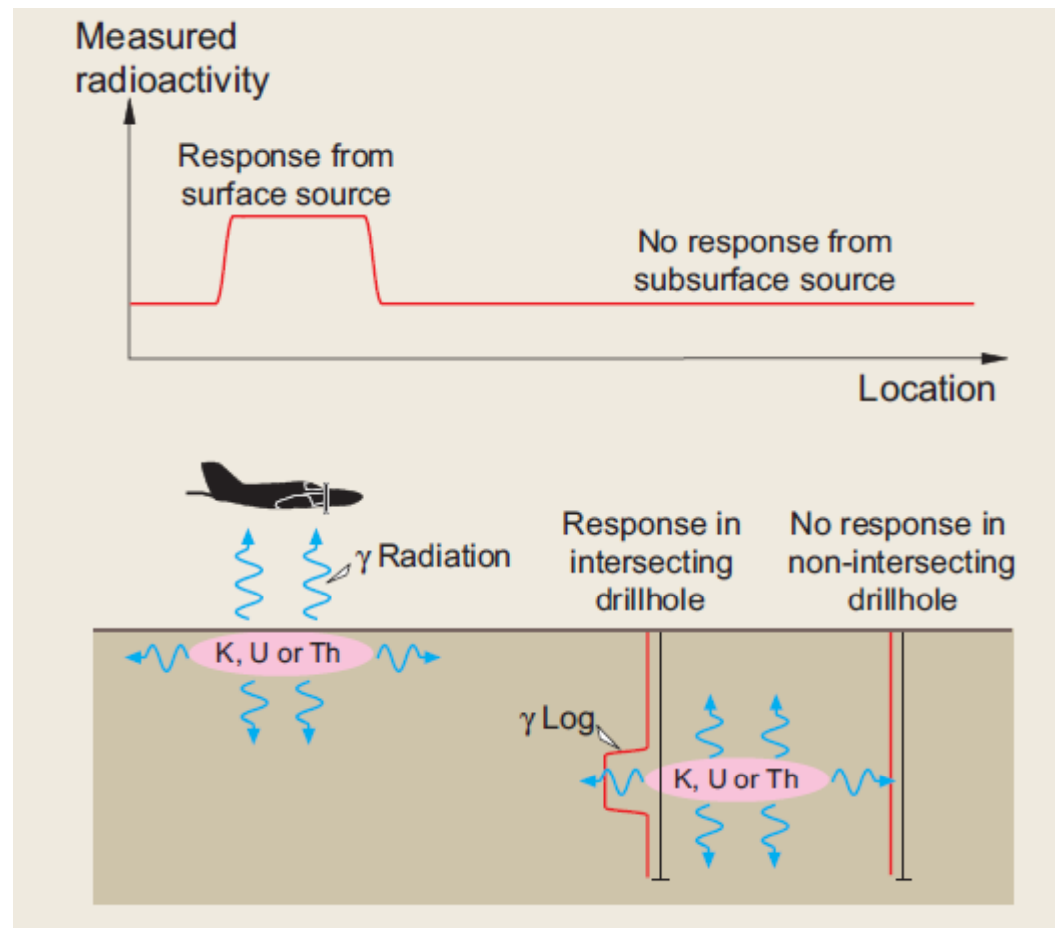


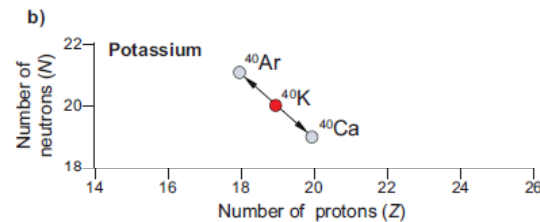
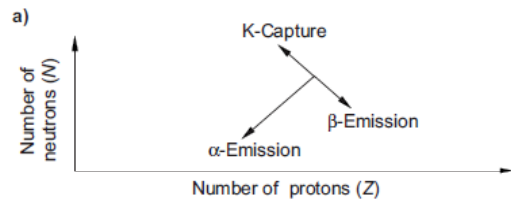
Radiometría



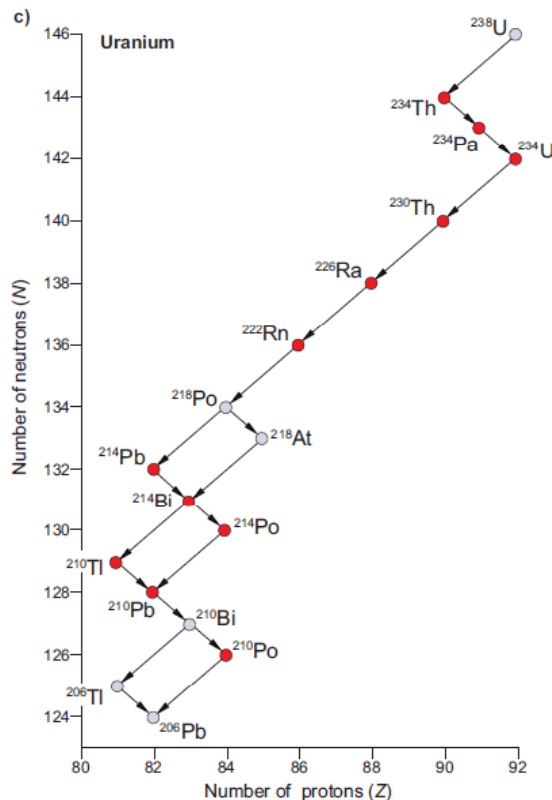
Dentith y Mudge, 2014

Isótopos: átomos de un elemento que tienen igual número atómico pero distinta cantidad de neutrones (número másico). Ej. ^{12}C y ^{14}C

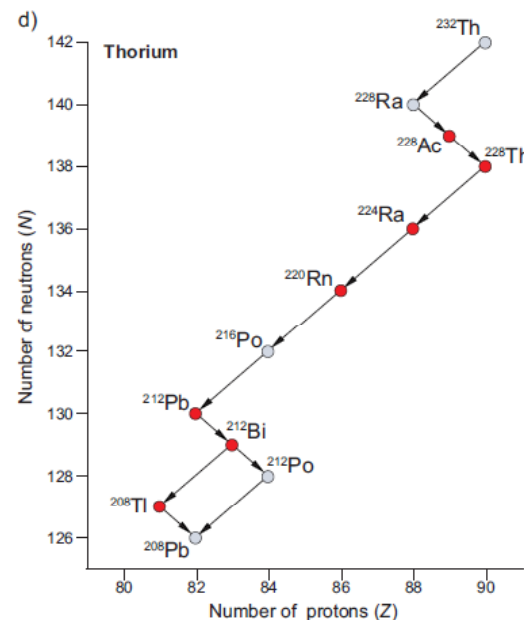
Los núcleos de ciertos isótopos tienen un exceso de energía, son inestables y se desintegran para formar núcleos estables de un isótopo diferente. En el proceso se emiten partículas o energía (radiación nuclear).



Alfa (α), núcleos de He



Beta (β), electrones emitidos desde el núcleo



Gamma (γ), fotones (energía electromagnética) derivados de las emisiones α y β

El **decaimiento radiactivo** de estos **radionucleidos** se produce según la ley:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Donde λ es la constante de decaimiento. La vida media:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

^{204}Pb : 10^{19} años ; ^{212}Po : 10^{-7} seg

Se produce una cadena de decaimiento. La actividad de los elementos hijos continúa hasta alcanzar un equilibrio. Si el sistema está en equilibrio, la medición de la concentración de cualquier elemento hijo se puede usar para estimar la concentración de los demás miembros de la cadena.

El isótopo radioactivo ocurre como una fracción fija del total del elemento (ej. ^{40}K es el 0,012% del K natural).

TABLE 2.1. ^{238}U DECAY SERIES (simplified after Radiological Health Handbook, 1970, and Ivanovich and Harmon, 1982)

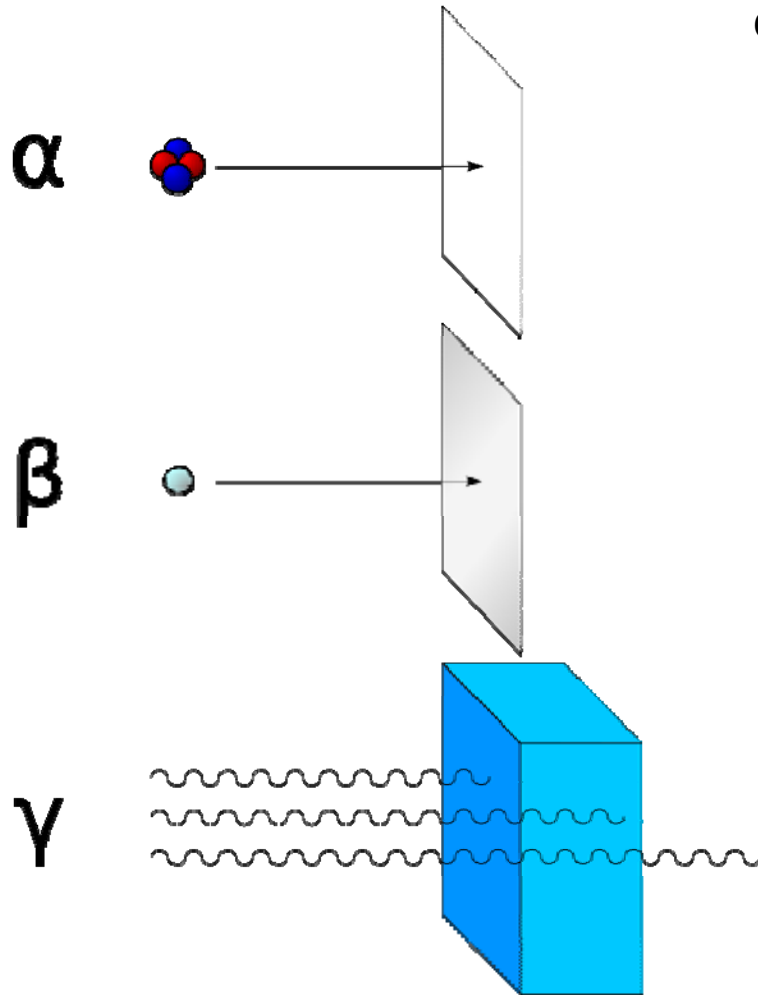
Nuclide	Half-life	Major radiation energies (MeV) and intensities*		
		α	β	γ
^{238}U	$4.468 \times 10^9 \text{ y}$	4.15 (23%) 4.19 (77%)	—	—
\downarrow				
^{234}Th	24.1d	—	~0.103 (19%) 0.191 (81%)	0.063 (3.5%) 0.093 (4%)
\downarrow				
^{234}Pa	1.18m	—	2.29 (98%)	0.765 (0.30%) 1.001 (0.60%)
99.86% \downarrow 0.14% \rightarrow				
^{234}Pa	6.7h	—	0.53 (66%) 1.13 (13%)	0.10 (50%) 0.70 (24%) 0.90 (70%)
\downarrow				
^{234}U	$2.48 \times 10^5 \text{ y}$	4.72 (28%) 4.77 (72%)	—	0.053 (0.2%)
\downarrow				
^{230}Th	$7.52 \times 10^4 \text{ y}$	4.62 (24%) 4.68 (76%)	—	0.068 (0.6%) 0.142 (0.07%)
\downarrow				
^{226}Ra	1602y	4.60 (5.5%) 4.78 (94.5%)	—	0.186 (4%)
\downarrow				
^{222}Rn	3.825d	5.49 (~100%)	—	0.510 (0.07%)
\downarrow				
^{218}Po	3.05m	6.11 (100%)	0.33 (100%)	—
99.98% \downarrow 0.02% \rightarrow				
^{218}Pb	26.8m	—	1.03 (6%) 0.295 (19%) 0.352 (36%)	—
\downarrow				
^{218}At	2s	6.65 (6%) 6.70 (94%)	0.67 (94%)	—
\downarrow				
^{214}Bi	19.7m	5.61 (100%)	3.26 (100%)	0.609 (47%) 1.120 (17%) 1.764 (17%)
99.98% \downarrow 0.04% \rightarrow				
^{214}Po	164 μs	7.83 (100%)	—	0.799 (0.014%)
\downarrow				
^{214}Tl	1.32m	—	2.3 (100%)	0.296 (80%) 0.795 (100%) 1.31 (21%)
\downarrow				
^{210}Pb	~22y	3.7 ($1.8 \times 10^{-8}\%$)	0.017 (85%) 0.064 (15%)	0.047 (4%)
\downarrow				
^{210}Bi	5.02d	4.93 (60%) 4.89 (34%) 4.59 (5%)	1.155 (100%)	—
~100% \downarrow ~0.0001% \rightarrow				
^{210}Po	138.3d	5.30 (100%)	—	0.803 (0.0011%)
\downarrow				
^{206}Tl	4.19m	—	1.520 (100%)	—
\downarrow				
^{206}Pb	Stable	—	—	—

* Intensities refer to percentage of disintegrations of the nuclide itself, not to the original parent of the series.

La emisión por radioactividad es proporcional a la cantidad de átomos que se desintegran

Cada transición se asocia con emisión gamma de un nivel de energía característico

La radiación puede atravesar materiales, perdiendo energía (atenuándose) debido a dispersión, colisión y absorción.



