

LOS CONTEXTOS PALEOECOLOGICOS VARIADOS DE LAS FLORAS CARBONIFERAS DE PARACAS (ICA, PERU)

Vera ALLEMAN(1), Hermann W. PFEFFERKORN(2) y Diane M. ERWIN(2)

1.- *Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma, Lima.*

2.- *Department of Geology, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104-6316, E.U.A.*

RESUMEN

La serie del Carbonífero Medio de la Península de Paracas, Ica, Perú, contiene abundantes plantas fósiles bien conservadas que representan una flora del borde sudoeste del continente Gondwana. La flora incluye licópodos, sphenópsidos, pteridospermas y probables progymnospermas. Los estudios paleoecológicos preliminares cualitativos y cuantitativos demuestran la ocurrencia de diferentes conjuntos de plantas, aunque la composición global de la flora no cambia a través de los 170 metros de espesor de la sección. Los contextos deposicionales comprenden depósitos fluviales y de planicias costeras con influencias de mareas. Las comunidades de plantas se han conservado en forma autóctona y en forma paraautóctona y van de monoespecíficas a conjuntos diversos. Se ha reconocido siete conjuntos diferentes, basados en métodos cualitativos. Los cuatro conjuntos mencionados anteriormente son dominados por pteridospermas sphenópsidos o licópodos. Estos representan una elevada diversidad de ecosistemas documentados por primera vez en un área de clima templado cálido del Gondwana.

Palabras claves: Carbonífero, Gondwana, paleobotánica, paleoecología, clima templado cálido, ecosistemas variados, Paracas, Perú.

Título abreviado para cornizas: Paleoecología floras carboníferas Paracas.

ABSTRACT

The Mid-Carboniferous beds on the Paracas Peninsula, Ica, Peru, have yielded abundant, well-preserved plant fossils representing a flora from the southwestern margin of the Gondwana continent; Floral elements include lycopods, sphenopsids, pteridosperms and probable progymnosperms.

Preliminary qualitative and quantitative paleoecological studies demonstrate the presence of a number of different plant assemblages, even though the overall composition of the flora does not change throughout the 170 m. thick section. The depositional settings represent fluvial deposits and coastal plains with tidal influence. The plant communities are preserved autochthonously or paraautochthonously and range from monospecific to diverse assemblages. We recognize seven different assemblages based on qualitative methods. The four assemblages counted so far are dominated by pteridosperms, sphenopsids or lycopods respectively. This represents a high diversity of ecosystems documented for the first time in the warm temperate area of Gondwana.

Key words: Carboniferous, Gondwana, paleobotany, paleoecology, warm temperate climate, diverse ecosystems, Paracas, Peru.

Las capas del Carbonífero en la Península de Paracas han brindado abundantes y bien conservadas plantas fósiles, testimonios de la variada flora que tuvo sus orígenes en el borde sudoeste del continente Gondwana (Erwin, Pfefferkorn, Alleman y Nuñez del Prado, 1992). Esta flora fósil tiene tanto

una significación paleoclimática como estratigráfica (Alleman y Pfefferkorn, 1988; Pfefferkorn y Alleman, 1989a,b). Los elementos florísticos son licópodos, sphenópsidos, pteridospermas y progymnospermas putativas, y los helechos que son extremadamente raros. Aunque la composición florística no cambia a través de

los 170 metros de la sección, la flora no es monótona por la diversidad de las asociaciones de plantas que se han desarrollado en un número de diferentes ambientes deposicionales a lo largo de dicha sección (Nuñez del Prado, 1991a,b). Los fósiles de plantas se presentan en combinaciones distintas y ocurren en litologías diferentes que indican, de acuerdo con la interpretación sedimentológica, contextos ecológicos específicos con comunidades de plantas distintas (Pfefferkorn y Alleman, 1991). Tanto la flora de Paracas como los paleoambientes reflejan un alto grado de diversidad para el intervalo considerado (Carbonífero mediano) y para esa región particular del Gondwana (es decir, "Paraca", la así llamada provincia floral templada cálida de la región Gondwana). (Alleman y Pfefferkorn, 1988; Pfefferkorn y Alleman, 1989a,b).

En esta publicación se discute la interpretación paleoecológica de las asociaciones de plantas (taofloras) de la Península de Paracas, Perú, basadas en observaciones cualitativas y cuantitativas.

