

EL PROBLEMA DE DIAGENESIS Y METAMORFISMO EN EL
GRUPO DE BOKKEVELD DE SUD AFRICA Y LAS SIERRAS
AUSTRALES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Dr. César R. Cortelezzi *

Dr. Adrián M. Iñiguez Rodríguez **

- * Jefe de la División Geología del LEMIT
- ** LEMIT y Miembro de la Carrera del Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

INTRODUCCION

En ocasión de celebrarse el 1er. Simposio de Gondwana en Mar del Plata, en 1967, Cortelezzi y Kilmurray enviaron al mismo un trabajo sobre la petrografía de las series de Gondwana de Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires. El mismo interesó a los científicos de SOEKOR Co., de Johannesburg, Sud Africa, quienes enviaron al primero de los autores una serie de muestras del grupo de Bokkeveld, con la idea de comparar ambos grupos de rocas y establecer posibles relaciones entre ellas.

Las muestras se estudiaron petrográficamente mediante cortes delgados, y la fracción menor de 4 micrones fué analizada por métodos de difracción de Rayos X.

La estratigrafía del Grupo de Bokkeveld fué proporcionada por I. Guerrard, de la Compañía SOEKOR (comunicación personal), colaboración que los autores agradecen.

RESUMEN DE LA ESTRATIGRAFIA Y CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DEL GRUPO DE BOKKEVELD

El grupo de Bokkeveld constituye la porción media de la sucesión tripartita del Supergrupo Cabo, cuya edad oscila entre el Ordovisico y el Carbonífero inferior.

Las rocas del grupo Bokkeveld, consideradas en edad como pertenecientes al Devónico bajo (Houghton, 1969), están constituidas por una secuencia alternante de areniscas y lutitas, yaciendo concordantemente sobre el grupo Table Mountain, compuesto esencialmente por areniscas con lutitas y conglomerados subordinados. El Grupo Table Mountain (Rust, 1967) se considera dispuesto sobre el Ordovísico y el silúrico. A su vez, el Grupo Bokkeveld está cubierto concordantemente por el Grupo Witteberg, el cuál está for-

mado hacia el W por cuarcitas con lutitas subordinadas, pero hacia el E estas últimas adquieren mayor espesor. El grupo Witteberg corresponde a una edad entre el Devónico medio y el Carbonífero inferior (Du Toit, 1954).

El Supergrupo del Cabo se halla cubierto en relación discordante, en el sud, por rocas predominantemente sedimentarias del Supergrupo Karroo, pero con una marcada relación transgresiva hacia la dirección N a lo largo de los afloramientos del W.

Czáky, Kingsley y Welzel (1969) han subdividido el Grupo Bokkeveld en dos subgrupos, Inferior y Superior. El subgrupo Superior se hace más arcilloso en la mitad E del área de afloramiento (tablas I y II).

En el área de afloramiento de Bokkeveld W, se han desarrollado cinco ciclos de areniscas lutíticas, más un sexto ciclo. Las primeras tres formaciones de areniscas de Bokkeveld son horizontes persistentes, los cuáles hacia el E se intercalan con lutitas y disminuyen en espesor.

La cuarta y quinta formación de areniscas se acuñan hacia el E; por lo tanto el Subgrupo Superior de Bokkeveld es predominantemente arcilloso. En el extremo N del área W de los afloramientos, los sedimentos se hacen más arenosos, debido a una rápida disminución en el contenido de clastos finos.

Los sedimentos de Bokkeveld forman una secuencia irregular, de tal forma que la primera y cuarta formación de lutitas marca períodos de transgresión.

Las formaciones de lutitas varían desde areniscas de grano muy fino a lutitas y limolitas en proporciones variadas. Las limolitas son verdosas en los afloramientos, pero grises en las muestras frescas. Las lutitas son de color gris oscuro a medio, tanto en afloramientos como en rocas frescas. En el área entre Ceres y Willowmore, la presencia de lutitas de color gris oscuro se halla restringida a la primera, segunda y cuarta formación.