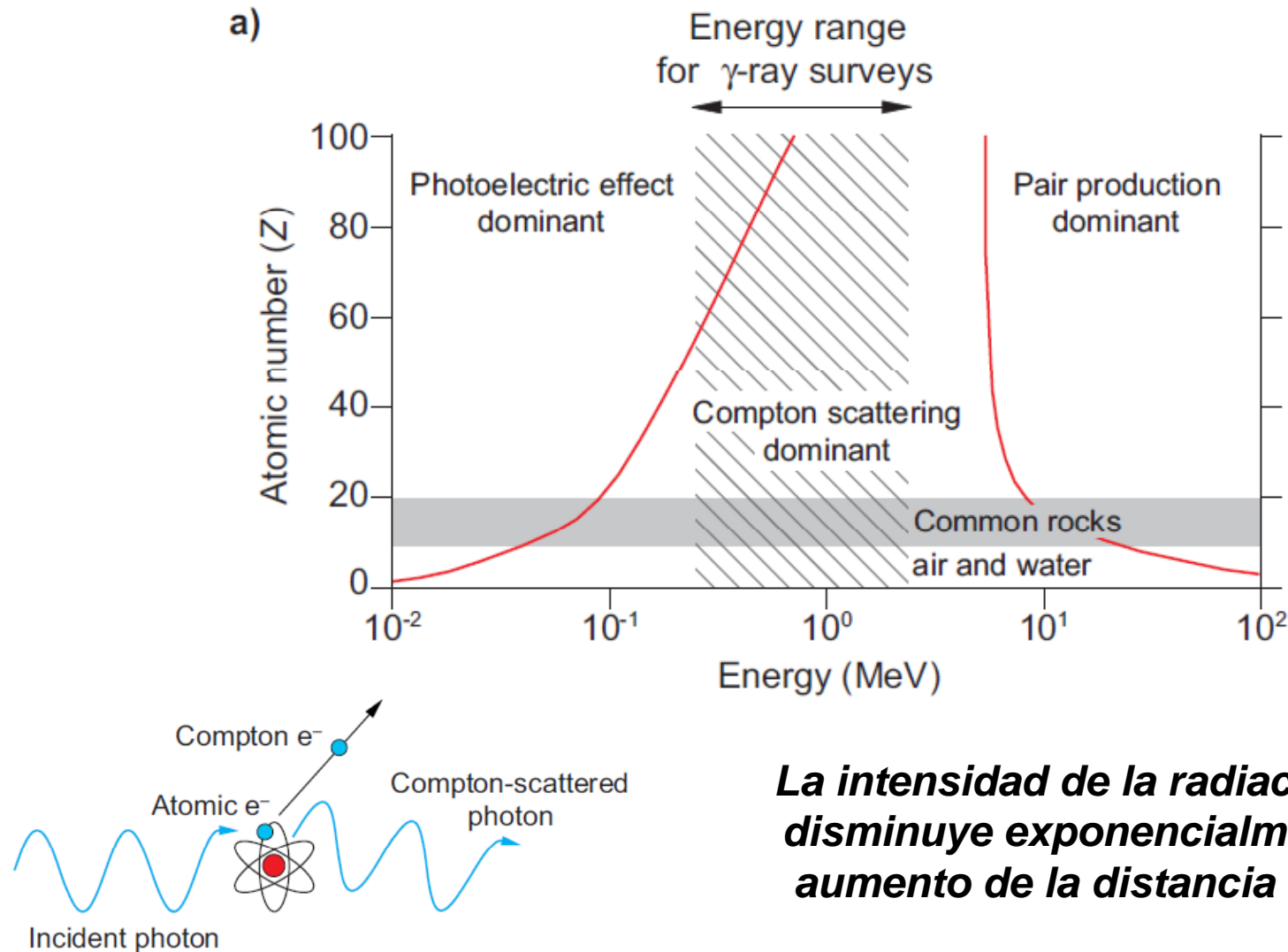
Alfa (α), núcleos de He que se absorben en pocos cm en el aire

Beta (β), electrones que pueden desplazarse por 1 m en el aire

Gamma (γ), fotones derivados de las emisiones α y β , que al no tener masa pueden penetrar unos 30 cm en roca y por más de 300 m en el aire

La radiación gamma es prácticamente la única que puede registrarse en relevamientos de prospección.

Radiación gamma se absorbe por interacción con materia: efecto fotoeléctrico , efecto Compton (choque con electrones y desviación), producción de pares



La intensidad de la radiación gamma disminuye exponencialmente con el aumento de la distancia a la fuente

Radiación gamma es bloqueada con algunos cm de Pb

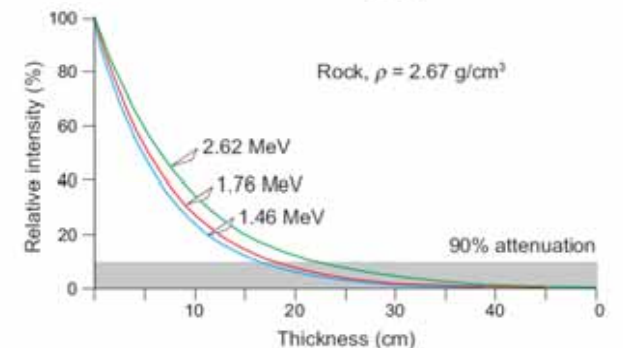
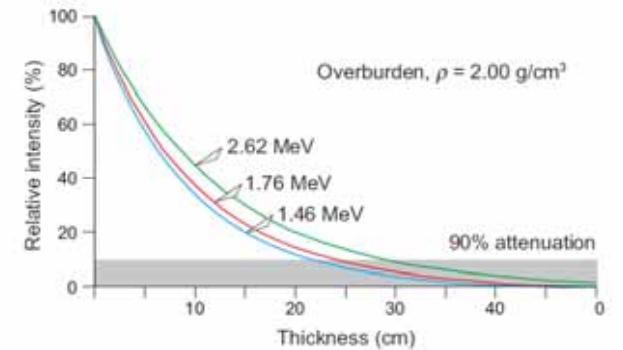
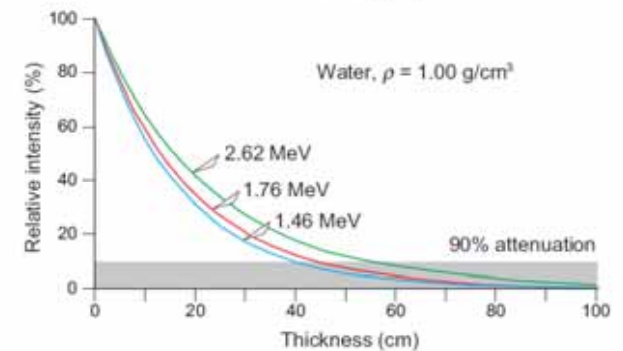
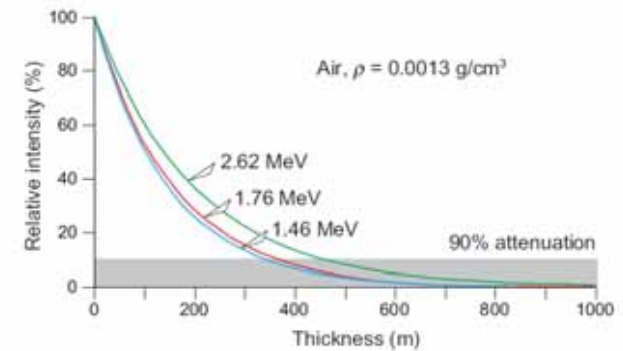
En aire puede viajar varios cientos de metros

La lluvia/humedad/biomasa produce atenuación

La nieve atenúa 10 veces más que el aire (1-2 cm de nieve impiden el relevamiento)

La atenuación total en roca-suelo se produce en 30 cm – 1 metro

La topografía provoca alteraciones en el patrón de radiación, tanto en relevamientos aéreos como terrestres



Tres elementos radiactivos (4 isótopos) significativos

- ^{232}Th

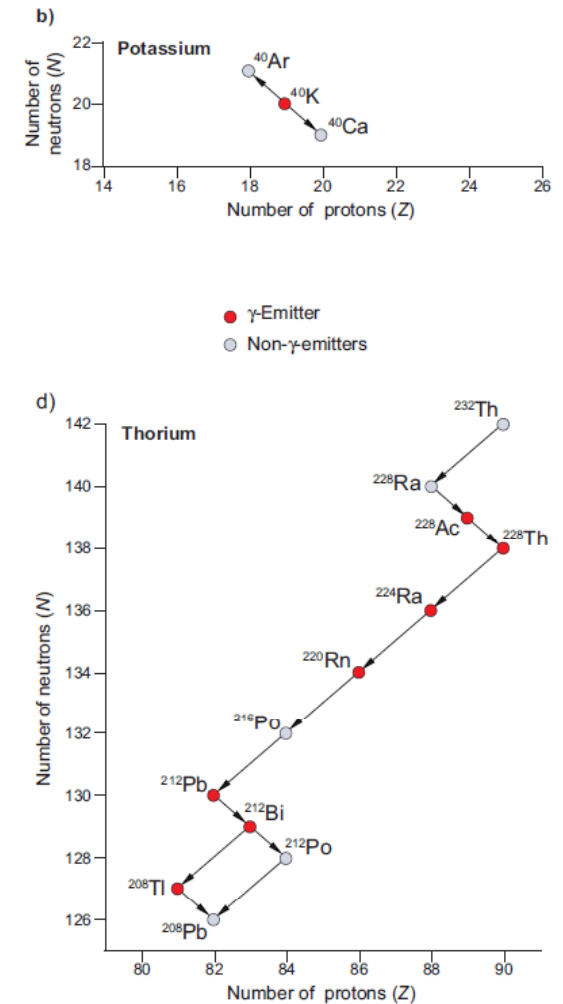
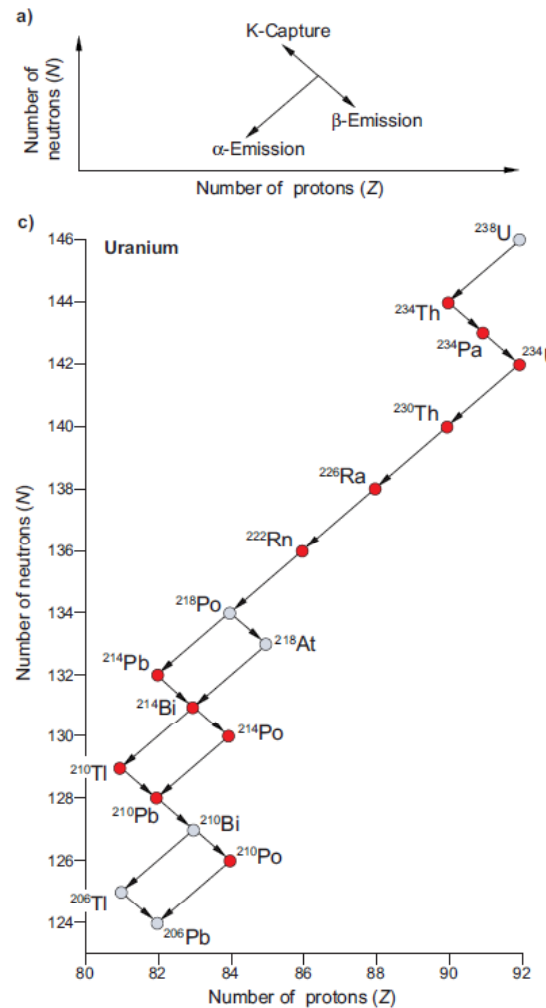
- ^{235}U

decaen a
isótopos
estables de
Pb

- ^{238}U

- ^{40}K

decae a ^{40}Ca
y ^{40}Ar



Fuentes adicionales de radiación gamma

- ^{222}Rn , radón atmosférico, escapa de rocas y suelos y se acumula en la baja atmósfera
- Ruido cósmico
- Ruido instrumental (constante)

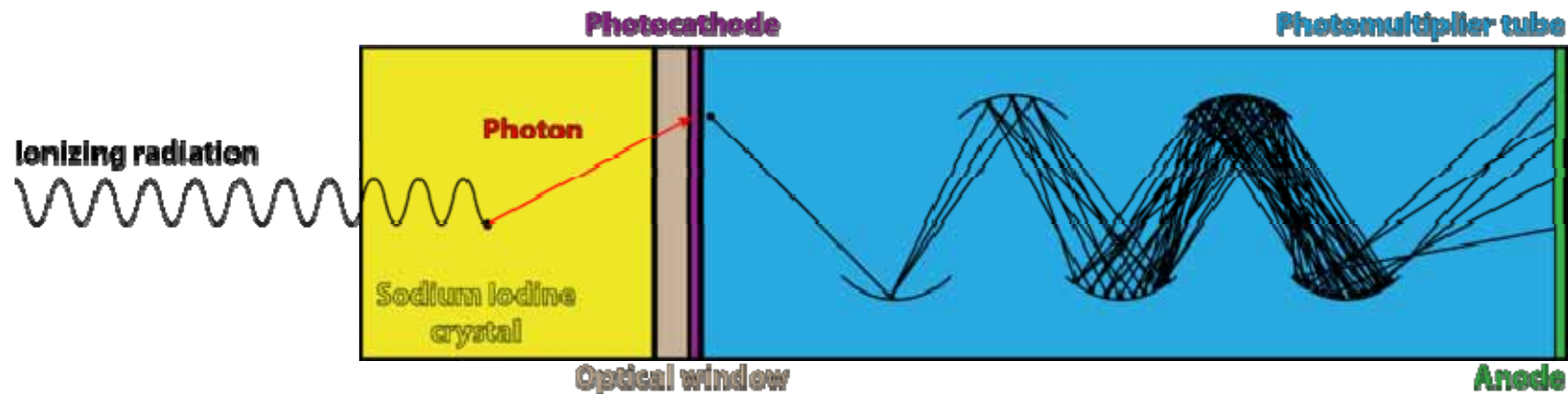
Contador Geiger-Muller

Tubo relleno de gas (Ar) ionizado, con un cátodo y un ánodo. La incidencia de electrones, o de fotones en el cátodo que liberan electrones, produce eventos de ionización, impulsos eléctricos que son amplificados y medidos.



Poco eficiente para detectar radiación gamma. Relevamiento terrestre. Poco uso en exploración.

Centellómetro (“Scintilómetro”)



Cristal de NaI (denso, efectivo para absorber radiación) experimenta luminiscencia por la radiación (centellea).

Fotones inciden en el fotocátodo, que emite electrones por efecto fotoeléctrico.

Los electrones impactan sucesivamente en los dínodos del fotomultiplicador, generando electrones secundarios.

La salida es un pulso eléctrico por cada fotón que incide, que tiene amplitud proporcional a la energía de la radiación original incidente.

El centellómetro puede ser *de cuentas totales* (sólo cuenta los pulsos), o puede analizar amplitudes y dar el espectro de energías. En este caso se lo llama **espectrómetro**.