La sección La Mina ha sido medida y subdividida en 24 unidades de recolección de muestras (Fig. 1; vea también Erwin, Pfefferkorn y Alleman, 1994). Los límites entre las unidades de recolección están constituidos por capas delgadas, poco resistentes, fuertemente intemperizadas (carbones lutitas negras) o bien corresponden a la transición de una litología heterogénea a una litología más homogénea, o viceversa. Las 23 unidades accesibles fueron a su vez subdivididas cuando fue necesario (Fig. 1). Ambas subdivisiones, las de escala amplia y delgada, son subdivisiones naturales en el sentido que las diferentes litologías utilizadas para cada división representan ambientes diferentes de deposición. Esa es la razón por la cual las unidades constituyen más bien un acercamiento práctico para el trabajo de campo y no corresponden a las interpretaciones sedimentológicas específicas o paradigmas.

Se recolectaron ejemplares en todas las unidades con contenidos de plantas, pero con énfasis en los horizontes específicamente ricos en ellas. Las comunidades de plantas y sus paleoambientes fueron caracterizados en las siguientes asociaciones de plantas y sus paleoambientes fueron caracterizados en las siguientes asociaciones de plantas fósiles:

- (A) Bosque de *Tomiodendron* in situ
- (B) Otro licópodo erguido
- (C) Bosquecillo de sphenopsido
- (D) Pteridosperma mono específica erguida
- (E) Conjuntos de diversificación alta en sedimentos clásticos
- (F) Conjuntos de diversificación alta en sedimentos ricos en carbón
- (G) Flora extraña a la cuenca

(A) Bosques mono específicos de *Tomiodendron*. Este

tipo de bosques crece sobre sedimentos clásticos depositados por eventos de inundación. Los bosques no representan únicamente una vegetación pionera sino también una que fue regenerada la misma, lo que está comprobado por la presencia de troncos de diferentes diámetros que probablemente representan individualidad de diferentes clases de edades que se extienden entre las etapas juveniles y adultas, conservadas en posición de crecimiento (Alleman y Pfefferkorn, 1991).

(B) Bosque mono específico erguido de un licópodo descrito como *Cyclostigma pacifica* (Steinmann) Jongmans. Estas plantas colonizaron substratos arcillosos-limosos. Se encontraron las bases erguidas de troncos de varios individuos bien conservados en posición de crecimiento y desarrollo después de haber sido inundados por aguas crecidas cargadas de sedimento. En estos casos particulares las inundaciones han podido ser los eventos finales responsables de la muerte del asentamiento y al mismo tiempo de la conservación de los troncos.

(C) Bosquecillo de "*Paracalamites*". Estos parecen haberse desarrollado en sedimentos limosos que se depositaron regularmente en contextos de inundación.

(D) Flora de una pteridosperma mono específica. Existen semillas y órganos de polen de una sola especie de pteridosperma en la unidad 19.8 (Erwin, Pfefferkorn y Alleman, 1994). Los órganos de reproducción se hallan conjuntamente con un tipo de tallo y frondas cargadas de pinulas de sphenoptérido. La pteridosperma de Paracas muestra rasgos atribuidos comúnmente a plantas pioneras o a plantas que se distinguen, como por ejemplo en el presente caso, por la producción de un gran número de semillas relativamente pequeñas y por un hábitat herbáceo, no boscoso. Estas pteridospermas tienen éxito en el caso de una colonización rápida y si se establecen en áreas abiertas recientemente removidas en planicies de inundación donde forman asentamientos mono específicos densos. Su éxito puede ser atribuido a una serie de diferentes factores: (1) eran capaces de excluir a otras plantas de esas áreas por medio de una competencia por los recursos disponibles, (2) este tipo de hábitat que se repite al comienzo no fue adecuado para otro tipo de plantas (debido a cambios en las condiciones edafológicas, iluminación y régimen de humedad), (3) el intervalo de tiempo que se extiende entre la primera removida que dio lugar al establecimiento de esa especie de pteridosperma en forma solitaria y la inundación responsable de su muerte y conservación en el registro de la roca, ha sido demasiado corto para que otras plantas pudieran establecerse. Refiriéndose a las dimensiones de tallo y de hojas, las plantas parecen haber llegado a cierta madurez cuando fueron arrasadas por una inundación

