

La iniciación subsuperficial de las formas graníticas y sus implicaciones en las teorías generales de evolución del paisaje

The subsurface initiation of granitic landforms and implications for general theories of landscape evolution

TWIDALE, C. R.

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

INTRODUCCION

Ciertas formas graníticas, mayores y menores, son modeladas y esculpidas por debajo de la superficie terrestre, puesto que pueden ser observadas ya reconocibles y perfectamente desarrolladas, en el frente de alteración (MABBUTT, 1961a), esto es, en la base del perfil del suelo o de la regolita, ya por excavaciones producidas en procesos naturales o, sobre todo, por las actividades humanas: minería, canteras y varias otras actividades ingenieriles. Algunas otras formas pueden verse, sino expuestas, insinuadas en el frente de alteración. Las formas que se inician por debajo de la superficie de la tierra, en la base del regolito o del frente de alteración se llaman formas de corrosión (grabadas). El término se debe a WAYLAND (1934) y a WILLIS (1936), si bien el concep-

INTRODUCTION

Many granite landforms, major and minor, are shaped and sculptured beneath the land surface, for they can be observed, already recognisable and fully developed, at the weathering front (MABBUTT, 1961a), that is, at the base of the soil cover or of the regolith, in excavations due either to natural processes or, and especially, to man's activities in mining, quarrying and sundry other engineering works. Many other forms can be seen already exposed but traceable into the weathering front. Forms that are initiated below the land surface, at the base of the regolith and at the weathering front are called *etch* forms. The term is due to WAYLAND (1934) and WILLIS (1936), but the concept can be traced back to HASENFRATZ (1791) and LOGAN (1849,

to se remonta a HASSENFRTZ (1791) y LOGAN (1849, 1851) cuando se refiere a las formas menores y a FALCONER (1911) y JUTSON (1914) cuando lo hace a grandes formas graníticas como llanuras e inselbergs.

MECANISMOS

Las formas de corrosión química (grabadas) son el reflejo de la interacción entre las aguas subterráneas, cargadas con compuestos químicos y orgánico biológicos, por una parte, y por la otra la roca a escala regional. Las aguas subterráneas aprovechan las zonas de debilidad en el substrato, sean estas debidas a la mineralogía, a la textura, o se relacionen con la densidad de fracturación o su condición, de manera que esto genera una tendencia al desarrollo de un relieve en el substrato rocoso. Sin embargo, cerca de la superficie terrestre, los cursos de agua que fluyen desde las nacientes, continúan fluyendo como cursos de agua concentrada a través del frente de roca alterada, erosionando canales en el substrato rocoso (Fot. 1), si bien a unos pocos metros de profundidad el flujo del agua se va haciendo más difuso y desaparecen las canalizaciones de ésta. En detalle tanto substrato rocoso como aguas subterráneas varían, las últimas debido en parte a condicionamientos superficiales (clima, vegetación), de manera que están en actividad distintos procesos en distintos lugares y en diferentes regiones, disolución aquí, hidratación allí, e hidrólisis en otra parte. Los feldespatos se alteran para producir diferentes tipos de arcillas según el quimismo de las aguas y si el sistema es abierto o cerrado. Según algunos investigadores (p. e. MACFARLANE y HEYDEMAN, 1986; ver también TRUDINGER y SWAINE, 1979) la población biótica de las aguas subterráneas es también un factor significativo. En general, sin embargo, micas y feldespatos se alteran rápidamente, las primeras en cuestión de décadas, los segundos en

1851) concerning minor features and to FALCONER (1911) and JUTSON (1914) regarding such major granite forms as plains and inselbergs.

MECHANISMS

Etch forms reflect the interactions of groundwaters charged with chemicals and biota on the one hand and the country rock on the other. Various bedrock weaknesses, whether mineralogical, or textural or related to fracture density and condition, are exploited by groundwaters so that there is a tendency for a bedrock relief to develop. Moreover, near the land surface, streams flowing from outcrops continue to flow as concentrated streams along the weathering front, eroding channels in the bedrock (Pl. 1), though at a depth of a few metres the flow becomes diffuse and the channels disappear. In detail both the bedrock and groundwaters vary, the latter in part because of surface conditions (climate, vegetation) so that different processes are active at different sites and in different regions solution here, hydration there and hydrolysis yet elsewhere. Feldspars are altered to produce different clays according to the chemistry of the groundwaters and whether the system is open or closed. According to some workers (e. g. MACFARLANE and HEYDEMAN, 1986; see also TRUDINGER and SWAINE, 1979) the biotic population of the groundwaters is also a significant factor. In general, however, micas and feldspars are rapidly altered, the former in a matter of decades, the latter in the space a few centuries. Quartz also is attacked, mainly by solution, but much more slowly (10^{5-6} years) than the other two essential components. But whatever the precise processes and alteration products, the forms developed in the bedrock are everywhere similar. Furthermore, in time, all but the most resistant and intractable masses are reduced simply because projections are more exposed and the-

el intervalo de unos pocos siglos. También el cuarzo es atacado, principalmente por disolución, pero mucho más lentamente (10^{5-6} años), que los otros dos componentes esenciales del granito. Pero cualesquiera que sean los concretos procesos de alteración o sus productos resultantes, las formas desarrolladas a partir del substrato rocoso son similares en todas partes. Además, con el tiempo, incluso las masas (rocosas) más resistentes y obstinadas son degradadas, simplemente porque las formas salientes (en el substrato rocoso) están más expuestas (a la meteorización) y son por lo tanto atacadas con mayor facilidad que las formas planas.

Las formas de corrosión química (grabadas) evolucionan en *dos etapas* (Fig. 1). La

refores more readily attacked than are planate forms.

Etch forms evolve in two stages (Fig. 1). The first involves the shaping of the weathering front according to the factors outlined above. This always occurs in terrestrial conditions, i. e. beneath exposed land surfaces. The second involves the stripping of the regolith so formed and the exposure of the weathering front. Though commonly achieved by river erosion, similar results are achieved by wave action, glaciers and even the wind. Once the granite surface is exposed, and no longer in constant contact with the regolith and its contained moisture, it frequently becomes relatively dry and stable (see e. g. BARTON, 1916).

