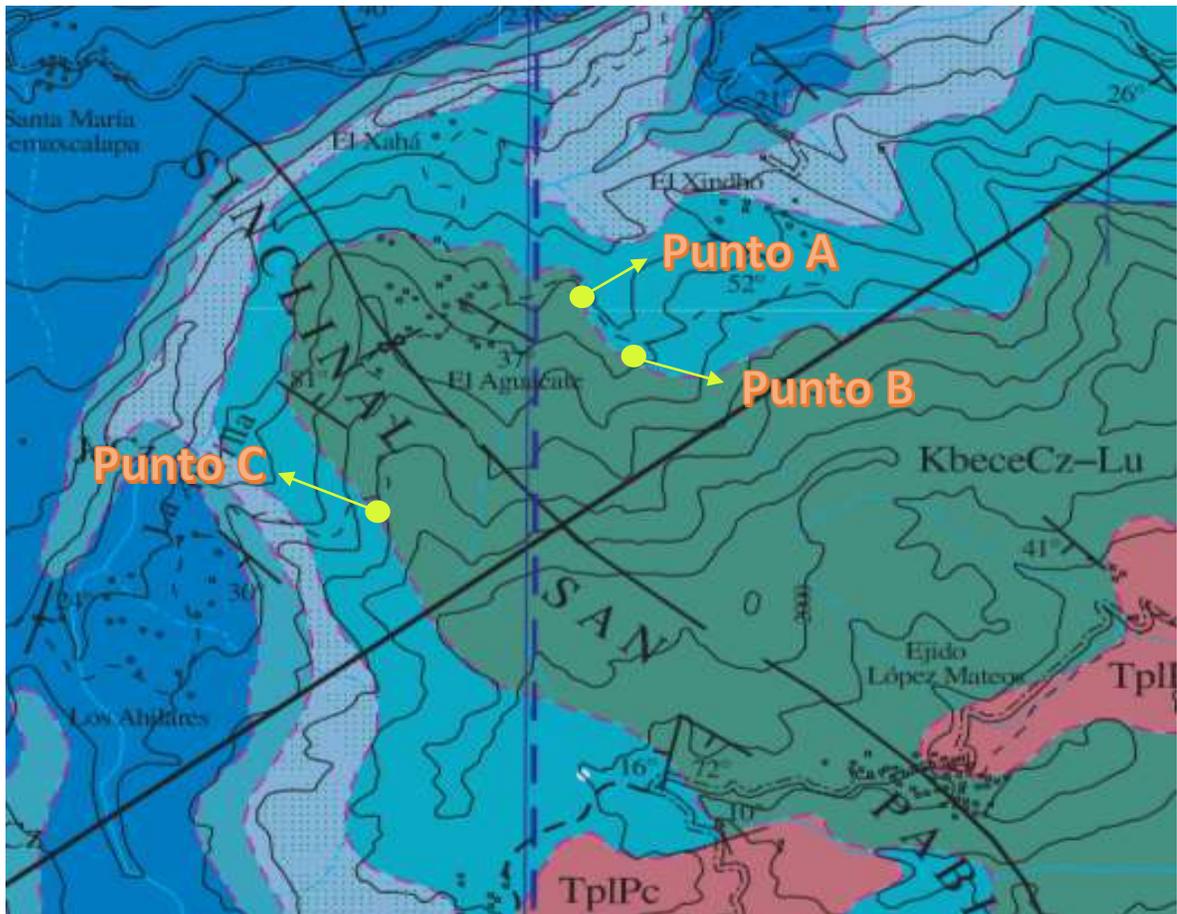


Figura 2: Fragmento de la carta Geológico-Minera Pahuatlán F14-D73 con puntos de transición de acceso vial.



Figura 3: Sección avistada en contacto de formaciones con base en la carta Geológico-Minera Pahuatlán F14-D73.



Figura 4: Sección avistada en contacto de formaciones con base en la carta Geológico-Minera Pahuatlán F14-D73.

5. Discusión

México es potencial aportador de datos en la resolución de las interrogantes del límite J/K; en primera instancia, el territorio nacional es poseedor de la SMO, provincia fisiográfica que se extiende por el oriente del país y cuya extensión alcanza 1000 km de longitud, entre 80 y 200 km de amplitud y una altura promedio de 2200 msnm (Figura 5) y se compone principalmente de rocas sedimentarias marinas evaporíticas, clásticas y calcáreas de un rango de edad que va del Jurásico medio al Paleógeno (Chávez-Cabello, 2006); por tanto, México cuenta con material terrestre sin explorar que al ser estudiado podría contribuir a la distinción de respuestas de las dudas que giran en torno a la frontera J/K.

Antiguamente la investigación nacional indicaba que los estratos mexicanos no permiten el reconocimiento preciso del lindero J/K con base a lo establecido en el “Colloque sur limite Jurassique Crétacé” organizado en Lyon - Neuchatel” de 1973, debido a la carencia y escasas de conservación de los calpionélidos indicadores de finales del Titoniano e inicios del Berriasiano (Stinnesbeck *et al.*, 1993; Adatte *et al.*, 1994a; b); por lo que, a pesar de la existencia de rocas sedimentarias que transitan del Jurásico al Cretácico en México se tenía un panorama negativo en cuanto a la contribución que se podía generar en México; sin embargo, Los trabajos nacionales bioestratigráficos de la transición J/K realizados en la década 2010-2020 demuestran la capacidad de distinción del límite (Tabla 1 y 2) y realzan el valor de los perfiles mexicanos como generadores de datos.