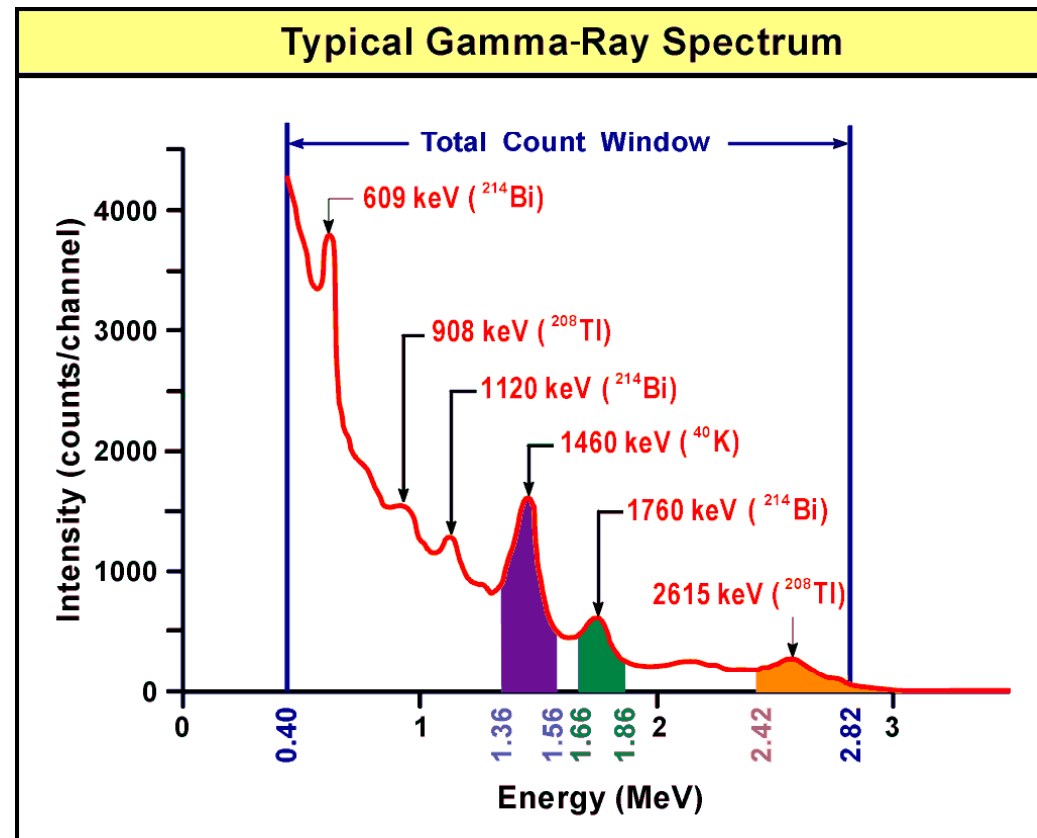
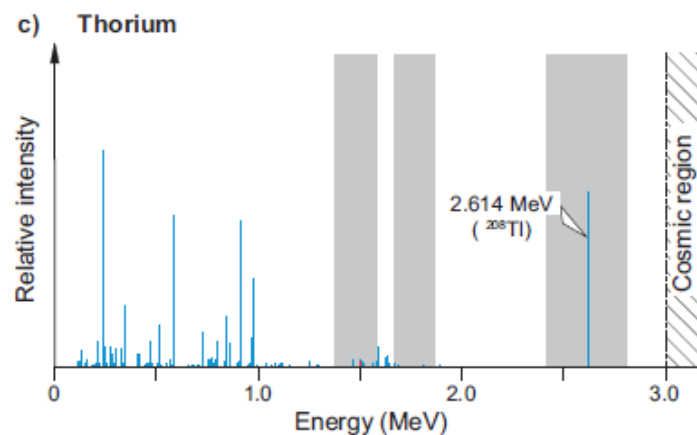
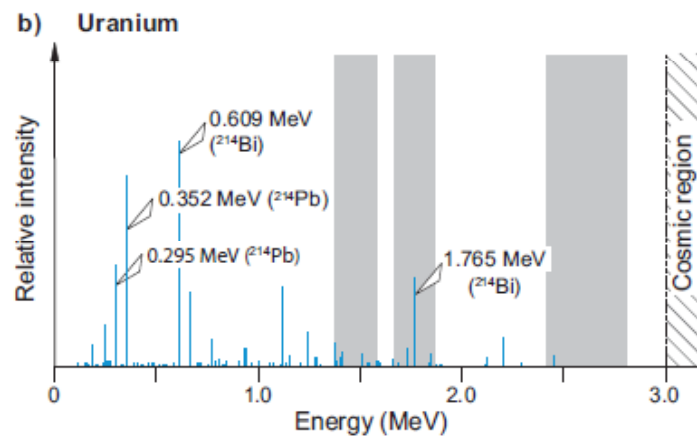
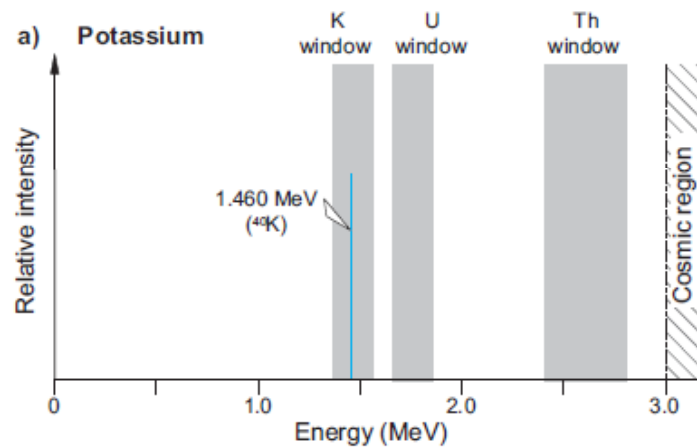
La sensibilidad depende del volumen del cristal de NaI.

En equipos terrestres 0,1-0,3 l, en aerotransportados al menos 16 l y hasta 33,6 litros

La exactitud de cada medición aumenta incrementando el tiempo de integración (decaimiento es un proceso aleatorio).

Hasta varios minutos en tierra, 1 seg en aerotransportados





^{40}K es siempre un 0,012% de K total (medición directa de K)

^{214}Bi es hijo de ^{238}U (éste se calcula asumiendo equilibrio, “*equivalente de U*” eU)

^{208}Tl el hijo de ^{232}Th (ídem U, eTh)

La radiación de más de 3000 keV corresponde a los rayos cósmicos

Unidades:

Actividad (A), cantidad de transiciones nucleares por unidad de tiempo:
Becquerel, Bq (1/s).

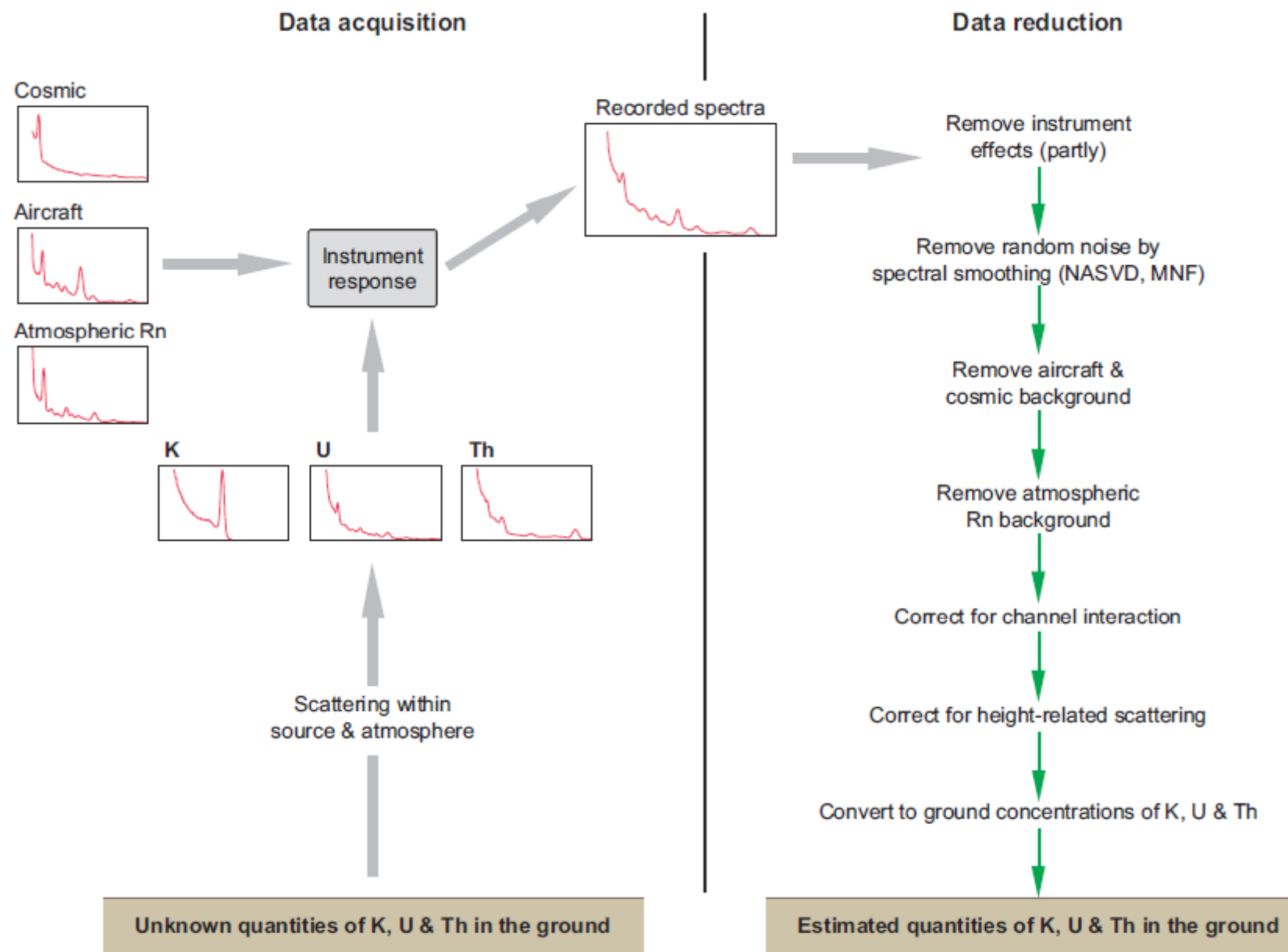
Actividad específica (a), actividad por unidad de masa, Bq/kg

TABLE 2.5. CONVERSION OF RADIOELEMENT CONCENTRATION TO SPECIFIC ACTIVITY (IAEA, 1989).

1% K in rock	= 313	Bq/kg	^{40}K
1 ppm U in rock	= 12.35	Bq/kg	^{238}U , or ^{226}Ra
1 ppm Th in rock	= 4.06	Bq/kg	^{232}Th

En la práctica los resultados se expresan simplemente en “cuentas por segundo”.

La energía de la emisión se mide en MeV (millones de electronvoltios)



Fuentes adicionales de radiación gamma

^{222}Rn , radón atmosférico, escapa de rocas y suelos y se acumula en la baja atmósfera

Ruido cósmico

Ruido instrumental (constante)

Corrección

La radiación de *background* se mide sobre el agua, donde la radiación del piso es nula (lo que llega son rayos cósmicos, Rn atmosférico y radiación del avión)

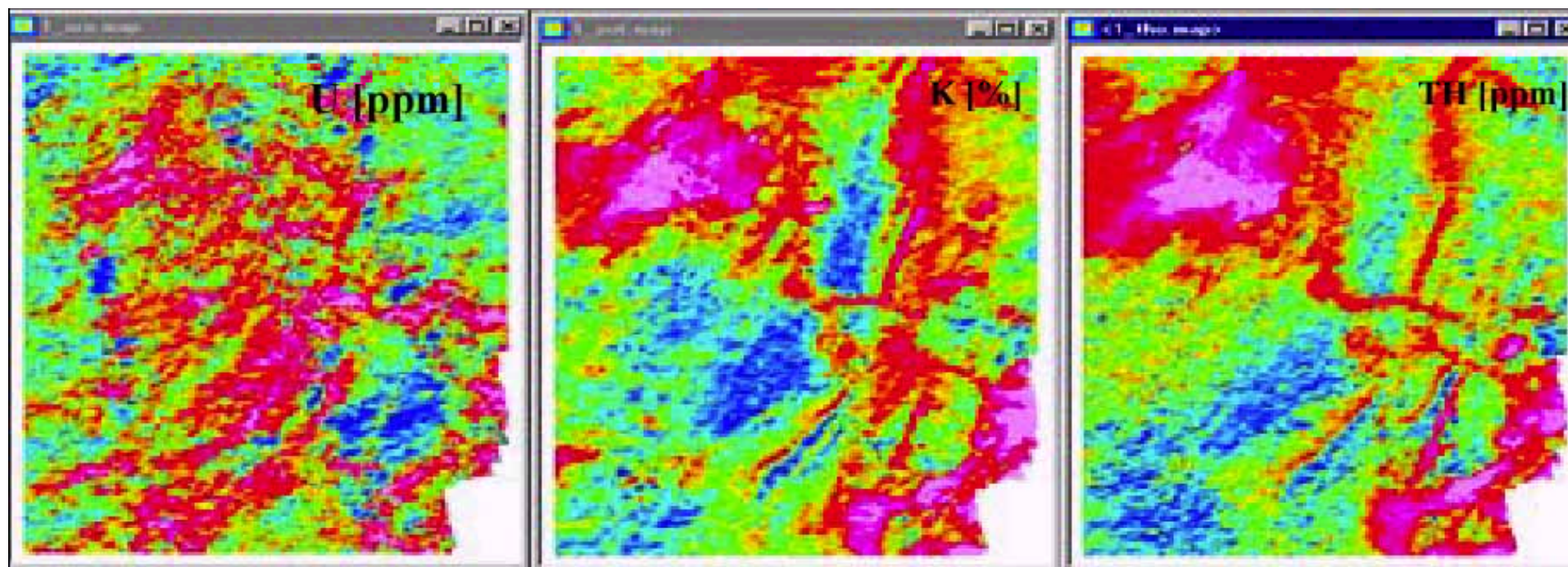
Se lleva un segundo detector orientado hacia arriba para cuantificar el Rn atmosférico

Se determina el coeficiente de atenuación vertical volando a varias alturas sobre una línea de calibración

