



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DEL SUR

2025
Bahía Blanca, Argentina

Tesis de Doctorado en Geología

**Análisis palinológico (palinoestratigráfico y
palinofacial) de niveles hiperpícnicos de la
Formación Vaca Muerta, Titoniano–
Valanginiano temprano, Cuenca Neuquina,
Argentina**

Luis Sebastián Agüero

Director: Marcelo Adrián Martínez / **Co-directora:** Daniela Elizabeth Olivera

Prefacio

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Geología, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el Departamento de Geología durante el período comprendido entre el 21 de mayo de 2019 y el 18 de febrero de 2025, bajo la dirección del Dr. Marcelo Adrián Martínez, Investigador Principal del CONICET – Profesor Asociado de la UNS y la codirección de la Dra. Daniela Elizabeth Olivera, Investigadora Adjunta del CONICET– Asistente de docencia de la UNS.



Lic. Luis Sebastián Agüero



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Subsecretaría de Posgrado

La presente tesis ha sido aprobada el

mereciendo la calificación de

A Verónica y Clementina

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a mis directores de tesis, el Dr. Marcelo Adrián Martínez y la Dra. Daniela Elizabeth Olivera, por la confianza depositada en mi capacidad para llevar adelante este proyecto, por su guía y apoyo constante a lo largo de todo este proceso. Sus valiosos consejos fueron fundamentales para sortear los desafíos inherentes al desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Mirta Quattrocchio, le agradezco por su inspiradora pasión por la investigación, que avivó mi entusiasmo al comienzo de este camino.

Al Dr. Carlos Zavala, extiendo mi gratitud por su apoyo en la solicitud de beca, así como por sus invaluosables aportes y sugerencias, que enriquecieron sustancialmente este trabajo.

Asimismo, mi reconocimiento a los Lics. Juan Di Nardo, Verónica Iturain y Amira Chalabe, por su excepcional asistencia durante las jornadas de trabajo de campo. Su profesionalismo y energía positiva fueron esenciales para el éxito de las campañas.

Finalmente, deseo agradecer al CONICET por el indispensable apoyo económico que hizo posible la realización de este estudio, así como al Departamento de Geología por sus instalaciones y lugar de trabajo proporcionados.

RESUMEN

Se presenta el primer análisis palinológico integral (sistemático, estadístico, palinoestratigráfico y palinofacial) de la Formación Vaca Muerta (Titoniano–Valanginiano temprano), Subcuenca de Picún Leufú, Cuenca Neuquina. Esta unidad ha sido ampliamente estudiada debido a su importancia en la comprensión del relleno sedimentario de la cuenca y a su potencial como reservorio de hidrocarburos no convencionales. No obstante, la escasez de investigaciones palinológicas recientes constituye un obstáculo para el desarrollo de estudios palinoestratigráficos, taxonómicos y paleobiogeográficos, así como para la reconstrucción de las condiciones paleoclimáticas y paleoambientales. Por ello, esta tesis tiene como objetivo ampliar el registro de palinomorfos, refinar la bioestratigrafía, reconstruir las condiciones paleoclimáticas y paleoambientales y evaluar el potencial oleogenético de los depósitos.

Se describió y muestreó la sección Quebrada del Sapo, además se obtuvieron muestras de las áreas de Picún Leufú, Mallín Quemado Norte y de Puerta Curaco. Se evaluó el carbono orgánico total de 35 muestras de las secciones Mallín Quemado Norte y Puerta Curaco. Las muestras palinológicas se exploraron mediante microscopía de luz blanca transmitida, de fluorescencia y electrónica de barrido.

Se llevó a cabo el recuento estadístico de palinomorfos de 15 muestras y el análisis palinofacial de 77 muestras correspondientes a las formaciones Vaca Muerta y Picún Leufú.

El estudio sistemático permitió identificar 144 especies, 3 variedades y 4 morfotipos, de los cuales se describieron e ilustraron 69. Se destacan 3 segundas ocurrencias a nivel mundial, 9 primeros registros para Argentina y 2 primeros hallazgos para la Cuenca Neuquina.

El análisis de conglomerados permitió identificar 2 asociaciones de palinomorfos y 16 palinofacies tipo. Todo el material estudiado se caracterizó en detalle mediante frecuencias relativas, diagramas ternarios, diversidad de especies y clasificación de los fitoclastos en rango de tamaños, entre otros.