Una porción de la estrategia que permitió la distinción de la base del Cretácico mediante el reconocimiento de la subzona *Alpina* dentro de la SMO se soporta en el esfuerzo de muestreo detallado (capa por capa) como táctica de oposición al estado de conservación precario de los calpionélidos del contacto J/K tal y como se muestra en López-Martínez *et al.* (2013; 2015a) y en Martínez-Yáñez *et al.* (2017); no obstante, el estudio de López-Martínez *et al.* (2015b) es el ejemplo de que extraer muestras capa por capa e incluso realizar más de una lámina delgada por nivel no es suficiente para diferenciar el principio del Cretácico, otra condición relevante para delimitar el lindero J/K en México se apoya en el tipo de contacto estratigráfico entre la Fm. La Casita y la

Fm. Taraises (noreste) y la inmediación entre la Fm. Pimienta y la Fm. Tamaulipas Inferior (centro-este), ya que como se puede ver en López-Martínez *et al.* (2013; 2015a) en un contacto concordante normal o transicional aumenta la probabilidad de contener estratos donde se identifique la base de la subzona *Alpina*; así mismo, para favorecer la posibilidad de incluir el material bioestratigráfico señalador de la frontera J/K se puede procurar que el afloramiento de la Fm. La Casita y la Fm. Pimienta a estudiar se encuentre sin interrupción de estratos ajenos o anormales para así evitar lo ocurrido en el perfil de López-Martínez *et al.* (2015b).

La importancia de estudiar perfiles continuos y sin perturbación se debe a la posible variabilidad generada por alteraciones paleoambientales acaecidas en la cercanía del límite J/K y que frecuentemente afectan las secuencias con hiatos, eventos erosionales y desarrollo de brecha (Wimbledon *et al.*, 2020b), tal y como se muestra en la paraconformidad identificada al noreste del país por Eguiluz de Antuñano *et al.* (2012) y en los depósitos de bentonita y brecha al centro-este registrados por López-Martínez *et al.* (2015b) en donde la carencia de estratos que resguarden la base de la subzona *Alpina* encuentra origen en un evento regresivo (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2012) y en actividad volcánica local seguida de la disminución del nivel del mar respectivamente (López-Martínez *et al.*, 2015b).

La modificación del paleoambiente procede alteraciones locales con capacidad de obstaculizar la obtención de datos y al mismo tiempo otorga información conveniente, por ejemplo: López-Martínez *et al.* (2015a) mediante análisis microfacial refuerza la presencia de la regresión identificada por Eguiluz de Antuñano *et al.* (2012) al encontrar cambio de facies sugerentes de reducción del nivel del mar e igualmente distingue que el cambio en las condiciones de depósito marca el límite J/K; en consecuencia, el valor del estudio microfacial en México se acrecienta como estrategia de refuerzo de los resultados bioestratigráficos.

Es probable que la investigación de microfacies tenga un mayor aporte en sedimentos del noreste del país ya que en el centro-este (secciones de López-Martínez *et al.*, 2013 y Martínez-Yáñez *et al.*, 2017) no se identificó un cambio considerable en el ambiente de depósito coincidente con la frontera J/K, sin embargo, se requiere un mayor número de

estudios para comprobar el soporte de los resultados microfaciales en la determinación del contacto J/K.

A pesar de que en sedimentos de la SMO se logra delimitar el inicio del sistema Cretácico al comparar los marcadores definidos por el BWG con lo implementado en México durante la década 2010-2020 (Tabla 3) se reconoce que el único criterio de uso general es la identificación del marcador primario (base de la subzona *Alpina*) y en cuanto a la biozonación de calpionélidos la mayor parte de los trabajos se adecuan al contenido fosilífero del perfil (Regalet-Figueroa, 2011; Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2012; López-Martínez *et al.*, 2013; 2015a) y deja de lado en su totalidad el soporte de identificación de la base de la subzona *Alpina* con base en nanofósiles calcáreos y la calibración de calpionélidos con magnetoestratigrafía; por ende, los resultados nacionales carecen de precisión y presentan dificultades de correlación.

Ciertamente la base de la subzona *Alpina* indica el cambio entre sistemas; sin embargo, el BWG señala que al momento de determinar el contacto J/K la identificación de la subzona *Alpina* no es suficiente para precisar el límite; por ello, se requiere la aplicación de marcadores secundarios para reforzar la definición de la base del Cretácico (Wimbledon, 2017; Lena *et al.*, 2019; Wimbledon *et al.*, 2020a). El marcador secundario con mayor reconocimiento proviene de los nanofósiles calcáreos cuyos intervalos de abundancia coinciden con la exuberante distribución de los calpionélidos (Titoniano tardío a Berriasiano temprano) (Wimbledon *et al.*, 2011, 2020a) además de poseer FADs en las proximidades de la base de la subzona *Alpina*; por consiguiente, el registro de las FADs de *Nannoconus wintereri*, *N. steinmannii minor* y *Hexalithus strictus* otorgan precisión en la identificación del comienzo del Cretácico (Wimbledon *et al.*, 2020a); en consecuencia, la futura investigación nacional necesita la introducción de la búsqueda de los nanofósiles calcáreos y su consiguiente estudio como organismos de soporte y precisión de la base de la subzona *Alpina* en México; cabe resaltar que, Lena *et al.* (2019) hace reconocimiento de nanofósiles calcáreos considerados útiles en el Tetys en Mazatepec, Puebla, lo que da confianza para su inclusión en futuros trabajos.

Los aportes que pueden proporcionar las rocas sedimentarias de la transición J/K en la SMO no se limitan a la definición precisa del contacto; ya que, las actividades actuales

del BWG están enfocadas en encontrar proxies para la base de la subzona *Alpina* con el objetivo de facilitar la correlación en secciones del Tetys con carencia o escases de calpionélidos y en las áreas Austral y Boreal (Wimbledon *et al.*, 2020a); de modo que, el registro y calibración de grupos fósiles como los amonites y dinoflagelados calcáreos en los perfiles nacionales y la investigación de eventos magnetoestratigráficos es clave para el desarrollo de datos que auxilien en la resolución de las interrogantes de correlación del límite J/K.