Se reconocen dos tipos de areniscas: a) areniscas limpias, de color gris claro, blancas a rosadas, las cuáles se hallan bien seleccionadas; y b) areniscas sucias, de color verde oliva a gris, con un contenido variable de matriz ar-

TABLA I
AREA OCCIDENTAL

Formación	Espesor promedio (m) Area Gydo Pass
Sexta formación lutita.....	50
Quinta formación arenisca.....	100
Quinta formación lutita.....	435
Cuarta formación arenisca.....	50
Cuarta formación lutita.....	250
Tercera formación arenisca.....	65
Tercera formación lutita.....	80
Segunda formación arenisca.....	50
Segunda formación lutita.....	265
Primera formación arenisca.....	80
Primera formación lutita.....	200
	Total: 1 600

cillosa, observándose también la presencia de mica.

El área de afloramiento W coincide con el rumbo N-S de la Faja-Plegada-Atlántica. Esta faja plegada consiste en amplios pliegues abiertos, excepto en la región de sintaxis al S, donde los pliegues se encuentran afectados por la faja plegada del Cabo. Los pliegues suaves de esta área se inician antes de la depositación de los sedimentos de Karroo (Du Toit, 1954), pero fué subsecuentemente renovada y como resultante quedó la inclinación hacia el este de los sedimentos de Karroo en esta área.

El área de afloramiento S coincide con la faja plegada del Cabo de dirección E-W. La parte más profunda de la cuenca de Bokkeveld, con su eje E-W, se encuentra justo al N de esta área plegada.

El comienzo de la faja plegada del Cabo, también parece haber ocurrido de manera suave en los tiempos pre-Karroo (Houghton, 1969), pero la fase más pronunciada de es-

TABLA II

AREA ORIENTAL

Formación	Espesor promedio (m) Area Suidwaaikral
Formación Lutita Roja.....	670
Formación Lutita Limosa.....	115
Formación Lutita Arcillosa.....	635
Tercera Formación Arenisca.....	115
Tercera Formación Lutita.....	80
Segunda Formación Arenisca.....	50
Segunda Formación Lutita.....	150
Primera Formación Arenisca.....	100
Primera Formación Lutita.....	315
	Total: 2 235

te plegamiento sucedió en tiempos post-Karoo, cuando los sedimentos del Karroo fueron afectados al menos hasta el Beaufort inferior. Los sedimentos y lavas de Stormberg fueron depositados aparentemente después de esta fase del plegamiento.

Los pliegues son asimétricos, con la mayoría de los pliegues recumbentes hacia el N. Las formaciones débiles se han afinado en los limbos de los pliegues mayores (Welzel, 1969) y probablemente han sufrido un adelgazamiento en las narices de los pliegues (Houghton, 1969). Algunos de los sedimentos de Bokkeveld presentes en las áreas de mayor deformación, han desarrollado clivaje, el cuál ha obliterado tanto los fósiles como la estratificación.

Fallas normales se produjeron durante la depositación de sedimentos en el Cretásico inferior, y ellas afectaron al Supergrupo del Cabo en muchas áreas de la faja plegada del Cabo.

Las rocas de la faja plegada del Cabo sufrieron una

TABLA III

Grupo	Formación	Espesor promedio (m)
Pillahuincó (Pérmico)	Formación Tunas	2 000
	Formación Bonete	600
	Formación Piedra Azul	400
	Formación Sauce Grande	800
		Total: 3 800
Ventana (Dev.inf.)	Formación Lolen	450
	Formación Providencia	300
	Formación Naposta	400
	Formación Bravard	250
		Total: 1 400
Curumaiál (Silúrico)	Formación Hinojo	150
	Formación Trocadero	800
	Formación Mascota	200
	Formación Lola	100
		Total: 1 250

compresión suave durante el débil plegamiento de los sedimentos en el Cretásico inferior.

ESTRATIGRAFIA Y GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL GONDWANA EN LAS SIERRAS AUSTRALES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

De acuerdo a Harrington (1946) y Suero (1957, 1961), la estratigrafía de las Sierras Australes puede sintetizarse en la forma expuesta en la tabla III.