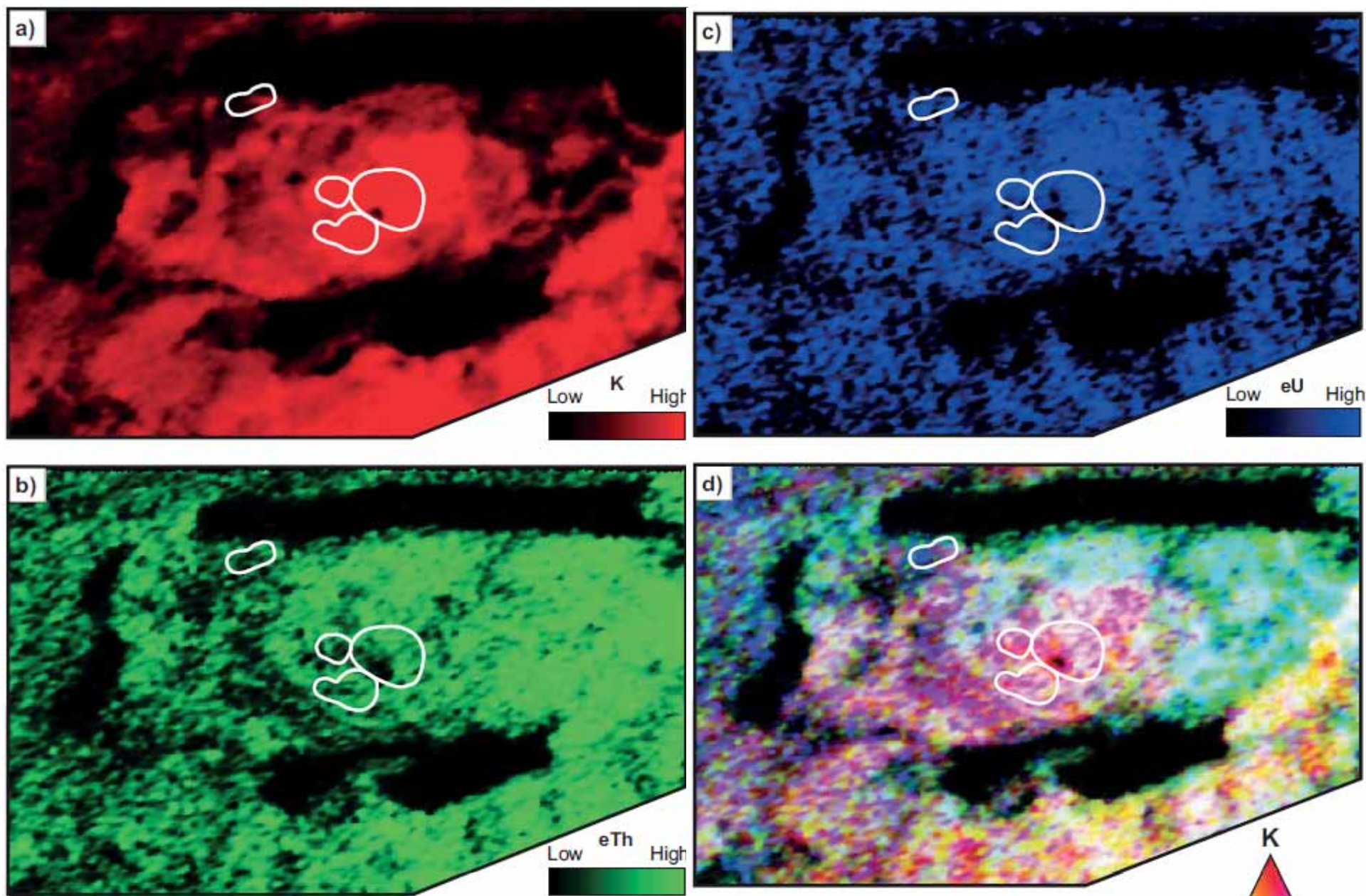
La conversión de cuentas a concentraciones se hace midiendo la línea de calibración en tierra



FIG. 4.4. Calibration of a portable spectrometer on a transportable calibration pad.



Presentación: mapas de cada elemento por separado



Mapas ternarios

RADIOMETRIC MAP OF AUSTRALIA

SCALE 1:15 000 000
0 250 500 750 1000 km
LAMBERT CONFORMAL CONIC PROJECTION
Central Meridian: 134°E Standard Parallels: 10°S, 36°S
Geoscience Catalogue of Australia

The ternary radiometric image shows the concentrations of the radioelements potassium (K), uranium (U) and thorium (Th) at the Earth's surface as measured using the airborne gamma-ray spectrometric method. The image is a false colour composite using the colours red, blue and green to represent potassium, uranium and thorium, respectively. These primary colours are mixed in the same proportions at each point on the map as the concentrations of the radioelements. Thus white areas have high concentrations of all the radioelements and dark areas have low concentrations. Areas high in K only appear red, and areas high in U and Th but low in K appear turquoise (a mixture of green and blue). So this representation of the data is useful for viewing the concentrations of all three radioelements in a single image.

We thank Fugro Airborne Surveys for allowing the inclusion of some of their survey data in Western Australia.

Compiled by the Continental Geophysics Project, Geoscience Australia. Data processing by R. Franklin, P.R. Milligan, B.R.S. Minty and P.J. Percival. Image enhancement and index maps by P.R. Milligan, P.J. Percival and L.M. Richardson. Cartography: S. Mezzomo.

It is recommended that this map be referred to as: Minty, B.R.S., Franklin, R., Milligan, P.R., Richardson, L.M. and Wilford, J., 2008. Radiometric Map of Australia (First Edition), scale 1:15 000 000. Geoscience Australia, Canberra.

The composite K, U and Th radiometric grid data at 100 metre cell sizes are available for free download via the internet using Geoscience Australia's Geophysical Archive Data Delivery System (GADOS) at: <http://www.geoscience.gov.au/gados>

Published by Geoscience Australia, Department of Resources, Energy and Tourism, Canberra, Australia. Issued under the authority of the Federal Minister for Resources, Energy and Tourism.

© Commonwealth of Australia 2009.



Copies of this map may be downloaded from the Geoscience Australia internet site at: <http://www.ga.gov.au>, or by contacting:
Sales Centre, Geoscience Australia
GPO Box 378
Canberra, ACT 2601
Phone (02) 6249 9966
Facsimile (02) 6249 9960
Email: sales@ga.gov.au



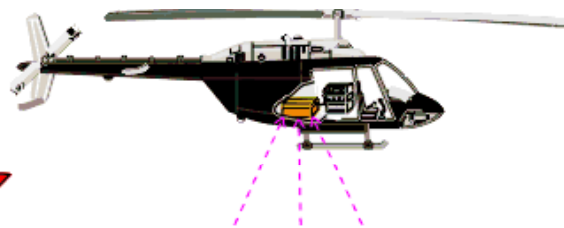
Airborne gamma-ray spectrometric survey coverage



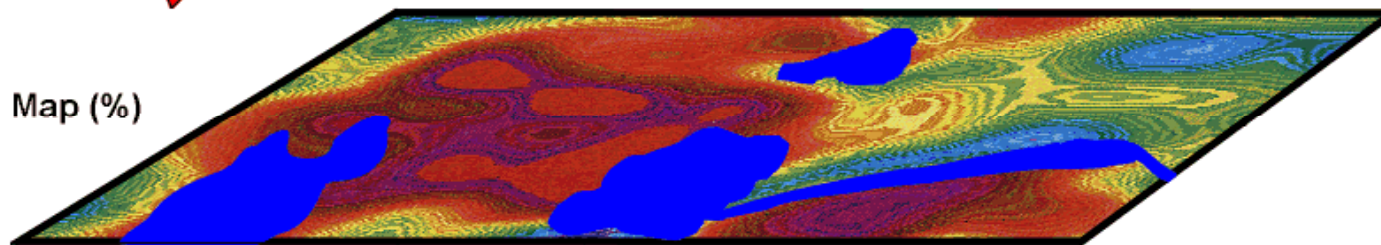
Completed flight lines at 14 December 2007



Airborne Gamma Ray Spectrometry

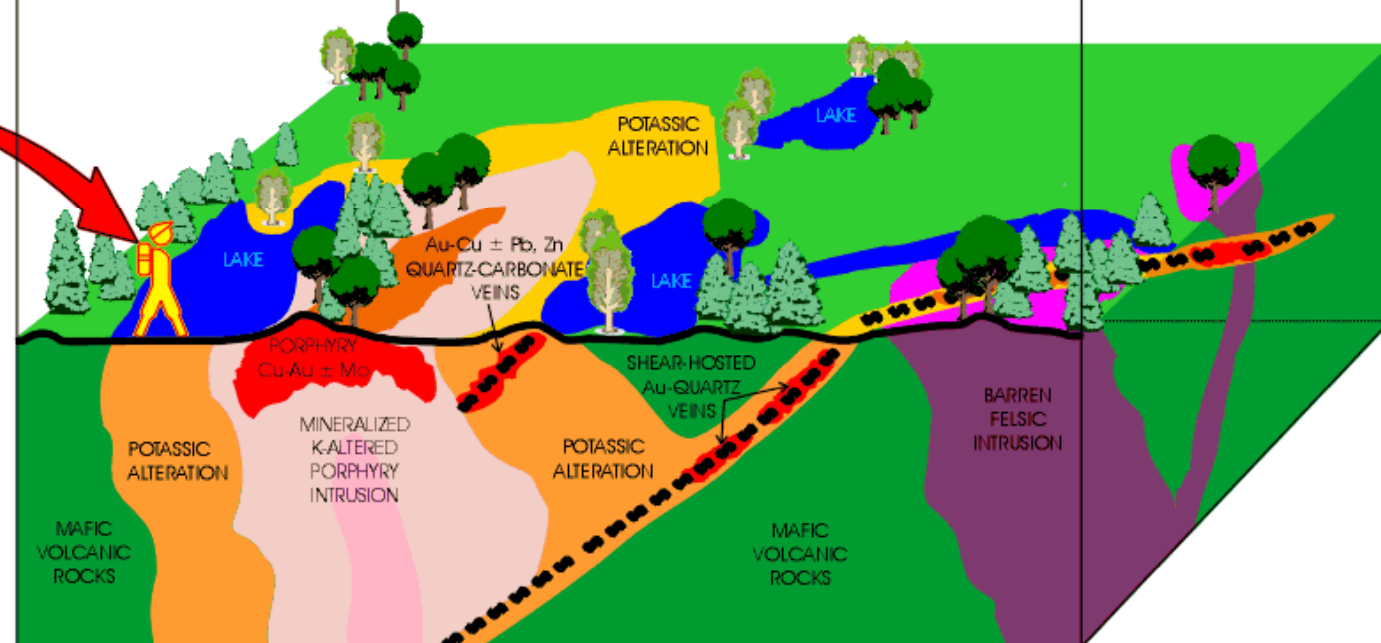
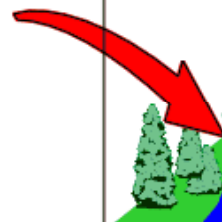


Potassium Map (%)