Parte de la correlación de resultados radica en el uso de una misma biozonación en distintas secciones; empero, cada estudio local selecciona la biozona o el conjunto de biozonas con base a la disponibilidad de fósiles (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2012), tal acción se basa en la consideración de que todos los calpionélidos conocidos en México ocurren en Europa pero que no todos los calpionélidos europeos han sido encontrados en México (Adatte *et al.*, 1994b); de tal modo, biozonas de calpionélidos de regiones mediterráneas como lo son las de Reháková y Michalík, (1997) y Blau y Grün (1997) suelen ser usadas como herramienta de calibración y correlación de los calpionélidos encontrados en perfiles locales (Olivares-Ramos, 2006 *en* Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2012); sin embargo, el incremento de muestreo realizado por López-Martínez *et al.* (2015b) y Martínez-Yáñez *et al.* (2017) permitió la identificación de un mayor número de calpionélidos y sus respectivos bioeventos lo que facilitó el uso exclusivo de la biozonación de Reháková y Michalík (1997) e infiere su futura ejecución pura en México, esta zonación fue aplicada por el BWG en los perfiles que se propusieron como GSSP lo que demuestra su amplio reconocimiento y utilidad; de ahí que, el probable empleo único de la zonación de Reháková y Michalík (1997) promovería una generación mayor de datos correlacionables en perfiles de la SMO.

Pese a la efectividad de la biozonación propuesta por Reháková y Michalík (1997) su adaptación en distintas secciones es limitada y normalmente se suele usar alguna otra opción de uso local basada en taxones raros, de rangos cortos y/o aparición esporádica (Benzaggagh, 2020) y es que actualmente se han postulado múltiples propuestas bioestratigráficas de calpionélidos con alcance y niveles estratigráficos semejantes (ej: Remane, 1986; Pop, 1994; Reháková y Michalík, 1997; Grün y Blau, 1997 y Benzaggagh, 2020), pero cuyas subdivisiones son totalmente diferentes, lo que las hace variar en el

número y/o nombre de subzonas y demás niveles estratigráficos (Benzaggagh, 2020) (Figura 6), lo que genera una diversidad de biozonas con diferencia de uso según material fósil encontrado; por ello, la variación de biozonas usadas entre secciones entorpece el papel de los calpionélidos como herramienta facilitadora de correlación a larga distancia (Benzaggagh, *op cit.*).

Como medida de apoyo para el mejoramiento de la correlación de los resultados de calpionélidos los estudios enfocados en el reconocimiento del límite J/K deben centrarse en el uso de una biozonación única, válida y universal. Actualmente existe la propuesta biozonal de Benzaggagh (2020) (Figura 7) una alternativa que promete enmendar las inconsistencias y complicaciones de la existencia de la multiplicidad de biozonas y se caracteriza por: homogenizar la nomenclatura en las biozonas con fundamento en los dos taxones más representativos de cada nivel estratigráfico, mejorar la especificidad de los rangos estratigráficos, tener subzonas fáciles de reconocer en cualquier localidad que corresponden a rangos estratigráficos amplios y límites marcados por eventos biológicos o por modificaciones en la composición faunística; así como, horizontes, intervalos estratigráficos, entre otras unidades bioestratigráficas de menor rango, delimitadas por apariciones repentinas y/o eventos de corto alcance y asociaciones específicas esclarecidas en cada nivel; no obstante, la proposición biozonal de Benzaggagh (2020) requiere ser probada en distintos perfiles (incluidos los afloramientos mexicanos) para comprobar la eficacia teorizada y verificar así su valor como herramienta con capacidad de proporcionar datos correlacionables (para mayor detalle de las biozonas reconocedoras del límite J/K consultar anexo).

La exploración de un afloramiento potencial para el estudio del contacto J/K no fue satisfactorio, los puntos de acceso vial donde la carta Geológico-Minera Pahuatlán F14-D73 indicaba el contacto entre rocas de la Fm. Pimienta con rocas de la Fm. Tamaulipas inferior no tienen visibilidad de los cuerpos de roca debido a la exuberante vegetación que los cubre; no obstante, la temporada de lluvia y la apertura de tramos carreteros pueden dejar al descubierto afloramientos con potencial de estudio como el investigado por Martínez-Yáñez *et al.* (2017).

