

## La antigüedad del paisaje australiano: pruebas e implicaciones

### The antiquity of the australian landscape: evidence and implications

TWIDALE, C. R.

Department of Geology and Geophysics, University of Adelaide, Adelaide, South Australia, 5000

#### INTRODUCCION

La opinión más generalizada ha sido durante mucho tiempo que los paisajes de la Tierra son, con la excepción de las formas exhumadas, esencialmente jóvenes. La impresión del lego en la materia de que las rocas expuestas en la superficie de la Tierra son atacadas constantemente por el viento, la lluvia y las olas encuentra su confirmación en los modelos de evolución del paisaje más generalmente aceptados. Tanto el concepto de estado de equilibrio (steady state) que implica un equilibrio dinámico (HACK, 1960), como la peneplanización cíclica Davisiana (DAVIS, 1899, 1909) implican una erosión virtualmente constante y una nivelación (regrading) de las vertientes, de manera que la superficie terrestre puede ser considerada como intrínsecamente contemporánea. El modelo de retroceso del escarpe propugnado por KING y otros (p. e. KING, 1953, 1962) admite que la superficie «original» persiste hasta el final del ciclo. El nivelamiento de una región del tamaño de los Estados Unidos continentales ó de

#### INTRODUCTION

The conventional wisdom has long been that the earth's landscapes are, with the exception of exhumed forms, essentially youthful. The layman's impression of the constant attack by wind, rain and waves on rocks exposed at the earth's surface finds confirmation in the more widely accepted models of landscape evolution. For both the steady concept involving dynamic equilibrium (HACK, 1960) and cyclic Davisian peneplanation (DAVIS, 1899, 1909) imply virtually constant erosion and regrading of slopes, so that the land surface can be regarded as intrinsically contemporary. The scarp retreat model propounded by King and others (e. g. KING, 1953, 1962) allows the 'original' surface to persist until late in the cycle. The baselevelling of a region the size of the continental United States or Australia for example, is, allowing for isostatic recovery, estimated to take 30-35 My. (e. g. GILLULY, 1955; SCHUMM, 1963). Obviously smaller regions would be reduced in less time (e. g. LINTON, 1957), but in the-

Australia, por ejemplo, debido a la recuperación isostática, se ha estimado que tardó entre 30-35 millones de años (ver. GILLULY, 1955; SCHUMM, 1963). Obviamente, regiones más pequeñas serían reducidas en menos tiempo (ver LINTON, 1957), pero en estos términos, ningunas de las formas superficiales (landforms) y paisajes de Norte América, Australia, Africa, Sudamérica, y aún la Península India deben ser más antiguos que el Oligoceno, y muchos deben ser mucho más jóvenes. De aquí el aserto de que «Poco de la superficie de la Tierra es más antiguo que el Terciario y mucho de esto no es más antiguo que el Pleistoceno...», (THORNBURY, 1954, p. 26); y ésto, aún basado en estimaciones más conservadoras, «la alteración ha asegurado que cualquiera de las superficies terrestres de edad Cretática y más antiguas, sea extremadamente inverosímil que forme parte de la superficie actual...» (BROWN, 1980, p. 12). Tales afirmaciones y conclusiones, sin embargo, no coinciden con las realidades del paisaje. KING (ver, 1942, 1950, 1962) hace tiempo había sugerido que las superficies culminantes de bajo relieve preservadas grandemente en el Drakensberg son de edad Mesozoica, y aunque estas llanuras altas no son tan extensas como entonces se creía, con varias veintenas de metros de chimeneas de kimberlita y las rocas encajantes adyacentes erosionadas (PARTRIDGE y MAUD, 1987), restos de esta superficie de aplanamiento persisten, elevados, en la región de la tierra alta. Ambos, MICHEL (1978) y DEMANGEOT (1978) han presentado pruebas convincentes de la edad Mesozoica final para superficies lateritizadas en Africa Occidental e India meridional respectivamente. La llanura alta de la Sierra Nevada de California es manifiestamente de cierta antigüedad, y presumiblemente de edad Cretática (CURTIS y otros, 1958), y así podríamos seguir. En Australia han sido datadas varias superficies. La antigüedad de elementos sustanciales del paisaje actual ha sido demostrada ampliamente. Vamos a

se terms none of the landforms and landscapes of North America, Australia, Africa, South America, even Peninsular India, ought to be older than Oligocene, and most ought to be much younger. Hence the assertion that «Little of the earth's surface is older than Tertiary and most of it is no older than Pleistocene...» (THORNBURY, 1954, p. 26); and that even on a conservative estimate «chemical weathering will have ensured that any land surfaces of Cretaceous age and older are extremely unlikely to form part of the present surface...» (BROWN, 1980, p. 12).

Such statements and conclusions are, however, at odds with the realities of the landscape. King (e. g., 1942, 1950, 1962) long ago suggested that the summit surfaces of low relief preserved high in the Drakensberg are of Mesozoic age, and though these high plains are not as extensive as once believed, with several scores of metres of the intrusive kimberlite pipes and adjacent host rocks clearly eroded (PARTRIDGE and MAUD, 1987), remnants of such a planation surface persist high in the upland region. Both MICHEL (1978) and DEMANGEOT (1978) have presented convincing evidence of the later Mesozoic age of lateritised land surfaces in West Africa and southern India respectively. The high plain of the Sierra Nevada of California is manifestly of some antiquity and presumptively of Cretaceous age (CURTIS *et al.*, 1958), and so on. In Australia many land surfaces have been dated. The antiquity of substantial elements of the present landscapes has been amply demonstrated. Examples of such palaeosurfaces and the methods used to determine their ages are discussed here.

#### TYPES OF PLANATION SURFACE

Erosional surfaces of three types have been recognised (TWIDALE, 1985). First there are those that were shaped by subaerial or *epigene* processes, most commonly

discutir aquí ejemplos de tales paleosuperficies y de los métodos utilizados para determinar las edades de las mismas.

## TIPOS DE SUPERFICIES DE APLANAMIENTO

Se distinguen tres tipos de superficies erosionales, (TWIDALE, 1985).

Primero, están las que fueron modeladas por procesos subaéreos ó *epigénicos*, más comunmente por alteración y acción fluvial y que han permanecido expuestas a los elementos desde su concepción y formación. Segundo la meteorización por debajo de superficies estables de bajo relieve produce una regolita, cuya base es el frente de alteración (MABBUTT, 1961 a), y cuya denudación expone ese frente como una superficie de corrosión química (grabada) (WAYLAND, 1934; ECKERT, 1902; FALCONER, 1911; JUTSON, 1914; TWIDALE, 1987). Tercero, las superficies epigénicas y de corrosión química (grabadas) pueden ser enterradas y más tarde expuestas como superficies *exhumadas* ó resucitadas. En realidad, y debido a la facilidad con que la regolita es erosionada (ver TWIDALE, 1986), muchas superficies exhumadas son también del tipo de corrosión química (grabadas) (1), pues el regolito se conserva generalmente sólo por fosilización (enterramiento) por depósitos eólicos ó volcánicos: más generalmente es (el regolito) erosionado ó intensamente retrabajado por acción fluvial ó marina.

La persistencia de formas exhumadas no plantea problemas, puesto que estas han sido preservadas bajo una cubierta de materiales más modernos y después expuestas (en superficie) probablemente en tiempos muy recientes. De una manera similar, la conservación (preservación) de muchas su-

by weathering and fluvial action, and that have remained exposed to the elements since their inception and formation. Second, weathering beneath stable surfaces of low relief produces a regolith, the base of which is the weathering front (MABBUTT, 1961a) and the stripping of which exposes that front as an *etch* surface (WAYLAND, 1934; WILLIS, 1936; but see also HASSENFRATZ, 1791; LOGAN, 1849, 1851; ECKERT, 1902; FALCONER, 1911; JUTSON, 1914; TWIDALE, 1987). Third, epigene and etch surfaces may be buried and later exposed as *exhumed* or resurrected surfaces. In reality, and because of the ease with the regolith is eroded (see TWIDALE, 1986), many exhumed surfaces are also of etch type, for the regolith is usually preserved only by aeolian or volcanic burial: more commonly it is stripped or extensively reworked by marine or fluvial action.

The persistence of exhumed forms poses no problems for they have been preserved beneath a cover of later materials and then exposed, probably in quite recent times. Similarly the survival of many etch surfaces is not difficult to understand, for though they may have been prepared by subsurface weathering long ago, the weathering front may have been exposed by erosion only recently. On the other hand some etch surfaces are demonstrably of an uncomfortably great age and it is these, together with those epigene surfaces of great antiquity, that require explanation. They cannot be dismissed as freaks of nature for they are too numerous, extensive and widely distributed to be dismissed in that way.

In this essay only old etch and epigene forms are considered. For some account of exhumed forms the reader is directed to review articles such as Twidale (1976, 1985).