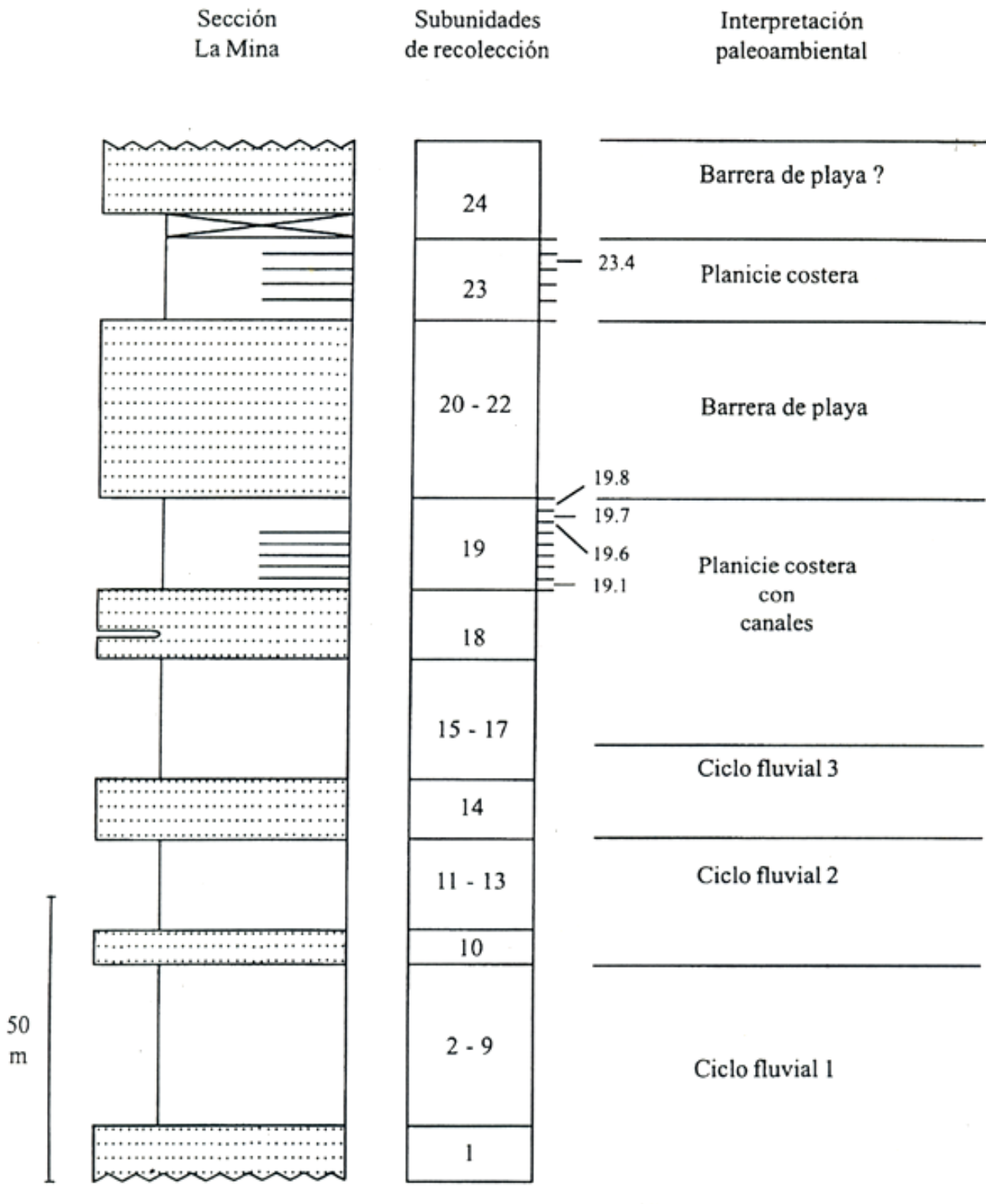


Fig. 1. Sección generalizada de "La Mina". Península de Paracas, Perú. Los intervalos punteados indican la areniscas y los intervalos en blanco representan las intercalaciones de limonitas, lutitas y carbon. Un intervalo cubierto se encuentra en la base de la unidad 24. La representación se refiere a las unidades informales de recolección y a la interpretación paleoambiental, modificada de Núñez del Prado (1991a)

excesivamente alta que llevó consigo grandes aportes de sedimento que entera partes de las plantas con sedimentos en depresiones de poca profundidad o en lagos.

(E) Conjuntos de alta diversidad o comunidades de plantas conservadas en depósitos de inundaciones similares a las consideradas anteriormente.

(F) Comunidades de alta diversidad conservadas en lutitas laminares, ricas en carbón. Estos ambientes se interpretan como depósitos de ciénagas o pantanos. Diferentes grupos están representados, pero los *Tomiodendron* y los *Nothorhacopteris* son codominantes.

