

## Estratigrafía y ambientes deposicionales de la Cuenca Bauru (Cretácico superior, Brasil)

LUIZ ALBERTO FERNANDES<sup>1</sup> y ARMANDO MÁRCIO COIMBRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A. . Divisão de Geologia.

Caixa Postal 7141. 01064-970 São Paulo. Brasil. e -mail lfernand@usp.br o fernand@de03. ipt.br.

<sup>2</sup> Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Paleontologia e Estratigrafia.

Caixa Postal 20.899 01498-970. São Paulo SP Brasil. FAX 55.11.210 4958.

### RESUMEN

La Cuenca cretácea superior de Bauru se desarrolló por subsidencia termo-mecánica, en la parte centro-meridional de la Plataforma Sudamericana, después de la ruptura del continente gondwánico y la apertura del Atlántico Sur. En esta cuenca, de tipo intracratónico continental interior, se acumuló una secuencia deposicional siliciclastica aluvial y eólica, esencialmente arenosa (*red beds*), con aproximadamente 300 m de potencia, la denominada Secuencia Suprabasáltica Superior (SSC). Esta secuencia, hoy aflorante en un área de 370.000 km<sup>2</sup>, tiene por substrato las rocas volcánicas (principalmente basaltos) de la Formación Serra Geral (Cretácico Inferior), sobre los que reposa por discordancia erosiva. En Brasil, el área ocupada por esta secuencia se sitúa entre los paralelos 18°S y 24°S, y los meridianos 47°W y 56°W y está distribuida en las provincias de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais y Goiás. Aflora también en la región noreste del Paraguay. La secuencia cretácea superior está formada por los grupos sincrónicos Bauru y Caiuá, cuyas sucesiones fueron acumuladas bajo un clima semiárido a árido. En este trabajo se revisa la estratigrafía de la secuencia cretácea superior, sobre la base de estudios desarrollados sobre todo en la parte SW de la cuenca. El objetivo de este artículo es también mostrar las características principales de las asociaciones de facies que integran las distintas unidades, y establecer los ambientes deposicionales y su distribución paleogeográfica en la Cuenca Bauru. En la Cuenca Bauru la vida proliferó en las áreas que contaban con mayor aporte de agua, en las extensas planicies de sistemas fluviales en las que se formaban lagunas efímeras de aguas carbonatadas. En estos sectores habitaban reptiles (especialmente dinosaurios, cocodrilos y tortugas). En cambio la aridez creciente desde los márgenes hacia el interior de la cuenca, determinó una reducción gradual del desarrollo y preservación del registro paleontológico en las unidades sedimentarias más internas, hasta casi hacerse inexistente en los depósitos desérticos de tipo erg del paleodesierto central.

*Palabras clave:* Cuencas cretácicas. Brasil. Cuencas de Bauru y Paraná. Grupos de Bauru y Caiuá. Estratigrafía. Paleoambientes eólicos y aluviales. Paleogeografía. Paleoclimatología. Registro paleobiológico.

### ABSTRACT

**Stratigraphy and depositional environments of the Bauru basin (Upper Cretaceous, Brazil)**

The Upper Cretaceous Bauru Basin developed in the south-central part of the South American Plate resulting from the thermo-mechanical subsidence processes which followed the break-up of Gondwana and the opening of the Southern Atlantic Ocean (Figs. 1 to 3). In this inland basin it was developed an essentially sandy, 300 m thick siliciclastic, alluvial and aeolian dominated sequence (*red beds*), the so called Cretaceous Suprabasaltic Sequence -i.e. "Secuencia Suprabasáltica Cretácea" (SSC). This sequence presently occurs in a very extensive area of 370,000 km<sup>2</sup> and unconformably overlies the mainly basaltic Neocomian Paraná Volcanic Floods (Serra Geral Formation), from which it is separated by an erosive surface (Figs. 4 and 5). The sequence deposits extend between 18°S and 24°S latitudes and 47°W and 56°W longitudes covering parts of the states of São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais and Goiás in Brazil. It also occurs in northeastern Paraguay. A stratigraphic review of the whole SSC, based on studies developed mainly on the southwestern part of the basin is shown in this paper which also deals with the structural, paleoclimatic and paleogeographic settings of the basin. The sedimentological features, depositional environments and paleogeographic distribution of the defined stratigraphic units is analyzed, as well as their general resulting implications on the paleobiological record (Figs. 5 to 7). The sequence is formed by two synchronous groups, the aeolian dominated Caiuá Group and the alluvial dominated Bauru Group, and was deposited in

an asymmetrical closed basin, which underwent climatic conditions ranging from semi-arid at its margins to dessertic in the inner basin zones. Alluvial sedimentation in the Bauru basin was simultaneous with the progressive uplift of its margins, constituted by tectonic uplifts which separated the basin from other neighbouring cretaceous basins. Life in the Bauru Basin developed best in areas with largest water supply, such as in the broad braid plains, where ephemeral carbonate water shallow lakes and ponds developed. Reptiles (mainly dinosaurs, crocodiles and turtles) dwelled there. Increasing aridity resulted in the gradual reduction in the paleobiological diversity as recorded in the inner, central basinal aeolian dominated units, with an almost complete lack of fossils in the sand sea deposits of the central paleodessert.

**Keywords:** Cretaceous basins. Brazil. Bauru and Paraná Basins. Bauru and Caiuá Groups. Stratigraphy. Depositional environments. Palaeogeography.

## RESUMO

### Estratigrafia e ambientes deposicionais da bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil)

A Bacia Bauru constitui uma depressão desenvolvida na parte centro-meridional da Plataforma Sul-Americana, formada por subsidência termo-mecânica, no Cretáceo Superior, após a ruptura do continente gondwânico e abertura do Oceano Atlântico. Esta bacia, do tipo continental interior, acumulou sequência sedimentar siliciclastica essencialmente arenosa com cerca de 300 m de espessura. Tal sequência, hoje aflorante em uma área de 370.000 km<sup>2</sup>, tem por substrato rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Ki), principalmente basaltos, dos quais separa-se por discordância erosiva. No Brasil ocorre entre os paralelos 18°S e 24°S, meridianos 47°W e 56°W, distribuídos pelos estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás. Aflora ainda na região nordeste do Paraguai. A sequência neocretácea é formada pelos grupos Bauru e Caiuá, cronocorrelatos, acumulados sob clima semi-árido e árido. Na Bacia Bauru a vida proliferou em extensas planícies com fluxos fluviais entrelaçados e lagoas alcalinas efêmeras, áreas com maior disponibilidade de água. Ali reinaram os répteis, principalmente dinossauros, crocodilos e tartarugas. A aridez, crescente para o interior, determinou uma gradual redução de registros de vida nas unidades mais internas, até sua quase ausência nos depósitos de sand sea do paleodeserto interior. Fernandes (1992) propôs uma revisão estratigráfica para a sequência cretácea superior, com base em estudos desenvolvidos na parte sudoeste da bacia. O objetivo deste artigo é apresentar as novas idéias sobre a estratigrafia da cobertura cretácea, assim como seus ambientes deposicionais e sua disposição paleogeográfica na Bacia Bauru.

**Palabras clave:** Bacias cretácicas. Brasil. Bacias de Bauru e Paraná. Grupos Bauru e Caiuá. Estratigrafía. Paleoambientes eólicos e aluviales. Paleogeografía. Paleoclimatología. Registro paleobiológico.

## INTRODUCCIÓN

La Cuenca Bauru es una depresión intracratónica desarrollada en el Cretácico Superior, ubicada en la parte suroeste de Brasil (Fig. 1) y rellena por una secuencia sedimentaria (Sloss, 1963) formada sobre todo por are-



Figura 1.- Localización geográfica de la Cuenca Bauru.

Figure 1.- Geographic location of the Bauru Basin. The Bauru Basin is an Upper Cretaceous non marine intraplate sag basin developed in the southern-central part of the South American Plate

niscas y lutitas rojas (*red beds*). El estudio de su relleno sedimentario se inició con el descubrimiento en el oeste de las provincias de São Paulo (Gonzaga de Campos, 1905; Florence, 1907) y de Paraná (Baker, 1923) de una unidad de areniscas que reposaba sobre rocas basálticas; así como con los primeros hallazgos de registros paleontológicos (Ihering, 1911). Las primeras cartografías de aquellas unidades (denominadas formaciones Bauru y Caiuá) fueron hechas por Florence y Pacheco (1929), Washburne (1930) y Maack (1941). Mientras se estudiaban las unidades post-basálticas en las provincias de la parte meridional de la cuenca, en su parte septentrional Barbosa (1934) y Milward (1935) estudiaron las sucesiones suprabasálticas equivalentes de las provincias de Minas Gerais (en la región conocida como Triángulo Mineiro), Goiás y Mato Grosso do Sul. La primera propuesta de subdivisión estratigráfica de la unidad Bauru fue presentada por Almeida y Barbosa (1953). Hasui (1968, 1969), Barbosa *et al.* (1970), Ladeira *et al.* (1971) y Sad *et al.* (1971) definieron las bases de la li-

toestratigrafía de las unidades cretácicas en el Triángulo Mineiro (provincia de Minas Gerais). De los diversos estudios posteriores sobre las unidades cretácicas suprabasálticas cabe destacar, entre los más importantes, los de Suguio (1973), Mezzalira (1974), Suárez (1975, 1976), Landim y Soares (1976), Coimbra (1976), Suguio *et al.* (1977), Brandt Neto *et al.* (1978), Stein *et al.* (1979), Suguio (1981), Almeida *et al.* (1981), Riccomini *et al.* (1981), Barcelos *et al.* (1981), Barcelos (1984) y Sousa Jr. (1984). En el inicio de los años 80, con el desarrollo de unas campañas de cartografía geológica regional en São Paulo y áreas marginales de las provincias vecinas de Paraná y Mato Grosso do Sul, se definieron las bases actuales de la estratigrafía del Cretácico en la provincia de São Paulo (Soares *et al.*, 1980; Almeida *et al.*, 1980). Posteriormente, Fernandes y Coimbra (1995) presentaron una nueva propuesta de organización de la estratigrafía de las unidades cretácicas suprabasálticas, agrupadas en la denominada Secuencia Suprabasáltica Cretácica (SSC).

Los primeros estudios paleontológicos de la secuencia sedimentaria postbasáltica fueron hechos por Ihering (1911), que analizó fósiles encontrados en la excavación de un pozo para agua, en la región de São José do Rio Preto (en São Paulo). Huene (1939) tras la comparación de fósiles de titanosauros de la entonces denominada formação Bauru con otros similares de la Patagonia (Argentina) le atribuyó a la unidad una edad senoniana. La bioestratigrafía de la secuencia cretácica suprabasáltica fue realizada, por primera vez, por Huene (1933). Sin embargo, Price (1950) aseveró que todavía no se contaba con suficientes datos bioestratigráficos, debido a la inexistencia de recolecciones sistemáticas de fósiles, la gran extensión territorial de las unidades y la posibilidad de que la fauna fuera endémica. Mezzalira y Arid (1981) sistematizaron los registros fosilíferos de la secuencia agrupándolos en “biofacies de carácter más geográfico que estratigráfico” e intentaron hacer una correlación preliminar con las asociaciones faciológicas propuestas por Suguio *et al.* (1977) y Soares *et al.* (1979). A las críticas hechas por Price (1950), aquellos autores añadieron otras: el desconocimiento de la taxonomía de gran parte de los fósiles, la existencia de condiciones paleoecológicas diferentes en los distintos sectores de la extensa cuenca y las variaciones laterales y verticales poco conocidas de las asociaciones de facies. Mezzalira (1981, 1982) presentó una revisión posterior de este estudio, ajustándola a la subdivisión estratigráfica del Grupo Bauru propuesta por Soares *et al.* (1980). Los estudios más recientes sobre vertebrados fósiles del Grupo Bauru fueron realizados por Mezzalira (1989), Brandt Neto *et*

## Evolución de la Cuenca Bauru

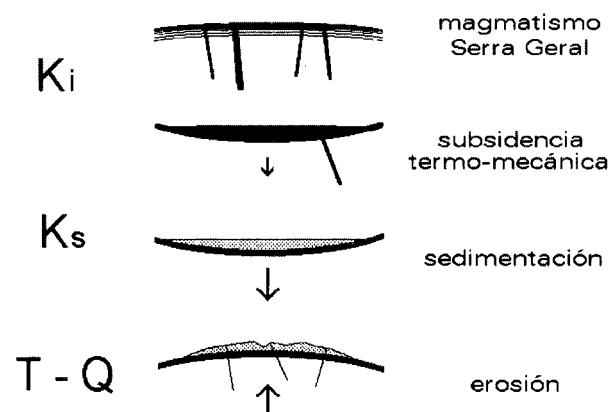


Figura 2.- Evolución de la Cuenca Bauru.

Figure 2.- Evolution of the Bauru Basin. The basin was generated by thermo-mechanical subsidence processes which followed the break-up of Gondwana and the opening of the Southern Atlantic Ocean.

*et al.* (1991) y Bertini (1994). El análisis sobre la paleogeografía y paleoclima en los que se desarrolló la secuencia postbasáltica se ha desarrollado previamente en varios estudios de carácter regional (Coimbra, 1976; Soares y Landim, 1976; Suguio *et al.*, 1977; Soares *et al.*, 1980; Suguio, 1981; Petri, 1987).