## DATING METHODS

Various methods have been utilised to date land surfaces and they are discussed in

(1) Se supone que se refiere el autor a que, sea cual sea el proceso que provoca el descubrimiento de una superficie, en la mayoría de los casos se trata de una superficie de corrosión química. (n. d. t.)

perfiles grabadas no es difícil de entender, puesto que aunque hayan sido preparadas por meteorización subsuperficial hace mucho tiempo, el frente de alteración puede haber sido expuesto por erosión, sólo muy recientemente.

Son, sin embargo, otros los casos en que se precisa mayores explicaciones, como los de superficies de corrosión química (grabadas) y superficies epigénicas a las que se atribuye una gran antigüedad que resulta incómodo asumir. Estos casos no pueden ser soslayados como excepciones (ó caprichos) de la naturaleza, ya que son demasiado numerosos, extensos y de amplia distribución como para olvidarse de ellos en cierto modo.

En este ensayo sólo van a ser consideradas las formas de corrosión química (grabado) antiguas y las formas epigénicas. El lector interesado en el cómputo de formas exhumadas puede consultar trabajos de síntesis, como los de TWIDALE (1976, 1985).

## MÉTODOS DE DATACIÓN

Se han utilizado distintos métodos para datar superficies, que se van a discutir con una relación de casos específicos de paleosuperficies. En Australia, sin embargo, son utilizables dos marcadores (elementos de referencia) morfoestratigráficos, cada uno de ellos con una distribución amplia aunque ésta sea complementaria más que coincidente (en el espacio). Primero, aunque existen lateritas y encostramientos silíceos muy antiguos, (ver TWIDALE, 1983; WOPFNER, 1978), tales superficies encostradas de, esencialmente, edad Terciario inferior-medio, están bien y ampliamente conservadas en Australia Central y Oeste (Fig. 1 - ver TWIDALE, 1983). Así, las formas que se sitúan por encima de estas superficies encostradas son de una edad media similar (Fot. 1), y las superficies de aplanamiento que se conservan por encima de tales restos deben de ser más antiguas que el Terciario inferior-medio. Las superficies encajadas

the accounts of specific paleosurfaces. In Australia, however, two morphostratigraphic markers, each widely distributed but with complimentary rather than coincident distributions, are available. First, though older laterites and silcretes occur (see TWIDALE, 1983; WOPFNER, 1978) such duricrusted surfaces of and essentially early-mid Tertiary age-range are well and widely preserved in western and central Australia (Fig. 1 - see TWIDALE, 1983). Thus, forms standing above such duricrusted surfaces are of similar age-range (Pl-1), and planate surfaces preserved on such remnants must be older than early-mid Tertiary. Surfaces cut below the duricrusted plains and valleys must perforce be younger (Pl-1). Some duricrusts occur in eastern Australian (just as useful volcanic extrusions are found in South Australia - see below) but in the Eastern Uplands it is the radiometrically dated lava flows (see WELLMAN and McDOUGALL, 1974; STEPHESON *et al.*, 1980; YOUNG and McDOUGALL, 1982, 1985) that permit relative datings to be made. Many of the lava flows ran down pre-existing valleys incised into high plains surfaces (Fig. 2). Thus the lava gives a minimum age for both the valley and the planation surface. These fortunate and fortuitous, almost mutually exclusive, occurrences of duricrusts and volcanics, taken together with more local stratigraphic considerations, allows much of the Australian land surface to be dated within reasonable limits.

## EXAMPLES OF ANCIENT LANDSCAPES

In the *Gulfs region of South Australia* (Fig. 3) remnants of high plains are preserved high in the landscape. They are capped and preserved by the ferruginous zone of a laterite, which presumably developed when the surface of low relief with which it is associated was closed to baselevel. Thus the laterite and the surface are of the same age-range.

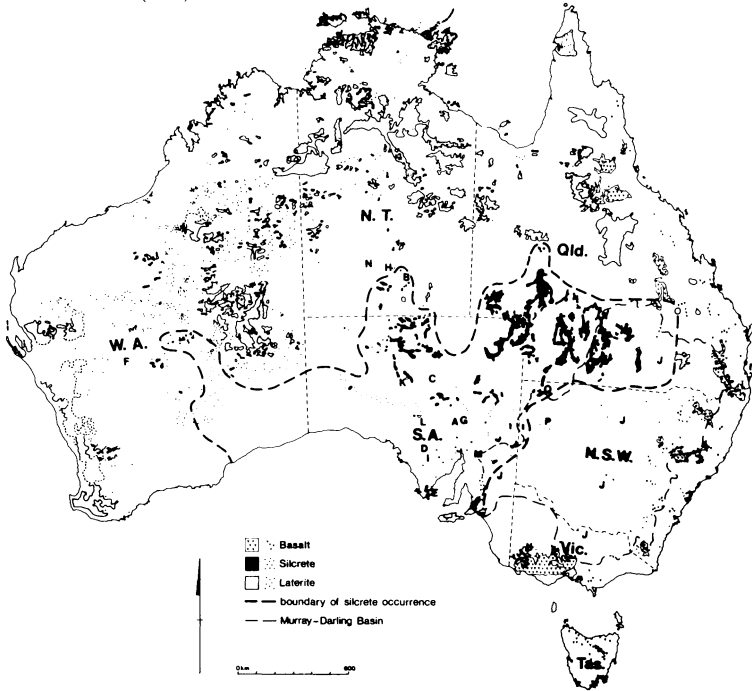


Fig. 1. Distribución de lateritas y costras síliceas en Australia.

Distribution of laterites and silcrete in Australia.

por debajo de las llanuras y valles encostrados deben ser, por fuerza, más modernas (Fot. 1).

En Australia Este, aparecen algunos encostramientos (así como se encuentran en el Sur de Australia, ver más adelante, útiles materiales volcánicos-extrusivos), sin embargo en las Tierras Altas del Este son las dataciones radiométricas en coladas lávicas (ver WELLMAN y McDOUGALL, 1974; STEPHENSON y otros, 1980; YOUNG y McDOUGALL, 1982, 1985), las que nos permiten establecer una datación relativa (de las formas).

Muchas de las coladas de lavas se encauzan siguiendo valles pre-existentes incididos en las superficies de aplanamiento superiores (Fig. 2). Así, la lava da una edad mínima para ambos, valle y superficie de aplanamiento. La existencia de encostramientos y rocas volcánicas, afortunada y fortuita, casi mutuamente exclusiva, junto con otras consideraciones estratigráficas de carácter más

The laterite is widely preserved in the Mt Lofty Ranges, the Lincoln Uplands and, and especially, on Kangaroo Island. The laterite consists of a pisolitic ferruginous zone, with a sandy or silty A-horizon widely preserved. The ferruginous zone is underlain by mottled and pallid materials some scores of metres thick. In places a siliceous horizon occurs within the bleached zone. The lateritised surface was disrupted by faulting in the latest Cretaceous or earliest Tertiary time. A marine sequence of Eocene-Pliocene age, and including blocks of laterite within the basal beds, was deposited in the downfaulted basin now occupied by St Vincent Gulf (GLAESSNER and WADE, 1958; CAMPANA, 1958). Thus it can be inferred that the laterite predates the Eocene, though, and rather surprisingly, it was for many years regarded as of later Tertiary age.

Comparisons were made with the laterites of northern Australia (see TWIDALE,

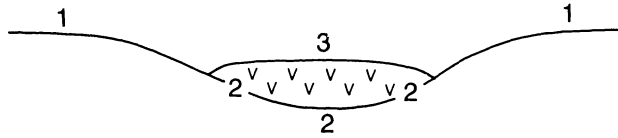


Fig. 2. Sección esquemática de valle, con colada basáltica, e incisión en la superficie superior indicando el orden en el desarrollo de las formas (1 - la más antigua, 3 - la más moderna).

Diagrammatic cross section of valley, with basalt flow, and incised into a high plain showing the order of development of forms (1 - oldest, 3 - youngest).

local, permite que la mayor parte de la superficie de Australia pueda ser datada, dentro de límites razonables.

#### EJEMPLOS DE ANTIGUOS PAISAJES

En la región de los Golfos, en el sur de Australia (Fig. 3) se han conservado restos de la superficie de aplanamiento superior, dominantes en el paisaje. Están coronados y preservados por un horizonte ferruginoso de una laterita, la que se desarrolló, presumiblemente cuando la superficie de relieve bajo, con la que ésta se asocia, estaba próxima al nivel de base. Así, la laterita y la superficie (inferior) tienen la misma edad media.

La laterita se encuentra ampliamente conservada en la alineación del Monte Lofty, las Tierras Altas de Lincoln y especialmente, en la Isla Kangaroo. La laterita se compone de una zona pisolítico ferruginosa, con un horizonte A, arenoso ó limoso ampliamente conservado. La zona ferruginosa está recubierta por materiales moteados y pálidos con alguna decena de metros de espesor. En algunos puntos aparece un horizonte silíceo dentro de la zona de lavado. La superficie lateritizada fue rota por fallado durante el Cretácico final ó el inicio del Terciario.