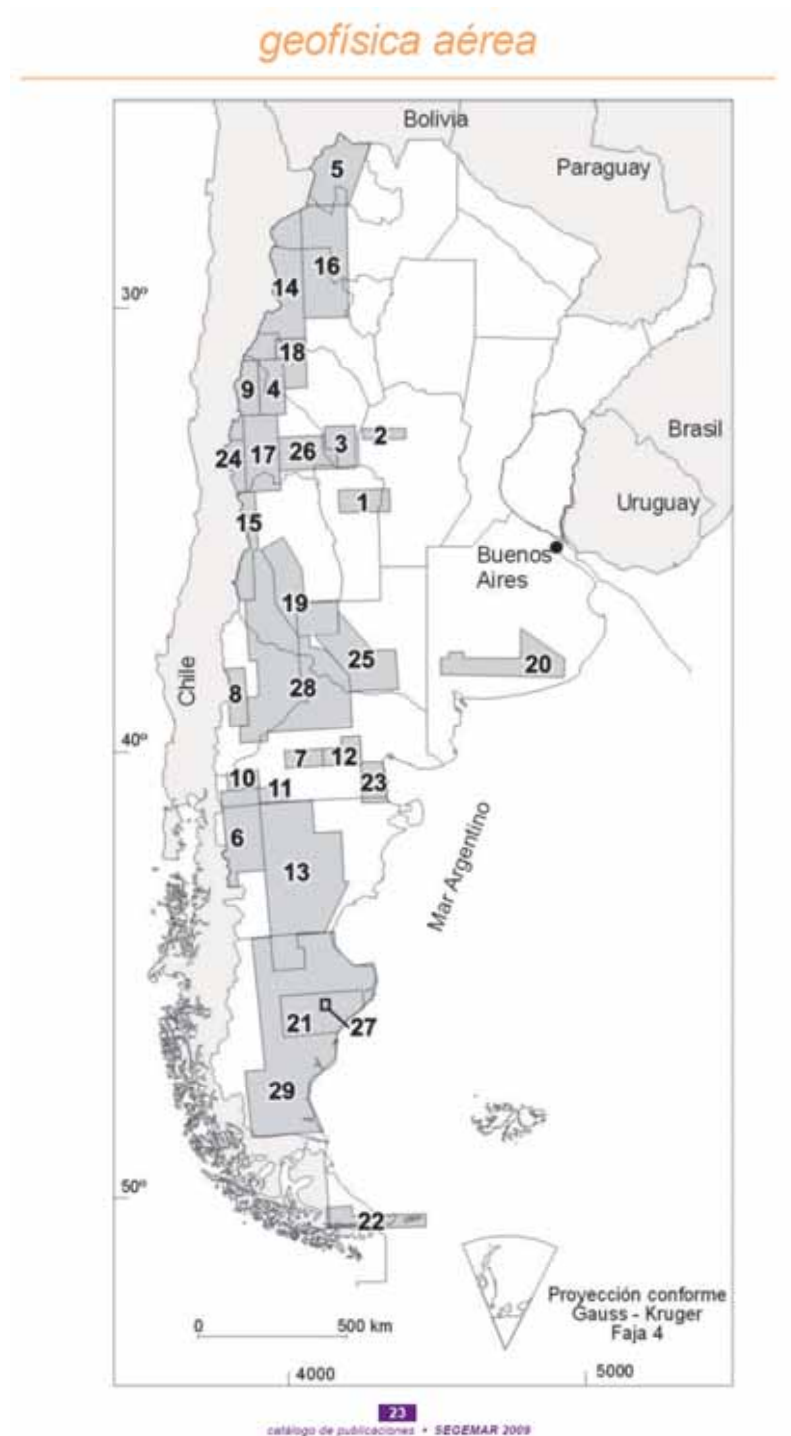


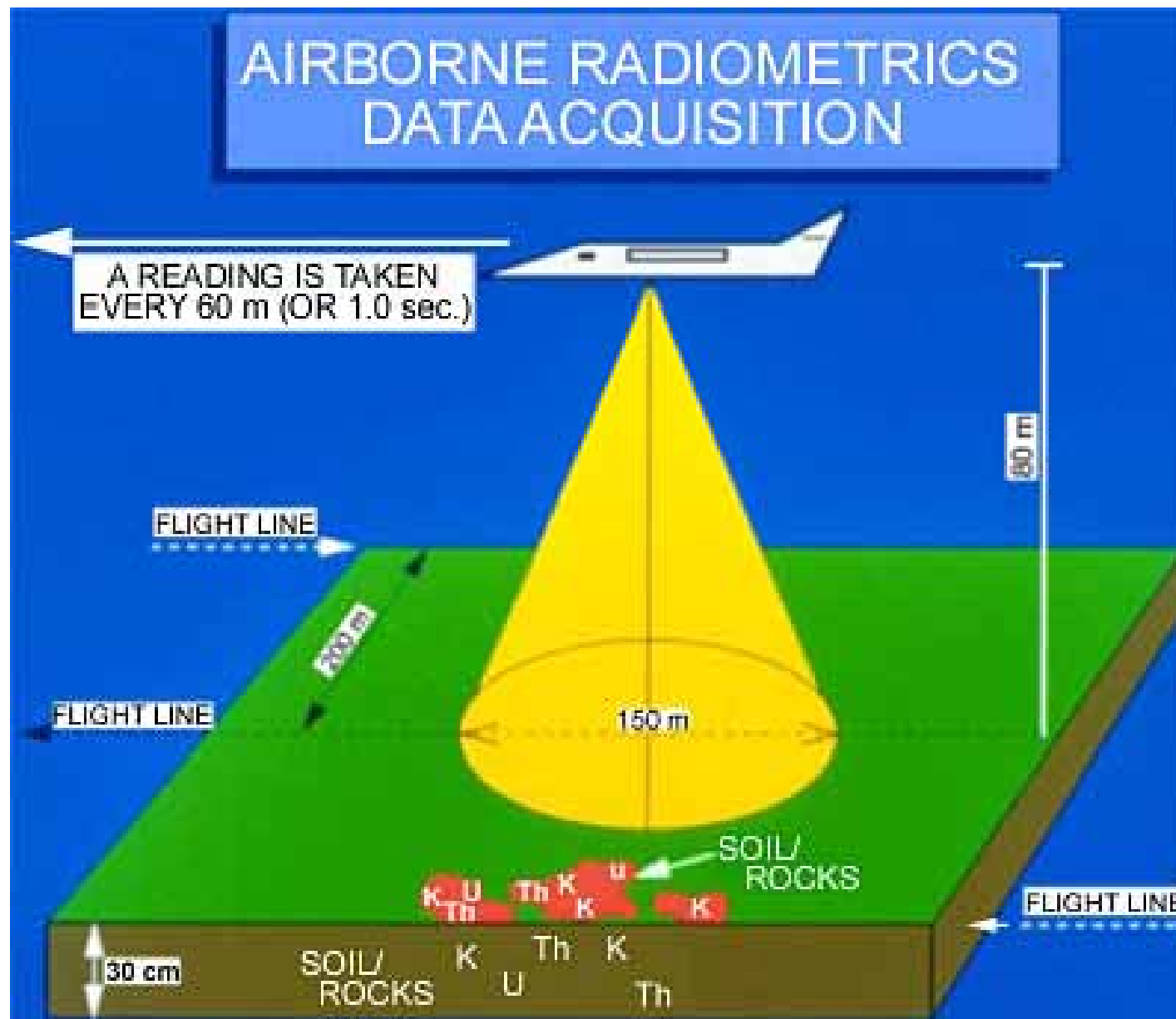
eUranium/eThorium ratio
eThorium/Potassium ratio
Potassium (%)

Ground Gamma Ray Spectrometry



Cobertura de
geofísica aérea
SEGEMAR - IGRM





El óvalo muestreado tiene un ancho ~ 2 veces la altura de vuelo, un largo mayor por la distancia recorrida en 1 seg (tiempo de acumulación)

TABLE 9.1. POTASSIUM MINERALS.

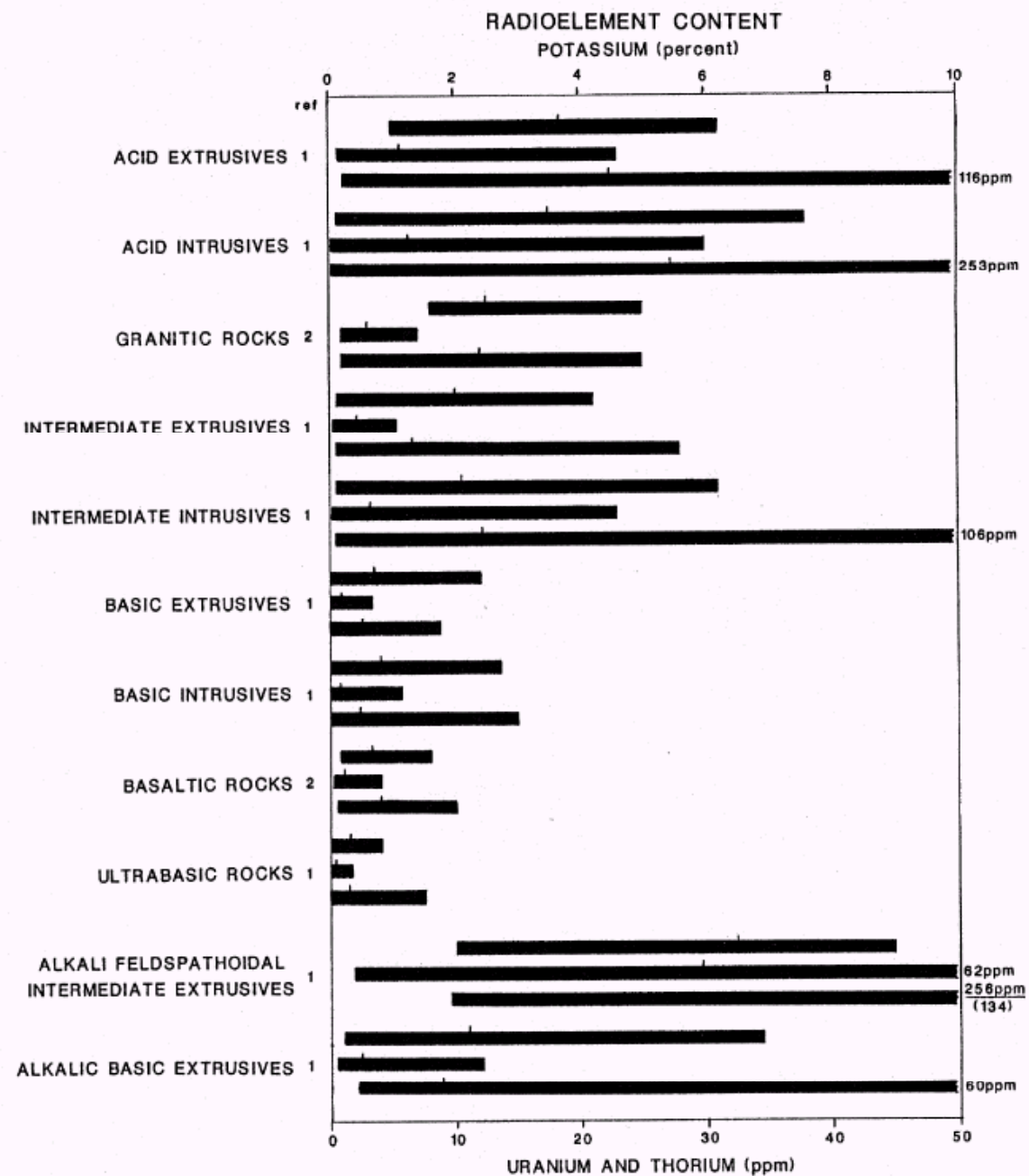
Potassium Minerals	Chemical Formula	% K
Rock forming silicate minerals		
Feldspars	$(\text{K,Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8; (\text{Na}_x, \text{Ca}_{1-x})\text{Al}_{2-x}\text{Si}_2\text{O}_{8(x=0-1)}$	
Alkali-feldspar	$(\text{K,Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	13
Microcline	KAlSi_3O_8	13
Orthoclase	KAlSi_3O_8	13
Sanidine	KAlSi_3O_8	13
Leucite	KAlSi_2O_6	17
Nepheline	$(\text{Na,K})\text{AlSiO}_4$	23
Biotite	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	8
Muscovite	$\text{KAl}_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	8
Phlogopite	$\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	8
Hornblende	$(\text{K,Na})_{0-1}(\text{Na,Ca})_2(\text{Fe,Mn,Mg,Ti,Al})_5(\text{Si,Al})_8\text{O}_{22}(\text{OH,F})_2$	1
Other K-minerals		
Alunite	$\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	
Glauconite	$(\text{K,Ca,Na})_{<1}(\text{Al,Fe}^{3+},\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_2[(\text{OH})_2/\text{Al}_{0.35}\text{Si}_{3.65}\text{O}_{10}]$	
Sylvite	KCl	

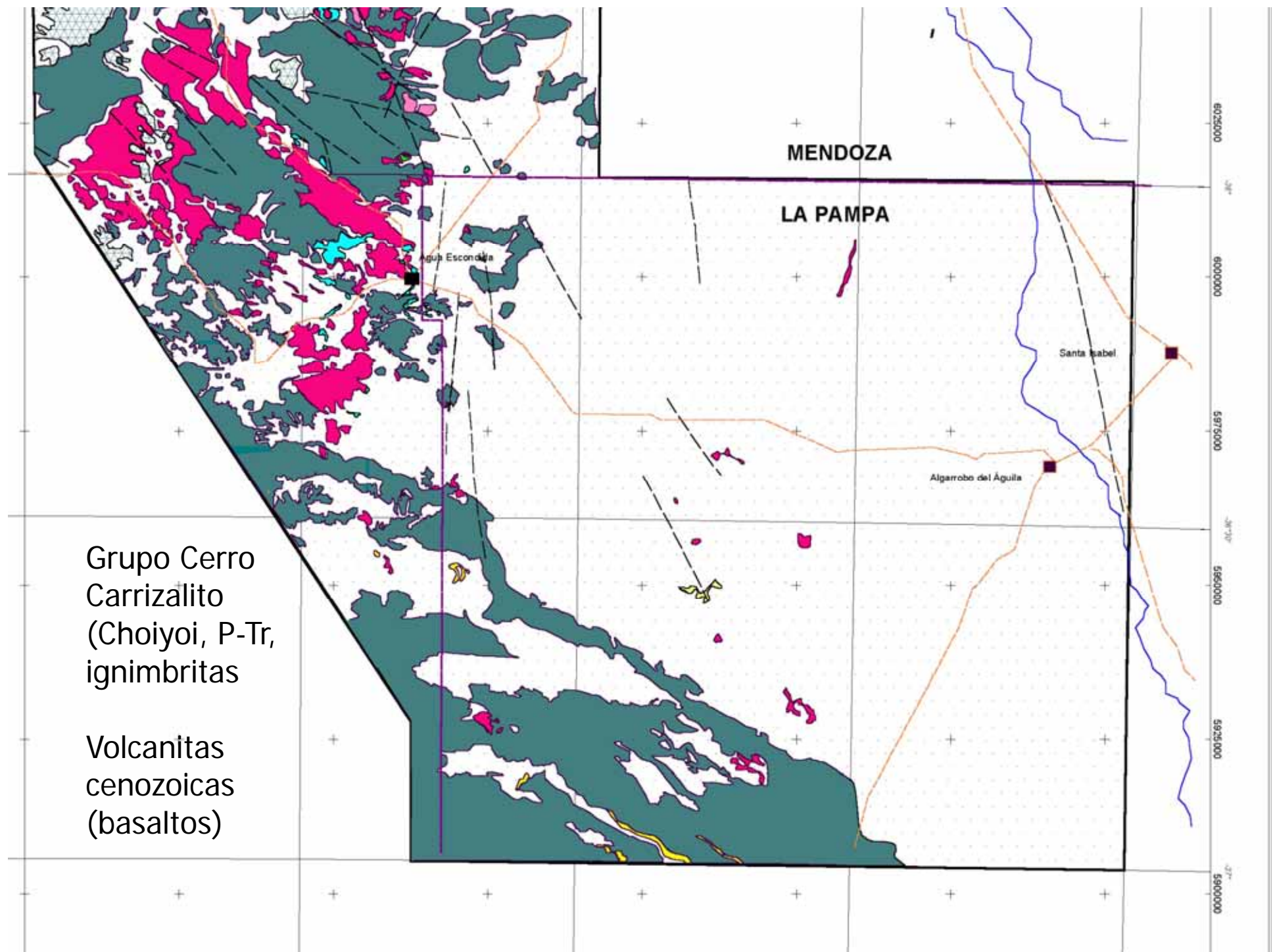
TABLE 9.2. THORIUM MINERALS.