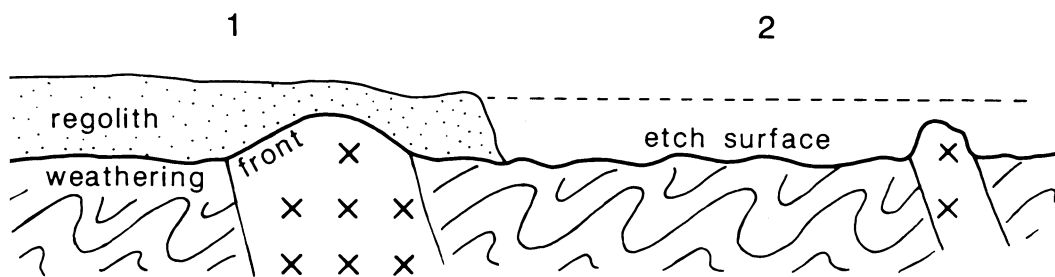


Fig. 1. Diagrama de las relaciones entre regolita, frente de alteración y formas de corrosión química (grabadas).

Diagram showing relationships between regolith, weathering front and etch forms.

primera se refiere al modelado del frente de alteración según los factores a que nos hemos referido antes. Esta etapa siempre tiene lugar en condiciones subterráneas, esto es, por debajo de la superficie libre de la tierra. La *segunda* etapa implica la denudación del regolito así formado y la exposición del frente de alteración. Aunque esto es realizado generalmente por los ríos, pueden conseguirse resultados similares por acción de las olas, los glaciares y también por el viento. Una vez que la superficie (rocosa) granítica está expuesta (al aire) y no demasiado tiempo en contacto constante con el regolito y la humedad que este retiene (la roca), fre-

SOME EXAMPLES OF ETCH FORMS

Major forms of etch character include several plains of regional extent as in the Yilgarn of Western Australia (JUTSON, 1914; MABUTT, 1961b; FINKL and CHURCHWARD, 1973 - see Fig. 2); the Mt Lofty Ranges in South Australia (TWIDALE and BOURNE, 1975a); and the Koidu plain of Sierra Leone (THOMAS and THORPE, 1983). The African Surface of Namaqualand and adjacent parts of southern Namibia is also of etch type, for it is the weathering front exposed by the stripping of the

cuentemente permanece relativamente seca y estable (ver, p. e. BARTON, 1916).

ALGUNOS EJEMPLOS DE FORMAS DE CORROSION QUIMICA (GRABADAS)

Entre las grandes formas de tipo corrosión química (grabado) se incluyen varias llanuras de dimensiones regionales como la de Yilgarn en Australia Oeste (Meridional) (JUTSON, 1914; MABBUTT, 1961b; FINKL y CHURCHWARD, 1973, ver Fig. 2); las alineaciones (montañosas) del Monte Lofty, en Australia Sur (TWIDALE y BOURNE, 1975a); y el llano de Koidu en

silcreted regolith (Fig. 3; see PARTRIDGE and MAUD, 1987). Similarly, the Labrador Plateau can reasonably be interpreted as an etch surface that owes its exposure to the stripping of its late Tertiary regolith by Pleistocene ice sheets. Inselbergs too numerous to mention are probably of etch type also (TWIDALE, 1982a and b) and several nascent domes have been observed in man made excavations (e. g. BOYE and FRITSCH, 1973; TWIDALE, 1982a - Pl. 2).

Rock platforms some tens or even a few hundreds of metres across can be seen in process of exposure from beneath the regolith (Pl. 3). Some extend from the bases of the inselbergs (e. g. BOURNE *et al.*, 1974),

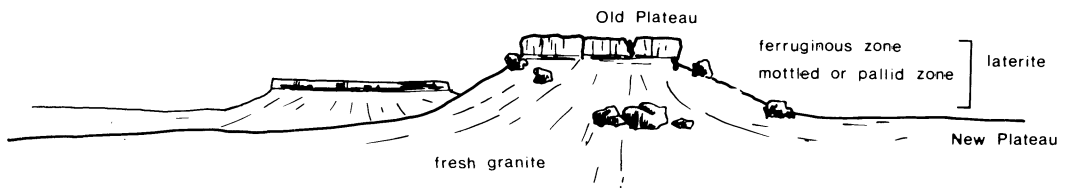


Fig. 2. Bosquejo del Plateau antiguo y nuevo de Cue, Yilgarn central, Australia oeste.

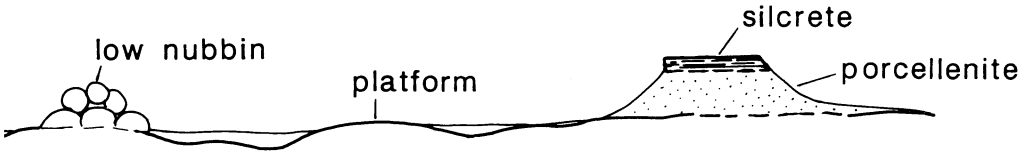
Sketch of Old and New Plateaux at Cue, central Yilgarn, Western Australia.

Sierra Leona (THOMAS y THORPE, 1983). La superficie africana de Namaqualand y las partes adyacentes de la Namibia septentrional son también del tipo de corrosión química (grabado), pero aquí el frente de alteración ha sido expuesto como consecuencia de la denudación de un regolito de encostamientos silíceos (silcrete) (Fig. 3; ver PARTRIDGE y MAUD, 1987). De una forma similar el Plateau de Labrador puede ser interpretado razonablemente como una forma de corrosión química (grabada) que debe su exposición subaérea a la denudación de su regolito tarditerciario por los cuerpos glaciares pleistocenos. Son demasiado numerosos los inselbergs como para enumerarlos y son probablemente también formas debidas a la corrosión química (grabado), (TWIDALE, 1982a y b) así como también

while others occur in isolation (e. g. TWIDALE, 1986a).