(G) Floras fuera de cuenca. La flora de la subunidad 19.1 consiste únicamente de fragmentos y especies que no se encuentran en otro sitio de la sección. Aquella asociación de plantas se interpreta como una flora extraña a la cuenca, por lo que entendemos que las plantas crecieron fuera del área de la deposición en los ambientes sujetos a la erosión. Las partes de las plantas que representan esta flora han sido transportadas a la zona de depositación a través de grandes distancias, lo que refleja por la naturaleza fragmentaria de los fósiles.

Después de haber expuesto la relación de los tipos principales de asociaciones florísticas, se considera útil una caracterización en una forma muy general de los ambientes en los cuales crecieron (Fig. 1). En la parte inferior de la sección tenemos planicies fluviales con meandros. Los fósiles de plantas se encuentran mayormente en depósitos de inundación, es decir, sedimentos y depósitos de tipo «crevasse splay». La parte superior de la sección consiste en depósitos de planicies costeras. Podemos esperar encontrar contextos similares a los que se encuentran en un sistema fluvial excepto que estos podrían haber cubierto potencialmente áreas más amplias. Las mareas probablemente han influenciado estos sedimentos, ya que estas pueden extenderse al interior del país sobre grandes distancias y ejercer su influencia sobre amplias áreas de agua dulce. Las plantas mismas indican la presencia de agua dulce en estas áreas donde la mayor parte de los sedimentos fueron depositados.

Las interpretaciones paleoecológicas requieren (1) comprender la historia tafonómica de las plantas en cuestión, (2) una interpretación del ambiente de deposición basada sobre los hechos litológicos y sedimentológicos, en conjunto con (3) una interpretación de los requerimientos autecológicos de las plantas. Aunque los datos cualitativos son útiles y proporcionan interpretaciones seguras, las medidas cuantitativas de parámetros diferentes ayudan a perfeccionar las interpretaciones. Específicamente, la cuantificación de las plantas encontradas involucra no

solamente una serie de datos que proporcionan una medida directa de la importancia de los diferentes grupos en el conjunto de los fósiles, pero ofrecen también una interpretación propia de una medida indirecta de lo que significa el grupo en la flora viviente. Utilizamos el método del cuadrado de Pfefferkorn y otros (1975) en cuatro niveles con contenidos vegetales (Fig. 2). Este método trata cada una de las superficies de un ejemplar de roca como un "cuadrado" y toma en consideración cada una de las especies al interior del cuadrado contándolo una sola vez, sin tomar en cuenta el número de fragmentos de la especie que puede estar en la actualidad presente sobre la superficie de la roca. Una ejemplar roca, tomado aisladamente, tiene típicamente una superficie superior y una superficie inferior y por esa razón presenta dos «cuadrados» por muestra de roca. DiMichele, Phillips y McBrinn (1991) han comparado recientemente el método del cuadrado con otro método de cuantificación, por medio del cual cuentan todos los fragmentos de plantas identificables con una especie presente sobre la superficie de la roca: Ellos encontraron que ambos métodos dan lugar a resultados semejante.

Basándose en los cuatro niveles analizados en este estudio se observa que las pteridospermas y los sphenópsidos son los grupos dominantes, mientras que los helechos no se encuentran. Los licópodos son subdominantes no obstante que parecen ser el grupo dominante en la recolección cualitativa. Eso se debe probablemente al gran tamaño de sus fragmentos. El estrato 19.6 representa una flora con pteridospermas dominantes, mientras que los sphenópsidos y las posibles progymnospermas son manifiestamente menos comunes. Los licópodos no se encontraron en aquella flora. El estrato 19.7 contiene una flora en la cual dominan los sphenopsidos. Las pteridospermas y las progymnospermas putativas forman una parte significativa de la flora, pero son menos comunes. Los licópodos se conocen únicamente por unos pocos ejemplares. La flora en el estrato 19.8 representa un asentamiento monoespecífico, constituido enteramente por una sola especie de pteridosperma. Más arriba, en la sección, el estrato 23.4 contiene una flora, en la cual los licópodos y los sphenópsidos son significativos en igual grado, mientras que las progymnospermas y las pteridospermas se encuentran en menor proporción. Las cuatro floras son comunidades de plantas de planicies costeras y ello es una indicación, basados sobre la tafonomía, que ellas son floras autóctonas o parautóctonas y los fósiles se encuentran tanto en los sitios donde las plantas vivieron, o sino muy cercanas al sitio donde crecieron.