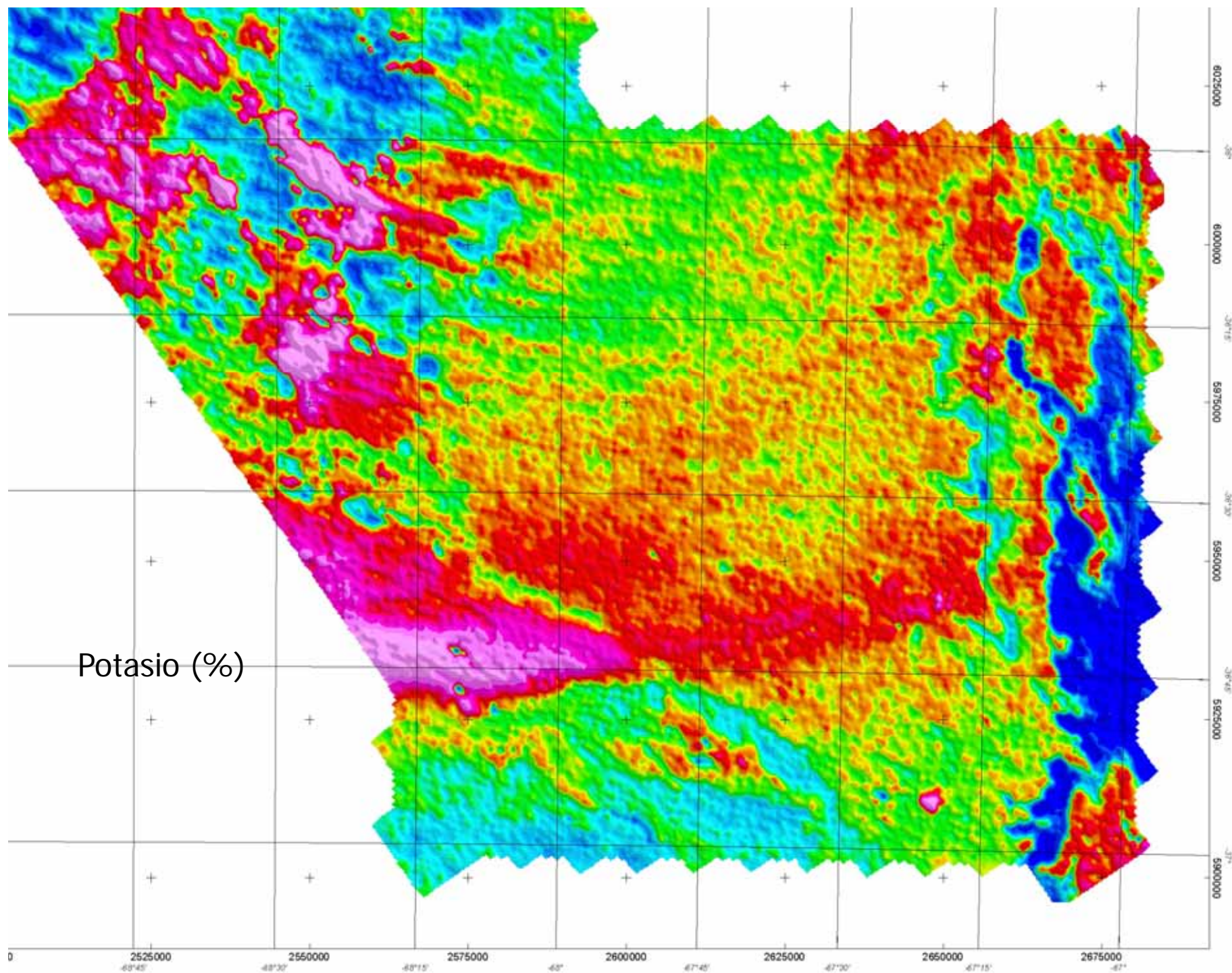
Thorium Minerals	Chemical Formula	% ThO ₂
Minerals with Th as major constituent		
Huttonite	ThSiO ₄	80
Thorite, Uranothorite	ThSiO ₄ , (Th,U)SiO ₄	50, < 50
Cheralite	(Th,Ce,Ca)(SiO ₄ PO ₄)	30
Thorianite, Uranothorianite	ThO ₂ , (Th,U)O ₂	80, < 80
Common accessory minerals		
Monazite	(REE,Th)PO ₄	10
Xenotime	YPO ₄	0.4-1
Zircon	ZrSiO ₄	0.01-1
Allanite	(Ca,Al,Fe,Mg) silicate	0.1-1
Apatite	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)	0.001-0.1
Sphenc	CaTiSiO ₅	0.001-0.1
Epidote	CaFe ³⁺ Al ₂ O.OH(Si ₂ O ₇)(Si ₂ O ₄)	0.005-0.05

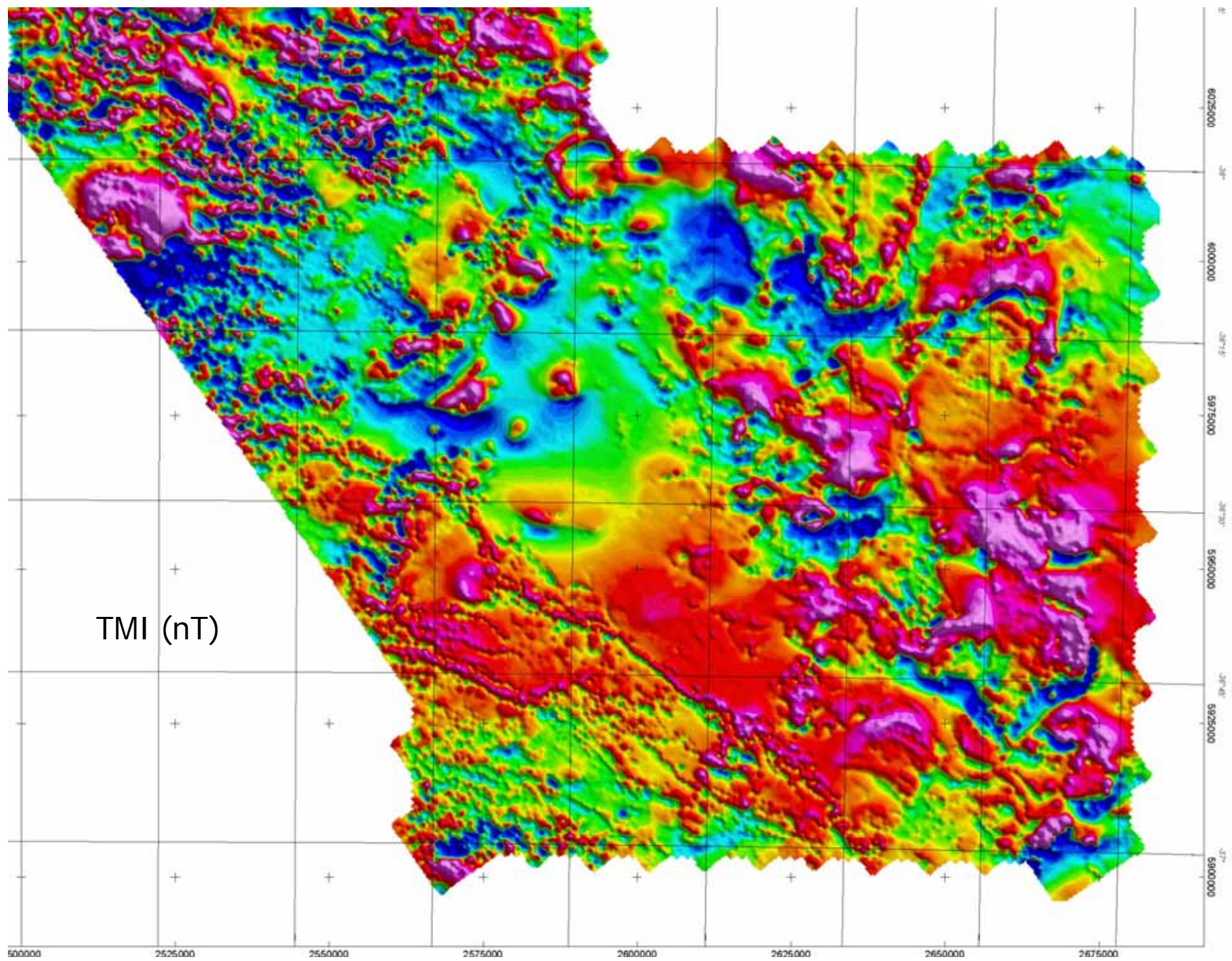
TABLE 9.3. URANIUM MINERALS

Uranium Minerals	Chemical Formula	% UO ₂ /ppm U
Minerals with U as major constituent		
Uraninite, (Pitchblende)	UO ₂	
Betafite	(U,Ca)(Nb,Ta,Ti) ₃ O ₉ .nH ₂ O	
Huttonite	ThSiO ₄	100-20000 ppm
Uranospherite	(BiO)(UO ₂)(OH) ₃	
Thorite, Uranothorite	ThSiO ₄ , (Th,U)SiO ₄	1-35%
Thorianite, Uranothorianite	ThO ₂ (Th,U)O ₂	5%
Common accessory rock forming minerals		
Zircon	ZrSiO ₄	5%
Xenotime	YPO ₄	5%
Monazite	(REE,Th)PO ₄	100-20000 ppm
Allanite	(Ca,Al,Fe,Mg) silicate	10-2000 ppm
Apatite	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)	5-200 ppm
Sphene	CaTiSiO ₅	10-500 ppm









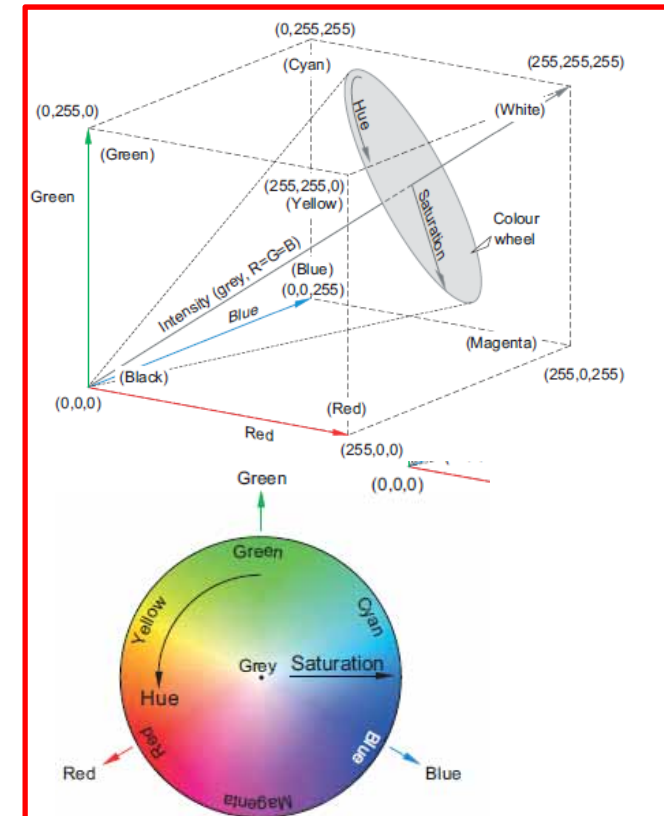
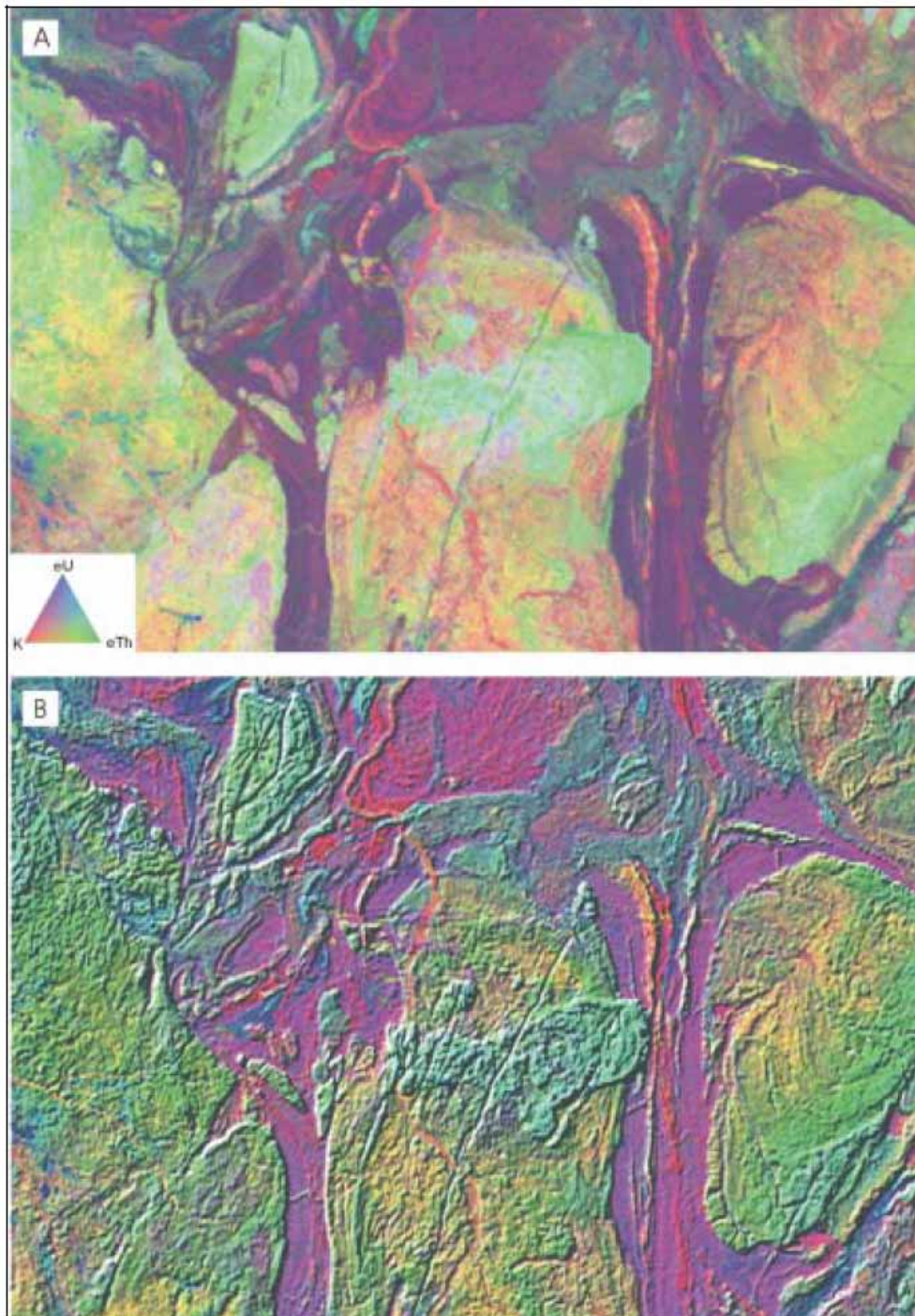
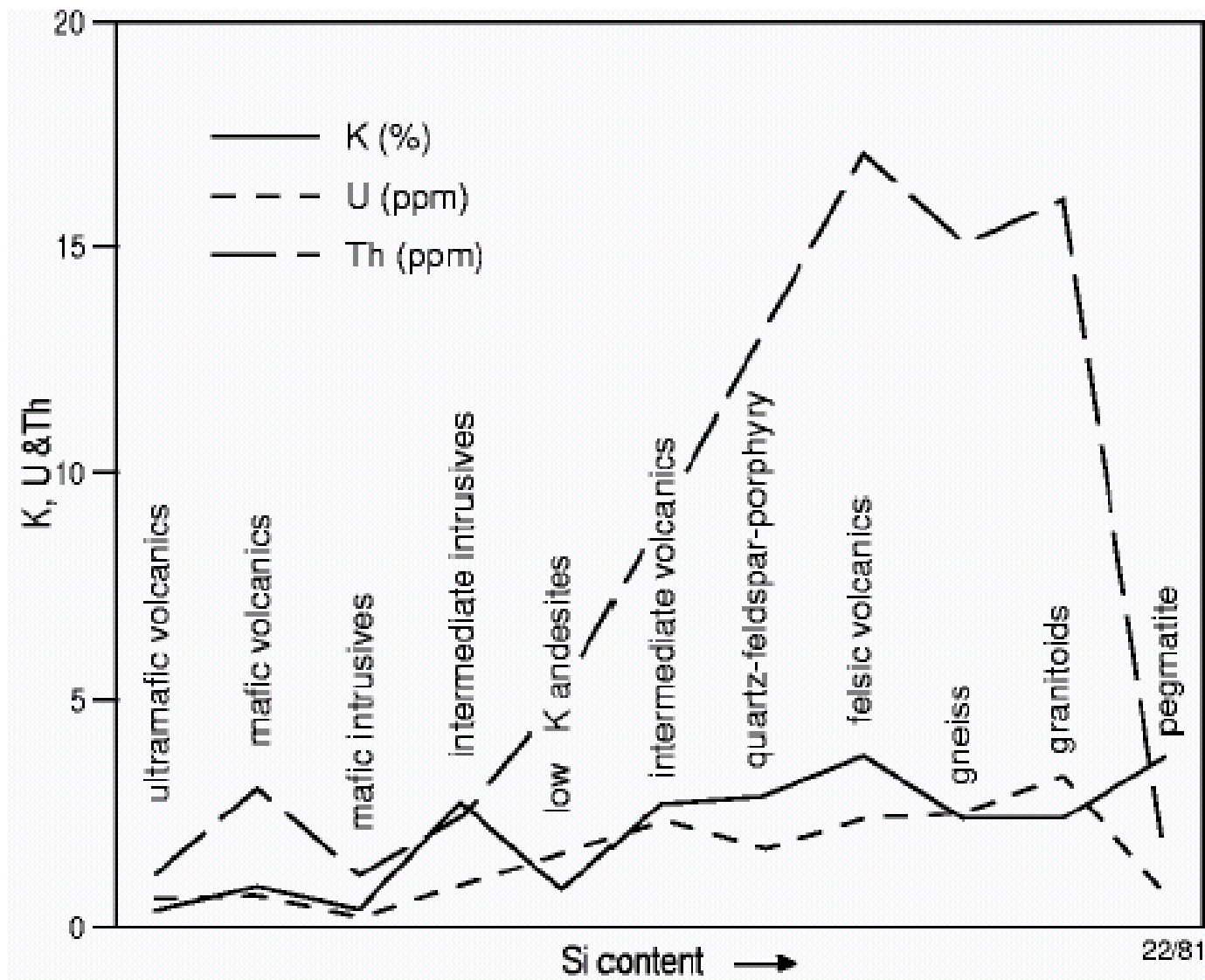