Las unidades de la SSC han sido tratadas hasta hace pocos años como la parte terminal de la sedimentación en la Cuenca del Paraná (Northfleet *et al.*, 1969; Schneider *et al.*, 1974; Soares *et al.*, 1980; Almeida *et al.*, 1981; Schobenhaus *et al.*, 1981; Fúlfaro *et al.*, 1982; Zalán *et al.*, 1990; Milani *et al.*, 1994). Sin embargo, la secuencia suprabasáltica cretácica superior (SSC), aunque informalmente, ya fue algunas veces considerada como el registro sedimentario de un contexto deposicional de características peculiares (e.g. Arid, 1970; Coimbra, 1976; Almeida, 1980; Suguio, 1981). Fernandes (1992) propuso que la secuencia superior correspondía al relleno de una depresión con una evolución geológica diferente de la precursora Cuenca del Paraná, y la denominó Cuenca Bauru.

Soares y Landim (1976) hicieron la primera propuesta de correlación cronoestratigráfica entre las unidades litoestratigráficas post-basálticas del Cretácico Superior y las de la fase *rift* de la vecina cuenca marginal (*offshore*) de Santos (Asmus y Ponte, 1973), ubicada en la costa oriental brasileña. Según Soares y Landim (1976), las unidades Caiuá y Bauru correspondían -respectivamente-

te- a las unidades depositadas en los intervalos clástico-evaporítico (Aptiense-Albiense) y clástico-carbonático (Cenomanense-Maastrichtense inferior) en la Cuenca de Santos Coimbra *et al.* (1981) constataron por primera vez la existencia de rocas volcánicas extrusivas de naturaleza alcalina, sincrónicas a la deposición del Grupo Bauru. Estas rocas, encontradas en la región septentrional de la provincia de São Paulo, fueron incorporadas al Grupo Bauru por Brandt Neto (1984). Coutinho *et al.* (1982) efectuaron su datación absoluta mediante métodos radiométricos (K/Ar), obteniendo valores de 61 Ma. Otras rocas intrusivas de la región de Jaboticabal, São Paulo, que los autores creyeron que estaban genéticamente relacionadas con las anteriores, arrojaron edades de 54 a 56 Ma. Sin embargo estos resultados fueron considerados incompatibles con los datos paleontológicos conocidos, pues se admite que los fósiles de dinosaurios encontrados en posición estratigráfica más alta tienen por lo menos 65 Ma. Ello junto al bajo contenido de potasio de las rocas, llevó a considerar las dataciones obtenidas como edades mínimas (Coutinho *et al.*, 1982).

## CONTEXTO GEOLÓGICO

Á comienzos del Cretácico Inferior una ancha franja litosférica vecina a los futuros márgenes del Atlántico Sur, fue sometida a una intensa fracturación (Almeida, 1981), relacionada con un magmatismo de unas proporciones sin precedentes en la historia del Planeta (emisiones volcánicas de Paraná). Con la ruptura del supercontinente austral de Gondwana se generó el Océano Atlántico Sur y se inició una nueva fase en la evolución tectónica de las regiones continentales adyacentes. El volcanismo generador de la Formación Serra Geral marcó el fin de los procesos de sedimentación generalizada en la cuenca paleozoica del Paraná, ocurridos antes del inicio de la deriva de los continentes sudamericano y africano. Una vez cesado el magmatismo en el Cretácico Inferior, pasó algún tiempo hasta que los sedimentos, que eran contribuidos desde los márgenes levantados posteriormente, pudieran acumularse en el centro-sur de la Plataforma Sudamericana (Almeida, 1969), en una nueva depresión post-gondwánica creada sobre todo por subsidencia termo-mecánica: la Cuenca Bauru (Figs. 2 y 3). Actualmente, en el Brasil meridional esta sucesión cretácica superior es observable en gran parte del oeste de la provincia de São Paulo, en el noroeste de la provincia de Paraná, en la porción oriental de la provincia de Mato Grosso do Sul, en el Triângulo Mineiro (provincia de Minas Gerais), y en el sur de la provincia de Goiás (Figura 4). Esta sucesión recubre principalmente el Gru-

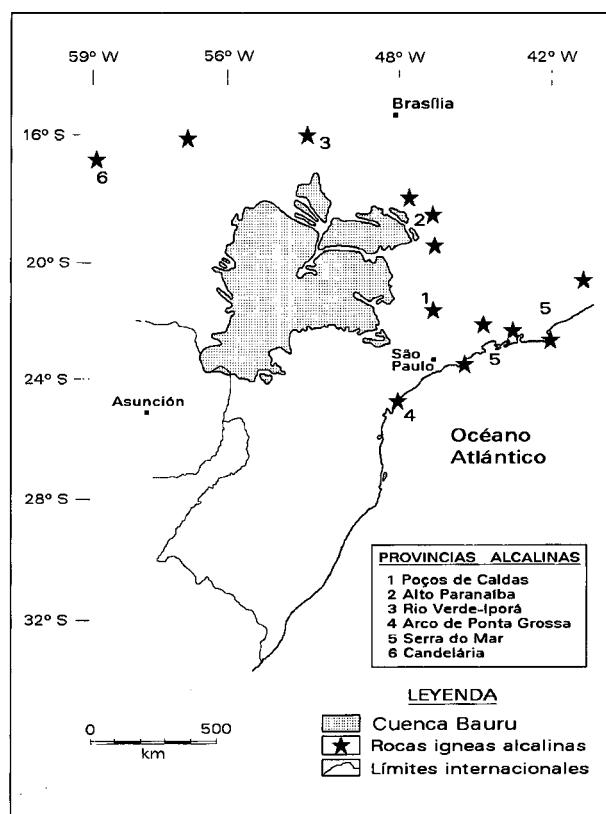


Figura 3.- Altos estructurales y áreas de magmatismo alcalino en el Cretácico Superior, en los márgenes de la Cuenca Bauru. Las "Provincias alcalinas" fueron definidas por Almeida (1983).

Figure 3.- Structural uplifts and Upper Cretaceous alkaline magmatism development along the Bauru Basin margins. Major tectonic uplifts separated the Bauru Basin from other neighbouring synchronous basins. The "Alkaline magmatic provinces" were defined by Almeida (1983).

po São Bento, que está generalmente constituido por los basaltos de la Formación Serra Geral. En este área, de algunos centenares de miles de kilómetros cuadrados, se acumuló una secuencia sedimentaria esencialmente arenosa, delimitada por dos discordancias definidas por superficies erosivas de carácter continental: una basal (post-gondwánica) y otra, a techo, denominada *Superficie Sudamericana* (King 1956). La Secuencia Suprabalsática Cretácica (SSC), actualmente sometida a erosión, presenta alrededor de 370.000 km<sup>2</sup> de extensión y un espesor máximo preservado de 300 metros.

Los límites actuales de la Cuenca Bauru son erosivos y en gran parte coincidentes con altos estructurales regionales, relacionados además con centros de magmatismo alcalino del Cretácico Superior (Figura 2). En dicha cuenca, la sedimentación fue sincrónica a un progresivo alzamiento de los bordes, donde están ubicadas las cul-

minaciones de importantes altos estructurales: Antéclise (antiforme) de Rondonópolis (Coimbra, 1991) al noroeste; Alto de Paranaíba (Hasui y Haralyi, 1991) al noreste; y la Serra do Mar al este. Estas estructuras separan la Cuenca Bauru de las cuencas cretácicas de Parecis, Sanfranciscana y de Santos, respectivamente. La cuenca tiene además como límites el Alineamiento de Piquiri (que está asociado al Arco de Ponta Grossa) al sur, así como el Arco de Assunção, al oeste. Estos altos delinean el área deposicional como una depresión alargada con eje mayor de orientación noreste-suroeste, paralelo al actual río Paraná (Almeida, 1980). Según Almeida y Melo (1981) las manifestaciones alcalinas mesozoico-cenozoicas del centro y sur del Brasil tuvieron lugar en etapas diferentes. La primera manifestación tuvo lugar en el Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Neocomiense), contemporánea al magmatismo Serra Geral, es decir una etapa pre-sedimentaria en la Cuenca Bauru. La segunda fase, Aptiense-Paleocena, comprende dos máximos de intensidad de eventos intrusivos: 87-80 Ma y 70-60 Ma, penecontemporáneos a la deposición de la secuencia cretácica superior.

En la Cuenca Bauru la sedimentación se desarrolló bajo un clima cálido, semiárido en los bordes y desértico en el interior. Esta cuenca estuvo alimentada por abanicos aluviales marginales derivados de la progresiva elevación de altos estructurales regionales que delimitaron sus bordes, mientras se producía el hundimiento de su depocentro por subsidencia termo-mecánica. La deposición ocurrió en una amplia y extensa cuenca de tipo intracratónico (Arid, 1970). Los sedimentos fueron acarreados de manera gradual hacia el interior - con una dirección de aportes general hacia el SW- por sistemas fluviales entrelazados, de canales poco profundos y de márgenes difusos, que abrían surcos someros en extensas planicies donde se desarrollaron lagunas efímeras de aguas carbonatadas. Periódicamente expuestos, tales sedimentos fueron reciclados por vientos del noreste, que alimentaban los sistemas de dunas de un gran desierto interior.

## ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA DEL RELENO DE LA CUENCA BAURU

La Secuencia Suprabasáltica Cretácica (SSC) es una unidad sedimentaria formada por rocas siliciclásticas de origen continental y rocas volcánicas intercaladas localmente. Está compuesta por dos grupos sincrónicos: Caiuá y Bauru (Fernandes y Coimbra, 1992). El Grupo Caiuá está compuesto por las formaciones Santo Anastácio, Rio Paraná y Goio Erê, mientras que el Grupo Bauru reúne las formaciones Adamantina, Uberaba y Marília (Figs. 4 y 5

; cuadro 1). El primero comprende depósitos arenosos acumulados en un ambiente eólico, el segundo en ambiente fluvial y abanicos aluviales. En la Formación Adamantina, en el Estado de São Paulo, se intercalan lavas de origen alcalino (Coutinho *et al.*, 1982), denominadas Analcimitos Taiúva por Fernandes y Coimbra (1992).

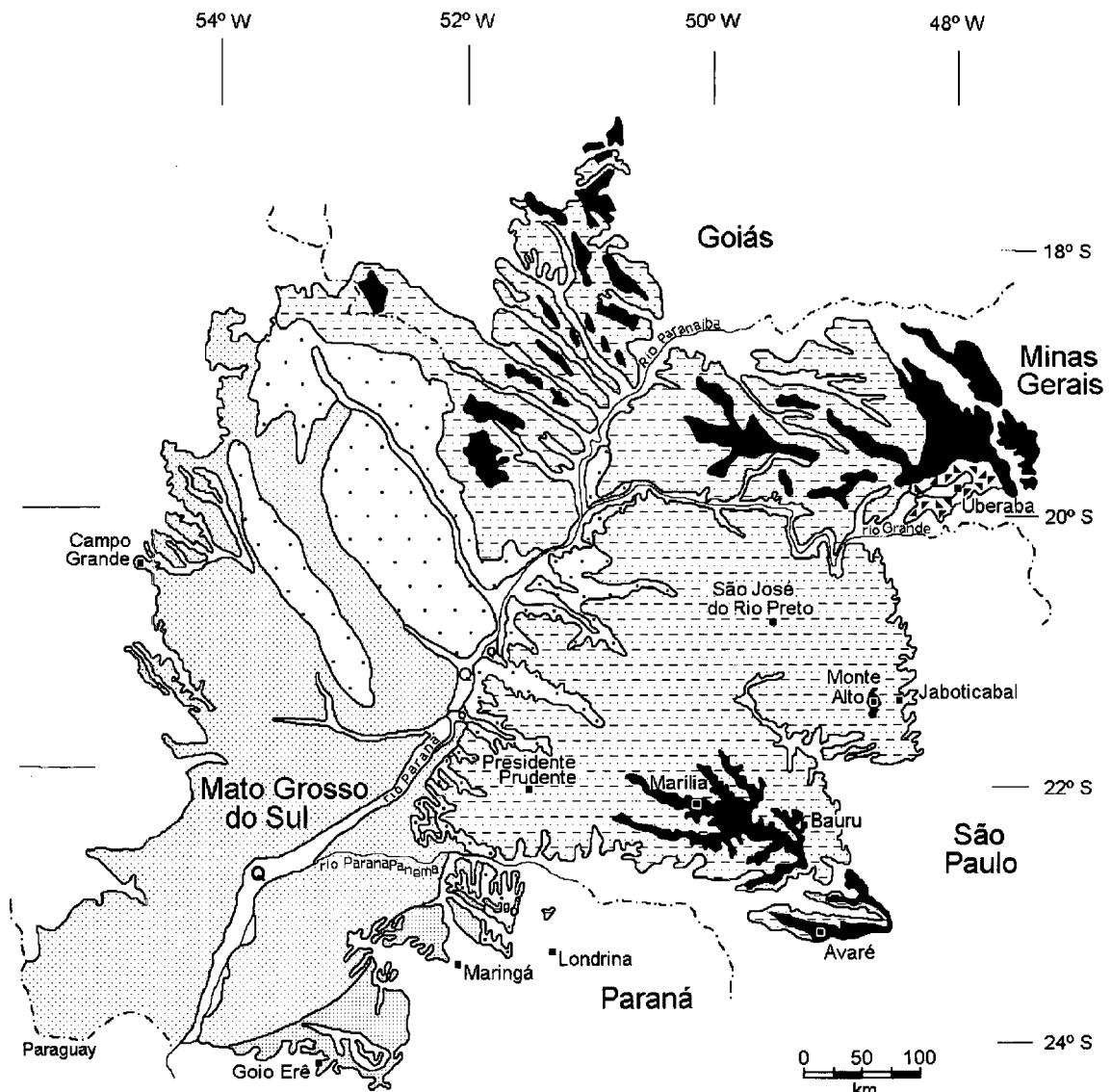
Las transiciones entre las unidades de los grupos Caiuá y Bauru son graduales e interdigitadas. El contacto basal de la SSC está, en general, asociado a un delgado nivel de brecha con fragmentos angulosos de basalto, sustentado por matriz arenosa inmadura. Este nivel pasa a una arenisca masiva e inmadura, generalmente carbonática, por disminución de la cantidad de clastos.