The sheet structures that are an essential component of domed inselbergs or bornhardts are already developed beneath the land surface (Pl. 4), even before the host form has been exposed. Similarly, and at innumerable sites, the corestones that will become boulders can be seen in section surrounded by a matrix of grus or disintegrated granite.

These major forms are host to a wide range of detailed sculptures, ranging from pitting at the crystal scale (BARTON, 1916; TWIDALE and BOURNE, 1976) to rock basins (e. g. BOYE and FRITSCH, 1973; TWIDALE and BOURNE, 1975b), various forms of flutings (*Rillen*, *Karren*, *lapiez*), gutters and grooves (TWIDALE and



3. Sección a través de la llanura de corrosión química (grabada) y de la costa silícea residual asociada cerca de Platbakkie, Namaqualand.

Section through the etch plain and associated silcrete-capped residual near Platbakkie, Namaqualand.

varios domos nacientes que han podido ser observados en excavaciones realizadas por el hombre (p. e. BOYE y FRITSCH, 1973; TWIDALE, 1982a. Fot. 2).

Por debajo del regolito (Fot. 3) pueden verse plataformas rocosas de dimensiones desde decenas hasta unos pocos cientos de metros. Algunas se extienden a partir de la base de los inselbergs (p. e., BOURNE *et al.*, 1974), mientras que otras pueden aparecer aisladas (p. e. TWIDALE, 1986a).

Las estructuras de exfoliación en láminas que son un componente esencial de los inselberg dómicos o bornhardts están ya desarrollados por debajo de la superficie libre de la Tierra (Fot. 4), aún antes de que la forma en la que se desarrollan haya sido expuesta (al aire). Similarmente, y en innumerables lugares, los núcleos residuales de alteración que luego se convertirán en bloques pueden verse en un corte del terreno rodeados por una matriz de alterita o granito desintegrado. Estas grandes formas son la base para el desarrollo de una amplia serie de escultura de detalle, que van desde pequeños agujeros, a la escala del tamaño de los cristales (de la roca), (BARTON, 1916; TWIDALE y BOURNE, 1976) a pilas (p. e.; BOYE y FRITSCH, 1973; TWIDALE y BOURNE, 1975b), a distintos tipos de acanaladuras (rillen, KARREN, LAPIAZ), estrías y ranuras (TWIDALE y BOURNE, 1975b), y vertientes-llama y depresiones de pie de escarpe asociadas (p. e., CLAYTON, 1956; TWIDALE, 1962). Algunas de las últimas formas mencionadas son tan grandes que podrían con toda legitimidad ser incluidas entre los rasgos del relieve a escala mayor y

BOURNE, 1975b) to flared slopes and associated scarp foot depressions (e. g. CLAYTON, 1956; TWIDALE, 1962). So large are some of the latter however that they may legitimately be regarded as suitable for listing as major or medium relief features (e. g. DUMANOWSKI, 1960; MABBUTT, 1988).

All of these forms can be observed in process of exposure as the adjacent regolith is stripped, or they can be seen in artificial excavations. Other forms however, though their nature is not yet subject to quite the same degree of certainty, carry the strong presumption of being etch forms. They appear to develop through differential weathering at the base of the regolith but so far only a few examples have been observed at the weathering front. Thus incipient tafoni have been noted in the form of bulbous masses of weathered bedrock that project beyond the general line of the weathering front (BOYE and FRITSCH, 1973). The association of tafoni with flared slopes, known to be of etch type, is also suggestive, however (Pl. 5). Alveoles are commonly associated with the weathering front, as for instance on the west coast of Eyre Peninsula, where they are preferentially developed in amphibolite, and at many granite sites where they occur along fracture planes that are ferruginised and that may be regarded as planar extensions of the weathering front. At Qamata, in the Transkei, well developed sinuous alveoles have been found on the buried underside of a dolerite boulder (Pl. 6). Again, polygonal cracking, probably associated with expansive stresses rela-

media (p. e. DUMANOWSKI, 1960; MABBUTT, 1988). Todas estas formas pueden ser observadas en fase de exposición a medida que la regolita adyacente es erosionada, o también pueden verse en excavaciones artificiales.

En otras formas, sin embargo, aunque por su naturaleza no se tenga el mismo grado de certeza se admite una clara presunción de que se trate de formas de corrosión química (grabadas). Parece que se desarrollan por meteorización diferencial en la base del regolito, aunque sólo se hayan observado unos pocos casos en el frente de alteración. Así, se han identificado tafoni incipientes en forma de masas bulbosas de substrato rocoso alterado que sobresalen de la superficie general determinada por el frente de alteración (BOYE y FRITSCH, 1973). Sin embargo la asociación de tafoni con vertientes-llama, estas últimas identificadas como formas de corrosión química (grabadas) es también sugestiva (Fot. 5). Los alveolos se asocian generalmente con el frente de alteración, como por ejemplo ocurre en la costa oeste de la Península de Eyre, donde se desarrollan preferentemente sobre anfíbolitas, y en varios afloramientos graníticos en donde se disponen según los planos de fractura que están ferruginosizados pudiendo ser considerados como extensiones (según ellos) planares del frente de alteración. En Qamata, en el Transkei, se han encontrado alveolos sinuosos bien desarrollados en el extremo enterrado de un bloque dolerítico (Fot. 6). También, se han observado en las Montañas Snowy (N. S. W.) sobre un núcleo residual de granodiorita, recientemente expuesto (al aire), resquebrajamiento poligonales asociados probablemente con tensiones expansivas relacionadas con la acumulación de óxidos de Fe, Mn y Si, en o cerca del frente de alteración (ver TWIDALE, 1986b). El mismo rasgo puede también verse, continuándose, desde la superficie libre de la roca, por debajo del regolito, en varios puntos, incluido Dombos-

ted to the accumulation of oxides of Fe, Mn and Si at or near the weathering front (see TWIDALE, 1986b) have been observed on a recently exposed granodioritic corestone in the Snowy Mountains of N. S. W. and can be seen extending from bedrock surface beneath the regolith at several sites, including Domboshawa, just north of Harare, in Zimbabwe (Pl. 7).