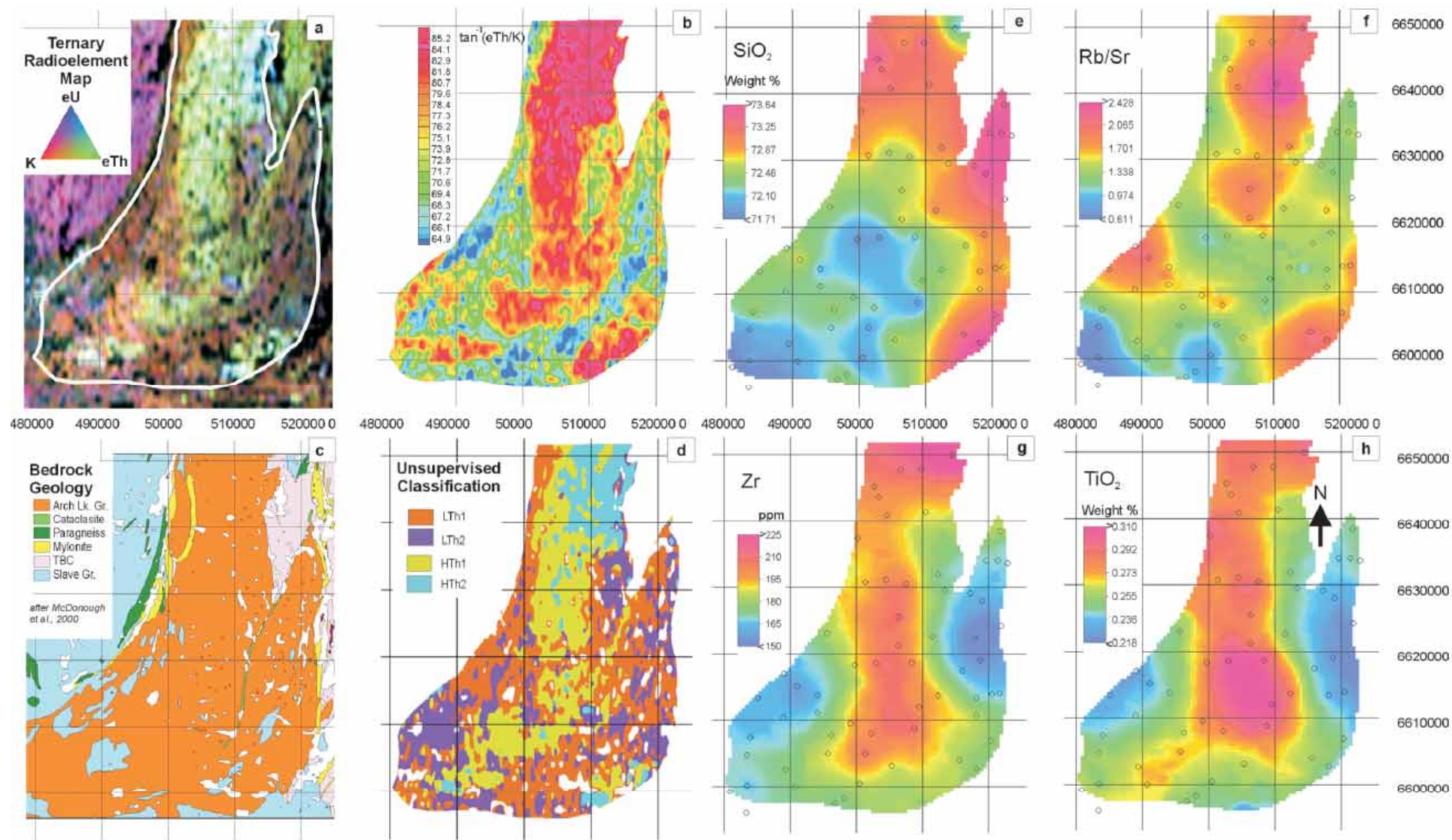
Imagen compuesta IHS
(intensity-hue-saturation)

*! muestra cuentas totales en
relieve*

Cratón de Pilbara (Australia).
Batolitos y rocas verdes
Geoscience Australia



Rocas formadas en las etapas finales de la diferenciación tienen alto contenido de U y Th en comparación con K, debido a la concentración de elementos incompatibles en el fundido residual

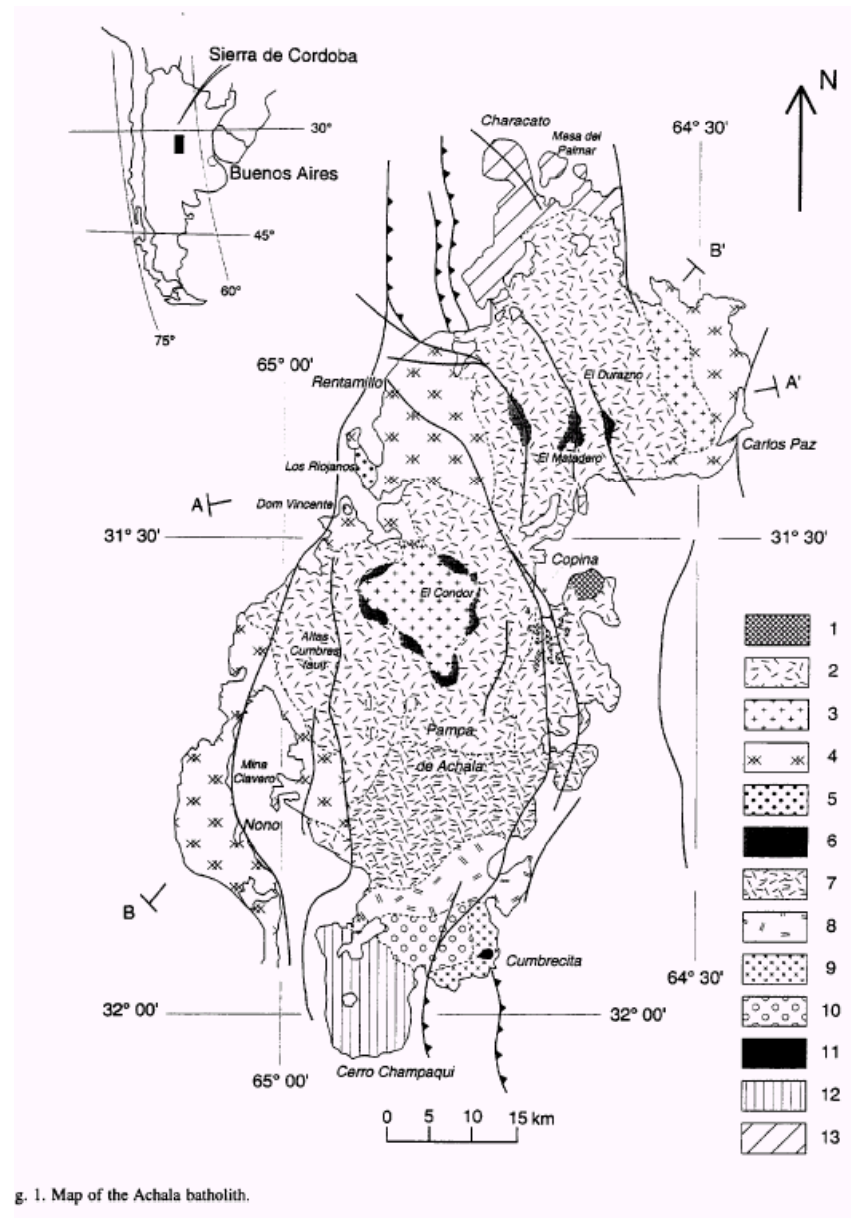


Mapas “radiolíticos” (*radiolithic*)

Schetselaar 2002, Exploration Geophysics

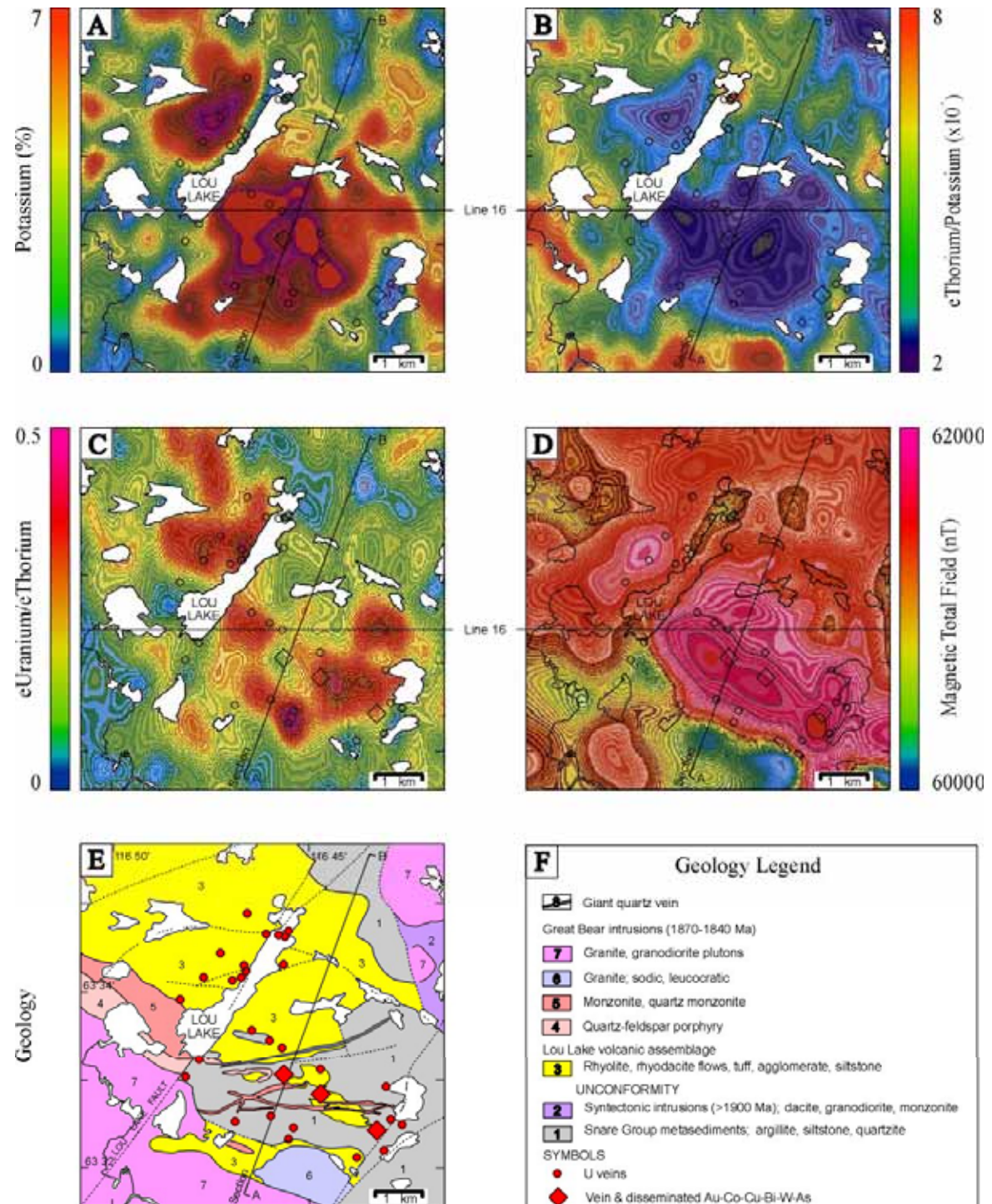
Batolito de Achala,
Córdoba
Demange et al. 1996