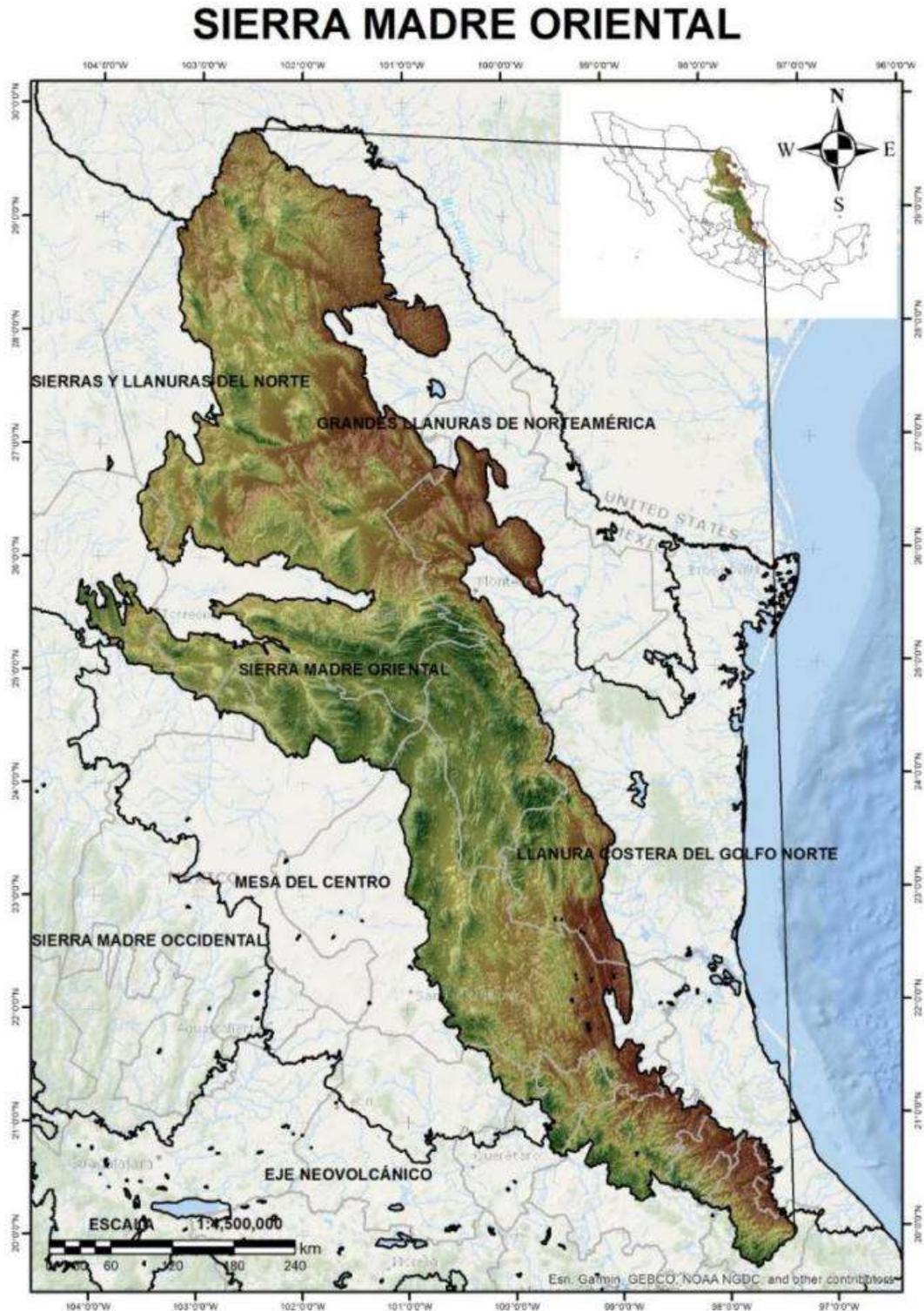


Figura 5: Extensión geográfica de la SMO (creada por Erika Paulina Castellanos Sanchez).

Remane (1971)	Remane et al. (1986)	Pop (1994)	Reháková y Michalík (1997)	Grün y Blau (1997)	Benzaggagh (2020)
F	Calpionellites	Tintinopsella Carpathica ----- Cadischiana	Tintinopsella	Tintinopsella	Tintinopsella-Lorenziella (F)
		Calpionellites Major ----- Darderi	Calpionellites Major ----- Darderi	Calpionellites Major ----- Darderi	
D	Calpionellopsis ----- Simplex Oblonga	Murgeanui ----- Oblonga ----- Simplex	Murgeanui ----- Oblonga ----- Simplex	Dadayi ----- Murgeanui ----- Filipescui ----- Oblonga ----- Simplex	Calpionellopsis (D) ----- D3 Oblonga-Praecalpionellites ----- D2 Simplex-Oblonga ----- D1 Simplex-Remaniella ----- Simplex-Eliptica
		Calpionellopsis	Calpionellopsis	Calpionellopsis	
		Calpionellopsis	Calpionellopsis	Calpionellopsis	
C	Calpionella	Longa ----- Eliptica	Calpionella ----- Eliptica	Cadischiana ----- Eliptica	Eliptica (C) ----- C2 Eliptica-Ferasini ----- C1 Eliptica-Alpina
		Ferasini ----- Alpina	Ferasini ----- Alpina	Alpina	
A	Crassicollaria ----- Intermedia	Colomi ----- Intermedia ----- Remanei	Colomi ----- Brevis ----- Remanei	Catalanoi ----- Intermedia ----- Remanei	Crassicollaria (A) ----- A3 Parvula - Eliptalpina ----- A2 Intermedia-Alpina ----- A1 Tintinnopsella-Intermedia ----- Chitinoideidos-calpionéidos primitivos
		Crassicollaria	Crassicollaria	Crassicollaria	
		Crassicollaria	Crassicollaria	Crassicollaria	
		Praetintinnopsella	Praetintinnopsella	Andrusovi ----- Bermudezi ----- Boneti ----- Dobeni	Chitinoideidos ----- Boneti ----- Dobeni
		Chitinoideidos	Chitinoideidos	Chitinoideidos	

Figura 6: Comparación de algunas Biozonas de calpionélidos, propuestas por diversos autores (tomado y modificado de Benzaggagh, 2020).