En la cuenca de hundimiento por fallas, ahora ocupada por el Golfo de San Vicente, se depositó una secuencia marina de edad

1983) and as the laterite of Kangaroo Island manifestly is older than the basaltic extrusions that occur near Kingscote and Penneshaw, and the latter, which appear fresh and youthful, were compared to the Holocene and late Quaternary volcanism of the South Easts district of South Australia (see SPRIGG, 1952; SPRIGG *et al.*, 1954), a Cainozoic age seemed justified (e. g. NORTHCOTE, 1946).

On Kangaroo Island the laterite is developed on rocks of Proterozoic, Cambrian and Permian age, and therefore post-dates the Permian. West of Kingscote the laterite was truncated before the extrusion of the basalt, which there rests on mottled and pallid zone materials. Near Penneshaw however the basalt rests on the ferruginous zone (TILLEY, 1921). The basalt has been radiometrically dated not as later Cainozoic, but of Middle Jurassic age (WELLMAN, 1971). Thus the laterite, which must be older than the basalt, is younger than Permian but older than Middle Jurassic. Stratigraphic evidence points to the Triassic being warm and humid and thus conducive to laterite formation and it and the surface on which it is developed and preserved has been assigned to that period (DAILY *et al.*, 1974). The laterite has not been preserved by burial and then re-exposed for the mineralogical and granulometric characteristics of the sandy A-horizon show that it is *in situ* and uncontaminated.

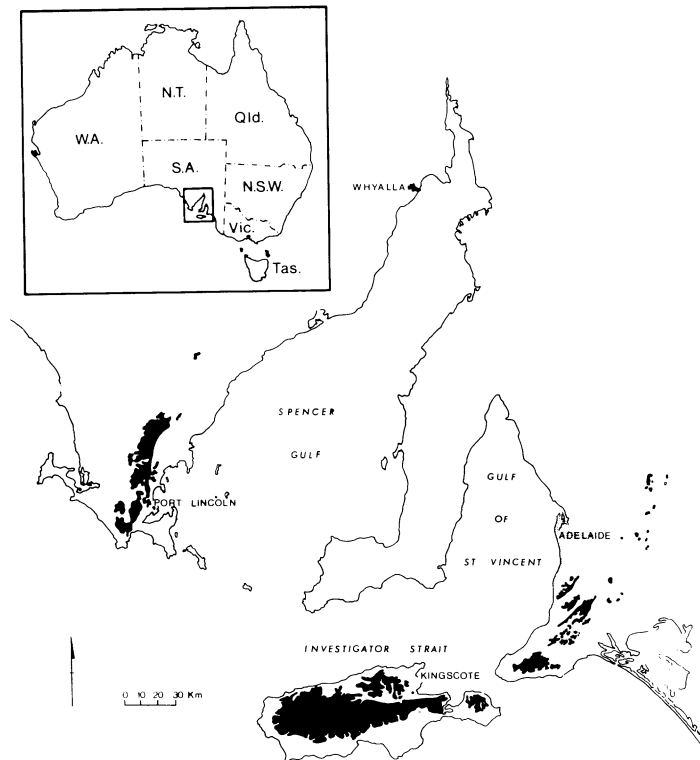


Fig. 3. La region de los Golfos en el sur de Australia con los afloramientos de laterita (en negro).

The Gulfs region of South Australia showing laterite occurrences (black).

Eocena-Pliocena, en la que se incluyen bloques de laterita en los niveles basales (GLASSNER y WADE, 1958; CAMPANA, 1958). Así puede deducirse que la laterita es anterior al Eoceno aunque, esto puede ser sorprendente, había sido considerada durante muchos años como de edad terciaria final.

Se han hecho comparaciones con las lateritas del Norte de Australia (ver TWIDALE, 1983), y como la laterita de la Isla Kangaroo es manifiestamente más antigua que las extrusiones basálticas que aparecen cerca de Kingscote y Penneshaw, y esta última, que aparece fresca y de aspecto reciente, se hace equivaler al volcanismo holoceno ó cuaternario final del distrito Sud-Este del Sur de Australia (ver SPRIGG, 1952;

The history of the surface is more complex than has earlier been realised (see e. g. MILNES *et al.*, 1985). Though the survival of the lateritic regolith still requires explanation, however, its essentially Mesozoic age is corroborated not only by the local but by the regional evidence and cannot be gainsaid (e. g. CAMPANA, 1958). An extensive high plain due to the stripping of the laterite and thus of etch character is developed in the southern and eastern Mt Lofty Ranges (TWIDALE and BOURNE, 1975).

Further to the north but in the same orogenic zone, the Flinders Ranges is a fold mountain belt of Appalachian type; that is, though dominated by ridge and valley assemblages, a prominent summit surface oc-

SPRIGG y otros, 1954) parece justificado atribuirle una edad cenozoica (e. g. NORTH-COTE, 1946).

En la isla Kangaroo, la laterita se desarrolla sobre rocas de edad proterozoica, cámbrica y pérmica, lo que por lo tanto le asigna una edad posterior al Pérmico. Al oeste de Kingscote la laterita fue truncada antes de la extrusión del basalto, que yace allí sobre los materiales pálidos y moteados de la zona. Cerca de Penneshaw, sin embargo, el basalto yace sobre la zona ferruginosa (TILLEY, 1921). El basalto ha sido datado radiométricamente no como Cenozoico final sino de edad Jurásico medio (WELLMAN, 1971). Así, la laterita que debe ser más antigua que el basalto tiene una edad más moderna que el Pérmico pero más antigua que el Jurásico medio. Pruebas de tipo estratigráfico, apuntan que el Triásico fue cálido y húmedo, ocasionando de ese modo la formación de la laterita, y tanto esta, como la superficie sobre la que se desarrolla y conserva han sido asignadas a ese mismo período (de tiempo) (DAILY y otros, 1974). La laterita no se ha conservado por enterramiento (fosilización) y posterior re-exposición, dado que las características mineralógicas y granulométricas del horizonte A arenoso demuestran que este se halla «in situ» y no contaminado.

La historia de la superficie es (sin embargo) más complicada de lo que inicialmente se pensaba (ver, p. e., MILNES y otros, 1985). Aunque la supervivencia de la regolita laterítica aún precisa de una explicación, sin embargo, su, esencialmente, edad Mesozoica está corroborada no sólo por pruebas locales, sino por pruebas regionales y no puede ser denegada (CAMPANA, 1958). En el Sur y Este de la alineación del Monte Lofty (TWIDALE y BOURNE, 1975) se ha desarrollado una extensa altiplanicie debida a la denudación de la alterita, y por lo tanto de origen por corrosión química (grabado).

Más hacia el Norte, pero en la misma zona orogénica, la alineación Flinders es un

curs throughout the upland. Near the northern extremity of the Ranges, in the Mt Babbage-Mt. Painter region, the summit surface is of exhumed type and subCretaceous age (WOODARD, 1955; TWIDALE, 1981). To the south, where the planation surface is well preserved, particularly in the core of the regional anticline (Pl. 2) and on massive sandstone and quartzite ridges, it may be of fluvial origin and graded to the Early Cretaceous shoreline, for there is no evidence that the Aptian sea extended so far south. By the early Tertiary the surface has been deeply dissected and destroyed over wide areas, and what is substantially the present framework of ridge and valley established. This is demonstrated around the northern Willochra Basin, and intermontane basin developed on a faulted major anticline in the southern Flinders Ranges. Here lacustrine beds of later Eocene age tongue up adjacent valleys (see HARRIS, 1966; TWIDALE, 1966).

The old valley floors were apparently graded to the lake shore and remnants of these lowlands are preserved throughout the ranges. As lacustrine beds are preserved in the Kanyaka, Mt. Arden Creek and Boolcunda valleys, the lowlands, and by inference the bordering ridges, were already in existence by the late Eocene. The clear implication is that the ancestors of these southern Flinders Ranges creeks are at least of later Eocene age, giving them an antiquity to the River Torrens at Adelaide (TWIDALE, 1968, p. 389-390).

After exposure, many of the lacustrine deposits were silicified, and silcrete is indeed found also in many of the piedmont zones of sandstone or quartzite ranges throughout the Flinders. This provides corroboratory evidence of the great age of the ridge and valley topography of the uplands, for silcrete with a crystalline matrix is of early-middle Tertiary age (WOPFNER and TWIDALE, 1967; HUTTON *et al.*, 1978).