Yet other minor forms develop as a result of the contrasted behaviour of granite in moist and in dry microenvironments. Thus the rock 'leves' (Fig. 4) that border gutters on Domboshawa, and on Enchanted Rock, in the Llano of central Texas, can be explained in terms of their being dry, whereas the adjacent areas are wet and therefore weathered and eroded more rapidly (TWIDALE, 1988). Again, rock doughnuts (see BLANK, 1951; TWIDALE and BOURNE, 1977) can be understood in terms of wholly epigene processes, but are equally susceptible of explanation in terms of contrasted wet and dry sites involving the subsurface weathering of some (TWIDALE, 1988).

IMPLICATIONS

Several points need to be made concerning character of these etch forms. First, the etch forms may be modified after exposure. Rock basins for example evolve into several morphological types according to the structure of the bedrock and the surface slope (TWIDALE and CORBIN, 1963). Pitting is more-or-less rapidly destroyed. Sheet structure tends to disintegrate into ordered fields of blocks and boulders. Boulders may split. The visors of tafoni are eliminated in humid climes. *Rillen* on the other hand may acquire algal coatings that protect the underlying rock surfaces allowing them to become inverted and transformed into ribs.

Second, similar features are well developed in an etch context in lithological environments other than granitic; in particular in rocks that though chemically, mineralo-

hawa, justamente al norte de Harare, en Zimbabwue (Fot. 7).

Sin embargo, otras formas menores se desarrollan como resultado de un comportamiento desigual del granito cuando se sitúa en microentornos húmedos o secos. Así, las orlas de roca (Fig. 4) que bordean las acanaladuras en Domboshawa, y en Enchanted Rock, y en el llano Texas Central, pueden ser explicadas en función de que éstas se hallan secas, mientras que las áreas adyacentes están húmedas y por lo tanto se alteran y erosionan con mayor rapidez (TWIDALE, 1988). Una vez más las rosquillas rocosas (ver BLANK, 1951; TWIDALE y BOURNE, 1977) pueden ser explicadas en términos de procesos en lugares con contrastes de humedad y sequedad, incluyendo también en algún caso la alteración subterránea (TWIDALE, 1988).

IMPLICACIONES

Deben ser resaltados varios puntos en lo que concierne al carácter de estas formas de corrosión química (grabadas).

Primero, las formas de corrosión química pueden ser modificadas con posterioridad a su exposición (subaérea). Por ejemplo, las pilas evolucionan según varios tipos morfológicos, según sea la estructura del substrato rocoso y de la topografía de la superficie (sobre la que se desarrollan) (TWIDALE y CORBIN, 1963). Los pequeños agujeros son destruidos con mayor o menor rapidez. La estructura en lajas (de exfoliación) tiende a desintegrarse en ordenados campos de bloques y bolos. Los bloques pueden ser hendidos. Los visores de los tafoni pueden ser eliminados en climas húmedos. Las acanaladuras, por otra parte, pueden ser recubiertas por una película de algas, que protege las superficies de rocas infrayacentes provocando así que se produzca una inversión (del relieve) y se conviertan en costillares.

gically and genetically very different from granite nevertheless have similar physical characteristics such as low permeability and a well developed perviousness (i. e., a system of widely spaced open fractures). Thus, sandstone, conglomerate, limestone and a wide range of volcanic rocks as well as a suite of plutonic crystalline rocks such as syenite, granodiorite all display the etch forms mentioned in connection with granite outcrops (see e. g. ECKERT, 1902; LINDNER, 1930; KLAER, 1957; TWIDALE, 1978a, 1980; ZWITTKOVITS, 1966).

Third, etch forms evolve in the subsurface beneath a regolith that may be only a few centimetres thick or which may attain a thickness of several scores or a few hundreds of metres (OLLIER, 1965; THOMAS, 1966). Whichever, the surface environment, and particularly the atmospheric climate, is largely irrelevant to the differential weathering of the bedrock at the base of the regolith. Structure, soil climate and time are the important factors. The first two produce differential weathering and hence relief; but if weathering is of long duration all but the most pronounced structural contrasts are reduced, so that platforms and plains commonly result. Climate and vegetation undoubtedly influence the nature of the reactions that take place at the weathering front, as does the nature of the bedrock, but the end-products are similar. Thus etch forms tend to azonality both in climatic and in lithological senses. Hence, for example, the wide distribution of inselbergs, boulders and plains in granitic terrains (see TWIDALE and BOURNE, 1978b; TWIDALE, 1982a), and the comparable developments of towerkarst and cupolarkarst in limestone areas in tropical and cold climates, of pillars and domes in sandstone or conglomerate, of boulders, basins and flutings on all three rock types, of flares in sandstone, conglomerate and volcanics, and so on (see e. g. LEHMANN, 1954; VERSTAPPEN, 1960; MAINGUET, 1972; BROOK and FORD, 1976; TWIDALE,