### Grupo Caiuá

En Brasil, el Grupo Caiuá aflora en las provincias de São Paulo, Paraná y Mato Grosso do Sul (Figs. 4 y 5). Presenta sus mayores potencias en el noroeste de la provincia del Paraná, donde alcanza valores máximos entre 250 y 270 metros (Maack, 1941; Freitas, 1955). En São Paulo presenta hasta 200 metros (Mezzalira *et al.*, 1981), mientras que en la provincia de Mato Grosso do Sul llega a tener hasta 150 metros de espesor (Sousa Jr., 1984). Esta unidad de rango superior descansa discordantemente sobre el Grupo São Bento y presenta una relación lateral con el Grupo Bauru. Tiene además contactos erosivos a techo con depósitos cenozoicos arenosos (coluviales y aluviales). El Grupo Caiuá comprende depósitos arenosos acumulados en dispositivos deposicionales esencialmente eólicos, en el interior de la Cuenca Bauru. Está compuesto por tres formaciones: Rio Paraná, Santo Anastácio y Goio Erê.

### Formación Rio Paraná

Esta unidad aflora principalmente en las provincias de Paraná, Mato Grosso do Sul y de São Paulo (Fig. 4 y cuadro 1). Presenta los mayores espesores en el oeste de esta última y noroeste de la de Paraná (277 metros). Está constituida por areniscas marrón rojizas a violáceas, finas a muy finas, cuarzosas, de gran madurez mineralógica y buena madurez textural. La mayoría de los granos están bien redondeados y exhiben una superficie mate, recubierta por una película de óxido de hierro. Las areniscas tienen poco limo y arcilla como matriz. Parte de la arcilla tiene origen autigénico y otra parte es de infiltración. De forma general, el matiz gris violáceo de las areniscas está asociado a un revestimiento de los poros por arcilla autigenica (esmectita), que en superficie casi siempre es sus-



## Leyenda

Figura 4.- Distribución de las unidades estratigráficas de la Secuencia Suprabasáltica Cretácica superior (SSC).

Figure 4.- Distribution of the stratigraphic units of the Upper Cretaceous Suprabasaltic Sequence (SSC) in Brazil. In this inland basin it was developed an essentially sandy, 300 m thick siliciclastic dominated sedimentary sequence (red beds), the so called “Secuencia Suprabásaltica Cretácea” (SSC). This sequence presently occurs in a very extensive area of 370,000 km<sup>2</sup> and unconformably overlies the mainly basaltic Neocomian Paraná Volcanic Floods (Serra Geral Formation), from which it is separated by an erosive surface. This sequence extends between 18°S and 24°S latitudes and 47°W and 56°W longitudes covering parts of the states of São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais and Goiás in Brazil. It also occurs in northeastern Paraguay.

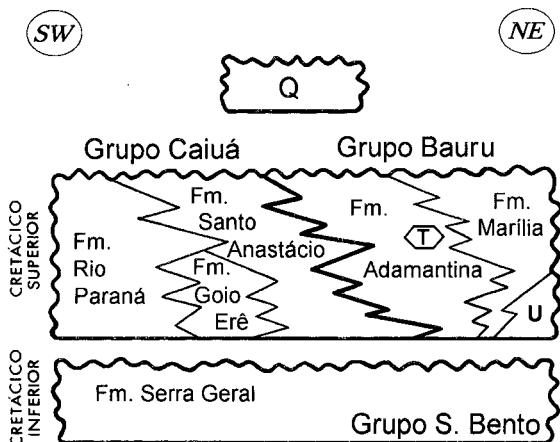


Figura 5.- Relaciones entre las unidades litoestratigráficas en la Cuenca Bauru. Leyenda: U: Fm. Uberaba, T: Analcimitas Taiúva y Q: sedimentos cenozoicos.

Figure 5.- Lithostratigraphic framework of the Bauru Basin. Key: U: Uberaba Fm, T: Taiúva Analcimites and Q: Cenozoic sediments.

tituida por la caolinita, debido a la acción de procesos de meteorización actual (Fernandes *et al.*, 1994). La unidad tiene como una de sus características principales una notable estratificación cruzada de media a gran escala (sets de hasta 10 metros de altura), en estratos limitados por superficies de truncación (Figura 6a). En general las areniscas de esta unidad presentan una alternancia de estratos de espesor centimétrico y de láminas milimétricas, con buena selección interna (carácter bimodal), generadas por caída (grain fall) y por flujo de granos (grain flow). Además presentan estructuras sedimentarias generadas por deslizamientos de gravedad, como niveles lenticulares de flujo de granos, estratificación contorsionada o intraclastos angulosos removilizados de arenisca estratificada (brechas de colapso), asociadas a las facies de foresets de dunas. En algunos sitios, las areniscas muestran la estratificación contorsionada, en zonas de espesores métricos, entre capas no deformadas. Dichas deformaciones son interpretadas como originadas por actividades sísmicas sucedidas durante la sedimentación (Coimbra *et al.*, 1992).

En la base de la Formación Rio Paraná se desarrolla ocasionalmente un depósito brechoide de un metro de espesor. Su armazón está formado por fragmentos angulosos centimétricos de basalto, sostenidos por matriz arenosa lutítica, con concreciones de esmectita y carbonato. Encima de esta litofacies, que podría relacionarse con procesos paleoedáficos, es común la presencia de una arenisca masiva con limo y arcilla, texturalmente inmadura. Estas litofacies están frecuentemente cementadas por carbonato, que es una característica de la parte basal de la unidad.

La Formación Rio Paraná tiene muestras tránsitos laterales con las formaciones Goio Erê y Santo Anastácio. Presenta contactos erosivos en la base, con la Formación Serra Geral (Fig. 5). En las áreas de transición con la Formación Santo Anastácio, las típicas estratificaciones cruzadas disminuyen la inclinación lentamente a la vez que se hacen menos definidas, hasta llegar a un aspecto masivo, con menor madurez textural, que es característico de la Formación Santo Anastácio (Fig. 6f).

Las areniscas del Rio Paraná se acumularon en la región central de un *sand sea*, donde se desarrollaron construcciones eólicas de gran entidad, en complejos de dunas amalgamadas (*draas*) (ver foto portada de este número). Las estratificaciones cruzadas de gran escala se encuentran sobre todo en la región SW de la cuenca, donde se situaba el “desierto Caiuá” (Fig. 7).

En la Formación Rio Paraná sólo se han descrito icnofósiles, correspondientes a pisadas de un posible Coelosauro (Leonardi y Duszczak, 1977 y Leonardi, 1989).

#### *Formación Santo Anastácio*

Esta unidad aflora principalmente en las provincias de São Paulo (en los valles de los afluentes del río Paraná) y Mato Grosso do Sul, donde presenta potencias máximas entre 80 y 100 metros (Figs. 4, 5 y 6f). De modo más restringido, aflora en las provincias de Paraná y Minas Gerais. Está constituida por areniscas finas a muy finas, con la fracción limo en cantidades más pequeñas. Son esencialmente cuarzosas, a veces subarcosicas, casi siempre masivas. Algunas veces exhiben estratificaciones plano-paralelas o cruzadas de baja inclinación, poco definidas (Fig. 6f ; cuadro 1). Las areniscas están pobremente seleccionadas, con una pequeña cantidad de matriz limoso-arcillosa. En general, los granos son subangulosos a subredondeados, mates, cubiertos por una película de óxido de hierro, que es responsable del color marrón violáceo claro de las areniscas. En la provincia de São Paulo, al sur del río Tietê, las areniscas de la Formación Santo Anastácio presentan granulometría media a fina, con baja cantidad de pelitas, y localmente carbonatadas. Desde el bajo río Tietê hacia el norte, donde la unidad descansa sobre basaltos, prevalecen las areniscas finas a muy finas, con mayor cantidad de arcilla y mayor frecuencia de cementación y concreciones carbonáticas (Almeida *et al.*, 1980).

En las areniscas de esta unidad es común la existencia de orificios tubulares, con unos pocos milímetros de diámetro y hasta 10-15 centímetros de largo, en general

Cuadro 1.- Síntesis de las características de las unidades litoestratigráficas estudiadas.

Table 1.- Summary of the major stratigraphic, sedimentological, palaeoenvironmental and paleobiological features of the lithostratigraphic units.

Unidad estratigráfica	GRUPO CAIUÁ			GRUPO BAURU			
	Fm. Río Paraná	Fm. Goio Ere	Fm. S. Anastácio	Fm. Adamantina	Fm. Uberaba	Fm. Marília	Analcimitas Taiúva
Constitución litológica	Areniscas finas a muy finas. cuarzosas; cementos y concreciones de CaCO <sub>3</sub> en la base	Areniscas finas a muy finas. cuarzosas; cementos y concreciones de CaCO <sub>3</sub>	Areniscas finas a muy finas. cuarzosas; a veces con cemento, concreciones y costras de CaCO <sub>3</sub>	Areniscas finas a muy finas, cuarzosas; limolitas, arcillitas; a veces con cemento de CaCO <sub>3</sub>	Areniscas, limolitas, y lutitas; con cemento de CaCO <sub>3</sub> ; conglomerado basal	Areniscas finas inmaduras; con cementos y concreciones de CaCO <sub>3</sub> ; localmente: areniscas y conglomerados carbonatados	Roca afanítica color parda a roja, con amígdalas de calcita
Estructuras sedimentarias	Estratificación cruzada de medio a gran porte	Estratificación cruzada de medio a pequeño porte; capas masivas tabulares	Aspecto común masivo; estratificación cruzada de bajo ángulo	Capas tabulares masivas y laminadas o con estratificación cruzada; incisión y relleno con intraclastos de arcilla	Capas masivas, conglomeráticas, estratificación cruzada y plano-paralela	Capas masivas, a veces con estratificación cruzada de medio a pequeño porte	.....
Espesor máximo preservado	277 metros	50 metros	100 metros	200 metros	85 metros	180 metros	15 metros
Fósiles	Escasos icnofósiles	Escasos icnofósiles	Escasos fragmentos óseos de vertebrados. Rizolitos	Algas. Moluscos, crustáceos. Peces, reptiles	Fragmentos óseos indeterminados, huevos de reptiles	Algas. Bivalvos, ostrácodos. Anfibios, reptiles, peces. Rizolitos	.....
Asociaciones de facies	Dunas y <i>draas</i>	Dunas e interdunas húmeda	<i>Sand sheets</i> , sabkhas	Barras de canal, llanuras de inundación, lagunas alcalinas efimeras	Barras de canal, llanura de inundación	Depósitos de sheetflood, barras de canal	.....
Ambiente deposicional	Eólico (centro de sand sea)	Eólico (periferia de sand sea)	Eólico (extradunas)	Fluvial entrelazado ( <i>braided</i> ) con lagunas; eólico	Abanicos aluviales, fluvial entrelazado ( <i>braided</i> ) con lagunas	Abanicos aluviales	Colada volcánica alcalina

asociados a cemento carbonático. Además de dichos agujeros se observan localmente concreciones tubulares y costras duras de unos pocos centímetros de espesor. Las costras de esta naturaleza pueden excepcionalmente alcanzar hasta un metro de espesor, como en el Canal de Pereira Barreto (São Paulo), donde forman calcretas tipo *hardpan* y *honeycomb* (Netterberg 1967).

En la provincia de São Paulo se han descrito, sólo localmente, unos depósitos de lutitas entre capas de areniscas masivas y capas con estratificación cruzada de pequeña escala (Soares *et al.*, 1980). En el norte de la provincia de Paraná (región de Mairá) aflora una asociación de facies muy peculiar, formada por conglomerados con ventifactos, areniscas conglomeráticas y areniscas con estratificación cruzada, inmaduras.