The geosynclinal sediments that are folded in the Mt. Lofty and Flinders ranges



cinturón montañoso plegado, de tipo apalachense; es decir, que aún dominada por asociaciones valle-cresta, se distingue una superficie culminante en todo la altiplanicie. Cerca de la extremidad norte de los Ranges, en la región de Monte Babbage-Monte Painter, la superficie culminante es de tipo exhumado y de edad subCretácica (WOODARD, 1955; TWIDALE, 1981). Hacia el Sur, donde la superficie de aplanamiento se halla bien conservada, particularmente en el núcleo del anticlinal regional (Fot. 2) y sobre areniscas masivas y crestas cuarcíticas, puede ser de origen fluvial y gradando hacia la línea de costa del Cretácico inicial, ya que no hay pruebas de que el mar Aptiense se extendiese más lejos, hacia el Sur. En el Terciario inicial, la superficie había sido disecada profundamente y destruida en amplias áreas, y fue entonces cuando quedó fijada la actual de valles y crestas. Esto se demuestra alrededor de la cuenca norteña de Willochra y de la cuenca intermontana desarrollada sobre un gran anticlinal fallado en las alineaciones meridionales de los Flinders. Aquí niveles lacustres de edad Eoceno final penetran en los valles adyacentes (ver HARRIS, 1966; TWIDALE, 1966). Los fondos del antiguo valle, enlazan gradualmente con la orilla del lago y restos de estas zonas bajas se han conservado en todo el sistema montañoso. Dado que los niveles lacustres se han conservado en los valles de Kanyaka, Mt. Arden Creek, y Boolcunda, las zonas bajas, y por deducción, las alineaciones (montañosas) bordeantes, ya existían durante el Eoceno final. La implicación más clara es la de que los antecesores de estos desfiladeros de los Flinders Ranges son al menos de edad tardí Eocena, dándoseles por tanto una antigüedad comparable a la del río Torrens en Adelaida (TWIDALE, 1968, p. 389-390). Después de su exposición (al aire) muchos de estos depósitos fueron salificados y realmente se encuentran costras silíceas en muchas de las zonas de piedemonte de las alineaciones de arenisca ó cuarcitas en todos

and Kangaroo Island, extend to the west where they lap on to the relatively stable Stuart Shelf, and the Westralian Shield. Here they remain essentially undisturbed and flat-lying though in the *Arcoona Plateau*, and its southern extension in the Tent Hill region, the Proterozoic sediments dip gently north. The prominent summit surface transects various quartzites and is clearly erosional. Its age can be closely determined by the use of two lines of evidence.

First, silcrete-capped remnants are preserved in valleys deeply incised below the surface (Pl. 3). The silcrete is crystalline and of early-midle Tertiary age. The prominent summit surface is therefore older than the Tertiary. Second, the Arcoona Plateau is terminated on its eastern side by a major fault, the Torrens Lineament. Lake Torrens occupies the downthrown side and beneath it is a wedge in Cainozoic sediments that rest unconformably on folded Proterozoic and Cambrian sediments that are westerly extensions of the sequences exposed in the Flinders Ranges. The basal member of the Cainozoic sequence is of Eocene (JOHNS, 1968) so that the faulting that disrupted the Arcoona Plateau surface took place in either Palaeocene or late Cretaceous times (TWIDALE *et al.*, 1970), and the paleosurface is at least as old as the faulting.

To the west of the Arcoona Plateau, the *Gawler Ranges* is a massif of Middle Proterozoic acid volcanics (dacite, rhyolite). Its prominent summit surface (see DICKSON, 1942; TWIDALE *et al.*, 1976) stands some 400-450 m above sealevel in the south but to the north it disappears into unconformity (Fig. 4) beneath basin sediments of Upper Jurassic and Lower Cretaceous age (WOPFNER, 1969). The Cretaceous beds contain large boulders of Gawler Ranges volcanics. The summit surface is virtually devoid of regolith and is of etch type. The boulders preserved in the Lower Cretaceous beds are interpreted as corestones released by the erosion of the finer matrix and transported northward by torrential rivers as the volca-

los Flinders. Esto proporciona una prueba para corroborar la gran antigüedad de la topografía en valles y crestas de las Tierras Altas, ya que los encostramientos silíceos con matriz cristalina son de edad Terciario medio-inicial (WOPFNER y TWIDALE, 1967; HUTTON y otros, 1978).

Los sedimentos del geosinclinal plegados en el Monte Lofty y en las alineaciones Flinders y en la isla Kangaroo, se extienden hacia el Oeste en donde reposan sobre la relativamente estable plataforma Stuart y el escudo Westralian. Allí están esencialmente sin perturbar y horizontales aunque en el Arcoona Plateau, y en su extensión meridional en la región de Tent Hill, los sedimentos Proterozoicos buzan suavemente al Norte. La superficie de cumbres culminante intersecta con distintas cuarcitas y es claramente erosional. Su edad puede determinarse con precisión utilizando dos secuencias de pruebas. La primera, es que se han conservado en valles profundamente incididos por debajo de la superficie (Fot. 3), restos protegidos por los encostramientos silíceos. Las costras silíceas son cristalinas y de edad terciaria inferior-medio. La superficie de cumbres dominantes es, por lo tanto, más antigua que el Terciario.

Segunda, el Plateau Arcoona, es interrumpido en su extremo Este por una gran falla, el lineamiento Torrens. El lago Torrens, ocupa el borde hundido y por debajo hay una cuña de sedimentos cenozoicos que reposan discordantemente sobre sedimentos plegados cámbricos y proterozoicos que son las prolongaciones occidentales de las secuencias (sedimentarias) expuestas en las Alineaciones Flinders. El miembro basal de la secuencia cenozoica es de edad Eocena (JOHNS, 1968) de manera que la actuación de la falla que ha roto la superficie de Arcoona Plateau tuvo lugar en tiempos paleocenos ó tardi cretácicos (TWIDALE y otros, 1970), y la paleosuperficie es al menos tan antigua como la edad de actuación de la falla.

Hacia el Oeste del Plateau Arcoona, la alineación Gawler es un macizo de rocas

nic massif was tilted northward as a result of faulting at the southern margin of the present uplands. The summit surface was stripped of its regolith veneer during the early Cretaceous, implying that the planation of the surface and the weathering beneath took place in Jurassic or earlier times (CAMPBELL, 1989). General corroboration is provided by the silcreted valley floors that occur within, and especially at the margins of the upland.

#### AYERS ROCK AND THE OLGAS COMPLEX

Are, perhaps the best-known of all the Australian upland features. They are eroded in folded Cambrian sediments, Ayers Rocks in an arkosic sandstone, the Olgas in a massive conglomerate. They are separated by a flat plain veneered by Pleistocene fluvial and aeolian deposits, but beneath the plain is a broad shallow valley cut in the folded Paleozoic strata (Fig. 5). More than 100 metres of sediment fill the valley and the basal member which a minimum age for the depression and the adjacent uplands—the ancestral Ayers Rock and the Olgas—of a lignite that is of Middle Paleocene age, it was deposited in warm humid conditions (TWIDALE and HARRIS, 1977). The spores and pollen preserved in the lignite are however now considered to be of late Cretaceous, rather than earliest Tertiary, age, and the hills ancestral to the inselbergs must also be older than was at first thought. The marginal subsurface weathering and steeping that give the residuals their dramatic appearance is a Cainozoic development (TWIDALE, 1978) but there uplands ancestral to them already present in earliest Tertiary times, and the prominent rocky summit high plain of Ayers Rock can be construed as the etch equivalent of the original upland.

The fold uplands of central Australia include the *MacDonnell, James and Krichauff ranges*. The *Harts Range* is an associated massif of gneiss and quartzite. The sedimen-

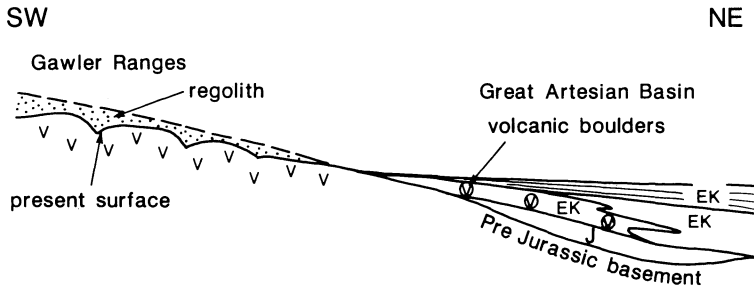


Fig. 4. Corte a través de la Cadena montañosa Gawler, mostrando la relación entre la superficie de cumbres y los sedimentos de cuenca (adaptada de Wopfner, 1969).