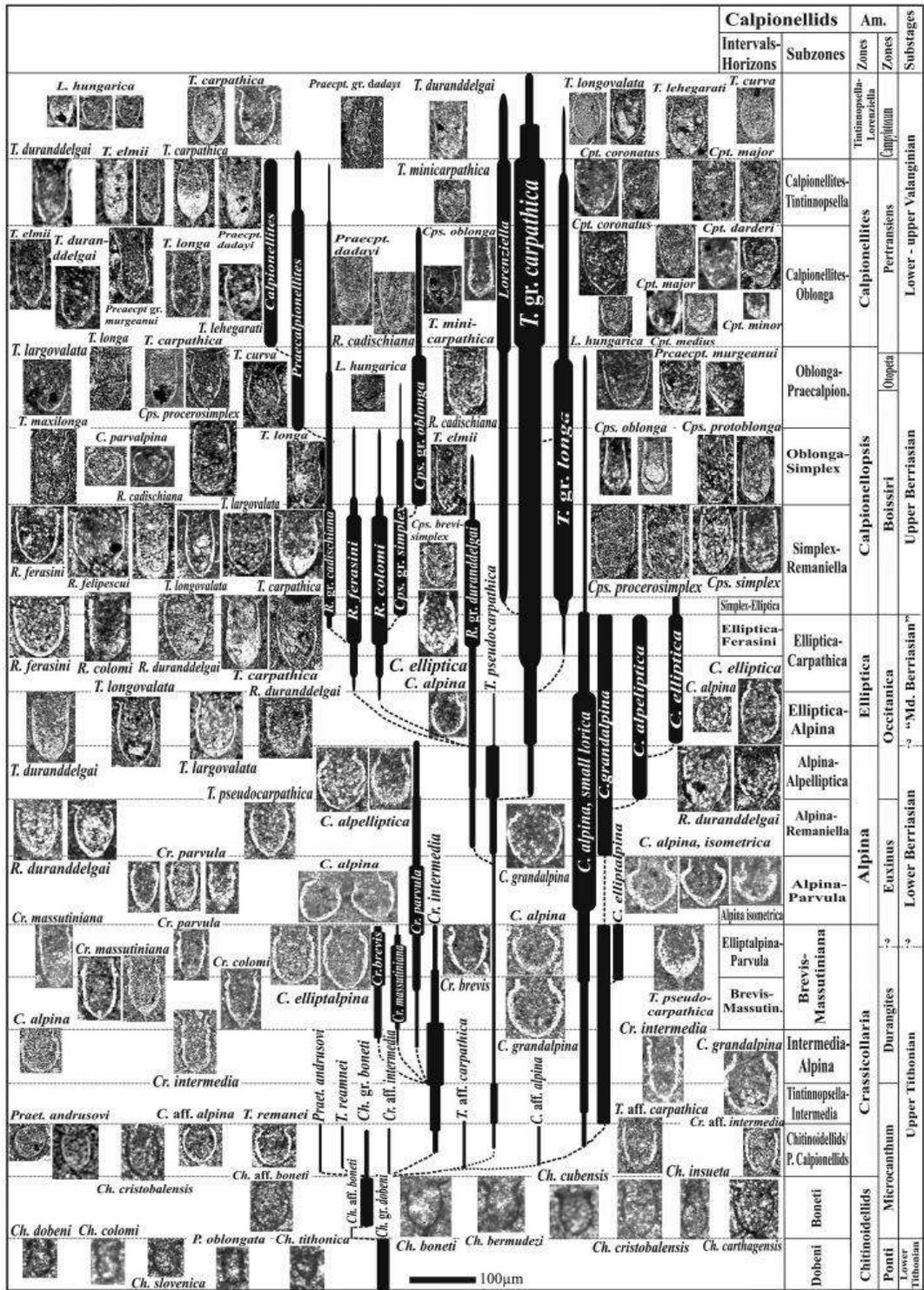


Figura 7: Esquema de aplicación general de calpionélidos del Tety's propuesto por Benzaggagh (2020), del Titoniano Inferior al Valanginian Superior. Distribución estratigráfica de los calpionélidos a través del límite J/K, especímenes ilustrados de calpionélidos, intervalos acme y evolución (tomado de Benzaggagh, 2020).

6. Conclusiones

La SMO es una latente fuente de estudios del lindero J/K con arduo material sin revisar, cuyo registro del contacto J/K precisa la frontera de sistemas en la parte terminal de la Fm. La Casita (noreste) y en la sección final de la Fm. Pimienta (centro-este) o en su defecto en la sección transicional con la formación suprayacente.

En México para garantizar la identificación de la base de la subzona *Alpina* (marcador primario de la base del Cretácico) se requiere procurar el estudio de afloramientos carentes de deficiencias, es decir: ser fosilífero, continuo y sin interrupción de estratos anormales y además se debe ejecutar un muestreo detallado capa por capa para contrarrestar las condiciones de conservación precaria de los calpionélidos del límite J/K contenidos en los estratos nacionales; de hecho, la realización de más de una lámina delgada por nivel puede apoyar a la precisión de los resultados obtenidos.

El análisis microfacial de las secciones nacionales estudiadas tiene capacidad de correlación local y aparenta evidencia coincidente con la frontera J/K; por ello, la inclusión del estudio microfacial en trabajos posteriores es de suma importancia.

Los trabajos bioestratigráficos de exploración del tránsito J/K realizados durante la década 2010-2020 en México tienen en común el uso de calpionélidos para definir el inicio del Cretácico y en su mayoría usan el marcador primario reconocido por el BWG; no obstante, estos estudios carecen de la implementación de la calibración de datos con paleomagnetismo y el soporte de la base de la subzona *Alpina* con nanofósiles calcáreos establecidos por el BWG.

Para identificar el comienzo del Cretácico en México con certeza y generar resultados que apoyen la resolución de incógnitas del borde J/K se debe intentar identificar marcadores secundarios que den soporte y precisión a los datos adquiridos por calpionélidos; en consecuencia, la integración de nanofósiles calcáreos a los resultados de calpionélidos en trabajos del país admite el desarrollo de información con factibilidad de correlación.