Las rocas más antiguas son riolitas y granitos de edad posiblemente Precámbrica.

El grupo de Curumalal (Silúrico), de aproximadamente 1 250 m de espesor se encuentra sobre los granitos y riolitas, mientras que la separación Silúrico-Devónico se considera una discordancia.

Las formaciones Devónicas se encuentran separadas del Pérmico por una discordancia regional.

Las rocas del Grupo Ventana están compuestas principalmente por areniscas cuarcíticas hasta conglomerados finos, Wackes y Greywackes. El color de los sedimentos oscila entre el rojo oscuro, rosado, amarillo, azul, verde oscuro a negro.

Los sedimentos de las formaciones Napostá, Providencia y Lolén son areniscas cuarcíticas con laminación entrecruzada.

En el grupo de Pillahiuncó hay más variaciones en la composición de los sedimentos:

1) Formación Sauce Grande, compuesta por diamictitas con capas intercaladas de areniscas, limolitas y lutitas. Las areniscas están parcialmente silicificadas y presentan intercalaciones pobremente interestratificadas de color verde, "conglomerados", los cuáles fueron llamadas diamictitas por Harrington (1967).

2) Formación Piedra Azul, compuesta de lutitas azul oscuras en gradación a areniscas de color grisáceo con laminación entrecruzada. Estas se encuentran también interestratificadas con areniscas lutíticas de grano fino, de color gris-verdoso.

3) Formación Bonete, formada por capas alternantes de areniscas cuarcíticas de grano fino de color verde y limolitas de color verde oliva oscuro.

4) Formación Tunas, que presenta una amplia variación composicional: areniscas de grano fino de color verde, lutitas de color verdoso, púrpura y rojo hasta subgrauvacas de color gris verdoso y arcilitas de colores claros.

CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LAS SIERRAS AUSTRALES

De acuerdo a Harrington (1947), las Sierras Australes son una estructura arqueada integrada por formaciones paleozoicas intensamente plegadas. Los pliegues de primer orden han sido replegados en pliegues de orden mayor, hasta el séptimo orden. El plegamiento es de estilo similar y disarmónico, más intenso en el W, compuesto por rocas del Paleozoico bajo con pequeñas escarpas locales en anticlinales recumbentes. El plegamiento decrece en intensidad hacia el E, y aumenta nuevamente hacia el NE, donde se encuentran las formaciones Paleozoicas superiores.

Los planos axiales buzan hacia el S-SW, en el W, y son verticales o buzando hacia el NE, en el E. La estructura buza regionalmente hacia el NE.

No se han determinado fallas en las Sierras Australes excepto pequeños desplazamientos a lo largo de planos de diaclasas, y algunos desplazamientos locales (Amos y Urien, 1968).

CORRELACIONES

La formación Lolén fué correlacionada por Keidel (1916) con el grupo de Bokkeveld. Las formaciones de Trocadero, Naposta y Providencia, con el Grupo Tafelberg. El grupo de Pillahuincó es equivalente al Karroo bajo; por lo tanto la formación Sauce Grande sería equivalente con el grupo Dwyka, la formación Piedra Azul con las lutitas del Dwyka superior, la formación Bonete con el grupo Ecca, y la formación Tunas con el grupo Beaufort inferior.

PETROLOGIA DE LAS ROCAS DEL GRUPO DE BOKKEVELD

Las rocas del grupo de Bokkeveld corresponden a muestras de afloramientos, obtenidas por los geólogos de SOEKOR

en diferentes localidades. También se obtuvieron 6 muestras de perforaciones en el área considerada.

Petrográficamente podemos considerar dos grupos de rocas:

1er. grupo: Areniscas cuarcíticas. Son rocas compactas compuestas esencialmente por cuarzo con pequeñas láminas de sericita, biotita e illita. Estos minerales presentan una estructura cataclástica característica. Los filosilicatos poseen sus clivajes rotos y arqueados. Algunas de las muestras presentan fragmentos de ftanitas. Los granos de cuarzo presentan a menudo crecimientos secundarios.