Section through the Gawler Ranges showing relationship of summit surface and basin sediments (adapted after Wopfner, 1969).

volcánicas ácidas (dacitas, riolitas) del Proterozoico medio. Su Superficie de cumbres dominantes (ver DICKINSON, 1942; TWIDALE y otros, 1976) se sitúa unos 400-500 m por encima del nivel del mar en el Sur, pero hacia el Norte desaparece por discordancia (Fig. 4) por debajo de los sedimentos de cuenca de edad Jurásico superior y Cretácico inferior (WOPFNER, 1969). Los niveles cretácicos contienen grandes cantos de rocas volcánicas de las alineaciones Gawler. La Superficie de cumbres carece virtualmente de regolita y es del tipo de corrosión química (grabada). Los cantos conservados en los niveles del Cretácico inferior se interpretan como núcleos residuales liberados por la erosión de la matriz más fina (que los rodeaba) y transportados hacia el Norte por cursos torrenciales a medida que el macizo volcánico basculaba hacia el norte como resultado de la acción de la falla en el borde meridional de las actuales Tierras altas. La superficie de cumbres fue denudada de su cubierta de regolita durante el Cretácico inicial, lo que implica que el aplanamiento de esta (superficie) y la alteración por debajo (de ella) tuvo lugar en tiempos jurásicos ó anteriores (CAMPBELL, 1989). La comprobación general viene dada por los fondos de valle con encostramientos silíceos que aparecen allí y especialmente en los bordes de las Tierras altas.

tary uplands all display more-or-less prominent summit surfaces. In addition many lower planate surfaces stand above the broad valleys and plains and are obviously etch surfaces due to the stripping of the silcrete duricrust. In the western MacDonnell Ranges, in the Glen Helen area for example, silcrete capped mesas are preserved in some of the strike valleys (Pl. 1). They clearly correlate with bevels cut across the steeply dipping quartzite ridges, suggesting that the latter, and possibly the bevelled crests of low uplands like the James and Krichauff ranges, are of early-middle Tertiary age. In the central and eastern MacDonnells, however, uplands that themselves carry remnants of high plains stand well above the level of the silcreted surfaces and are therefore older; they may be related to the Cretaceous seas. In the Harts Range a laterite, presumably of an age range similar to the silcrete (TWIDALE, 1983), and demonstrably greater than late Miocene in age (WOODBURNE, 1967), is developed in Archaean rocks and is preserved in a topographic basin. The surrounding hills are at least as old and any remnants of high plains are much older.

The *Hamersley Ranges* of the northwest of Western Australia, developed on Proterozoic Banded Iron Formations, are characterised by a rolling summit surface (Pl. 4a). It is largely eroded in bedrock, and is thus

## AYERS ROCK Y EL COMPLEJO DE OLGAS

Se trata quizás de las mejor conocidas de todas las características de las Tierras altas. Han sido erosionadas en sedimentos cámbricos plegados, Ayers Rocks en una arenisca arkósica y los Olgas en un conglomerado masivo. Se hallan separadas por una llanura plana recubierta de depósitos pleistocenos fluviales y eólicos, pero por debajo de la llanura existe un amplio y somero valle excavado en los estratos paleozoicos plegados (Fig. 5). Más de 100 m de sedimentos llenan el valle, y el miembro basal, que da una edad mínima para la depresión y las zonas elevadas adyacentes, antecesoras de Ayers Rocks y los Olgas, y que es un lignito de edad Paleoceno medio, fue depositado en condiciones húmedas cálidas (TWIDALE y HARRIS, 1977). Las esporas y el polen conservado en el lignito, han sido considerados, no obstante como tardí cretácicos, mas que como del Terciario inicial, y las colinas antecesoras de los inselbergs deben ser también más antiguas de lo que se pensaba inicialmente. La alteración marginal subsuperficial y la verticalidad que da a los residuales su aspecto dramático se desarrollan durante el Cenozoico (TWIDALE, 1978), pero entonces ya existían superficies elevadas anteriores a ellas ya presentes en el Terciario inicial, y la superficie elevada de la culminación rocosa proeminente de Ayers Rocks puede considerarse como la superficie de corrosión química (grabado) equivalente a la superficie elevada original. Las Tierras altas plegadas de la Australia Central, incluyen las alineaciones (montañas) de McDonnell, James y Krichauff. La alineación Harts es un macizo asociado de gneis y cuarcitas. En todas las Tierras altas sedimentarias se distinguen superficies de cumbres más ó menos prominentes. A ellas se añaden, por encima de los amplios valles y llanuras muchos aplanamientos más bajos que son, obviamente, superficies de corrosión química (grabado) debidas a la denudación del

mainly of etch type, but there are enough scattered shallow pockets of pisolitic ironstone to suggest that such materials formerly covered much if not all of the surface. The basins and valleys that are eroded below the level of the surface contain spectacular sinuous mesas capped by Robe River Pisolite (Pl. 4b). It is not suggested that the pisolite was directly transported from the upland regolith, but rather that the latter was the source of the iron that was precipitated as the Robe River Pisolite in the then valley floors. The former divides have been eroded to leave the valley fills as local high points in the relief. In places the pisolite is underlain by riverine silts containing plant fossils of Eocene age. Thus it can be suggested that the stripping of the upland regolith took place in the Eocene, implying that the planation and weathering of the upland surface occurred in Cretaceous or Paleocene times; and stratigraphic considerations point to the former (TWIDALE *et al.*, 1985).

The *Yilgarn Block* occupies a huge area of the southwest of the Westralian Shield. JUTSON (1914) long ago recognised the existence of the Old and the New Plateaux. The former is capped by a laterite that is more complex in age and origin than has been supposed (OLLIER *et al.*, 1988), but that is in part and according to FAIRBRIDGE and FINKL (1978) of late Cretaceous-Eocene age inclusive. The latter is an etch plain due to the widespread stripping of the lateritic regolith (JUTSON, 1914; MABBUT, 1961b; FINKL and CHURCHWARD, 1973). That the stripping of the lateritic regolith took place soon after stream incision is suggested by the Eocene drainage system formed on the New Plateau (VAN DE GRAAFF *et al.*, 1977). Inselbergs such as the Humps (Pl. 5) that stand above the lateritised Old Plateau are at least as old as the planate feature.

Turning to the *Eastern Uplands*, the exhumed sub-Cretaceous summit surface of the Isa Highlands (TWIDALE, 1956, ÖPIK *et al.*, 1961) can be traced in unconformity

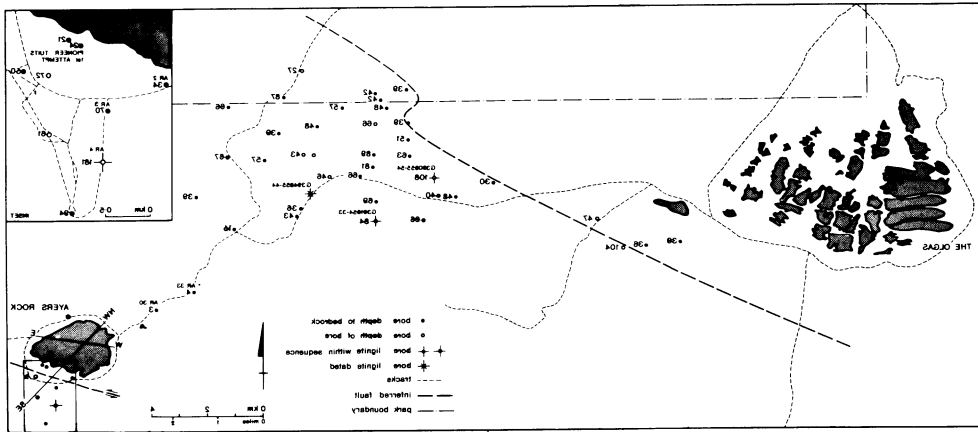


Fig. 5. Mapa de Ayers Rock y Los Olgas indicando la profundidad del substrato rocoso en su entorno.

Map of Ayers Rock and the Olgas showing depths to bedrock.

encontramiento silíceo. Al Oeste de la alineación McDonnell, en el área Glen Helen, por ejemplo, mesas culminadas por costras silíceas se conservan en algunos de los valles obsecueres (Fot. 1). Claramente podemos correlacionar (las costras silíceas) con el biselado de las, fuertemente buzantes, crestas cuarcíticas, sugiriendo que las últimas, y posiblemente las crestas biseladas de las Tierras altas inferiores como las alineaciones James y Krichauff, son de edad terciario-inicial--medio. En las McDonnells Central y Este, sin embargo, las Tierras altas, que también conservan restos de altiplanicie, se sitúan muy por encima del nivel de las superficies con encostramientos silíceos y son por lo tanto más antiguas que ellas; pueden relacionarse con los mares cretácicos. En la alineación Harts, de laterita, de una edad media presumiblemente similar a la de la costra calcárea (TWIDALE, 1983) y que es, demostrable, mayor en edad que el Mioceno final (WOODBURNE, 1967), se ha desarrollado sobre rocas Arcaicas y se conserva en una cuenca topográfica. Las colinas que la rodean son, al menos tan antiguas como ella y cualquier resto de la altiplanicie es mucho más antiguo.