La Formación Santo Anastácio muestra tránsitos laterales con las formaciones Río Paraná y Adamantina (en general interdigitados), con bruscos diastemas locales. En algunos sitios donde la Formación Santo Anastácio tiene contacto con los basaltos de la Formación Serra Geral se observan depósitos basales de aspecto brechoidal. Sousa Junior (1984) describe en la provincia de Mato Grosso do Sul el desarrollo de contactos erosivos de esta unidad con la Formación Botucatu

El área de afloramiento de la Formación Santo Anastácio circunda la de la Formación Río Paraná, hacia la cual pasa de modo gradual (hacia arriba y lateralmente), adelgazándose en la dirección de esta unidad. Está originada por depósitos arenosos extradunas (*sand sheets*, pavimentos de deflación y sabkhas), acumulados en am-

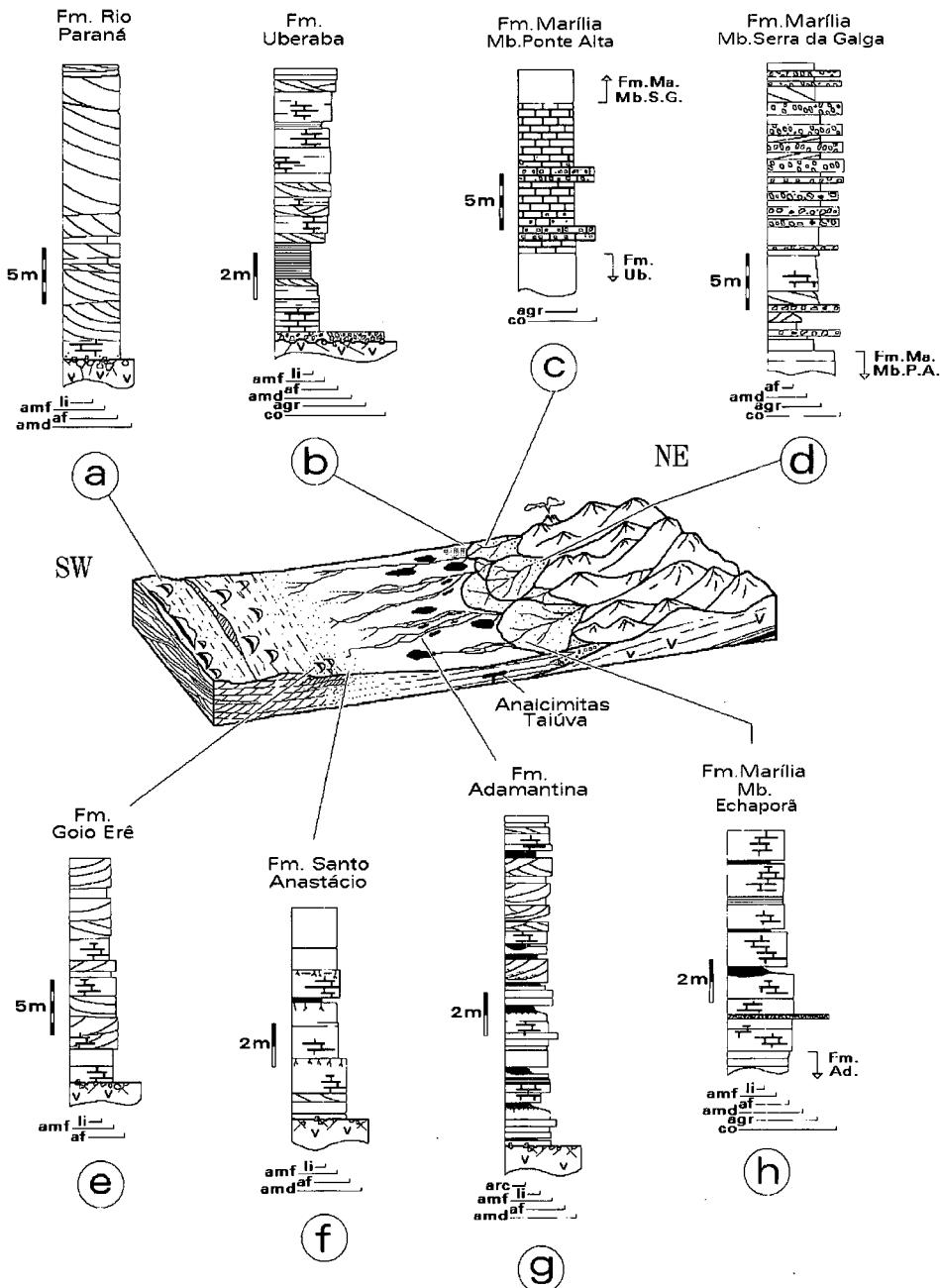


Figura 6.- Sistemas depositacionales y sucesiones de asociaciones de facies características de las unidades estratigráficas de la Cuenca Bauru. Escala de tamaño de grano: li: limo; amf, af, amd, agr: arenas de muy finas a gruesas; co: conglomerados. Limestone symbol corresponds to calczete deposits. Ver textos para su explicación desarrollada.

Figure 6.- Depositional systems and characteristic facies assemblages sections for the stratigraphic units of the Bauru Basin. The Upper Cretaceous sequence is formed by two synchronous groups, Caiuá and Bauru, and was deposited in an asymmetrical closed basin, which underwent semi-arid climatic conditions in its margins, meanwhile they became dessertic basinward. Alluvial sedimentation in the basin took place simultaneously with the progressive uplift of the basin margins, constituted by important tectonic uplifts. Life in the Bauru Basin developed best in areas with largest water availability, such as broad braid plains, where ephemeral alkaline water shallow lakes and ponds developed. Reptiles (mainly dinosaurs, crocodiles and turtles) dwelled there. Increasing basinward aridity resulted in the gradual reduction in the paleobiological diversity as recorded in the inner, central basinal alluvial units, until its almost complete absence in the sand sea eolian deposits of the central paleodessert. Grain size escale: li: silt; amf to agr: very fine to coarse sandstone; co: conglomerates.

plias planicies desérticas anchas ubicadas alrededor del sand sea Caiuá.

El único registro paleontológico conocido en la Formación Santo Anastácio es de unos fragmentos óseos de un posible tetrápodo, que se encontró en el municipio de Pereira Barreto, provincia de São Paulo (Fittipaldi *et al.*, 1989). Las estructuras tubulares y orificios, asociados a cemento y concreciones carbonáticas, se han interpretado como probables rizolitos.

#### *Formación Goio Erê*

Esta unidad se observa en la parte sudeste del área de afloramiento de las areniscas del Grupo Caiuá (Figs. 4 y 5 ; cuadro 1). Sus mayores espesores llegan a 50 metros. Está constituida por arenas cuarzosas, marrón rojizas a gris violáceo, de granulometría fina a muy fina (occasionalmente media), muchas veces subarcosicas. Presentan madurez mineralógica y textura submadura. En general los granos tienen la superficie mate, cubierta por una película de óxido de hierro, y frecuente revestimiento de poros por arcilla autigénica (esmectita). Dichas arenas se encuentran en estratos de pocos metros de espesor, con estratificación cruzada, intercalados con estratos masivos o con estratificación subhorizontal poco definida, de espesor decimétrico a métrico (Fig. 6e). En esta unidad la cementación carbonática es frecuente. En algunos lugares llegan a formar concreciones subesféricas de diámetro centimétrico y costras duras (1,5 cm de espesor y decenas de metros de extensión lateral).

La laminación por caída de granos es la estructura más común en las litofacies con estratificación cruzada. En los estratos masivos puede encontrarse laminación y *ripples* de adhesión, discontinuos y mal definidos; también microlaminaciones cruzadas (ondulaciones eólicas y pequeños pliegues de contorsión).

En la base de la unidad son comunes las intercalaciones de estratos de espesor decimétrico, de arenas masivas limosas arcillosas y brechas, directamente encima de los basaltos de la Formación Serra Geral (Fig. 5). Las brechas están sustentadas por matriz arenoso-arcillosa, y están formadas por clastos subangulares centimétricos de basalto y ágata, con nódulos de arcilla y carbonato.

La Formación Goio Erê tiene contacto gradual con la Formación Rio Paraná, y erosivos (basales) con la Formación Serra Geral. Corresponde a depósitos de áreas periféricas respecto a los extensos complejos de dunas, y

donde no hubo condiciones adecuadas para la formación de grandes construcciones eólicas.

En el área de exposición de la Formación Goio Erê sólo se han descrito icnofósiles: pisadas de probables Theropodos, quizás de Carnosauros y Coelosauros (Leonardi y Duszczak, 1977 ; y Leonardi, 1989).

#### **Grupo Bauru**

El Grupo Bauru se observa principalmente en la provincia de São Paulo (Figs. 4 y 5). Aflora además en las provincias de Minas Gerais, sur de la de Goiás, nordeste de la de Mato Grosso do Sul y, de modo más restringido, en el norte de Paraná. En São Paulo alcanza un espesor máximo de 320 metros (Mezzalira *et al.*, 1981). Se superpone al Grupo São Bento, en contacto discordante y pasa de forma gradual hacia el Grupo Caiuá. Tiene contactos erosivos a techo con depósitos cenozoicos arenosos (coluviales y aluviales). En las partes más interiores del área donde aflora el Grupo Bauru está compuesto esencialmente por arenas finas y lutitas, mientras que pasa a arenas medias y conglomerados en los bordes de la cuenca. El Grupo Bauru comprende depósitos de ambiente fluvial entrelazado con llanuras de inundación y depósitos de abanicos aluviales marginales, en los bordes de la cuenca. Se divide en las formaciones Adamantina, Marília y Uberaba. En ella se incluyen también unas lavas de naturaleza alcalina, las Analcimitas Taiúva (Fernandes, 1992), intercaladas en la Formación Adamantina, en São Paulo (Figs. 4 y 5).

#### *Formación Adamantina*

Esta unidad aflora en un área extensa del oeste de la provincia de São Paulo. También se observa en las provincias de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul y, de modo más restringido, en la de Paraná (Fig. 4 ; cuadro 1). Sus mayores espesores están en Minas Gerais, donde alcanzan hasta 230 metros (Sousa Jr., 1984). En São Paulo presenta espesores entre 180 y 200 metros (Themag, 1982).

La Formación Adamantina fue objeto de varias propuestas de subdivisión en distintas asociaciones de facies en la provincia de São Paulo, debido a su gran extensión en área y a sus variaciones regionales. En la región norte occidental de la provincia Suguio *et al.* (1977) la dividieron en las asociaciones de facies Araçatuba y São José do Rio Preto. Más tarde, con algunas modificaciones las consideraron formaciones (Suguio, 1981). En la par-

te sudoeste de la provincia, Soares *et al.* (1979) propusieron la división de la Formación Adamantina en las asociaciones de facies Ubirajara y Taciba, mientras que Almeida *et al.* (1980) propusieron la subdivisión en cinco unidades cartográficas (KaI a KaV).

La Formación Adamantina está constituida por areniscas cuarzosas finas a muy finas, con intercalaciones de lutitas limosas y, menos frecuentemente, con arcillitas, de colores rojizos a pardos (Cuadro 1). Dichas litofacies se presentan en capas en general tabulares, masivas o con estratificación planoparalela (Figura 6g), donde a veces se observan marcas onduladas (*ripple-marks*) y microlaminaciones cruzadas de ripples escalantes (*climbing ripples*). Son también frecuentes las litofacies con estratificación cruzada canaliformes de media a pequeña escala y estructuras de incisión y relleno, asociadas a brechas intraformacionales de cantos blandos, sobre todo en las partes más interiores de la cuenca. En los estratos masivos a veces se observan gradaciones normales (*fining upward*).

La base de esta unidad descansa erosivamente sobre la Formación Serra Geral, donde se asocia con unos niveles de brechas con fragmentos de basalto. Los contactos de la Formación Adamantina con la Formación Santo Anastácio son laterales y también muestra interdigición con la Formación Marília (Almeida *et al.*, 1980). Según Barcelos *et al.* (1987) esta unidad pasa gradualmente hacia la Formación Uberaba, mientras que para Hasui (1968) el contacto es discordante.

El ambiente deposicional de la Formación Adamantina ha sido considerado como fluvial meandriforme a anastomosado o fluvio-lacustre (Soares *et al.*, 1980; Almeida *et al.*, 1980; Suguió 1981), de sistemas fluviales entrelazados (*braided*) con desarrollo de extensas llanuras de inundación, con lagunas efímeras de aguas carbonatadas (Fernandes, 1992).

En la Formación Adamantina se han encontrado la mayoría de los fósiles de la Cuenca Bauru: oogonios de carófitas, moluscos (bivalvos y gasterópodos), crustáceos (conchostráceos, ostrácodos), restos de peces y reptiles (cocodrilos, quelonios y dinosaurios).

#### *Formación Marília*

Esta unidad aflora en la parte oriental de la provincia de São Paulo, formando altiplanos regionales, y en las provincias de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul y Goiás

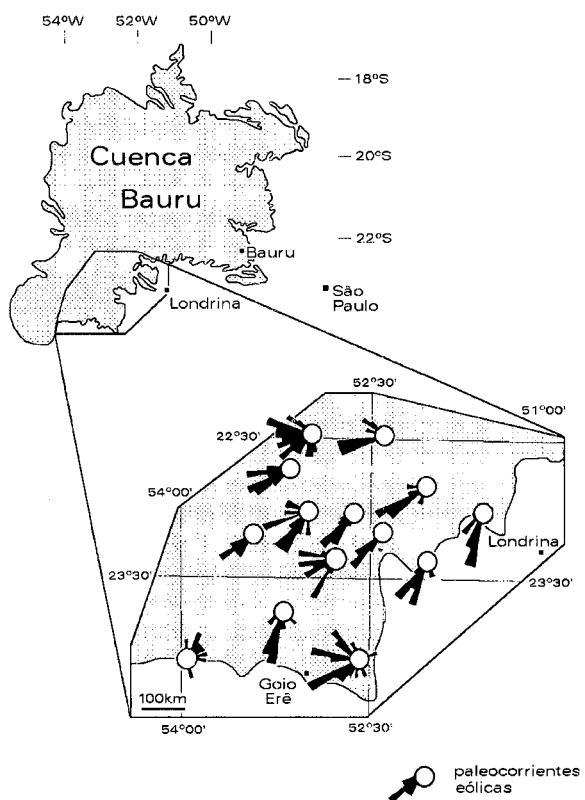


Figura 7.- Paleocorrientes en las facies eólicas de la parte sudeste de la Cuenca Bauru (Fernandes, 1992).