2º grupo: Wackes, areniscas arcillosas. Dentro de este grupo pueden distinguirse dos subgrupos:

- a) Subgrupo compuesto por areniscas arcillosas, limolitas y lutitas silíceas. Son rocas de grano muy fino, compactas, de color gris oscuro a negro. Mineralógicamente están compuestas por cuarzo, plagioclase (An. 35 %), material carbonoso, cloritas y láminas de sericita y biotita. Estos minerales no presentan orientación preferencial. La matriz es arcillosa.
- b) Este segundo subgrupo, a pesar de poseer una composición mineralógica similar a la del primero, se caracteriza por una orientación incipiente de las láminas de clorita según planos S, los cuáles no coinciden con la estratificación de las rocas.

MINERALOGIA DE ARCILLAS

En la determinación de los minerales de las arcillas, se utilizó el método de difracción de Rayos X. Fueron empleadas para el análisis muestras orientadas, luego de la dispersión y separación de la fracción menor de 4 micrones. En todos los casos las muestras fueron tratadas con etilenglicol y calcinadas a 550°C.

Los resultados obtenidos se consignan en la tabla IV. Se distinguen dos tipos de asociaciones minerales:

TABLA IV

Muestra nº	Minerales de arcillas	Indice de Weaver (illita)
BV 2	Illita-Clorita (14c-14m) *	4,1
BV 14	Illita-Clorita (14c-14m)	3,6
BV 23	Illita-Clorita (14c-14m)	2,1
BV 29	Illita-Clorita	2,5
BV 33	Illita-Clorita-Montmorillonita (14c-14m)	3,5
BV 38	Illita (14c-14m)	3,4
BV 39	Illita-Clorita	3,4
BV 44	Illita-Clorita (14c-14m)	3,3
BV 47	Illita (14c-14m)	2,7
CS 3	Illita-Clorita (14c-14m)	3,3
CS 37	Illita-Clorita (14c-14m)	3,0
WZ 52	Illita-Clorita (14c-14m)	3,5
CS 112	Illita-Clorita (14c-14m)	3,5
WZ 149	Illita-Clorita	3,0
CS 170	Illita (14c-14m)	2,3
SA 1/66		
11,810'	Illita-Clorita	2,5
11,996'	Illita-Clorita	2,5
12,350'	Illita-Clorita	2,5
13,210'	Illita-Clorita	2,9
KL 1/65		
8,950'	Illita-Clorita	2,9
17,910'	Illita-Clorita	6,5

* Interestratificación de Clorita-Montmorillonita.

a) Las asociaciones de Illita-Clorita y minerales interestratificados (Clorita-Montmorillonita) son las más frecuentemente observadas en el grupo de Bokkeveld. Es importante hacer notar que una de las muestras dió un difractograma de montmorillonita bien definido. Esto representa una típica asociación sedimentaria.

b) La asociación Illita-Clorita, la cuál presentase sólo en las muestras de las perforaciones, y representa una paragénesis transicional hacia un Metamorfismo regional muy suave.

PETROLOGIA DE LAS ROCAS DE LOS
GRUPOS DE VENTANA Y PILLAHUINCO

Las rocas de Ventana y Pillahuincó presentan características texturales y estructurales similares a las de la sección estudiada por Cortelezzi y Kilmurray (1967). Las areniscas son predominantes y pasan a conglomerados en Sauce Grande, en Piedra Azul y formación Tunas; corresponden a pelitas. Estas rocas son ocasionalmente Wackes y Grauvacas.

La composición mineralógica es también homogénea. Cuarzo cataclástico, plagioclasas y feldespatos potásicos son los minerales frecuentes.

La abundancia relativa de sericita, biotita y clorita está directamente relacionada con el contenido de la matriz. Estos minerales muestran también efectos cataclásticos y orientación preferencial. Los minerales accesorios son turmalina y circón. Los granates se encuentran presentes sólo en la formación Piedra Azul.