El estudio de otros grupos fósiles ayuda a la obtención de marcadores secundarios con capacidad de correlación de secciones dónde los calpionélidos están en condiciones precarias o se encuentran ausentes, así como la eventual correlación con el dominio Boreal

y el Austral; así pues, es conveniente continuar con el estudio de amonites, dinoflagelados calcáreos y demás grupos fósiles registrados en los perfiles de la SMO.

En los estudios mexicanos la integración de la magnetoestratigrafía como herramienta de calibración de los calpionélidos y el uso de una misma biozonación puede proveer datos importantes que ayuden a la correlación con áreas del mediterráneo.

Como medida de mejora en la correlación de secciones se tiene que tratar usar la misma biozonación; por tanto, es importante implementar y evaluar la utilidad de la propuesta biozonal realizada por Benzaggagh (2020) en los trabajos mexicanos y en su defecto intentar ocupar una única biozonación ya sea la de Benzaggagh (2020) con su hipotética aplicación general o la de mayor aceptación de Reháková y Michalík (1997).

Los sedimentos mexicanos son material de calidad para el estudio de la frontera J/K; sin embargo, identificar potenciales afloramientos contenedores del contacto J/K en partes de la SMO con abundancia de vegetación requiere una exploración exhaustiva en campo con ayuda de cartas geológicas de los cortes resultantes de la construcción de carreteras, de los sitios de derrumbe y/o de sitios de erosión natural.

7. Referencias

- Adate, T., Stinnesbeck, W., Hubberten, H. y Remane, J. (1994a). Correlaciones multiestratigráficas en el límite Jurásico–Cretácico en el noreste de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 51(1/2), 23–51.
- Adate, T., Stinnesbeck, W., Hubberten, H. y Remane, J. (1994b). Nuevos datos sobre el límite Jurásico-Cretácico en el Noreste y en el Centro de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 52(1), 11-14.
- Benzaggagh, M. (2020). Discussion on the calpionellid biozones and proposal of a homogeneous calpionellid zonation for the Tethysian Realm. *Cretaceous Research*, 114,104184.
- Benzaggagh, M., Cecca, F., Schnyder, J., Seyed-Emami, K. y Reza-Majidifard, M. (2012). Calpionellids and pelagic microfaunas of Upper Jurassic-Lower Cretaceous Shal and Kolor Formations (Talesh Mountains, Alborz Chain, North-West Iran). *Stratigraphic distribution, new species, systematic revision and regional comparisons. In Annales de Paléontologie*, 98, 253-301.
- Bergen, J. A. (1994). Berriasian to early Aptian calcareous nannofossils from the Vocontian Trough (SE France) and Deep Sea Drilling Site 534: new nannofossil taxa and a summary of low-latitude biostratigraphic events. *Journal of Nannoplankton Research*, 16(2), 59-69.
- Bonet, F. (1956). Zonificación microfaunística de las calizas cretácicas del Este de México. *Boletín de la Asociación Mexicana Geológica Petrolera*, 8(7-8), 3-103.
- Borza, K. (1969). *Die Mikrofacies und Mikrofossilien des Oberjuras und der Unterkreide der Klippenzone der Westkarpaten*. Slovak Academy of Sciences Publishing House, Bratislava, 302 pp.
- Bralower, T., Monechi, S. y Thierstein, H. (1989). Calcareous Nannofossil Zonation of the Jurassic-Cretaceous Boundary Interval and Correlation with the Geomagnetic Polarity Timescale. *Marine Micropaleontology*, 14, 153–235.

- Burckhardt, C. (1930). Etude synthétique sur le Mésozoïque Mexicain. *Mém. Soc. Pal. Suisse*, 49-50, 280 pp.
- Cantú-Chapa, A. (1989). Precisiones sobre el límite Jurásico-Cretácico en el subsuelo del Este de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 2(1), 26-69.
- Chávez-Cabello, G. (2016). La Sierra Madre Oriental de México, un cinturón orogénico de pliegues y cabalgaduras de la cordillera de Norteamérica. *Ciencia UANL*, 19(82), 70-78.
- Colom, G. (1948). Fossil tintinnids: loricated infusoria of the order of the Oligotricha. *Journal of Paleontology*, 22, 233-263.
- Deres, F. y Achéritéguy, J. (1980). Biostratigraphies des Nannoconides. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-production Elf-Aquitaine*, 4, 1-54.
- Doben, K. (1963). Ueber Calpionelliden an der Jura/Kreide-Grenze. *Mitteilungen der Bayerischen Staatsammlung für Paläontologie und Historische Geologie*, 3, 35-50.
- Dörhöfer, G. (1979). Distribution and stratigraphic utility of Oxfordian to Valanginian miospores in Europe and North America. *American Association of Stratigraphic Palynologist, Contribution Series*, 5B, 101-132.
- Durand-Delga, M. (1957). Une nouvelle forme de Calpionelles. *Publications du Service Géologique de l'Algérie (Nouvelle Série)*, 13, 165-170.
- Eguiluz de Antuñano, S., Olivares-Ramos, D. y López-Martínez, R. (2012). Discordancia entre el Jurásico y Cretácico en Huizachal, Tamaulipas, México: Su posible correlación con un límite de secuencia global. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 29(1), 87-102.
- Furrazola-Bermúdez, G. (1965). Tres nuevas especies de tintinidos del Jurásico superior de Cuba. *Instituto Cubano de Recursos Minerales, Publicación Especial*, 2, 1-29.
- Gitmez, G. U. y Sarjeant, W. A. S. (1972). Dinoflagellate cysts and acritarchs from the Kimmeridgian (Upper Jurassic) of England, Scotland and France. *British Museum (Natural History) Geology, Bulletin*, 21(5), 171-257.