Figura 7.- Paleocurrents of the eolian dominated facies in the southeastern Bauru Basin (Fernandes, 1992)

(Figs. 4 y 5). Sus espesores máximos son: 180 metros en São Paulo y 170 metros en Minas Gerais (Sousa Jr., 1984).

La Formación Marília fue dividida por Barcelos y Suguió (1987) en los miembros Serra da Galga, Ponte Alta y Echaporã (Fig. 6 c, d y h). El Miembro Echaporã está constituido por areniscas cuarzosas, finas a medias, de textura y mineralogía inmaduras, con frecuente cementación y concreciones carbonáticas (Fig. 6h). Forman estratos de aspecto masivo, de espesor métrico a veces con estratificación subhorizontal incipiente o estratificación cruzada de escala media. Presenta también niveles conglomeráticos con ventifacts (Fernandes *et al.*, 1992). Algunas veces exhiben intercalaciones de lutitas, de espesor decimétrico. Los otros dos miembros de la Formación Marília afloran únicamente en la provincia de Minas Gerais. El Miembro Ponte Alta está formado por areniscas finas a medias, inmaduras, localmente conglomeráticas, con fuerte cementación carbonática,

niveles de calcretas y lentículos de carbonatos; mientras que el Miembro Serra da Galga está en cambio compuesto por areniscas conglomeráticas finas a medias (Fig. 6 c y d, respectivamente).

En São Paulo, los contactos de esta formación con la Adamantina se dan de forma abrupta o por interdigitación (Almeida *et al.*, 1980), algunas veces asociados a capas de conglomerados basales (Soares *et al.*, 1980). En Minas Gerais el Miembro Ponte Alta exhibe contacto concordante con la Formación Uberaba (Garrido *et al.*, 1992) y discordante con la Formación Serra Geral (Souza Jr., 1984). Excepcionalmente, la Formación Marília descansa directamente en discordancia sobre unidades pré-basálticas (Couto *et al.*, 1980; Hachiro *et al.*, 1994).

La Formación Marília fue depositada en abanicos aluviales, con pavimentos detriticos, en zonas marginales de la cuenca.

En el borde norte de la Cuenca Bauru, en Goiás, esta unidad sobrepasa los límites del área de exposición de los basaltos de la Formación Serra Geral, su substrato regional, y se superpone a las areniscas de las formaciones Botucatu y Pirambóia (Triásico-Jurásico), las rocas del Grupo Passa Dois (Pérmico) y a las areniscas rojas del Grupo Aquidauana, de edad permo-carbonífera (Fulfaro *et al.*, 1994).

Como la Formación Adamantina, la Formación Marília presenta un importante registro paleontológico, sobre todo de oogonios de carótitas, moluscos, restos de peces, anfibios (anuros), y reptiles (dinosaurios), así como pistas y trazas de actividades orgánicas (raíces y galerías de excavación).

#### *Analcimitas Taiúva*

Estas rocas, de naturaleza alcalina, fueron identificadas en unos sondeos de la región centro norte de la provincia de São Paulo. Se encuentran intercaladas en la Formación Adamantina y presentan un espesor máximo de 15 metros (Fig. 5 y cuadro 1). Según Coutinho *et al.* (1982) se formaron como lavas y ocupan una extensión mínima de 100 km<sup>2</sup>, enterradas bajo algunas decenas o hasta una centena de metros de areniscas.

La roca presenta un color marrón claro a rojizo, aspecto algo meteorizado y textura afanítica. Algunas veces presenta numerosas amígdalas de calcita (mineral que también puede ocupar fracturas) haciendo patente la textura volcánica.

#### *Formación Uberaba*

La Formación Uberaba (Hasui, 1968) aflora únicamente en la región conocida como Triângulo Mineiro, en las cercanías de la ciudad de Uberaba de la provincia de Minas Gerais.

Está formada por rocas epiclásticas arenosas de color oliva característico. Son areniscas con cemento calcítico y matriz arcillosa verde, con intercalaciones secundarias de limolitas, arcillitas, areniscas conglomeráticas y conglomerados arenosos, volcanoclásticos. Dichas unidades se presentan en estratos masivos alternados con otros con estratificación cruzada canaliforme o también con laminación plano-paralela. (Fig. 6b). Se depositó en ambiente fluvial (Hasui, 1968).

La formación Uberaba tiene contactos erosivos basales, asociados a brechas, y tránsitos laterales con las formaciones Adamantina y Marilia (Miembro Ponte Alta).

#### Características petrográficas y mineralógicas generales

Los grupos Caiuá y Bauru están formados por rocas esencialmente cuarzosas, sobre todo por areniscas finas a muy finas. De modo general, las unidades depositadas en las zonas más internas de la cuenca y asociadas a procesos sedimentarios eólicos, de selección más efectiva, presentan buena madurez textural y mineralógica. Las areniscas tienen su armazón formado esencialmente por granos de cuarzo monocristalino, que corresponde a 80-90% de la roca en las areniscas eólicas (formaciones Río Paraná, Santo Anastácio y Goio Erê), 70% en áreas más marginales de la cuenca, como las de las formaciones Adamantina y Marília (Brandt Neto *et al.*, 1985a). Las unidades marginales y/o basales acostumbran a presentar madurez textural y mineralógica relativamente menores y un carácter subarcónico. En dichas unidades es mayor la frecuencia de fragmentos líticos (de rocas volcánicas básicas, metamórficas y sedimentarias), feldespatos, minerales micáceos y pesados más inestables, intraclastos y bioclastos, aunque siempre en cantidades muy pequeñas.

La distribución de los minerales de arcilla en la Cuenca Bauru refleja sobre todo el ambiente sedimentario. En las areniscas del Grupo Caiuá, que son las unidades más internas, los más frecuentes son esmectita y caolinita. La illita ocurre en menor proporción, que crece en las asociaciones de facies de origen fluvial (Formación Adamantina). En esta unidad otros minerales son conocidos: caolinita, esmectita y clorita (Suguió, 1973; Brandt Neto

*et al.*, 1985b). Diversos autores mencionaron la asociación esmectita y palygorskita en areniscas y rocas carbonáticas del Miembro Echaporã (Formación Marília) en São Paulo. En Minas Gerais, el Miembro Ponte Alta, que es de la misma formación, presenta sepiolita asociada a palygorskita (Coimbra, 1991). Este autor atribuyó tal hecho a diferencias en las condiciones deposicionales, justificando la neoformación de sepiolita debido a la existencia de soluciones más alcalinas en *playa lakes*.

En general, los minerales arcillosos neoformados forman un revestimiento (*pore lining*) o relleno de vacíos intergranulares (*pore filling*). Hay que tener en cuenta que una parte de la arcilla que hoy compone la fracción pelítica, en muestras de afloramiento, es un producto de procesos autigénicos y/o de infiltración, diagenéticos o telodiagenéticos. Comparando muestras de testigos de sondeos con otras de afloramientos, Fernandes *et al.* (1994) verificaron una notable inversión de valores de la cantidad de esmectita (predominante en subsuperficie) y caolinita, en areniscas de la Formación Rio Paraná.

Los minerales pesados transparentes no micáceos constituyen aproximadamente el 1% de la roca. En la parte septentrional de la cuenca, la frecuencia relativa de estos minerales es diferente según la clase granulométrica, o sea: en la de 0,125-0,062 mm hay zircón, rutilo, anatasa, perowskita y apatito, mientras que en la de 0,250-0,125 mm se encuentran turmalina, granate, augita, estaurolita y cianita (Coimbra, 1976).

La evolución diagenética de la Secuencia Suprabásaltica Cretácica no sobrepasó los estadios iniciales de la metasodiagénesis, con el desarrollo de una incipiente compac-tación y cementación química (Fernandes *et al.*, 1994).

Se conoce la existencia en diversas zonas de la Cuenca Bauru de rocas silicificadas. La silificación en su porción meridional es puntual, y a veces afecta, al mismo tiempo, varias unidades litoestratigráficas superpuestas. Las características geológicas y petrográficas de estas rocas indican un probable origen hidrotermal para la silificación que han sido relacionados con los eventos volcánicos alcalinos, ocurridos sobre todo en los bordes de la cuenca y probablemente sincrónicos con la sedimentación (Fernandes *et al.*, 1993).

## Cronoestratigrafía

La SSC se acumuló durante el Cretácico Superior, en un intervalo actualmente preciso por: 1) la edad atribuida a fósiles de vertebrados de las formaciones Adamantina y Marília, 2) las edades radiométricas de  $61,5 \pm 2,5$  Ma, basadas en las dataciones radiométricas de las analcimitas de la región de Taiúva (São Paulo) y 3) su posible correlación con fases evolutivas, bien datadas, de la sedimentación en la vecina Cuenca de Santos.

La sedimentación cretácica continental tuvo lugar en el intervalo Santoniense-Maastrichtiense. Este intervalo se establece por 1) la edad Senoniense (88 a 65 Ma) atribuida por Huene (1939) a los fósiles de dinosaurios ; y 2) por la correlación entre la deposición de los grupos Caiuá y Bauru en el interior del continente y la intensificación del aporte de sedimentos observable en la deposición de la Formación Santos, en la cuenca del mismo nombre. En este intervalo, se encuadran los resultados de estudios palinológicos de un afloramiento próximo al borde actual de la cuenca Bauru, probablemente de la parte basal de la secuencia, a los que se adjudicó una edad coniaciense (Lima *et al.*, 1986). Algunos estudios sobre los registros de actividad volcánica en las cuencas sedimentarias cretácicas del margen continental brasileño, vecinas a la estudiada, proporcionaron resultados interesantes. Las capas de cineritas encontradas en la Cuenca de Campos, correlacionadas con otras de las cuencas de Santos y Espírito Santo, arrojaron una edad santoniense (Alves *et al.*, 1994). Estas cineritas probablemente corresponden a eventos volcánicos asociados a un periodo de intenso alzamiento de sus áreas-fuente marginales, es decir, de los altos estructurales que separaban estas cuencas vecinas de la Cuenca Bauru.

El magmatismo Serra Geral, que formó el sustrato de la cuenca (Fig. 3), ocurrió hace  $133 \pm 1$  Ma en el exiguo intervalo de un millón de años, (Renne *et al.*, 1992). Considerándose tal edad para la constitución del futuro substrato de la Cuenca Bauru, resta un vacío de cerca de 50 Ma hasta el inicio de la sedimentación cretácica superior. Probablemente el área donde se estableció posteriormente la Cuenca Bauru se encontraba encima del nivel de base regional, mientras que en áreas vecinas evolucionaban otras cuencas cretácicas como las de Santos y Sanfranciscana. Entre el inicio generalizado de la sedimentación en la Cuenca Bauru, hace 85 Ma, y las últimas manifestaciones del magmatismo (alrededor de 133 Ma) el centro del área en la que se acumularía posteriormente la secuencia cretácica superior estuvo expuesto, aunque posiblemente sometido a una lenta subsidencia termo-mecánica. Las áreas marginales, las cuales aportaron material siliciclástico proveniente de la alteración de unidades sedimentarias pre-básalticas y del zócalo cristalino, además de distantes del depocentro, sólo

tuvieron destacada exposición cuando tuvo lugar el alzamiento más tardío de los márgenes de la cuenca.

## RELACIÓN TECTÓNICA-SEDIMENTACIÓN: EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA Y FISIOGRÁFICA

El magmatismo Serra Geral marcó el fin de los eventos de sedimentación extensiva en grandes áreas intracratónicas del antiguo continente de Gondwana (Fig. 3). Después de la apertura del Océano Atlántico, la Plataforma Sur Americana mantuvo un carácter ascencional generalizado, iniciado antes de la separación. Cesadas las manifestaciones magmáticas, en el Cretácico Inferior, el área donde iba a establecerse la Cuenca Bauru permaneció expuesta, aunque sometida a subsidencia en relación a sus bordes, hasta que el nivel de base permitió la acumulación de sedimentos en su interior, en el Cretácico Superior. A partir de entonces, la elevación de los márgenes, principalmente al norte-noreste y al este, aportó sedimentos que fueron transportados cuenca adentro por corrientes fluviales y eólicas, con un sentido general de aporte hacia el oeste/sudoeste.

Las unidades de la SSC se ven afectadas por tres direcciones principales de fracturas (NE, NW y ENE), que coinciden con las de las rocas de su sustrato (Fernandes, 1992). Durante mucho tiempo se afirmó que la actividad tectónica pos-cretácea en el área de la Cuenca Bauru era nula o despreciable. Sin embargo, la posibilidad de una evolución sedimentaria relacionada con una actividad tectónica sincrónica ya ha sido propuesta (Freitas, 1955; Arid, 1967; Suguió, 1973). Además, también se ha planteado la posibilidad de una estrecha conexión entre la evolución tectónica del margen continental atlántico y las cuencas costeras, con la de las áreas intracratónicas de la plataforma, en el Cretácico Superior/Terciario (Fúlfaro *et al.*, 1982), así como la importancia de los efectos en las zonas más internas de la placa litosférica continental del movimiento de deriva continental (Zalán *et al.*, 1990; Fúlfaro y Barcelos, 1993). Otros autores se han referido a actividades tectónicas de carácter transcurrente, con actuación hasta el Cenozoico, en el sudeste de Brasil (e.g. Zalán *et al.*, 1986; Riccomini, 1995), con referencias a una eventual acción de esfuerzos compresivos relacionados con la evolución del Cinturón Orogénico Andino, desde el Paleozoico (Milani *et al.*, 1990) y principalmente en el Cretácico Superior, que habrían afectado la Cuenca Bauru (Coimbra, 1991).