El análisis palinoestratigráfico permitió definir los siguientes rangos cronoestratigráficos para los depósitos analizados de la Formación Vaca Muerta: Quebrada del Sapo (Titoniano superior inferior–Titoniano superior), Puente Picún Leufú (Titoniano superior inferior), incluyendo el límite entre las formaciones Vaca Muerta y Picún Leufú. El registro de *Systematophora* sp. A permitió inferir la correlación de niveles entre las secciones Quebrada del Sapo y Puente Picún Leufú. Asimismo, se expandieron los rangos estratigráficos de cinco taxones. El hallazgo de *Cyclusphaera radiata* en la Formación Picún Leufú podría estar

sugiriendo que el límite inferior de su rango estratigráfico en Argentina se extiende al menos hasta el Berriásano ?temprano.

En base a los requisitos paleoecológicos de los esporomorfos reconocidos se infirió que durante la acumulación de los depósitos estudiados de la Formación Vaca Muerta (secciones Quebrada del Sapo, Puente Picún Leufú y Mallín Quemado Norte), las condiciones climáticas generales habrían sido cálidas a cálidas-templadas y mayormente secas, con fluctuaciones hacia condiciones de mayor humedad. En las secciones Quebrada del Sapo y Puente Picún Leufú, estas condiciones se ajustan al Bioma Subtropical Estacionalmente Seco (inviernos húmedos).

La interpretación de los datos palinológicos y la litología permitió reconstruir las condiciones paleoambientales durante la deposición de los niveles estudiados de la Formación Vaca Muerta. Los ambientes depositacionales habrían variado desde cuenca distal hasta marino marginal, predominando los entornos marinos abiertos. Se infiere aporte continental entre bajo y elevado; desarrollo de cuerpos de agua dulce; salinidad del agua superficial oscilante, en términos generales, entre normal y subnormal; y condiciones de oxigenación variables, principalmente entre moderada y fuertemente reductoras. La acumulación de la Formación Vaca Muerta sería, principalmente, el resultado de la interacción de procesos de decantación con flujos hiperpícnicos.

El hallazgo de *Thalassiphora? robusta* podría ser evidencia de la migración de este taxón desde la cuenca del Volga, oeste de Rusia. El registro de taxones compartidos con el Titoniano del sureste de Tanzania podría estar reflejando la conexión marina entre las cuencas Neuquina y Mandawa.

La naturaleza de la materia orgánica permitió inferir que los querógenos varían entre los tipos II y III, predominando los de tipo II/III. Se identificó una contribución significativa de materia orgánica terrestre al querógeno de la Fm. Vaca Muerta, tradicionalmente caracterizado como exclusivamente marino. El potencial oleogenético es principalmente no concluyente en la sección Quebrada del Sapo, aunque no se descarta potencial para gas y/o petróleo en ciertos niveles; no concluyente en la sección Puente Picún Leufú; y nulo en Mallín Quemado Norte y Puerta Curaco.

El análisis palinofacial sugiere que, en términos generales, la forma de los fitoclastos ejerce un control de primer orden en su selección por transporte. La preservación del carbono orgánico podría estar relacionada, al menos parcialmente, con el papel de las sustancias poliméricas extracelulares como encapsuladoras de materia orgánica y por tanto, como exportadoras de carbono orgánico.

Este estudio documentó por primera vez el registro de materia orgánica sulfurada localmente asociada a framboídes de pirita en la Formación Vaca Muerta, lo que sugiere oscilación redox entre microambientes anóxicos sulfídicos y ferruginosos durante la diagénesis temprana.

Los resultados de esta tesis contribuirán significativamente al conocimiento de la palinología del Jurásico Superior–Cretácico Inferior de la Cuenca Neuquina y Argentina, así como a la evolución de los ecosistemas desarrollados en Patagonia durante este periodo. Además, proporcionarán información clave para futuros estudios sistemáticos, bioestratigráficos, paleoclimáticos, paleoambientales y de potencial oleogenético de la Formación Vaca Muerta, así como de unidades coetáneas a escala gondwánica y mundial.

ABSTRACT

This study presents the first comprehensive palynological analysis (systematic, statistical, palynostratigraphic, and palynofacies) of the Vaca Muerta Formation (Tithonian–early Valanginian), Picún Leufú Sub-basin, Neuquén Basin. This unit has been extensively studied due to its significance in understanding the sedimentary infill of the basin and its potential as a reservoir for unconventional hydrocarbons. However, the scarcity of recent palynological research constitutes an obstacle to the development of palynostratigraphic, taxonomic, and paleobiogeographic studies, as well as the reconstruction of paleoclimatic and paleoenvironmental conditions. This thesis, therefore aims to expand the record of palynomorphs, refine the biostratigraphy, reconstruct the paleoclimatic and paleoenvironmental conditions, and evaluate the oleogenetic potential of the deposits.