- Grün, B. y Blau, J. (1997). New aspects of calpionellid biochronology: proposal for a revised calpionellid zonal and subzonal division. *Revue de Paléobiologie*, 16, 197-214.
- Hunt, C. O. (1985). Miospores from the Portland Stone Formation and the lower part of the Purbeck Formation (Upper Jurassic/Lower Cretaceous) from Dorset, England. *Pollen et Spores*, 27, 419- 451.
- Lena, L., López-Martínez, R., Lescano, M., Aguire-Urreta, B., Concheyro, A., Vennari, V., Naipauer, M., Samankassou, E., Pimentel, M., Ramos, V. A. y Schaltegger, U. (2019). High-precision U–Pb ages in the early Tithonian to early Berriasian and implications for the numerical age of the Jurassic–Cretaceous boundary. *Solid Earth*, 10, 1–14.
- López-Martínez, R., Barragán, R. y Reháková, D. (2013). The Jurassic/Cretaceous boundary in the Apulco area by means of calpionellids and calcareous dinoflagellates: an alternative to the classical Mazatepec section in eastern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 47, 142-151.
- López-Martínez, R., Barragán, R. y Reháková, D. (2015a). Calpionellid biostratigraphy across the Jurassic/Cretaceous boundary in San José de Iturbide, Nuevo León, northeastern Mexico. *Geological Quarterly*, 59(3), 581-592.
- López-Martínez, R., Barragán, R., Reháková, D., Martini, M. y Eguiluz de Antuñano, S. (2015b). Calpionellid biostratigraphy, U-Pb geochronology and microfacies of the upper jurassic-lower cretaceous Pimienta Formation (tamazunchale, san luis potosí, central-eastern Mexico). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(1), 75-86.
- Lorenz, T. (1902). Geologische Studien im Grenzgebiet zwischen helvetischer und ostalpiner Fazies. II. *Der südliche Rhätikon. Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg interner Bericht.*, 12, 35-95.
- Martínez-Yáñez, M., Núñez-Useche, F., Martínez-López, R. y Gardner, R. D. (2017). Paleoenvironmental conditions across the Jurassic–Cretaceous boundary in central-eastern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 77, 261-275.

- Mazenot, G. (1939). Les Palaeohoplitidae tithoniques et berriasiens du sud-est de la France. *Mémoires de la Société géologique de France, nouvelle série*, 18(1), 1-303.
- Michalík, J. y Reháková, D. (2011). Possible markers of the Jurassic/Cretaceous boundary in the Mediterranean Tethys: A review and state of art. *Geoscience Frontiers*, 2(4), 475-490.
- Monteil, E. (1992). Quelques nouvelles espèces-index de kystes de dinoflagellés (Tithonique-Valanginien) du sud-est de la France et de l'ouest de la Suisse. *Paléobiologie*, 11, 273–297.
- Murgeanu, G. y Filipescu, M. G. (1933). *Calpionella Carpathica* n. sp. dans les Carpathes roumanines. *Notationes Biologicae*, 1(2), 63-64.
- Nagy, I. (1986). Investigation of Calpionellides from the Mecsek Mountains (S. Hungary). *Acta Geologica Hungarica*, 29, 45-64.
- Norris, G. (1965). Archeopyle structures in Upper Jurassic dinoflagellates from southern England. New Zealand. *Journal of Geology and Geophysics*, 8, 792-806.
- Pop, G. (1994). Calpionellid evolutive events and their use in biostratigraphy. *Romanian Journal of Stratigraphy*, 76, 7-24.
- Pop, G. (1996). Trois nouvelles espèces du genre Remaniella (Calpionellidae Bonet, 1956). *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences Serie II A Sciences de la Terre et des Planetes*, 332, 317-323.
- Regalet Figueroa, J. I. (2011) *Bioestratigrafía, análisis microfacial y geoquímico de la formación La Casita, jurásico tardío (kimmeridgiano-tithoniano) en Potrero Prieto Galeana Nuevo León, México* (Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Reháková, D. y Michalík, J. (1997). Evolution and distribution of calpionellids the most characteristic constituent of lower Cretaceous Tethyan microplankton. *Cretaceous Research*, 18, 493–504.

- Remane, J. (1962). Zur Calpionellen-Systematik. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, 2, 8-24.
- Remane, J. (1971). Les Calpionelles protozoaires planctoniques des mers mesogéennes de l'époque secondaire. *Annales Guebhard*, 47, 370-393.
- Remane, J. (1986). Calpionellids and the Jurassic-Cretaceous boundary. *Acta Geologica Hungarica*, 29, 15-26.
- Stinnesbeck, W., Adatte, T. y Remane, J. (1993). Mazatepec (Estado de Puebla, México)-Reevaluación de su valor como estratotipo del límite Jurásico-Cretácico. *Revista Española de Micropaleontología*, 25(2), 63-79.
- Vera-Torres, J. A. (1994). *Estratigrafía Principios y Métodos*. Madrid: Editorial Rueda, pp. 3,13-14,61-69,327.
- Westermann, G. E. (2000a). Biochore classification and nomenclature in paleobiogeography: an attempt at order. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 158(1-2), 1-13.
- Westermann, G. E. (2000b). Marine faunal realms of the Mesozoic: review and revision under the new guidelines for biogeographic classification and nomenclature. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 163(1-2), 49-68.
- Wimbledon, W. A. P. (2017). Developments with fixing a Tithonian/Berriasian (J/K) boundary. *Volumina Jurassica*, 15, 107-112.
- Wimbledon, W. A. P., Casellato, C. E., Rehakova, D., Bulot, L. G., Erba, E., Gardin, S. y Hunt, C.O. (2011). Fixing a basal Berriasian and Jurassic/Cretaceous (J/K) boundary—is there perhaps some light at the end of the tunnel. *Rivista Italiana di paleontologia e Stratigrafia*, 117(2), 295-307.
- Wimbledon W. A. P., Reháková D., Svobodová A., Elbra, T., Schnabl, Pruner, P., Šifnerová, K., Kdýr Š., Dzyuba, O., Schnyder J., Galbrun, B., Košťák, Vaňková, L., Copestake, P., O. Hunt, C., Riccardi, A., P. Poulton, T., G. Bulot, L., Frau, C. y De Lena, L. (2020a). The proposal of a GSSP for the Berrisian Stage (Cretaceous system): Part 1. *Volumina Jurassica*, 18(1), 53-106.