La sedimentación en la Cuenca Bauru fue sincrónica con el progresivo levantamiento de los bordes, definidos

por los altos tectónicos regionales (Fig. 2). Estos altos delinearon el entorno deposicional, determinando la distribución de facies sedimentarias y la preservación de sucesiones estratigráficas, en una depresión alargada de eje mayor con dirección nordeste, paralela al río Paraná. Otras estructuras de dirección noroeste actuaron como límites de la cuenca y dieron lugar a elevaciones y depresiones en su interior, desarrollándose transversalmente respecto al eje principal noreste; ejemplos de estas estructuras serían el lineamiento de Paranapanema (Fúlfaro, 1974), de Tietê (Coimbra *et al.*, 1977), o el alto estructural de Vera Cruz-Garça (Silva *et al.*, 1990). Los diversos lineamientos regionales puestos de manifiesto por la red de drenaje actual reflejan estructuras que pueden haber interferido en la distribución de facies del relleno de la cuenca (Amaral, 1977). Por su probable actuación hasta tiempos más recientes, las estructuras de dirección NE tuvieron importante función en el desarrollo de la red de drenaje actual, como se observa, por ejemplo, en los largos tramos rectilíneos de río Paraná, que posiblemente están asociados a estructuras del substrato (e.g. Maack, 1968; Marques *et al.*, 1993).

La distribución de las asociaciones de espectros de los minerales pesados indica además que las estructuras vinculadas al Lineamiento do Tietê diferenciaron dos áreas durante la sedimentación en la Cuenca Bauru. La meridional se caracteriza por una asociación rica en minerales estables (zircón, turmalina y rutilo), mientras que la del norte lo está por una asociación mineralógica formada por abundancia de minerales inestables, con menor cantidad relativa de estables (Coimbra, 1976).

Coimbra (1976) estudió las áreas-fuente de las unidades de la porción centro-oriental de la Cuenca Bauru, entonces conocidas como *Formação Bauru*, y propuso la existencia de tres principales áreas de origen de los sedimentos de la cuenca: 1) del NW, 2) del SE, formadas por unidades sedimentarias paleozoicas; y 3) del NE, formada por rocas básicas del Grupo São Bento, rocas alcalinas de la región del Triângulo Mineiro y rocas metamórficas de los grupos Araçá y Canastra (provincia de Minas Gerais; fig. 4).

No se conocen resultados del análisis sistemático de direcciones de paleocorrientes para la cuenca, a escala regional. En estudios preliminares, Arid (1967) obtuvo direcciones de aporte predominantes hacia el sudeste con medidas de estratificaciones cruzadas hechas en la Formación Adamantina, en la región norte-occidental de São Paulo. Suárez (1975, 1976) también obtuvo resultados semejantes para arenas de los grupos Caiuá y Bauru, en el oeste, lejos de aquella provincia. Para la

misma área y además la parte noroeste de la provincia de Paraná, Fernandes (1992) hizo un estudio sistemático de paleocorrientes eólicas (unidades del Grupo Caiuá), donde encontró un sentido dominante de los vientos del noreste hacia el sudoeste (Fig.7).

El alzamiento progresivo de los bordes norte y este de la cuenca expuso rocas del substrato (unidades paleozoicas de la Cuenca del Paraná e ígneas y metamórficas pre-cámbricas), alimentando los abanicos aluviales marginales (Formación Marília). Los sedimentos fueron paulatinamente transportados hacia el interior de la Cuenca Bauru, por sistemas fluviales entrelazados (Formación Adamantina). El reciclaje eólico de estos sedimentos alimentó los *sand sheets* (Formación Santo Anastácio), así como el *sand sea* instalado en el interior de la cuenca (formaciones Rio Paraná e Goio Erê), bajo la acción de vientos predominantes del NE hacia el SW (Fig. 5). Se supone que los depósitos de loess, relacionados con el “desierto Caiuá”, en el caso de que hayan existido, pueden eventualmente estar preservados al sudoeste, en territorio paraguayo o argentino.

## RELACIONES ENTRE PALEOAMBIENTES Y REGISTRO PALEOBIOLOGICO. ASPECTOS PALEOClimátICOS

La SSC contiene fósiles de reptiles (cocodrilos, quelonios y dinosaurios), anfibios (anuros), restos de peces, moluscos (bivalvos y gasterópodos), crustáceos (conchostraceos y ostrácodos) y plantas (oogónios de carófitas). Las formaciones Adamantina y Marília, del Grupo Bauru, encierran la mayor parte del registro fosilífero, que se distribuye en un área en forma de arco, comprendiendo el oeste y noroeste de la provincia de São Paulo y parte del Triângulo Mineiro (provincia de Minas Gerais). Las áreas de deposición de estas unidades presentaron unas condiciones más favorables para el desarrollo de la vida en el Cretácico Superior, principalmente por la presencia de agua.

La Cuenca Bauru estuvo posiblemente separada de las cuencas andinas sincrónicas, por barreras geográficas (Bertini, 1994). De forma general, las especies más frecuentes de fósiles conocidas en la parte oriental de Bauru muestran una diversidad determinada por la paleogeografía. Coimbra y Fernandes (1994) propusieron una separación de la parte oriental de la cuenca en tres sectores paleoecológicos, a los cuales nombraron (Fig. 4): Peirópolis (septentrional), São José do Rio Preto (central) y Presidente Prudente (meridional).

La mayoría de las rocas carbonáticas de los grupos Caiuá y Bauru son calcretas (Suguió, 1973; Suguió y Barcelos, 1983), en forma de concreciones o costras. En la provincia de Minas Gerais las zonas carbonatadas llegan a formar estratos de hasta casi 10 metros de espesor, de calizas arenosas y brechosas (Miembro Ponte Alta, Formación Marília; Fig. 5 y 6c). La asociación de esmectita con calcretas, verificada en varios sectores (Coimbra, 1991), así como la presencia de palygorskita (principalmente en la Formación Marília), indican regímenes de poca circulación de agua. Se han descrito moldes de cristales salinos (rosas del desierto), formados bajo condiciones evaporíticas (sabkhas y lagunas salinas), en sedimentos de la Formación Adamantina en el Estado de São Paulo (Mezzalira, 1974, Etchebehere *et al.*, 1991). Coimbra (1976) identificó la presencia local de baritina asociada al cemento carbonático de areniscas de la Formación Adamantina. También hay indicios de condiciones de semiáridez debido la preservación de minerales inestables en todas las unidades de la Cuenca Bauru.

Los depósitos rudáceos con ventifacts (Fernandes, 1992), o las asociaciones de facies que los contienen, sobre todo los pertenecientes a la Formación Marília (Pires, 1982), están frecuentemente relacionados con calcretas, que indican condiciones semiáridas.

Utilizando el análisis de minerales arcillosos neoformados Coimbra (1991) discriminó dos asociaciones paragenéticas de sabkha continental del Grupo Bauru: a) palygorskita formada en bajadas: Miembro Ponte Alta (Formación Marília), en la provincia de Minas Gerais (Fig. 6c). b) palygorskita-esmectita formada en bajadas, asociadas con calcretas: Miembro Echaporã (Formación Marília) y Formación Adamantina, en la provincia de São Paulo (Fig. 6g y 6h).

## DISCUSIÓN

A pesar de haber sido individualizada como una secuencia sedimentaria (Almeida, 1969; Soares *et al.*, 1974; Soares y Landim, 1976; Zalán *et al.*, 1986; Zalán 1989), que se acumuló en un contexto deposicional de características peculiares, las unidades de la SSC fueron consideradas parte del registro estratigráfico de la Cuenca del Paraná, como el episodio final de la evolución de su relleno sedimentario. Sin embargo, Almeida (1956) propuso la existencia de una cuenca generada durante la evolución del altiplano basáltico, que habría recibido la sedimentación cretácica, como una zona de subsidencia moderada y progresiva, que denominó cuenca del Alto

Paraná. Considerando las grandes transformaciones consecuencia del magmatismo Serra Geral (Paraná Volcanic Floods), de la ruptura de Gondwana y de la posterior evolución de la Plataforma Sudamericana, hay que tener en cuenta que la Cuenca Bauru se configuró respecto a la Cuenca del Paraná como un nuevo contexto deposicional, independiente y posterior (Fernandes, 1992).

La Cuenca Bauru recibió y preservó algunos centenares de metros de espesor de sedimentos, en una única secuencia sedimentaria. Con posterioridad al Maastrichtiense el ámbito sedimentario pasó a experimentar movimientos de alzamiento que continúan hasta la actualidad. Probablemente el mecanismo regional de subsidencia haya sido esencialmente de naturaleza thermo-mecánica (Fig. 3). El establecimiento de una cuenca continental interior amplia y relativamente somera, de carácter endorreico, fue la respuesta a la gran sobrecarga litostática de las emisiones basálticas a que fue sometida esta región de la Plataforma Sudamericana. Debido al peso del potente espesor del conjunto de coladas volcánicas, y a su posterior enfriamiento (evento termal). La cuenca se hundió en relación a sus bordes, a consecuencia del nuevo equilibrio isostático. En esta fase, la acomodación de la cobertura sedimentaria obedeció a direcciones estructurales heredadas del substrato. El mantenimiento de los mismos patrones estructurales del zócalo basáltico y la falta de grandes desplazamientos verticales, indican que el relleno de la Cuenca Bauru se desarrolló simultáneamente con una lenta y continua subsidencia del basamento, constituyendo un notable ejemplo de herencia tectónica. En algún momento se inició la fase de "inversión" tectónica de la cuenca y la exposición de su relleno a la erosión (Figura 7) y pasaron a dominar las fuerzas verticales ascendentes por reacción elástica del substrato. El ciclo sedimentario cretácico superior coincide con el alzamiento más intenso de los bordes, cuando habría ocurrido la segunda manifestación magmática alcalina regional (Almeida y Melo, 1981), en un intervalo de 87 - 60 Ma. Así, al final del Cretácico Superior/inicio del Terciario, se invierte el sentido del movimiento del substrato de la Cuenca Bauru, elevándose y exponiendo la SSC a la erosión, en el ciclo que dio lugar a la Superficie Sul-Americana.

Las areniscas Rio Paraná (Figs. 5 y 6a) representan la acumulación en la porción central del sand sea, donde habrían desarrollado edificios eólicos de gran tamaño, en complejos de dunas amalgamadas (draas). Entre éstas, predominaron las de tipo barcanoide (caras acanaladas en los cortes perpendiculares a la dirección del paleoviento, y tabulares tangenciales en la base, en los cortes

paralelos). Las estratificaciones cruzadas de mayor escala ocurren generalmente en la región oeste de la provincia de São Paulo y noroeste de la provincia de Paraná, que fue la probable zona central del "desierto Caiuá". La Formación Goio Erê (Figs. 5 y 6e) corresponde a depósitos de áreas periféricas de *sand sea*, donde no hubo condiciones para la formación de grandes construcciones eólicas como las de la Formación Rio Paraná. El área de exposición de la Formación Santo Anastácio (Figs. 5 y 6f) contornea las formaciones Rio Paraná y Goio Erê, hacia las que pasa de modo transicional (vertical y lateralmente). La Formación Santo Anastácio tiene, por consiguiente, como origen depósitos arenosos extra-dunas (*sand sheets* y algunos pavimentos de deflación y sabkhas), acumulados en extensas planicies desérticas situadas alrededor del desierto Caiuá. Estas unidades eólicas, que componen el Grupo Caiuá, pasan en dirección a los bordes al Grupo Bauru, que reúne las unidades depositadas en ambientes aluviales.

En las partes más internas de su área de exposición, el Grupo Bauru está compuesto sobre todo por areniscas finas y lutitas, dispuestas en estratos tabulares a lenticulares, eventualmente ricos en estructuras hidrodinámicas. Hacia sus bordes, aumentan los componentes rudáceos, así como la inmadurez y la frecuencia de cementación carbonática. Tales características reflejan condiciones deposicionales de ambiente fluvial entrelazado con planicies periódicamente inundadas (interior) y sistemas de abanicos aluviales marginales.

La deposición de la Formación Adamantina (Figs. 5 y 6e) ocurrió en un sistema fluvial entrelazado (*braided*), desarrollado en extensa planicie aluvial con lagunas efímeras. Las areniscas con estratificación cruzada corresponden a depósitos de canales (barras linguoides y transversales), mientras que las intercalaciones de areniscas masivas o mal estratificadas con lenticulas de lutitas arenosas son depósitos de llanuras de inundación lateral o de techo de barras. Este sistema se habría desarrollado entre los depósitos de *sand sheets* (extradunas) de la Formación Santo Anastácio y abanicos aluviales de la Formación Marília (Figs. 5 y 6c,d y h). En este contexto, se formaron pequeñas dunas sobre las barras expuestas y las llanuras de inundación, por removilización eólica en períodos secos, con la alternancia de asociaciones de facies de origen fluvio-lacustre con facies eólicas, es decir de flujos efímeros de clima semi-árido (wadis). La geometría típica de estratos tabulares se debe al proceso de transporte y sedimentación, por la acción de *stream floods* en canales mal definidos (flujos no confinados), con predominio de depósitos muy extensos. De modo general, formaron de-

pósitos de extensas llanuras aluviales, con lagunas someras efímeras intermedias a los depósitos de inundación. En dichos sitios, el flujo de detritos se da esencialmente en surcos efímeros, caracterizados por una alta relación anchura/profundidad de canal, con transporte de tipo carga de fondo. En la parte más interna de la cuenca, la Formación Adamantina presenta asociaciones faciológicas distales de sistema fluvial entrelazado esencialmente arenoso, similares a los modelos 11 y 12 de Miall (1985). En la región centro-norte de la provincia de São Paulo, relativamente más próxima de los bordes de la cuenca, predominan las asociaciones de facies de ambientes de mayor disponibilidad de agua y de flujos fluviales en canales más definidos, como los de la denominada Formación "São José do Rio Preto" de Suguio (1981).