Las alineaciones Hamersley en el N. W. de la Australia Oeste que se han desarrolla-

beneath the Carpentaria Basin and into the Einasleigh Uplands where remnants of the Mesozoic sediments survive in low mesas standing on a planate surface cut in Proterozoic rocks. They thin to the east and disappear, so that the summit of the Newcastle Range for instance may be fluvial and graded to the Mesozoic shoreline. To the south, in N. S. W. and Victoria, the widespread occurrence of lava flows of early Tertiary ages has confirmed the earlier interpretations of CRAFT (1932, 1933) and HILLS (1934) to the effect that the summit surface(s) is essentially of Cretaceous age.

## DISCUSSION

The widespread occurrence of stratigraphic dated duricrusts and of radiometrically dated lava flows, together with the use of stratigraphy and tectonics, allows the dating of considerable areas of the Australian land surface. The datings are perforce general in some instances, but it is apparent that surfaces of early Tertiary and later Mesozoic age are widely preserved. Some remnants of epigene surfaces of earlier Mesozoic age are also extant. Together they constitute about ten percent of the land surface.

do sobre la Formación proterozoica de hierro bandeado, se caracterizan por una superficie culminante redondeada (Fot. 4a). Es una (superficie), principalmente, de erosión del substrato rocoso, y es así, principalmente del tipo corrosión química (grabado), pero hay bolsadas superficiales de hierro pisolítico bastante dispersas, como para sugerir que tales materiales recubrían inicialmente la mayor parte de, sino toda, la superficie. Las cuencas y valles que han sido erosionados por debajo del nivel de la superficie, contienen, espectaculares mesas de contorno sinuoso y recubiertas por el Rober River Pisolite (Fot. 4b). No se sugiere que el pisolito fuese transportado directamente desde el regolito de la Tierra alta, sino más bien que el último (regolito) fue la fuente del hierro que luego precipitó como el Robe River Pisolite en lo que entonces eran los fondos de los valles. La divisoria inicial fue erosionada para dejar los rellenos de valle como puntos locales culminantes en el relieve. En algunos lugares, el pisolito se apoya en limos fluviales que contienen plantas fósiles de edad Eocena. Así, puede sugerirse que la denudación de la regolita de la Tierra alta tuvo lugar durante el Eoceno, implicando ello que el aplanamiento y alteración de la superficie de la altiplanicie tuvo lugar durante los tiempos cretácicos ó paleocenos; y los datos estratigráficos apuntan más hacia lo primero (TWIDALE y otros, 1985).

El bloque Yilgarn ocupa una inmensa zona al sur oeste del Escudo Westralian. Jutson (1914) hace tiempo reconocía la existencia del Viejo y el Nuevo Plateau. *El primero* está recubierto por una laterita que es más compleja en edad y origen de lo que se había supuesto (OLLIER y otros, 1988) pero que es en parte, y según FAIRBRIDGE y FINKL (1978) de edad tardi-cretácica-eocena ambas inclusive. *El segundo* es una llanura de corrosión química (grabado) debida a la extensiva denudación del regolito laterítico (JUTSON, 1914; MABBUTT, 1961b; FINKL y CHURCHWARD, 1973). Que la denudación del regolito laterítico tuvo lugar

How can such ancient land surfaces have survived the onslaught of the elements? Various factors and mechanisms have been suggested (TWIDALE, 1976; YOUNG, 1983; TWIDALE and CAMPBELL, 1988). They include lithological toughness buttressing by resistant formations, exposure of deep zones of compression (see also TWIDALE, 1980, 1982), unequal erosion (CRICKMAY, 1976), reinforcement effects (TWIDALE *et al.*, 1974) comparative tectonic stability, and the compact shape and great extent of the continent. Bearing in mind the great age of the surfaces the protected location within the Gondwanaland supercontinent may also be a factor. But these alleviate rather than resolve the problem. On the other hand, as Kenneth Boulding has said, «If they exist they must be possible». Certain, however, it is, they pose difficult problems for the conventional models of landscape evolution.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS CITADAS

- BROWN, E. H., 1980. Historical geomorphology - principles and practice. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplement-Band* 36, 9-15.
- CAMPANA, B., 1958. The Mt Lofty-Olary region and Kangaroo Island, pp. 3-27 in *The Geology of South Australia* (ed. M. F. Glaessner & L. W. Parkin). *Melbourne University Press*, Melbourne.
- CAMPBELL, E. M., 1989. Structure and surface in the Gawler Ranges, South Australia. *Unpublished Ph. d. thesis*, University of Adelaide.
- CRAFT, F. A., 1932. The physiography of the Shoalhaven Valley. *Proceedings of the Linnaean Society of New South Wales* 57, 245-260.
- CRAFT, F. A., 1933. Surface history of the Monaro. *Proceedings of the Linnaean Society of New South Wales* 58, 229-244.
- CRICKMAY, C. H., 1976. The hypothesis of unequal activity, pp. 103-109 in *Theories of Landform Development* (ed. W. N. Melhorn & R. C. FLEMAL) SUNY, Binghamton.
- CURTIS, G. H., EVERNDEN, J. F. & LIPSON, J., 1958. Age determination of some granitic rocks in California by the potassium-argon method. *Calif. Division of Mines Special Report* 54.

pronto, después de la incisión fluvial es lo que sugiere el sistema de drenaje eoceno que se formó en el Nuevo Plateau (VAN DE GRAAFF y otros, 1977). Los inselbergs, como el de Humps (Fot. 5) que se sitúan por encima del Viejo Plateau lateritizado son, al menos, tan antiguos como la superficie de aplanamiento.

Volviéndonos hacia las Tierras altas orientales, la superficie culminante de exhumación sub-cretácea de las Tierras altas de Isa (TWIDALE, 1956; ÖPIK y otros, 1961) puede seguirse en disconformidad, a través de la cuenca Carpentaria y en las Tierras altas de Einasleigh, donde persisten restos de sedimentos mesozoicos en mesas bajas situadas sobre una superficie de aplanamiento cortada en rocas proterozoicas y paleozoicas. Esta superficie se adelgaza hacia el Este y desaparece, de forma que la cumbre de la alineación Newcastle, por ejemplo, puede ser fluvial y en transición hacia la línea de costa mesozoica. Hacia el sur, en N. S. W., y Victoria, la frecuente existencia de coladas de lava de edad terciaria inicial han confirmado las interpretaciones iniciales de CRAFT (1932, 1933), y HILLS (1934) en el sentido de que la superficie (s) de cumbre (s) es esencialmente de edad cretácica.

## DISCUSION

La frecuente existencia de encostramientos datados estratigráficamente, y de coladas de lava datadas radiométricamente, así como la utilización de la estratigrafía y la tectónica, nos permite datar considerables áreas de la superficie terrestre de Australia. Las dataciones son, forzosamente, generales en algunos casos, pero es apreciable que se han conservado ampliamente superficies del Terciario inicial y del Mesozoico final. Existen también algunos restos de superficies epigénicas de edad mesozoica inicial. Todas ellas constituyen aproximadamente el 10 por cien de la superficie terrestre (de Australia).

- DAILY, B., TWIDALE C. R. & MILNES, A. R., 1974. The age of the lateritized land surface on Kangaroo Island and adjacent areas of South Australia. *Journal of the Geological Society of Australia* 21, 387-392.
- DAVIS, W. M., 1899. The geographical cycle. *Geographical Journal* 14, 481-504.
- DAVIS, W. M., 1909. *Geographical Essays*. Dover, Boston.
- DEMANGEOT, J., 1978. Les reliefs cuirassés de l'Inde du Sud. *Travaux et Documents de Géographie Tropicale* 33, 97-111.
- DICKINSON, S. B., 1942. The Moonaree Station saline ground waters and the origin of the saline material. *Transactions of the Royal Society of South Australia* 66, 32-45.
- ECKERT, M., 1902. Das Gottesackerplateau, ein Karrenfeld im Allgäu. *Wissenschaftliche Ergänzungshefte Zur Zeitschrift des Deutschen und Oesterreich Alpen vereins* 33.
- FAIRBRIDGE, R. W. & FINKL, C. W., 1978. Geomorphic analysis of the rifted cratonic margins of Western Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie* 22, 369-389.
- FALCONER, J. D., 1911. *The Geology and Geography of Northern Nigeria*. MacMillan, London.
- FINKL, C. W. & CHURCHWARD, H. M., 1973. The etched land surface of southwestern Australia. *Journal of the Geological Society of Australia* 20, 295-307.
- GILLULY, J., 1955. Geologic contrasts between continents and ocean basins. *Geological Society of America Special Paper* 62, 7-18.
- GLAESSNER, M. F. & WADE, M. 1958. St. Vincent Basin, pp. 115-126 in *The Geology of South Australia* (ed. M. F. Glaessner & L. W. Parkin). Melbourne University Press, Melbourne.
- HACK, J. T., 1960. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. *American Journal of Science* 238A, 80-97.
- HARRIS, W. K., 1966. Stratigraphic palynology of Lower Tertiary sediments, southern Australia. *Unpublished M. Sc. thesis*, University of Adelaide.
- HASSENFRATZ, J.-H., 1791. Sur l'arrangement de plusieurs gros blocks de différents pierres que l'on observe dans les montagnes. *Annales de Chimie* 11, 95-107.
- HILLS, E. S., 1934. Some fundamental concepts in Victorian physiography. *Proceedings of the Royal Society of Victoria* 47, 158-174.
- HUTTON, J. T., TWIDALE, C. R. & MILNES, A. R., 1978. Characteristics and origin of some Australian silcretes, pp. 19-39 in *Silcrete in Australia*, (ed. T. Langford-Smith). University of New England Press, Armidale.
- JOHNS, R. K., 1968. Investigation of Lakes Torrens and Gairdner. *South Australian Department of Mines (Geological Survey. Report of Investigations*, 31.