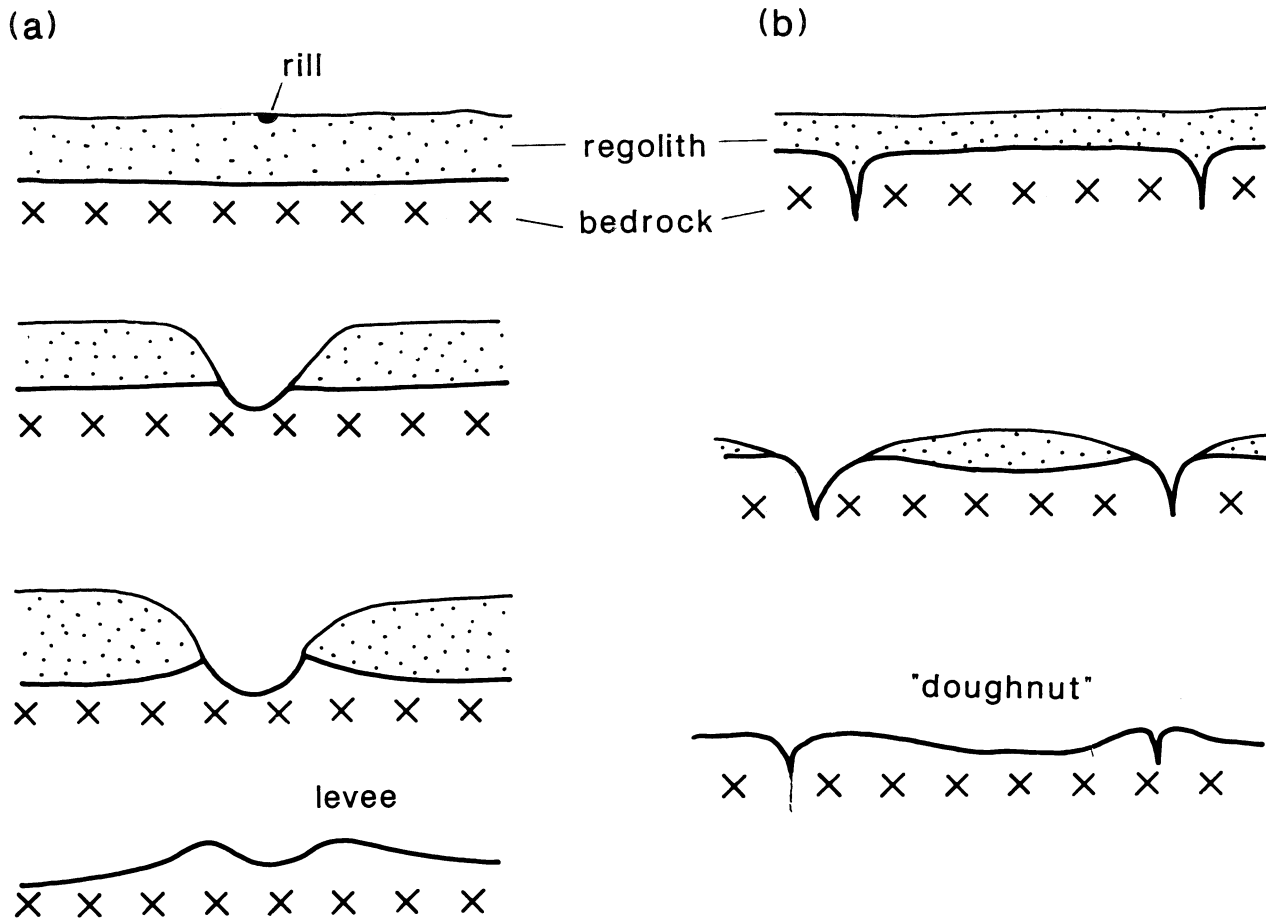


Fig. 4. Desarrollo de canales (levees) y rosquillas rocosas (doughnut) por ataque diferencial de la humedad del suelo.

Development of levees and doughnuts by differential soil moisture attack.

Segundo, características morfológicas similares pueden estar bien desarrolladas en un contexto de alteración por corrosión química (grabado), en medios litológicos diferentes a los granitos; en particular para rocas que aunque muy diferentes química, mineralógica y genéticamente a los granitos, sin embargo poseen características físicas similares, tales como, baja permeabilidad y una bien desarrollada penetrabilidad (o sea, un sistema de fracturas abiertas no muy denso). Así, areniscas, conglomerados, calizas y toda una amplia serie de rocas volcánicas, así como todo el cortejo de rocas plutónicas cristalinas tales como, sienita, granodiorita, en todas ellas se desarrollan las formas de corrosión química (grabadas) que se han mencionado como relacionadas con los afloramientos graníticos (ver, p. e.; ECKERT, 1902; LINDNER, 1930; KLAER, 1957; TWIDALE, 1978a, 1980; ZWITTKOVITS, 1966).

Tercero, las formas de corrosión química evolucionan subsuperficialmente, por debajo del regolito que puede tener, desde solo unos centímetros de espesor o que pueden alcanzar una profundidad de varias decenas o unos pocos cientos de metros (OLLIER, 1965; THOMAS, 1966). Cualquiera que sea el medio superficial, y en particular el clima atmosférico, es grandemente irrelevante en cuanto a la alteración diferencial del substrato rocoso situado en la base del regolito. La estructura, el clima del suelo y el tiempo son los factores importantes. Los dos primeros producen la alteración diferencial y de aquí, el relieve, pero si la alteración se prolonga durante mucho tiempo, todos, hasta los más pronunciados contrastes estructurales son eliminados, de forma que generalmente se originan así llanuras y plataformas. Clima y vegetación influyen indudablemente en la naturaleza de las reacciones que tienen lugar en el frente de alteración, así como también la naturaleza del substrato rocoso, pero los productos finales son similares. Así, las formas de corro-

1978; TWIDALE and BOURNE, 1978b; MUELLER and TWIDALE, 1988).

Fourth, etch forms have two ages, one related to the period of sub-surface development, the other to the period of stripping and exposure. The two events may be close in a temporal sense or they may be separated by millions of years. Thus the lateritised land surface and associated weathering front in the Mt. Lofty Ranges is of putative Triassic age, but the stripping of the regolith and exposure of the weathering front began only with the Cainozoic uplift of the horst mass (CAMPANA, 1958; GLAESSNER and WADE, 1958; TWIDALE and BOURNE, 1975a). On the other hand the laterite of the Yilgarn was developed in the Cretaceous and Eocene (FAIRBRIDGE and FINKL, 1978) but suffered substantial and rapid stripping, for a drainage system was well developed, by the end of the Eocene (VAN DE GRAAF, 1977).