El epidoto se hace más abundante a partir de la formación sauce grande, y es dominante en las formaciones Bonete y Tunas.

Las rocas de las formaciones Lolén a Piedra Azul muestran estructuras de tipo metamórfico, esquistocidad prominente, minerales triturados, fracturas paralelas y subparalelas con láminas de mica orientadas perpendicularmente a las fracturas. La orientación de estos minerales en la matriz es según planos S_1 . En las formaciones Bonete y Tunas, las características mencionadas desaparecen, conservando las rocas sólo estructuras típicamente sedimentarias.

TABLA V

Muestra nº	Minerales de arcillas	Indice de Weaver (Illita)
1	Illita-Clorita-Montmorillonita (14c-14m).....	2,0
2	Illita-Clorita-Montmorillonita.....	2,6
3	Illita-Montmorillonita (14c-14m).....	2,8
4	Illita-Clorita-Montmorillonita.....	2,7
9	Illita-Montmorillonita (14c-14m).....	2,6
12	Illita-Montmorillonita (14c-14m).....	3,0
15	Illita-Montmorillonita.....	3,2
18	Illita-Clorita.....	3,4
19	Illita-Caolinita-Montmorillonita.....	3,4
20	Illita-Caolinita-Montmorillonita.....	3,0
21	Illita-Clorita (14c-14m).....	2,9
22	Illita-Clorita.....	4,0
23	Illita-Clorita.....	3,4
24	Illita-Clorita (14c-14m).....	3,8
26	Illita-Clorita.....	3,8
27	Illita-Montmorillonita (14c-14m).....	4,0
28	Illita-Caolinita-Montmorillonita.....	3,8
29	Illita (14c-14m).....	4,2
31	Illita-Clorita.....	5,2
32	Illita (14c-14m).....	4,2
33	Illita-Clorita.....	5,5

Nota.- Las muestras 1/18 corresponden a la Formación Tunas; las 19 y 20 a la formación Bonete; las 21 y 22 a la Formación Piedra Azul; las 23/26 a la Formación Sauce Grande; y las 27/33 a la Formación Lolen.

MINERALOGIA DE ARCILLAS

Los resultados obtenidos del estudio de los minerales de las arcillas se resumen en la tabla V. Como se ve en la misma, montmorillonita y los minerales de arcillas interestratificados son los dominantes en la formación Tunas. Disminuyen y casi desaparecen hacia la formación Lolén. Existe un aumento correspondiente en el contenido de clorita e illita en Piedra Azul, Sauce Grande y Lolén.

Consideramos que la transición entre diagénesis y metamorfismo se inicia en la formación Lolén (Iñiguez Rodríguez, 1969).

CONCLUSIONES

El estudio petrográfico de las rocas de Bokkeveld y Ventana muestran una gran similitud y homogeneidad entre ellas. Deben ser consideradas como rocas sedimentarias. Han sido afectadas solamente por fuerzas dinámicas que no han producido altas temperaturas. Esta apreciación está confirmada por:

1) Las estructuras observadas parecen ser el producto de clivaje de flujo el cuál es el responsable de la orientación de láminas de muscovita y clorita.

2) Las cloritas no son metamórficas sino diagenéticas. Esto se confirma por el hecho de que la mayor intensidad de sus reflexiones se encuentra a 14 \AA , cuando se calcinan las muestras. Además, porque casi todas las cloritas están interestratificadas con montmorillonita.

3) La composición de las plagioclasas varía entre 25-35 % An. Esta composición es demasiado básica para incluir las rocas dentro de las facies más bajas del metamorfismo regional.

4) El estudio de los minerales de arcillas revela la

presencia de minerales interestratificados de las arcillas, los cuáles son extraordinariamente sensibles a las condiciones de presión y temperatura. El alto total del pico de illita a 10 \AA y la reflexión secundaria a $10,5 \text{ \AA}$ dan una relación entre 2,3 y 4,2. Según Weaver (1960) estos valores corresponden a rocas que no han sufrido metamorfismo o con un metamorfismo naciente, respectivamente.