Wimbledon, W. A. P., Reháková, D., Svobodová, A., Schnabl, P., Pruner, P., Elbra, T., Čížková, K., Kdýr Š., Frau, C., Schnyder, J. y Galbrun, B. (2020b). Fixing a J/K boundary: a comparative account of key Tithonian-Berriasian profiles in the departments of Drôme and Hautes-Alpes, France. *Geologica Carpathica*, 71, 24-46.

8. Anexo

Composición de las biozonas de la propuesta de Benzaggagh (2020) que distinguen el contacto J/K (Base de zona *Alpina*):

1. Zona *Crassicollaria* o zona A: Empieza con la aparición de los primeros calpionélidos con lorica hialina, del género *Crassicollaria* Remane, 1962. Esta zona está dividida en cuatro subzonas y dos intervalos, se mencionan de la base a la cima:

1.1. Subzona *Chitinoidelidos/calpionélidos primitivos* o subzona A0: Caracterizada por la sobreposición entre los primeros calpionélidos y quitinoidelidos del grupo *boneti*.

Contiene: *Chitinoidella bermudezi* Furrázola-Bermudez, 1965, *C. boneti* Doben, 1963, *Calpionella* aff. *alpina*, *Crassicollaria* aff. *intermedia* Durand Delga, 1957, *Tintinnopsella* aff. *Carpathica*, *T. remanei* Borza, 1969 y *Praetintinnopsella andrusovi* Borza, 1969.

1.2. Subzona *Tintinnopsella/intermedia* o Subzona A1: Contiene frecuentes *Tintinnopsella carpathica* de menor tamaño y con el collar regularmente conservado, es escasa en calpionélidos y tiene *Crassicollaria* gr. *intermedia*.

Contiene: *Tintinnopsella carpathica*, *Calpionella alpina* de tamaño mediano a grande, y grupos de *Crassicollaria intermedia/C. brevis* Remane, 1962 y *C. massutiniana* Colom, 1948.

1.3. Subzona *intermedia/Alpina* o subzona A2: Usualmente abundante en calpionélidos, dominada por *Crassicollaria intermedia* y *Calpionella alpina* de tamaño y forma regular, y también contiene *C. alpina* de gran tamaño llamadas *C. grandalpina* Nagy, 1986. Las especies del género *Tintinnopsella* Colom, 1948 son carentes. En la sección superior aparecen *Crassicollaria massutiniana* y *C. brevis*.

1.4. Subzona *Brevis/ Massutiniana* o subzona A3: Siempre rica en calpionélidos y dominada por *Crassicollaria massutiniana*, *C. brevis* y alta frecuencia en *C. intermedia*, *Chitinoidella colomi*, *Calpionella alpina* y *C. grandalpina*. La parte superior es más rica en *Crassicollaria parvula* Remane, 1962 y se caracteriza por la presencia de *Calpionella elliptalpina* Nagy, 1986. La presencia de *Tintinnopsella carpathica* de tamaño reducido, siempre es escasa. Esta subzona igual se caracteriza por la desaparición de saccocómidos.

A su vez, esta última subzona se divide en dos intervalos

1.4.1 Intervalo *Brevis/Massutiniana*: Se caracteriza por la ausencia o escasez de *Calpionella elliptalpina*, este intervalo es rico en *Crassicollaria brevis* y *C. massutiniana*.

1.4.2 Intervalo *Elliptalpina/Parvula*: Marcada por la abundancia de *Calpionella elliptalpina*, relativa frecuencia de *Crassicollaria parvula*, *C. brevis*, *C. massutiniana* y *Calpionella alpina*, igual puede llegar a presentar *Tintinopsella carpathica* en pocas cantidades y siempre con dimensiones pequeñas.

Esta biozona da conclusión al Jurásico y la siguiente marca el inicio del Cretácico.

2. Zona *Calpionella alpina* o zona *Alpina*: Reconocida por el acme de *Calpionella alpina* de forma pequeña y globular, esta biozona es rica en abundancia de calpionélidos pero pobre en diversidad. Se divide en 3 subzonas expuestas de la base a la cima:

2.1. Subzona *Alpina/Parvula* o subzona **B1:** Rica en *Calpionella alpina* de formas redondeadas y de menor tamaño, igual se encuentra abundancia de *Crassicollaria parvula* y llega a contener escasos *Tintinnopsella pseudocarpathica* Benzaggagh *et al.*, 2012.

2.2 Subzona *Alpina/Remaniella* o subzona **B2:** Identificada con la aparición de *Remaniella duranddelgai* Pop, 1996, esta se encuentra dominada por *Calpionella alpina* de tamaños pequeño a medio, llega a presentar escasos *Tintinopsella pseudocarpathica* y reaparece la forma alargada de *Calpionella alpina* o *C. grandalpina*.

2.3 Subzona *Alpina/Alpellitica* o subzona **B3:** Siempre se encuentra por *Calpionella alpina* de tamaños pequeños a grandes. Contiene *Tintinopsella pseudocarpathica*; *Remaniella duranddelgai* y los *Tintinopsella carpathica* ligeramente más grandes, se vuelven más frecuentes.