Fifth, some etch forms are polygenetic. All were initiated under continental surfaces, and most were exposed by river erosion, but others have been revealed by ice sheets (e. g. the Labrador Plateau), by waves in the coastal context (see e. g. TWIDALE *et al.*, 1977) and even by the wind (see e. g. PEEL, 1966 at Pl. IV).

Thus the etch forms have distinctive characteristics and implications the most significant of which is that they are azonal forms. They further call to question the concept of climatic geomorphology as a reliable frame of reference for the interpretation of landscapes.

REFERENCIAS CITADAS CITED REFERENCES

- BARTON, D. C. (1916). Notes on the disintegration of granite in Egypt. *Journal of Geology* 24, 382-393.
- BLANK, H. R., 1951. «Rock doughnuts», a product of granite weathering. *American Journal of Science* 249, 822-829.

sión química (grabadas) tienden hacia la azonalidad, tanto en un sentido climático como litológico. De aquí, por ejemplo, la amplia distribución de inselbergs, bloques y llanuras en los terrenos graníticos (ver TWIDALE y BOURNE, 1978a; TWIDALE, 1982a), y los desarrollos comparables de torres cársticas y cúpulas cársticas en zonas calcáreas de climas tropicales y fríos, de pilares en areniscas y conglomerados, de bolos, pilas y acanaladuras en los tres tipos de rocas, de rocas-llama en areniscas, conglomerados y rocas volcánicas, y así sucesivamente (ver, p. e.; LEHMANN; 1954; VERSTAPPEN, 1960; MAINGUET, 1972; BROOK y FORD, 1976; TWIDALE, 1978; TWIDALE, 1978 y BOURNE, 1978b; MUELLER y TWIDALE, 1988).

Cuarto, las formas de corrosión química (grabadas) tienen dos edades, una relacionada con el período de desarrollo sub-superficial, la otra con el período de denudación o de exposición. Los dos hechos pueden ser muy próximos, en sentido temporal o pueden estar separados por millones de años. Así, la superficie lateritizada y su frente de alteración asociado de la alineación del Monte Lofty es de una putativa edad triásica, pero la denudación del regolito y la exposición del frente de alteración comienza solamente como consecuencia del elevamiento cenozoico de la mesa del horst (CAMPANA, 1958; GLAESSNER y WADE, 1958; TWIDALE y BOURNE, 1975a). Por otra parte la laterita de Yilgarn, se desarrolló entre Cretácico y el Eoceno (FAIRBRIDGE y FINKE, 1978), pero al final del Eoceno (VAN DE GRAFF y otros 1977), sufrió una rápida y sustancial denudación debido a que el sistema de drenaje estaba muy bien desarrollado.

Quinta, algunas formas de corrosión química (grabadas) son poligenéticas. Todas se iniciaron bajo superficies continentales y muchas fueron expuestas a consecuencia de la erosión fluvial, pero en otros casos han sido expuestas como consecuencia de la

- BOURNE, J. A.; TWIDALE, C. R. & SMITH, D. M. (1974). The Corrobinnie depression, Eyre Peninsula, South Australia. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 98, 139-152.
- BOYE, M. & FRITSCH, P. (1973). Dégagement artificiel d'un dôme cristallin au Sud-Cameroun. *Travaux et Documents de Géographie Tropicale* 8, 69-94.
- BROOK, G. A. & FORD, D. C. (1976). The Nahanni North karst: a question mark on the validity of the morphoclimatic concept of karst development. *Proceedings of the 6th International Congress on Speleology* 2, 43-57.
- 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.
- CLAYTON, R. W. (1956). Linear depressions (*Bergfussniederungen*) in savannah landscapes. *Geographical Studies* 3, 102-126.
- DUMANOWSKI, B. (1960). Comment on origin of depressions surrounding granite massifs in the eastern desert of Egypt. *Bulletin de l'Academie Polonaise des Sciences* 8, 305-312.
- ECKERT, M. (1902). Das Gottesacker plateau, ein Karrenfeld im Allgau. *Wissenschaftliche Ergänzungen zur Zeitschrift des Deutschen und Oesterreich Alpenvereins* 33.
- FALCONER, J. D. (1911). The Geology and Geography of Northern Nigeria, *Macmillan*, London.
- FAIRBRIDGE, R. W. & FINKL, C. W. (1978). Geomorphic analysis of the rifted cratonic margins of Western Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie* 22, 369-389.
- FINKL, C. W. & CHURCHWARD, H. M. (1973). The etched land surface of southwestern Australia. *Journal of the Geological Society of Australia* 20, 295-307.
- GLAESSNER, M. F. & WADE, M. (1958). The St. Vincent basin, pp. 115-126 in *The Geology of South Australia* (ed. M. F. Glaessner & L. W. Parkin). Melbourne University Press, Melbourne.
- HASSENFRATZ, J.-H. (1791). Sur l'arrangement de plusieurs gros blocs de différentes pierres que l'on observe dans les montagnes. *Annales de Chimie* 11, 95-107.
- JUTSON, J. T. (1914). An outline of the physiographical geology (physiography) of Western Australia. *Geological Society of Western Australia Bulletin* 61.
- KLAER, W. (1957). «Verkarstungserscheinungen» in Silikatgestein. *Abhandlung der Geographisches Institut der Freien Universität Berlin* 5, 21-27.
- LEHMANN, H. (1954). Der Tropische Kegelkarst auf den grossen Antillen. *Erdkunde* 8, 130-139.
- LINDNER, H. (1939). Das Karrenphanomen. *Petermanns Mitteilungen Ergänzungen* 208 (83).
- LOGAN, J. R. (1849). The rocks of Palo Ubin. *Genootschap Kunsten Wetenschappen (Batavia)* 22 3-43.

actuación de las masas de hielo glaciario (por ejemplo el Plateau de Labrador), por las olas, en un contexto costero (ver, por ejemplo TWIDALE y otros, 1977) y aun por el viento (ver por ejem. PEEL, 1966 en P. IV).