En los cuatro niveles estudiados, obtenemos cuatro modelos dominantes diferentes. Estas cuatro floras son distintas pero sin embargo han crecido, como en el caso de las tres floras en el nivel 19, en un ambiente muy similar, y en el caso de la flora del nivel 23.4 en un contexto semejante. Esto demuestra que aquellas floras fueron diferentes, tanto

Nivel	19.6	19.7	19.8	23.4
Grupo Vegetal				
Licópodos	0%	4%	0%	39%
Sphenópsidos	13	48	0	40
Helechos	0	0	0	0
Progymnospermas	14	23	0	12
Pteridospermas	73	25	100	9
Tamaño de Muestra	228	92	106	220
Tipo de asociación de plantas Fósiles	E	E	D	E

Fig. 2. Cuantificaciones de cuatro asociaciones florísticas del Carbonífero de Paracas, Perú, utilizando el método del cuadrado de Pfefferkorn y otros (1975). Los niveles con contenidos vegetales están identificados por su número en la Figura 1.

cuantitativamente como cualitativamente. Sabemos, a partir de nuestras observaciones preliminares, que la sección de Paracas proporciona una alta diversidad de contextos ecológicos. Un grado tan alto de diversidad paleocológica en la faja florística templada cálida del Gondwana muestra el alto grado de evolución de estas plantas y de sus ecosistemas.

AGRADECIMIENTOS:

La presente investigación se realizó con el apoyo económico de CONCYTEC para Vera Alleman y el National Science Foundation (EAR-8916826) y el Research Foundation de la Universidad de Pennsylvania para Hermann W. Pfefferkorn. Agradecemos a Carlos Obando Llajaruna su apoyo en los estudios paleontológicos en Paracas y a los estudiantes de la Universidad Ricardo Palma por la asistencia en el trabajo de campo.

REFERENCIAS:

ALLEMAN, V. y H.W. PFEFFERKORN. 1988. Licópodos de Paracas: Significación geológica y paleoclimatológica. Bol. Soc. geol. Perú 78: 131-136.

ALLEMAN, V. y H.W. PFEFFERKORN. 1991. Bosques en Posición de Vida en el Carbonífero de Paracas. VII Congreso Peruano de Geología (Lima): 359-398.

DIMICHELE, W.A., T.L. PHILIPS y G.E. MC. BRINN 1991. Quantitative Analysis and Paleoecology of the Secor Coal and Roof-shale (Middle Pennsylvanian, Oklahoma). Palaios 6: 390-409.

ERWIN, D.M., H.W. PFEFFERKORN y V. ALLEMAN. 1994. Early seed Plants in the Southern Hemisphere: I. Associated ovulate and microsporangiate Organs from the Carboniferous of Peru. Review of Paleobotany and Palynology 80: 19-38.

ERWIN, D.M., H.W. PFEFFERKORN, V. ALLEMAN y H. NUÑEZ DEL PRADO. 1992. Warm temperate climatic Realm on the Paleo-Pacific Margin of Late carboniferous Gondwanaland. Geological Society of America, Abstracts with Programs 24: A 192.

NUÑEZ DEL PRADO, H. 1991a. Análisis sedimentológico preliminar y Paleoambiente de Sedimentación de la Serie Carbonífera de Paracas (Ica - Perú). VII Congreso Peruano de

Geología (Lima): 45-48, (abstr. extendido).

NUÑEZ DEL PRADO, H. 1991b. Preliminary Sedimentological Analysis and depositional System of the Carboniferous at Paracas Peninsula, Peru. XII International Congress on Carboniferous and Permian Geology and Stratigraphy (Buenos Aires): 63-64, (abstr.).

PFEFFERKORN, H. W. y V. ALLEMAN. 1989a. New climatic Belt in Carboniferous of the Southern Hemisphere. XXVIII International Geological Congress (Washington, D.C.): 602, (abstr.).

PFEFFERKORN, H. W. y V. ALLEMAN. 1991b. Proof for a temperate climatic Belt in the Southern Hemisphere of the Carboniferous Period.

American Journal of Botany 76: 172-173.

PFEFFERKORN, H. W. y V. ALLEMAN. 1991. Standing Forests, Paleoecology and Taphonomy in the Paracas Flora, Peru. XII International Congress on Carboniferous and Permian Geology and Stratigraphy (Buenos Aires): 67.

PFEFFERKORN, H. W., H. MUSTAFA y H. HASS 1975. Quantitative Charakterisierung oberkarboner abdruckfloren. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen 150: 253-269.