¿Cómo han podido sobrevivir estas antiguas superficies al ataque de los elementos? Se han sugerido varios factores y mecanismos (TWIDALE, 1976; YOUNG, 1983; TWIDALE y CAMPBELL, 1988). Entre ellos se incluyen el apuntalamiento por tectonicidad litológica realizado por formaciones resistentes, la exposición de zonas profundas de compresión (ver también TWIDALE 1980, 1982), la erosión diferencial (CRICKMAY, 1976), efectos de reforzamiento (TWIDALE y otros, 1974), estabilidad tectónica comparativa y la forma compacta y gran extensión areal del continente. Teniendo en cuenta la elevada edad de las superficies, puede también ser un factor la situación protegida (de Australia) dentro del supercontinente de Gondwana. Pero esto alivia más que resuelve el problema. Por otra parte, como Kenneth Boulding ha dicho, «Si existe debe ser posible». Lo cierto, sin embargo, es que plantean difíciles problemas para los modelos convencionales de evolución del paisaje.

- JUTSON, J. T., 1914. An outline of the physiographical geology (geomorphology) of Western Australia. *Bulletin of the Geological Survey of Western Australia* 61.
- KING, L. C., 1942. *South African Scenery*. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- KING, L. C., 1950. A study of the world's plains. *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 106, 101-131.
- KING, L. C., 1953. Canons of landscape evolution. *Bulletin of the Geological Society of America* 64, 721-752.
- KING, L. C., 1962. *Morphology of the Earth*. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- LINTON, D. L., 1957. The everlasting hills. *Advancement of Science* 14, 58-67.
- LOGAN, J. R., 1849. The rocks of Palo Ubin. *Genootschap Kunsten Wetenschappen (Batavia)* 22, 3-43.
- LOGAN, J. R., 1851. Notices of the geology of the Straits of Singapore. *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 7, 310-344.
- MABBUTT, J. A., 1961a. 'Basal Surface' or 'weathering front'? *Proceedings of the Geologists' Association of London* 72, 357-358.
- MABBUTT, J. A., 1961b. A stripped land surface in Western Australia. *Transactions and Papers of the Institute of British Geographers* 29, 101-114.
- MICHEL, P., 1978. Cuirasses bauxitiques et ferrugineuses d'Afrique occidentale. Aperçu chronologique. *Travaux et Documents de Géographie Tropicale* 33, 11-32.
- MILNES, A. R., BURMAN R. P. & NORTHCOTE, K. H., 1985. Field relations of ferricretes and weathered zones in southern South Australia: a contribution to «laterite» studies in Australia. *Australian Journal of Soil Research* 23, 441-465.
- NORTHCOTE, K. H., 1946. A fossil soil from Kangaroo Island, South Australia. *Transactions of the Royal Society of South Australia* 70, 294-296.
- OLLIER, C. D., CHAN, R. A., CRAIG, M. A. & GIBSON, D. L., 1988. Aspects of landscape history and regolith in the Kalgoorlie region, Western Australia. (*Bureau of Mineral Resources, Journal of Geology and Geophysics*, 10, 309-321.
- ÖPIK, A. A., CARTER, E. K. & NOAKES, L. C., 1961. Mt Isa 4-mile geological series. *Explanatory Notes* 20 (*Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Canberra*).
- PATRIDGE, T. C. & MAUD, R. R., 1987. Geomorphic evolution of southern Africa since the Mesozoic. *South African Journal of Geology* 90, 179-208.
- SCHUM, S. A., 1963. Disparity between present rates of erosion and orogeny. *United States Geological Survey Professional Paper* 454.
- SPRIGG, R. C., 1952. The geology of the South East Province, South Australia, with special reference to Quaternary coastline migrations and modern beach developments. *Bulletin of the Geological Survey of South Australia* 29.



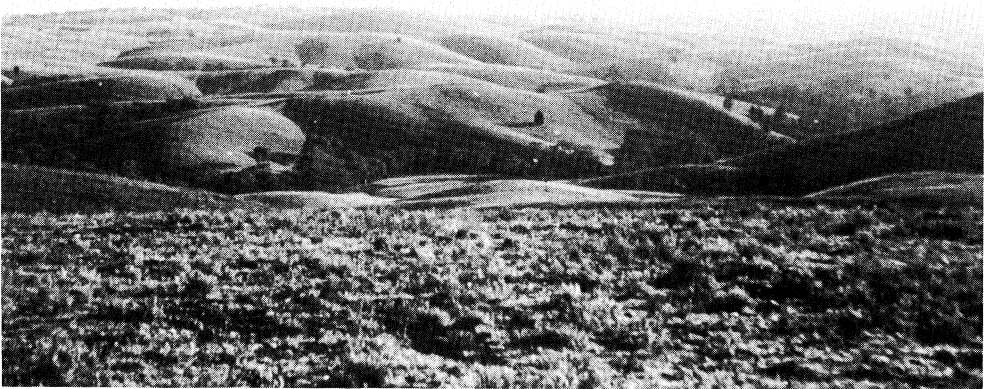
- SPRIGG, R. C., CAMPANA B. & KING, D., 1954. Geological Atlas of South Australia, sheet Kingstote. 1 inch/4 miles (1:253,440). *Geological Survey of South Australia*, Adelaide.
- STEPHENSON, P. J., GRIFFIN, T. J. & SUTHERLAND, F. L., 1980. Cainozoic volcanism in north-eastern Australia, pp. 349-374 in *The Geology and Geophysics of Northeastern Australia* (ed. R. A. Henderson and P. J. Stephenson). *Geological Society of Australia*, Townsville.
- THORNBURY, W. D., 1954. Principles of Geomorphology. *Wiley*, New York.
- TILLEY, C. E., 1921. A tholeiitic basalt from eastern Kangaroo Island. *Transactions of the Royal Society of South Australia* 45, 276-277.
- TWIDALE, C. R., 1956. Chronology of denudation in northwest Queensland. *Bulletin of the Geological Society of America* 67, 867-882.
- TWIDALE, C. R., 1966. Chronology of denudation in southern Flinders Ranges, South Australia. *Transactions of the Royal Society of South Australia* 90, 3-28.
- TWIDALE, C. R., 1968. Geomorphology, with special reference to Australia. *Nelson*, Melbourne.
- TWIDALE, C. R., 1976. On the survival of paleoforms. *American Journal of Science* 276, 77-94.
- TWIDALE, C. R., 1978. On the origin of Ayers Rock, central Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplement-Band* 32, 177-206.
- TWIDALE, C. R., 1980. Origin of bornhardts. *Journal of the Geological Society of Australia* 27, 195-208.
- TWIDALE, C. R., 1981. Landforms, pp. 13-41 in *Field Guide to the Flinders Ranges* (ed. D. W. P. Corbett). *Rigby*, Adelaide.
- TWIDALE, C. R., 1982. *Granite Landforms*. Elsevier, Amsterdam.
- TWIDALE, C. R., 1983. Australian laterite and silcretes: ages and significance. *Revue de Géologie Dynamique et Géographie Physique* 24, 35-45.
- TWIDALE, C. R., 1985. Old land surfaces and their implications for models of landscape evolution. *Revue de Géomorphologie Dynamique* 34, 131-147.
- TWIDALE, C. R., 1986. Granite landform evolution: factors and implications. *Geologische Rundschau* 75, 769-779.
- TWIDALE, C. R., 1987. Etch and intracutaneous landforms and their implications. *Australian Journal of Earth Science* 34, 367-386.
- TWIDALE, C. R. & BOURNE, J. A., 1975. Geomorphological evolution of part of the eastern Mt Lofty Ranges, South Australia. *Transactions of the Royal Society of South Australia* 99, 197-209.
- TWIDALE, C. R., BOURNE, J. A. & SMITH, D. M., 1974. Reinforcement and stabilisation mechanisms in landform development. *Revue de Géomorphologie Dynamique* 23, 115-125.
- TWIDALE, C. R., BOURNE, J. A. & SMITH, D. M., 1976. Age and origin of palaeosurfaces on Eyre Peninsula and in the southern Gawler Ranges, South Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie* 20, 28-55.
- TWIDALE, C. R. & CAMPBELL, E. M., 1988. Ancient Australia. *GeoJournal* 16, 339-354.
- TWIDALE, C. R. & HARRIS, W. K., 1977. The age of Ayers Rock and the Olgas, central Australia. *Transactions of the Royal Society of South Australia* 101, 45-50.
- TWIDALE, C. R., HORWITZ, R. C. & CAMPBELL, E. M., 1985. Hamersley landscapes of Western Australia. *Revue de Géologie Dynamique et Géographie Physique* 26, 173-186.
- TWIDALE, C. R., SHEPHERD, J. A. & THOMSON, R. M., 1970. Geomorphology of the southern part of the Arcoona Plateau and of the Tent Hill region west and north of Port Augusta, South Australia. *Transactions of the Royal Society of South Australia* 94, 55-67.
- VAN DE GRAAFF, W. J. E., CROWE, R. W. A., BUNTING, J. A. & JACKSON, M. J., 1977. Relict early Cainozoic drainages in arid Western Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie* 21, 379-400.
- WAYLAND, E. J., 1934. Peneplains and some erosional remnants. *Geological Survey of Uganda, Annual Report & Bulletin* 1, 77-79.
- WELLMAN, P. W., 1971. The age and palaeomagnetism of the Australian Cainozoic volcanic rocks. *Unpublished Ph. D. thesis*. Australian National University, Canberra.
- WELLMAN, P. W. & McDOUGALL, I., 1974. Potassium argon ages on the volcanic rocks of New South Wales. *Journal of the Geological Society of Australia* 21, 247-272.
- WILLIS, B., 1936. East African plateaus and rifts. *Studies in Comparative Seismology* (Carnegie Institute, Washington D. C.), Publication 470.
- WOODBURNE, M. O., 1967. The Alcoota fauna, central Australia. *Bureau of Mineral Resources, Geology & Geophysics Bulletin* 87.
- WOODARD, G. D., 1955. The stratigraphic succession in the vicinity of Mt Babbage Station, South Australia. *Transactions of the Royal Society of South Australia* 78, 8-17.
- WOPFNER, H., 1969. Mesozoic Era, pp. 133-171 in *Handbook of South Australian Geology* (ed. L. W. Parkin). *Geological Survey of South Australia*, Adelaide.
- WOPFNER, H., 1978. Silcretes of northern South Australia and adjacent regions pp. 83-141 in *Silcrete in Australia* (ed. T. Langford-Smith). *University of New England Press*, Armidale.
- WOPFNER, H. & TWIDALE, C. R., 1967. Geomorphical history of the Lake Eyre basin, pp. 118-143 in *Landform Studies from Australia and New Guinea* (ed. J. N. Jennings & J. A. Mabbutt). *Australian National University Press*, Canberra.
- YOUNG, R. W., 1983. The tempo of geomorphologi-