Así las formas de corrosión química (grabadas) tienen características distintivas e implicaciones de las que la más significativa es la de que se trata de formas azonales. Debemos finalmente poner en cuestión el concepto de geomorfología climática como un sistema de confianza para la interpretación de los paisajes.

- 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, 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.
- MABBUTT, J. A. (1988). Australian desert landscapes. *Geo Journal*, 16, 355-369.
- MacFARLANE, M. J. & HEYDEMAN, M. T. (1986). Some aspects of kaolinite dissolution by a laterite-indigenous micro-organism. *Geographie et Ecologie Tropicale* 8, 73-91.
- MAINGUET, M. (1972). *Le Modelé des Grès*. Institut Geographique National. Paris.
- MUELLER, J. E. & TWIDALE, C. R. (1988). Geomorphic development of City of Rocks, Grant County, New Mexico. *New Mexico Geology*, 10, 73-79.
- OLLIER, C. D. (1965). Some features of granite weathering in Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie* 9, 285-304.
- PARTRIDGE, T. C. & MAUD, R. R. (1987). Geomorphic evolution of southern Africa since the Mesozoic. *South African Journal of Geology* 90, 179-208.
- PEEL, R. F. (1966). The landscape in aridity. *Transactions of the Institute of British Geographers* 38, 1-23.
- THOMAS, M. F. (1966). Some geomorphological implications of deep weathering patterns in crystalline rocks in Nigeria. *Transactions of the Institute of British Geographers* 40, 173-191.
- THOMAS, M. F. & THORP, M. B. (1983). Environmental change and episodic etch planation in the humid tropics of Sierra Leone: the Koidu etchplain, pp. 239-267 in *Environmental Change and Tropical Geomorphology* (ed. I. Douglas & T. Spencer). *Allen & Unwin*, London.
- TRUDINGER, P. A. & SWAINE, D. J. (editors) (1979). *Biogeochemical Cycling of Mineral-Forming Elements*. *Elsevier*, Amsterdam.
- TWIDALE, C. R. (1962). Stepped margins of inselbergs from north-western Eyre Peninsula, South Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie* 6, 51-69.
- TWIDALE, C. R. (1978). On the origin of Ayers Rock, central Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplement-Band* 31, 177-206.
- TWIDALE, C. R. (1980). Origin of minor sandstone landforms. *Erdkunde* 34, 219-224.
- TWIDALE, C. R. (1982a). *Granite Landforms*. *Elsevier*, Amsterdam.
- TWIDALE, C. R. (1982b). The evolution of borndarts. *American Scientist* 70, 268-276.
- TWIDALE, C. R. (1986a). Granite platforms and low domes; newly exposed compartments or degraded remnants? *Geografiska Annaler* 68A, 399-411.
- TWIDALE, C. R. (1986b). Granite landform evolution: factors and implications. *Geologische Rundschau* 75, 769-779.
- TWIDALE, C. R. (1988). Granite landscapes, pp. 198-230 in *The Geomorphology of Southern Africa* (ed. B. P. Moon & G. F. Dardis) *Southern Book Publishers*, Johannesburg.
- TWIDALE, C. R. & BOURNE, J. A. (1975a). Geo-

- morphological 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. (1975b). The subsurface initiation of some minor granite landforms. *Journal of the Geological Society of Australia* 22, 477-484.
- TWIDALE, C. R. & BOURNE, J. A. (1976). Origin and significance of pitting on granite rocks. *Zeitschrift für Geomorphologie* 20, 405-416.
- TWIDALE, C. R. & BOURNE, J. A. (1977). Rock doughnuts. *Revue de Géomorphologie Dynamique* 26, 15-28.
- TWIDALE, C. R. & BOURNE, J. A. (1978a). Bornhardts. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplement-Band* 31, 111-137.
- TWIDALE, C. R. & BOURNE, J. A. (1978b). Bornhardts developed in sedimentary rocks, central Australia. *South African Geographer* 6, 35-51.
- TWIDALE, C. R.; BOURNE, J. A. & TWIDALE, N. (1977). Shore platforms and sealevel changes in the Gulfs region of South Australia. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 101, 63-74.
- TWIDALE, C. R. & CORBIN, E. M. (1963). Gnammas. *Revue de Géomorphologie Dynamique* 14, 1-20.
- VAN DE GRAFF, W. J. E.; CROWE, R. W. A.; BUNTING, J. A. & JACKSON, M. J. (1977). Relect early Cainozoic drainages in arid Western Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie* 21, 379-400.
- VERSTAPPEN, M. (1960). Some observations on karst development in the Malay Archipelago. *Journal of Tropical Geography* 14, 1-10.
- WAYLAND, E. J. (1934). Peneplains and some erosional landforms. *Geological Survey of Uganda, Annual Report and Bulletin* 1, 77-79.
- WILLIS, B. (1936). East African plateaus and rift valleys in *Studies in Comparative Seismology* (Carnegie Institute, Washington, D. C.) *Publication* 470.
- ZWITTKOVITS, F. (1966). Klimabedingte Karstformen in den Alpen, den Dinariden und in Taurus. *Österreichische Geographische Gesellschaft* 108, 72-97.