La Formación Marília (Figs. 5 y 6c, d y h) fue depositada en forma de abanicos aluviales, bajo un clima semiárido, con litofacies de pavimentos detríticos encontrados sobre todo en la provincia de Minas Gerais. Estos depósitos rudáceos están en las zonas marginales de la cuenca, donde se han preservado las asociaciones más proximales de los abanicos.

## CONCLUSIONES

Con la ruptura del supercontinente Gondwana en el Cretácico Inferior y la posterior evolución de la Plataforma Sudamericana se desarrollaron condiciones de subsidencia adecuadas para la acumulación de secuencias sedimentarias en nuevas áreas intracratónicas, como la Cuenca Bauru, del Cretácico Superior (Fig. 3).

La Secuencia Suprabasáltica Cretácica superior (grupos Bauru y Caiuá) se acumuló en respuesta a la lenta subsidencia termo-mecánica del substrato, bajo un clima semiárido a árido, en un área rodeada por importantes altos estructurales, donde se ubican los focos de actividad del magmatismo alcalino que fue sincrónico con el relleno sedimentario (Figs. 2 y 3).

La atribución cronológica del intervalo de sedimentación de esta secuencia (Santonense-Maastrichtiense) se basa en: 1) la edad de los fósiles de dinosaurios obtenida tras la correlación con fósiles similares de la Patagonia, 2) correlación con una discordancia erosiva regional del techo de la Formación Santos y 3) la edad mínima de las Analcimitas Taiúva ( $61,6 \pm 2,5$  Ma). Ésta es la única referencia cronológica absoluta conocida para la cuenca, obtenida a partir de las rocas ígneas extrusivas intercaladas en la Formación Adamantina.

En la cuenca, de carácter endorreico, se desarrolló una sedimentación siliciclástica en sistemas de abanicos aluviales marginales, que aportaron sedimentos que fueron transportados por sistemas fluviales y por la acción eólica hasta una zona de acumulación final dominada por el desarrollo de importantes edificios eólicos, el gran desierto interior de Caiuá (Figs. 5 a 7).

El registro fosilífero en la Cuenca Bauru está asociado sobre todo a las formaciones Adamantina y Marília, y muestra una clara zonación relacionable con los distintos balances hídricos existentes entre las zonas semiáridas de los márgenes de la cuenca y las más desérticas de sus zonas centrales.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Profesores, Lluís Cabrera y Ferran Colombo (Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona) y a un revisor anónimo la lectura crítica de los originales. Al geólogo Jorge Molinero por su ayuda en la revisión del castellano del primer manuscrito. También agradecen a la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por el apoyo económico para el desarrollo de las investigaciones. La redacción de este trabajo fue preparada durante la estancia del primer firmante en la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona, durante el disfrute de una beca de la CAPES en el año 1995, auspiciada por el ministerio de Educación del Gobierno de Brasil.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALMEIDA, F. F. M. de, 1956: O planalto basáltico da Bacia do Paraná. *Boletim Paulista de Geografia*, 24: 3-34.
- ALMEIDA, F. F. M. de, 1969: Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira. *28º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais*: 29-46. Salvador.
- ALMEIDA, F. F. M. de, 1980: *Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil*. Relatório IPT nº 14.091. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A, 187 p.
- ALMEIDA, F. F. M. de., 1983: Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. *Revista Brasileira de Geociências*, 13(3): 139-158.
- ALMEIDA, F. F. M. de y BARBOSA, O., 1953: Geologia das quadrículas Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. *Boletim DGM/DNPM*, 143: 1-96.
- ALMEIDA, F. F. M. de y MELO, M. S. de., 1981: A Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: Almeida, F.F.M.de, Hasui, Y., Ponçano, W., Dantas, A.S.L., Carneiro, C.D.R., Melo,M.S.de, Bistrichi,C.A.B. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000. *Publicação IPT* nº 1184. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, v.1: 46-81.
- ALMEIDA, F. F. M. de, STEIN, D.P., MELO, M. S. de, BISTRICHI, C. A., PONÇANO, W. L., HASUI, Y. y ALMEIDA, F. F. M. de, 1980: Geologia do Oeste Paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. *31º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais*, v.5: 2799-2812. Camboriú.
- ALMEIDA, F. F. M. de, HASUI, Y., PONÇANO, W. L., DANTAS, A. S. L., CARNEIRO, C. D. R., MELO, M. S. de y BISTRICHI, C. A.,

- 1981: Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000. (Nota Explicativa, Publicação IPT nº 1184, vol.1). São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 126 p.
- ALVES, D. B., CADDAH, L. F. G., MIZUSAKI, A. M. P. y MARTINS, F., 1994: Ocorrência de camadas de cinzas vulcânicas no Cretáceo Superior das bacias de Campos, Santos e Espírito Santo. 3º Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil, Boletim: 19-20. Rio Claro.
- AMARAL, G., 1977: Padrões fotogeológicos dos litofácies da Formação Bauru no estado de São Paulo, como observados em imagens LANDSAT. 1º Simpósio de Geologia Regional, Atas: 439-449. São Paulo.
- ARID, F. M., 1967: A Formação Bauru na região norte-oeste do Estado de São Paulo. Geociências, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de São José do Rio Preto, 126 p.
- ARID, F. M., 1970: A Formação Bauru na região norte-oeste do Estado de São Paulo. 24º Congresso Brasileiro de Geologia, Resumo das Conferências e Comunicações: 373-377, Brasília.
- ASMUS, H. E. y PONTE, F. C., 1973: The brasilian marginal basins. In: Nairn, A. E. M. y Stehli (orgs.): *The Oceans Basins and Margins*. v.1, pp. 87-132, New York-London, South Atlantic-Plenum Press.
- BAKER, C. L., 1923: The lava field of the Paraná Basin, South America. *Journal of Geology*, 31(1): 69-79.
- BARBOSA, O. , 1934: Petrografia sedimentária e estratigrafia. Anais da Escola de Minas de Ouro Preto, (25): 35-50.
- BARBOSA, O. , BRAUN, O. P. G., DYLER, R. C. y CUNHA, C. A. B. R. da., 1970: Geologia da região do Triângulo Mineiro. Boletim DGM/DNPM, (136): 1-140.
- BARCELOS, J. H., 1984: Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do Estado de São Paulo. Tese de Livre-Docência, Universidade Estadual Paulista (Instituto de Geociências e Ciências Exatas). 190 p. (inédita).
- BARCELOS, J. H. y SUGUIO, K. , 1987: Correlação e extensão das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru definida em território paulista, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná. 6º Simpósio Regional de Geologia, Atas, v.1: 313-321. Rio Claro.
- BARCELOS, J. H.; LANDIM, P. M. B. y SUGUIO, K., 1981. Análise estratigráfica das seqüências cretácicas do Triângulo Mineiro (MG) e suas correlações com as do Estado de São Paulo. 3º Simpósio Regional de Geologia, Atas, v.2, p. 90 -102. Curitiba.
- BARCELOS, J. H., SUGUIO, K., GODOY, A. M., HIRATA, R. A. y GONTIJO, R. C., 1987: Aspectos litoestratigráficos da Formação Uebara, Cretáceo da Bacia do Paraná. Geociências, 5/6: 31-42.
- BERTINI, R. J., 1994: Comments on the fossil amniotes from the Adamantina and Marília formations, continental Upper Cretaceous of the Paraná Basin, Southeastern Brazil (Part 2: Saurischia, Ornithischia, Mammalia, conclusions and final considerations). 3º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, Boletim: 101-104. Rio Claro.
- BRANDT NETO, M., 1984: O Grupo Bauru na região centro-norte do Estado de São Paulo. São Paulo. Tese de doutoramento, Universidade de São Paulo (Instituto de Geociências). 2 v. (inédita).
- BRANDT NETO, M. PETRI, S. y COIMBRA, A. M., 1978: Considerações sobre a estratigrafia e ambiente de sedimentação da Formação Bauru. 30º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, v.2: 557-566. Recife.
- BRANDT NETO, M., PETRI, S., COIMBRA, A. M. y COUTINHO, J. M. V., 1985a: Composição mineralógica e textural de arenitos do Grupo Bauru (Serra de Jaboticabal, SP). 5º Simpósio Regional de Geologia, Atas, v.1: 49-60. São Paulo.
- BRANDT NETO, M., PETRI, S. y COIMBRA, A. M., 1985b: Argilominerais do Grupo Bauru: considerações genéticas. 5º Simpósio Regional de Geologia, Atas, v.1: 61-74. São Paulo.
- BRANDT NETO, M., BARCHA, S. F., MANZINI, F. F. y BRIGHETTI, J. M. P., 1991: Nova ocorrência de crocodilianos na Região Nordeste do Estado de São Paulo. Geociências, 10: 191-203.
- COIMBRA, A. M., 1976: Arenitos da Formação Bauru: estudo de áreas-fonte. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo (Instituto de Geociências). 2 vol. (inédita).
- COIMBRA, A. M., 1991: Sistematização crítica da obra. Tese de Livre-Docência, Universidade de São Paulo (Instituto de Geociências). 54 p. (inédita).
- COIMBRA, A. M. y FERNANDES, L. A., 1994: A paleogeografia da Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). 6º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Actas. Trelew. (en prensa)
- COIMBRA, A. M., BRANDT NETO, M. y PETRI, S., 1977: O alinhamento estrutural do Tietê. 1º Simpósio de Geologia Regional, Atas: 145-152. São Paulo.
- COIMBRA, A. M., BRANDT NETO, y M., COUTINHO, J. M. V., 1981: Silicificação dos arenitos da Formação Bauru no Estado de São Paulo. Mesa redonda: A Formação Bauru no Estado de São Paulo e regiões adjacentes, Coletânea de trabalhos e debates: 103-111. São Paulo.
- COIMBRA, A. M., FERNANDES, L. A. y HACHIRO, J., 1992: Sistemas do Grupo Caiuá (Bacia Bauru, Ks) no Pontal do Paranapanema (SP). 37º Congresso Brasileiro de Geologia, Boletim de Resumos Expandidos, v. 2: 503-504. São Paulo.
- COUTINHO, J. M. V., COIMBRA, A. M., BRANDT NETO, M. y ROCHA, G. A., 1982: Lavas alcalinas analcímicas associadas ao Grupo Bauru (Kb) no Estado de São Paulo, Brasil. 5º Congreso Latinoamericano de Geología, Actas, v. 2 185-195. Buenos Aires.
- COUTO, E. A. DO, SILVA, R. B. DE y ZAINÉ, J., 1980: Estrutura de Piratininga. São Paulo, Paulipetro (Consórcio CESP/IPT), 23 p. São Paulo, (inédito).
- ETCHEBEHERE, M. L. DE C., SAAD, A. R., TADDEO, J. S. A. y HELLMESTER, Z., 1991: Moldes de cristais salinos no Grupo Bauru, Estado de São Paulo: implicações econômicas e paleoclimáticas. Geociências, 10: 101-117.
- FERNANDES, L. A., 1992: A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo (Instituto de Geociências). 129 p. (inédita).
- FERNANDES, L. A. y COIMBRA, A. M., 1992: A Cobertura cretácea suprabasáltica no Estado do Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá. 37º Congresso Brasileiro de Geologia, Boletim de Resumos Expandidos, v. 2: 506-508. São Paulo.
- FERNANDES, L. A. y COIMBRA, A. M., 1995: O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. Revista Brasileira de Geociências, 25. (en prensa).
- FERNANDES, L. A., COIMBRA, A. M. y HACHIRO, J., 1992. Ventifacts da Litofácies Mairá, Formação Santo Anastácio (Grupo Bauru, Ks). 37º Congresso Brasileiro de Geologia, Boletim de Resumos Expandidos, v. 2: 504-506. São Paulo.
- FERNANDES, L. A., COIMBRA, A. M. y BRANDT NETO, M., 1993: Silicificação hidrotermal neocretácea na porção meridional da Bacia Bauru. Revista do Instituto Geológico, 14 (2): 19-26.
- FERNANDES, L. A., COIMBRA, A. M., BRANDT NETO, M. y DESENZI, A. L. G., 1994: Argilominerais do Grupo Caiuá. Revista Brasileira de Geociências, 24 (2): 90-96.