5) La paragénesis mineral no indica un equilibrio químico compatible con metamorfismo regional.

6) El epidoto, que es relativamente abundante en las formaciones Bonete y Tunas, debe ser considerado de origen hidrotermal y no como mineral metamórfico.

7) Las muestras correspondientes a las rocas de las perforaciones en el grupo Bokkeveld, indican un metamorfismo suave, mientras que las rocas de los afloramientos muestran solamente efectos diagenéticos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los geólogos de SOEKOR Co. por el interés demostrado por este estudio, por haber enviado las muestras y por la información geológica suministrada, que han hecho posible la realización de este trabajo. Agradecen también al Dr. Arturo J. Amos por la lectura y revisión del manuscrito.

BIBLIOGRAFIA

Amos, A. J. y Urien, C. M., (1968).- La falla "Abra de la Ventana en las Sierras Australes de la Prov. de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, XXIII, 3, pp. 197/206.

Cortelezzi, C. R. y Kilmurray, J. O., (1967).- Petrografía de las formaciones Gondwánicas en un perfil de la Sierra

- de Tunas (Sierras Australes de la Prov. de Buenos Aires). IUGS Symposium, Buenos Aires, UNESCO, Sec. IV, pp. 845/855.
- Csáky, A. V., Kingsley, C. S. and Welzel, E., (1969).- "Bokkerveld Group, evaluation of geological conditions for oil occurrences". Soekor Report.
- Du Toit A., (1954).- The Geology of South Africa. 3erd. ed., Edimburg; Oliver and Boyd, London.
- Frakes, L.A., Amos, A. J. y Crowell, J. C., (1967).- Origin and Stratigraphy of Late Paleozoic Diamictites in Argentina and Bolivia. IUGS Symposium, Buenos Aires, UNESCO, Earth Sc., 2, pp. 821/843.
- Harrington H. J., (1947).- Hojas geológicas 33m y 34m Sierras de Curumalal y de la Ventana, Prov. de Buenos Aires. Dirección de Geología y Minería, Boletín 61.
- Harrington, H. J., (1967).- Explanation of the geological map of the arroyo Piedra Azul, Región Sierra de Pillahuincó (Bs. Aires Province, Argentina). IUGS Symposium, Buenos Aires, UNESCO, Sec. V, pp. 989/1003.
- Harrington, H. J., (1970).- Las Sierras Australes de Buenos Aires, R. Argentina: Cadena Aulacogénica. Rev. Asoc. Geol. Arg., XXV, pp. 151/181.
- Haughton, S. H., (1969).- Geological History of South Africa. Cape Town. Publ. Geological Society of Cape Town.
- Iñiguez Rodríguez, A. M., (1969).- Evolución de los minerales de las arcillas en las formaciones Paleozoicas de las Sierras Australes de la Prov. de Buenos Aires. IV Jornadas Geológicas Argentinas, I, pp. 397/408.
- Rust, I. C., (1967).- On the sedimentation of the Table Mountain Group in the Western Cape Province. D. Sc. Thesis, University of Stellenbosch.
- Suero, T., (1957).- Geología de las Sierras de Pillahuincó, Provincia de Buenos Aires. LEMIT, serie II, nº 74.
- Suero, T., (1967).- Perfiles Geológicos de las Sierras Australes de la Prov. de Buenos Aires (R. Argentina). IUGS Symposium, Buenos Aires, UNESCO, Sec. V, p. 1151.
- Suero, T.- Compilación geológica de las Sierras Australes de

la Provincia de Buenos Aires. LEMIT, inédito.

Welzel, E., (1969).- Reconnaissance investigation on the Nama System in the North Western Section of the Cape Karroo Basin.

Weaver, C. E., (1959).- The clay petrology of sediments. Clays and Clay Minerals. 6th. Nat. Conf., 1957).

Nota.- Este trabajo fué presentado al II Simposio de Gondwana, Sud Africa, julio de 1970.