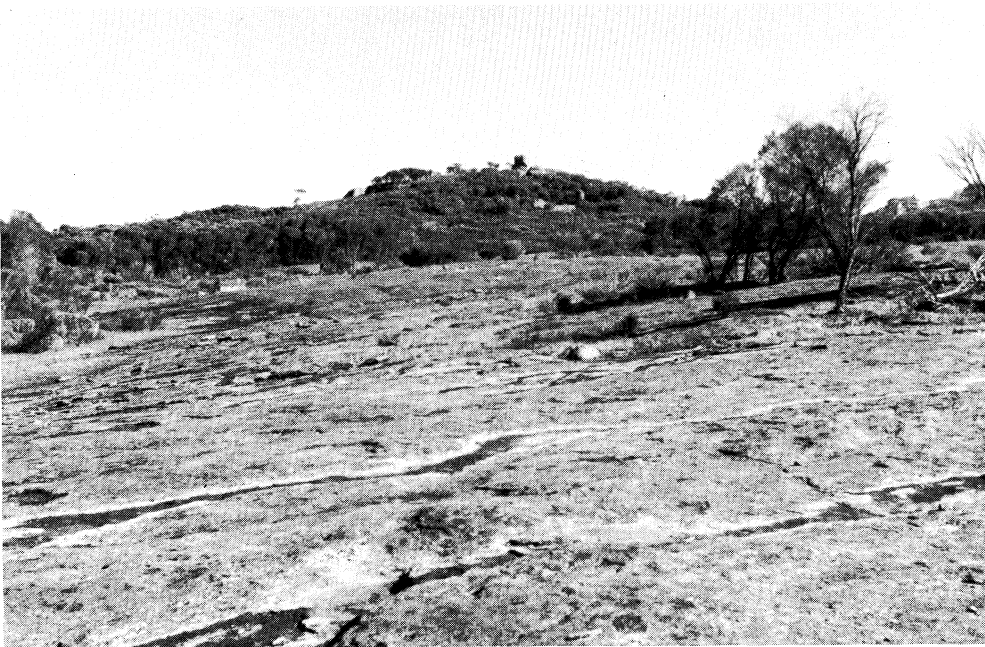
Fot. 1. Prolongación subsuperficial de acanaladuras en Dumonte Rock, cerca de Wudinna, en el NW de la Península de Eyre. X-X señala la ubicación de la superficie del suelo antes de realizarse la excavación del reservorio de agua situado en primer término.

Subsurface extension of gutters at Dumonte Rock, near Wudinna, north-western Eyre Peninsula. X-X marks the natural soil surface, before the excavation of the reservoir in the foreground.



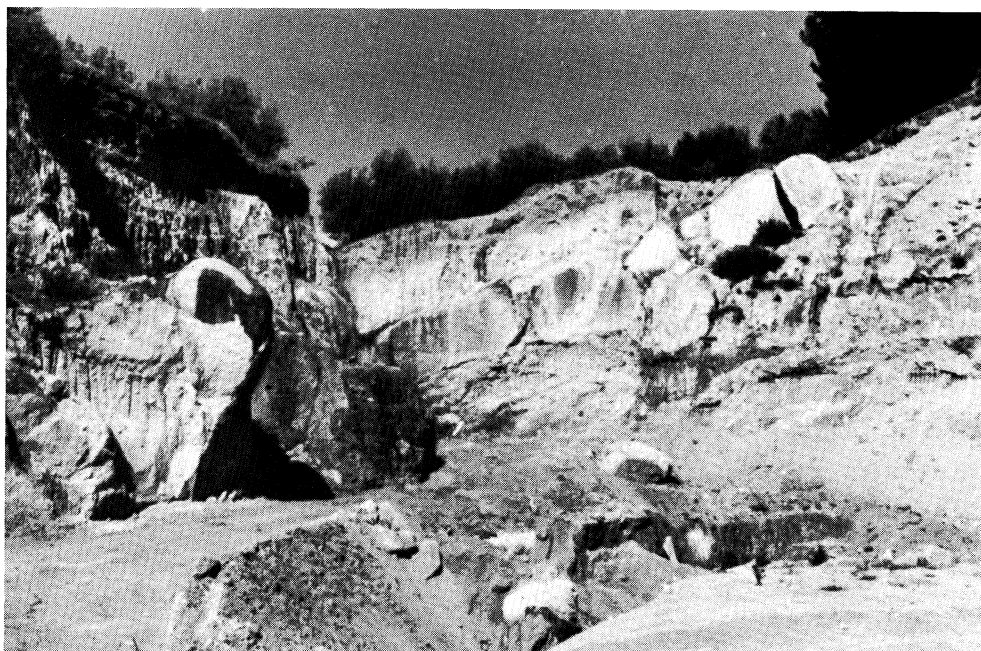
Fot. 2. Domo naciente (x) aflorante en la ladrillera de Vredefort, en el norte del Estado Libre de Orange, RSA, en 1979.

Nascent dome (x) exposed in the Vredefort brick pit, northern Orange Free State, RSA, in 1979.



Fot. 3. La plataforma de Corrobinnie, en el norte de la Península de Eyre, con acanaladuras y concavidades desarrolladas por debajo de la cubierta de regolita.

Corrobinnie platform, northern Eyre Peninsula, with gutters and basins developed beneath the regolithic veneer.



Fot. 4. Estructura de exfoliación desarrollada por debajo de una superficie y expuesta en un frente de cantera en Paarl, Provincia del Cabo, RSA.

Sheet structure developed beneath the land surface and exposed in quarry face at Paarl, Cape Province, RSA.



Fot. 5. Parte basal de la vertiente en la colina Kokerbin, en el sur de Yilgarn, Australia oeste, en la que aparecen formas llama en transición a tafoni.

Basal slope of Kokerbin Hill, southern Yilgarn, Western Australia, showing flared basal slopes merging laterally with tafoni.



Fot. 6. Bloque de dolerita expuesto en superficie y basculado como consecuencia de excavaciones en Qamata, Transkei, en el que se aprecia alteración alveolar desarrollada por debajo de la superficie del terreno en la parte oculta del residual.

Dolerite boulder exposed and tilted during excavations at Qamata, Transkei, showing alveolar weathering developed beneath the land surface on the underside of the residual.



Fot. 7. Roturas poligonales desarrolladas sobre una plataforma granítica y que se continúan por debajo de la cubierta regolítica en Domboshawa, cerca de Harara, Zimbabwe.

Polygonal cracking developed on granite platform and extending beneath the regolitic cover, at Domboshawa, near Harare, Zimbabwe.