- cal change: evidence from southeastern Australia. *Journal of Geology* 91, 221-230.
- YOUNG, R. W. & McDOUGALL, I. 1982. Basalts and silcretes on the coast near Ulladulla, southern New South Wales. *Journal of the Geological Society of Australia* 29, 425-430.
- YOUNG, R. W. & McDOUGALL, I. 1985. The age, extent and geomorphological significance of the Sassafra basalt, south-eastern New South Wales. *Australian Journal of Earth Science* 32, 323-331.



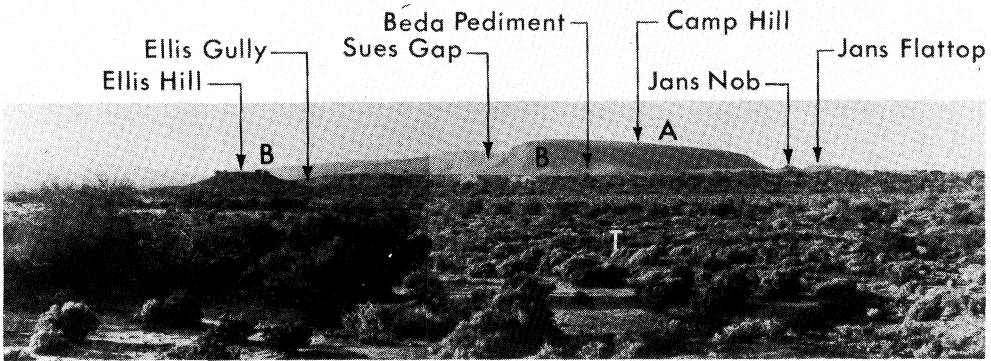
Fot. 1. Parte del sistema montañoso MacDonell cerca de Glen Helen, mostrando S, relieves tipo Mesa cubiertos por costras silíceas; v - valle joven; b - bisel equivalente a y contemporáneo al fondo del valle recubierto por costras silíceas; h - colinas situadas por encima del bisel; o - antiguo bisel cumbre.

Part of the western MacDonell Ranges near Glen Helen showing S, silcrete capped mesas; v - younger valley; b - bevel equivalent to and contemporary with silcreted valley floor; h - hills standing above bevel; o - older summit bevel.



**Fot. 2.** Superficie de aplanamiento en pizarra en el núcleo de un anticlinal regional con alineamientos cuarcíticos bajos situados por encima de la paleollanura; entre Blinman y Wilpena, Sistemas montañosos de los Flinders centrales.

Planation surface in shale in core of regional anticline, with low quartzite ranges standing above the paleplain; between Blinman and Wilpena central Flinders Ranges.



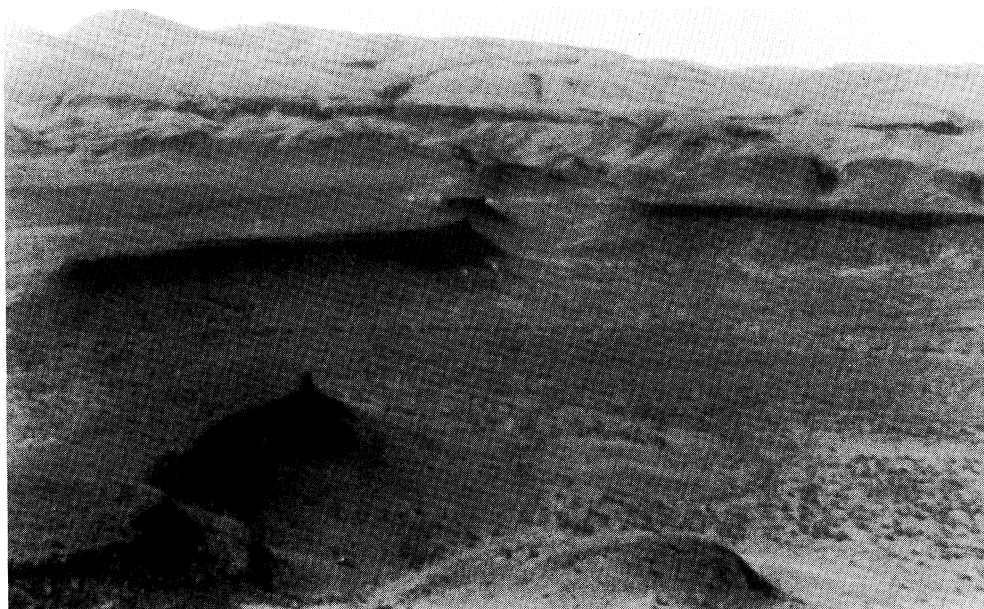
Fot. 3. Valle Beda, en el Plateau Arcoona, mostrando (B) la mesa coronada por una costra silícea en el valle y (?) la superficie de aplanamiento Cretácica (A) sobre sedimentos proterozoicos buzantes suavemente.

Beda Valley, southern Arcoona Plateau showing silcrete-capped mesa (B) in valley and (?) late Cretaceous planation surface (A) on gently dipping Proterozoic sediments.



Fot. 4 a. Superficie Rolling Hamersley desarrollada y conservada sobre la Formación de hierro bandeado proterozoica.

Rolling Hamersley Surface developed and preserved on Proterozoic Banded Iron Formation.



Fot. 4 b. Mesa sinuosa recubierta por el pisolito del río Robe; inicialmente una acumulación de fondo de valle. Ha tenido lugar allí una inversión del relieve de considerable magnitud.

Sinuuous mesa capped by Robe River Pisolite; originally a valley floor accumulation there has clearly been relief inversion on a considerable scale.



Fot. 5. Los Humps, cerca de Hyden, Australia Oeste, son un grupo de bornhardts de granito gneísico, que se sitúan por encima y son por lo tanto al menos tan antiguos como las llanuras lateritizadas que los rodean, de edad Cretácico-Eocena.

The Humps, near Hyden, Western Australia is a group of granitic-gneissic bornhardts that stand above and are therefore at least as old as the surrounding lateritised plains of Cretaceous-Eocene age.