The Quebrada del Sapo section was described and sampled, and samples were also collected from the Picún Leufú, Mallín Quemado Norte, and Puerta Curaco areas. Total organic carbon was evaluated in 35 samples from the Mallín Quemado Norte and Puerta Curaco sections. Palynological samples were examined using transmitted white light microscopy, fluorescence microscopy, and scanning electron microscopy.

Statistical count of palynomorphs was carried out on 15 samples, and palynofacies analysis was performed on 77 samples from the Vaca Muerta and Picún Leufú formations.

The systematic study identified 144 species, 3 varieties, and 4 morphotypes, of which 69 were described and illustrated. Notably, three second occurrences on a global scale, nine first records for Argentina, and two first findings for the Neuquén Basin were highlighted.

Cluster analysis identified 2 palynomorph assemblages and 16 palynofacies types. All studied material was characterized in detail using relative frequencies, ternary diagrams, species diversity, and size-range classification of phytoclasts, among other methods.

Palynostratigraphic analysis defined the following chronostratigraphic ranges for the analyzed deposits of the Vaca Muerta Formation: Quebrada del Sapo (early late Tithonian–late Tithonian), Puente Picún Leufú (early late Tithonian), including the boundary between the Vaca Muerta and Picún Leufú formations. The record of *Systematophora* sp. A suggests the correlation of deposits between the Quebrada del Sapo and Puente Picún Leufú sections. Additionally, the stratigraphic ranges of five taxa were expanded. The *Cyclusphaera radiata* occurrence in the Picún Leufú Formation may suggest that the lower boundary of its stratigraphic range in Argentina extends at least to the ?early Berriasian.

Based on the paleoecological requirements of the recognized sporomorphs, it was inferred that during the accumulation of the studied deposits of the Vaca Muerta Formation (Quebrada del Sapo, Puente Picún Leufú, and Mallín Quemado Norte sections), general climatic conditions would have been warm to warm-temperate and mostly dry, with fluctuations towards higher humidity conditions. In the Quebrada del Sapo and Puente Picún Leufú sections, these conditions align with the Subtropical Seasonally Dry Biome (winterwet).

Paleoenvironmental conditions reconstructed from palynological data and lithology of the studied levels of the Vaca Muerta Formation included: distal basinal to marginal marine depositional environments (dominated by open marine settings); and: continental input inferred to range from low to high; development of freshwater bodies; fluctuating surface water salinity, generally normal and subnormal; and variable oxygenation conditions, mainly moderate to strongly reducing. The Vaca Muerta Formation accumulation is interpreted to be primarily due to the interaction of settling processes with hyperpycnal flows.

The occurrence of *Thalassiphora?* *robusta* could be evidence of the migration of this taxon from the Volga basin, western Russia. The record of shared taxa with the Tithonian of southeastern Tanzania could be reflecting the marine connection between the Neuquén and Mandawa basins.

The nature of the organic matter suggested that kerogens vary between types II and III, with a predominance of type II/III. A significant contribution of terrestrial organic matter was identified in the kerogen of the Vaca Muerta Formation, which is traditionally characterized as exclusively marine. The oleogenetic potential is primarily inconclusive in the Quebrada del Sapo, although potential for gas and/or oil is not ruled out in certain levels; inconclusive in the Puente Picún Leufú; and null in Mallín Quemado Norte and Puerta Curaco.

Palynofacies analysis suggests that, in general terms, the shape of phytoclasts exerts a first-order control on their transport sorting. The preservation of organic carbon may be related, at least partially, to the role of extracellular polymeric substances as encapsulator of organic matter and, consequently, as an exporter of organic carbon.

This study documented for the first time the record of sulphurized organic matter local to pyrite framboids in the Vaca Muerta Formation, suggesting redox oscillation between sulphidic and ferruginous anoxic microenvironments during the early diagenesis.

The results of this thesis will significantly contribute to the knowledge of the palynology of the Late Jurassic–Early Cretaceous of the Neuquén Basin and Argentina, as well as to the evolution of ecosystems developed in Patagonia during this period. Furthermore, they will provide key information for future systematic, biostratigraphic, paleoclimatic, paleoenvironmental, and oleogenetic potential studies of the Vaca Muerta Formation, as well as coeval units at the gondwanan and global scales.