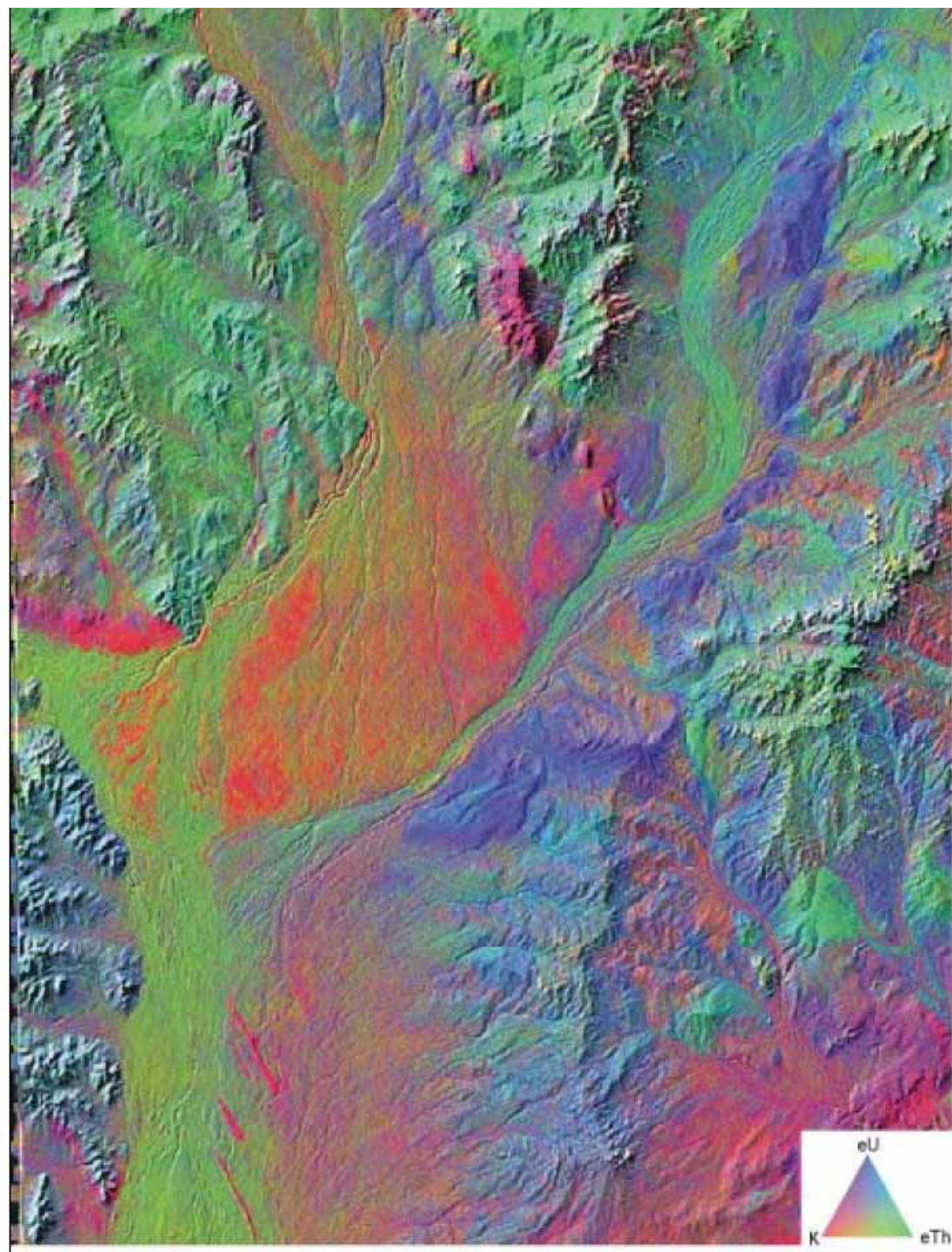
Facies sustentadas
parcialmente en
relevamiento
aeroradimétrico por
CNEA



g. 1. Map of the Achala batholith.

Relaciones entre
elementos
Ej. Th/K, U/Th





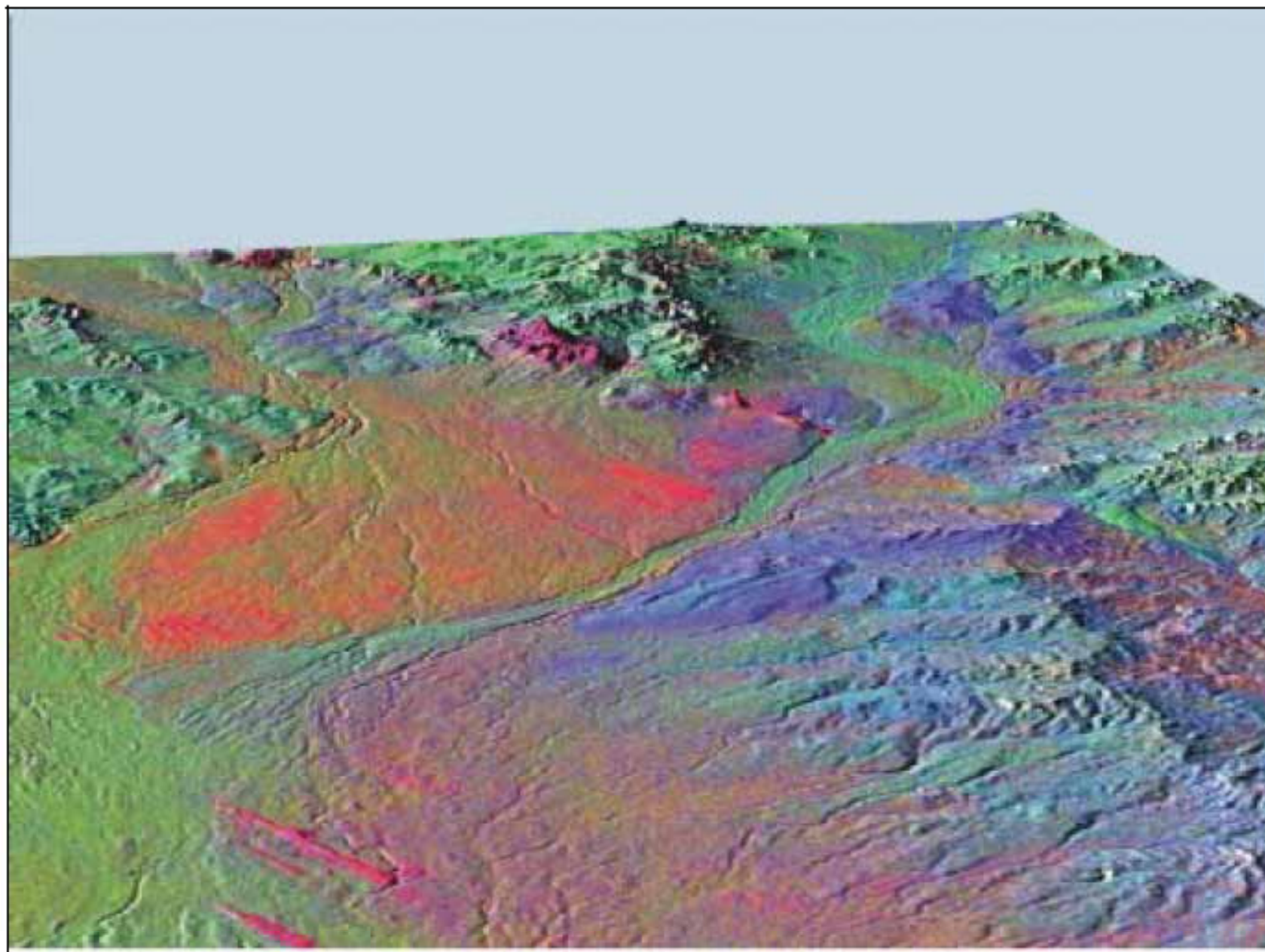
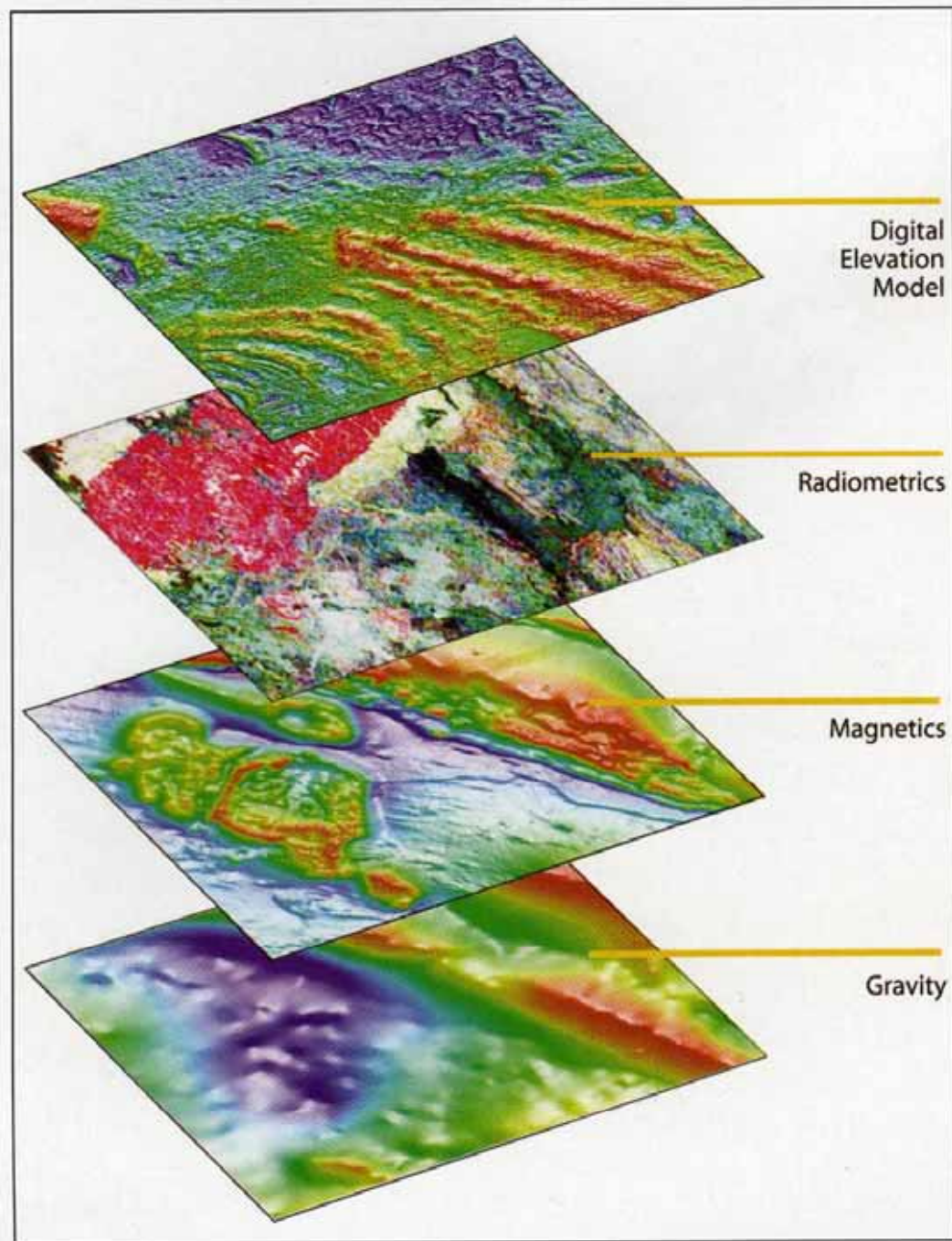


FIG. 7.17. 3-D perspective views of IHS composite image shown in Figure 7.16 (data courtesy of Geoscience Australia).



<i>Parámetro físico medido</i>	Ritmo de fotones (rayos gamma) recibidos, y su energía
<i>Unidades</i>	Cuentas por segundo, becquerel (Bq). Para equipos calibrados, % de K, ppm (eq) de Th, ppm (eq) de U
<i>Propiedad física relevante</i>	Cantidad de K, Th, U y sus elementos hijos
<i>Fuente de anomalías</i>	Contraste en contenidos de K, Th y U en los primeros 50 cm de la superficie terrestre
<i>Profundidad de investigación</i>	Los primeros 50 cm
<i>Detección directa</i>	Uranio, torio
<i>Detección indirecta</i>	Apatita, estaño, oro, zonas de alteración, mapeo regional
<i>Costos aproximados</i>	10-15 u\$s/km en plataformas aéreas, o 5-10 u\$s/km extra cuando acompaña relevamientos magnetométricos

Algunas observaciones:

- Es directamente interpretable en función de la geología de superficie (materiales de cobertura y su relación con el basamento).
- Mide un fenómeno físico, pero da información sobre composición, por lo que tiene una connotación geoquímica.
- El campo de influencia de cada medición no es fijo, y ésta da una medida de la concentración superficial promedio para un área grande (especialmente en relevamiento aéreo).
- Relaciones entre elementos pueden realzar variaciones sutiles debidas a alteración/mineralización, pero se las debe interpretar con cautela