- FITIPALDI, F. C., FERNANDES, L. A., SIMÕES, M. G. y COIMBRA, A. M., 1989: Primeira ocorrência de tetrápodas na Formação Santo Anastácio (Cretáceo da bacia do Paraná). 16º Congresso Brasileiro de Zoologia, Resumos: 89-90. João Pessoa.
- FLORENCE, G., 1907: Notas geológicas sobre o Rio Tietê no trecho estudado pela turma em 1905. In: Comissão Geographica e Geológica. Exploração do Rio Tietê. São Paulo, Comissão Geographica e Geológica, 9-15. São Paulo.
- FLORENCE, G. y PACHECO, J., 1929: Carta Geológica do Estado de São Paulo, Brasil. Escala 1:2.000.000. São Paulo, Comissão Geographica e Geológica.
- FREITAS, R. O., 1955: Sedimentação, estratigrafia e tectônica da Série Bauru. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, 194: 1-179. (Geologia 14).
- FÚLFARO, V. J., 1974: Tectônica do alinhamento estrutural do Parapanema. Boletim IG-USP, 5: 129-138.
- FÚLFARO, V. J. y BARCELOS, J. H., 1993: Fase rifte na Bacia Sedimentar do Paraná: a Formação Caiuá. Geociências, 12 (1): 33-45.
- FÚLFARO, V. J., PERINOTTO, J. A. J. y BARCELOS, J. H., 1994: A margem goiana do Grupo Bauru: implicações na litoestratigrafia e paleogeografia. 3º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, Boletim: 81-4. Rio Claro.
- FÚLFARO, V. J., SAAD, A. R., SANTOS, M. V. y VIANNA, R. B., 1982: Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. Revista Brasileira Geociências, 12 (4): 590-610.
- GARRIDO, A. E., MARCONDES, A. F. y GARCIA, A. J. V., 1992: Caracterização e Mapeamento Litofaciológico do Grupo Bauru em Peixópolis, Município de Uberaba-MG. 2º Simpósio sobre as bacias cretáticas brasileiras, Resumos Expandidos: 137-140. Rio Claro.
- GONZAGA DE CAMPOS, L. F., 1905: Reconhecimento da zona compreendida entre Bauru e Itapura. São Paulo, E.F. Noroeste do Brasil. São Paulo, Tipografia Ideal, 40 p.
- HACHIRO, J., COUTINHO, J. M. V., RICCOMINI, C., COIMBRA, A. M. y FERNANDES, L. A., 1994: O Astroblema de Piratininga (São Paulo, Brasil). 3º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 93-96. Rio Claro.
- HASUI, Y., 1968: A Formação Uberaba. 22º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais: 167-179. Belo Horizonte.
- HASUI, Y. 1969. O Cretáceo do oeste mineiro. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 18 (1): 38-56.
- HASUI, Y. y HARALYI, N. L. E., 1991: Aspectos lito-estruturais e geofísicos do soerguimento do Alto Paranaíba. Geociências, 10: 57-77.
- HUENE, F. von., 1933: Ein Versuch stammesgeschichte der krokodile. Centralb. f. Min., etc. Jarhg., 1933 Abt B., 11: 577-585.
- HUENE, F. von., 1939: Carta de F. von Huene ao Dr. Euzébio de Oliveira. Mineração e Metalurgia, 4 (22): 190.
- IHERING, R., 1911: Fósseis de São José do Rio Preto. Revista do Museu Paulista, 8: 141-6.
- KING, L. C., 1956: A geomorfologia do Brasil oriental. Revista Brasileira de Geografia, 18 (2): 147-265.
- LADEIRA, E. A., BRAUN, O. P.G., CARDOSO, R. N. y HASUI, Y., 1971: O Cretáceo de Minas Gerais. 25º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, v. 1: 15-31. São Paulo.
- LANDIM, P. M. B. y SOARES, P. C., 1976: Estratigrafia da Formação Caiuá. 29º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, v. 2: 195-206. Ouro Preto.
- LEONARDI, G., 1989: Inventory and statistics of the South American dinossaurian ichnofauna and its paleobiological interpretation. In: Gielite, D. D. y Lockley, M. G. (eds). Dinosaur tracks and traces. pp. 165-178, Cambridge, Cambridge University Press.
- LEONARDI, G. y DUSZCZAK, S. C., 1977: Ocorrência de Titanosauroidea (Sauropoda, Atlantosauridae) na Formação Bauru (Cretáceo Superior) em Guararapes, São Paulo. 1º Simpósio de Geologia Regional, Atas: 396-403. São Paulo.
- LIMA, M. R. de, MEZZALIRA, S., DINO, R. y SAAD, A. R., 1986: Descoberta de microflora em sedimentos do Grupo Bauru, Cretáceo do Estado de São Paulo. Revista do Instituto Geológico, 7 (1/2): 5-9.
- MAACK, R., 1941: Algumas observações a respeito da existência e da extensão do arenito superior São Bento ou Caiuá no Estado do Paraná. Arquivos do Museu Paranaense, 2: 107-129.
- MAACK, R., 1968: Geografia Física do Estado do Paraná. Curitiba, Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas. 350 p.
- MARQUES, A., ZANOTTO, O. A., PAULA, O. B. DE, ASTOLFI, M. A., FRANÇA, A. B. y BARBOSA, E. A., 1993: Arcabouço tectônico da Bacia do Paraná. 5º Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Boletim de resumos expandidos e programa: 101-102. Curitiba.
- MEZZALIRA, S., 1974: Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do Arenito Bauru. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, 51: 1-163.
- MEZZALIRA, S., 1981: Aspectos paleoecológicos da Formação Bauru. Mesa redonda: A Formação Bauru no Estado de São Paulo e regiões adjacentes, Coletânea de Trabalhos e Debates: 1-14. São Paulo.
- MEZZALIRA, S., 1982: Aspectos bioestratigráficos e hidrogeológicos do Grupo Bauru. 1º Encontro de geologia e hidrogeologia: o Grupo Bauru no Estado de São Paulo, Publicação Especial: 20-35. São Paulo.
- MEZZALIRA, S., 1989: Os Fósseis do Estado de São Paulo. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente/Instituto Geológico. (2. ed. rev. atual). 142 p.
- MEZZALIRA, S. y ARID, F. M., 1981: Contribuição preliminar à bioestratigrafia da Formação Bauru. Mesa redonda: A Formação Bauru no Estado de São Paulo e regiões adjacentes, Coletânea de trabalhos e debates: 116-129. São Paulo.
- MEZZALIRA, S., AZEVEDO, A. A. B., TOMINAGA, L. K., PRESSI-NOTTI, M. M. N. MASSOLI, M., 1981: Léxico estratigráfico do Estado de São Paulo. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, 5: 1-161.
- MIALL, A. D., 1985: Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. Earth Science Reviews, 22 (4): 261-308.
- MILANI, J. M., KINOSHITA, E. M., ARAÚJO, L. M. de y CUNHA, P. R. da C., 1990: Bacia do Paraná: possibilidades petrolíferas da calha central Boletim de Geociências da Petrobrás, 4 (1): 21-34.
- MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B. y SCHNEIDER, R. L. 1994: Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás, 8 (1): 69-82.
- MILWARD, G. B., 1935: Contribuição para a geologia do Estado de Goiás. São Paulo, Escolas Profissionais Salesianas, 98 p.
- NETTERBERG, F., 1967: Some roadmaking properties of South African Calcretes. 4º Reg. Conf. Africa Soil Mech. & Found. Eng., Proceedings: 77-81. Cape Town.
- NORTHFLEET, A. A., MEDEIROS, R. A. y MUHLMANN, H., 1969: Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. Boletim Técnico da Petrobrás. 12 (3): 291-346.
- PETRI, S., 1987: Cretaceous paleogeographic maps of Brazil. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 59 (1/3): 117-168.
- PIRES, F. R. M., 1982: Formação Bauru: controvérsias. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 54 (2): 369-393.

- PRICE, L. I., 1950: Os crocodilídeos da fauna da Formação Bauru do Cretáceo terrestre do Brasil Meridional. Anais da Academia brasileira de Ciências, 22 (4): 473-490.
- RENNE, P. R., ERNESTO, M., PACCA, I. G., COE, R. S., GLEN, J. M., PRÉVOT, M. y PERRIN, M., 1992: The age of the Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. *Science*, 258: 975-979.
- RICCOMINI, C., 1995: Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondânicos da porção centro-oriental do estado de São Paulo e áreas vizinhas. Tese de Livre-Docência, Universidade de São Paulo (Instituto de Geociências). 100 p. (inédita).
- RICCOMINI, C., GIMENEZ FILHO, A., PIRES NETO, A. G., STEIN, D. P., ALMEIDA, F. F. M. de, DEHIRA, L. K., MELO, M. S. de, BRAGA, T. de O. y PONÇANO, W. L., 1981: Características da porção basal da Formação Caiauá no noroeste do Paraná. 3º Simpósio Regional de Geologia, Atas, v. 2: 34-46. Curitiba.
- SAD, J. H. G., CARDOSO, R. N. y COSTA, M. T., 1971: Formações cretácicas em Minas Gerais: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, 1 (1): 2-13.
- SCHNEIDER, R. L., MUHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R. A., DAEMON, R. F. y NOGUEIRA, A. A., 1974: Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. 28º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, v.1: 41-65. Porto Alegre.
- SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D. A., DERZE, G. R. y ASMUS, H. E., 1981: Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Escala 1:2.500.000. Rio de Janeiro, DNPM. 4 mapas pleg.
- SILVA, R. B., ETCHEBEHERE, M. L. de C., SAAD, A. R., ZAINÉ, R. G. y RAMOS, R. G. N., 1990: O alto estrutural de Vera Cruz-Garça, Estado de São Paulo. *Geociências*, (nº especial): 279-298.
- SLOSS, L. L., 1963: Sequences in the cratonic inferior of North America. *Geological Society of America Bulletin*, 74 (2): 93-114.
- SOARES, P. C. y LANDIM, P. M. B., 1976: Comparison between the tectonic evolution of the intracratonic and marginal basins in south Brazil. Anais da Academia brasileira de Ciências, 48 (supl.): 313-324.
- SOARES, P. C., LANDIM, P. M. B. y FÚLFARO, V. J., 1974: Avaliação preliminar da evolução geotectônica das bacias intracratônicas brasileiras. 28º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, v. 4: 61-83. Porto Alegre.
- SOARES, P. C., LANDIM, P. M. B., FÚLFARO, V. J. y SOBREIRO NETO, A. F., 1980: Ensaio de caracterização do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Revista Brasileira de Geociências*, 10 (3): 177-185.
- SOARES, P. C., LANDIM, P. M. B., FÚLFARO, V. J., AMARAL, G., SUGUIÓ, K., COIMBRA, A. M., SOBREIRO NETO, A. F., GIANCURSI, F., CORREA, W. A. G. y CASTRO, C. G. L., 1979: Geologia da região sudoeste do Estado de São Paulo. 2º Simpósio Regional de Geologia, Atas, v. 2: 307-319. Rio Claro.
- SOUZA JUNIOR, J. J. de., 1984: O Grupo Bauru na porção setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná. 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, v. 2: 944-957. Rio de Janeiro.
- STEIN, D. P., MELO, M. S. de, BISTRICHI, C. A., ALMEIDA, M. A. de, HASUI, Y., PONÇANO, W. y ALMEIDA, F. F. M. de, 1979: Geologia de parte dos vales dos rios Paraná e Paranapanema. 2º Simpósio Regional de Geologia, Atas, v. 2: 291-306. Rio Claro.
- SUÁREZ, J. M., 1975: Contribuição à geologia do extremo oeste do Estado de São Paulo. *Boletim Geográfico*, 34 (247): 128-160.
- SUÁREZ, J. M., 1976: Contribuição à geologia do extremo oeste do Estado de São Paulo - 2. *Boletim Geográfico*, 34 (248): 119-155.
- SUGUIÓ, K., 1973: Formação Bauru: calcários e sedimentos detriticos associados. Tese de Livre-Docência, Universidade de São Paulo (Instituto de Geociências). 2 v. (inédita).
- SUGUIÓ, K., 1981: Fatores paleoambientes e paleoclimáticos e subdivisão estratigráfica do Grupo Bauru. Mesa redonda: A Formação Bauru no Estado de São Paulo e regiões adjacentes, Coletânea de trabalhos e debates: 15-26. São Paulo.
- SUGUIÓ, K., y BARCELOS, J. H., 1983: Calcrites of the Bauru Group (Cretaceous), Brazil: petrology and geological significance. *Boletim IG*. Instituto de Geociências, USP, 14: 31-47.
- SUGUIÓ, K., FÚLFARO, V. J., AMARAL, G. y GUIDORZI, L. A. 1977. Comportamentos estratigráficos e estrutural da Formação Bauru nas regiões administrativas 7 (Bauru), 8 (São José do Rio Preto) e 9 (Araçatuba) no Estado de São Paulo. 1º Simpósio de Geologia Regional, Atas, p. 231-247. São Paulo.
- THEMAG ENGENHARIA, 1982: Geologia da região limitada pelos paralelos 22º e 23º S e meridianos 51º e 52º W, RT227/82; bloco SF-22-O (ACS-43). (Inédito).
- WASHBURNE, C. W., 1930: Petroleum geology of the state of São Paulo. Brasil. *Boletim da Comissão Geográfica e Geológica*, 22: 1-282
- ZALÁN, P. V., 1989: A evolução estratigráfica da Bacia do Paraná. 1º Simpósio de Geologia Regional do Sudeste, Boletim de Resumos: 206-207. Rio de Janeiro.
- ZALÁN, P. V., WOLFF, S., CONCEIÇÃO, J. C. J., MARQUES, A., ASTOLFI, M. A. M., VIEIRA, I. S. y APPI, V. T., 1990: Bacia do Paraná. In: Raja Gabaglia, G.P. y Milani, E.J. (coords.). 1990. Origem e Evolução de bacias sedimentares. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. p. 135-168.
- ZALÁN, P. V., CONCEIÇÃO, J. C. J., WOLFF, S., ASTOLFI, M. A. M., VIEIRA, I. S., APPI, V. T., NETO, E. V. S., CERQUEIRA, J. R.; ZANOTTO, O. A. y PAUMER, M. L., 1986: Análise regional integrada da Bacia do Paraná. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. (inédito).