

## Clasificación de las rocas según su susceptibilidad magnética

- Rocas diamagnéticas, susceptibilidad  $k < 0$
- Rocas paramagnéticas,  $0 < k < 1 \times 10^{-3}$  (SI)
- Rocas débilmente ferromagnéticas,  $1 \times 10^{-3} < k < 4 \times 10^{-3}$  (SI), **menos de 0,1% vol** de mag
- Rocas moderadamente ferromagnéticas,  $4 \times 10^{-3} < k < 4 \times 10^{-2}$  (SI)
- Rocas fuertemente ferromagnéticas,  $k > 4 \times 10^{-2}$  (SI), **más de 1% vol** de mag

(Modificado de Clark, 1999. Exploration Geophysics)

*El valor de susceptibilidad magnética es una indicación aproximada del contenido de magnetita en las rocas*

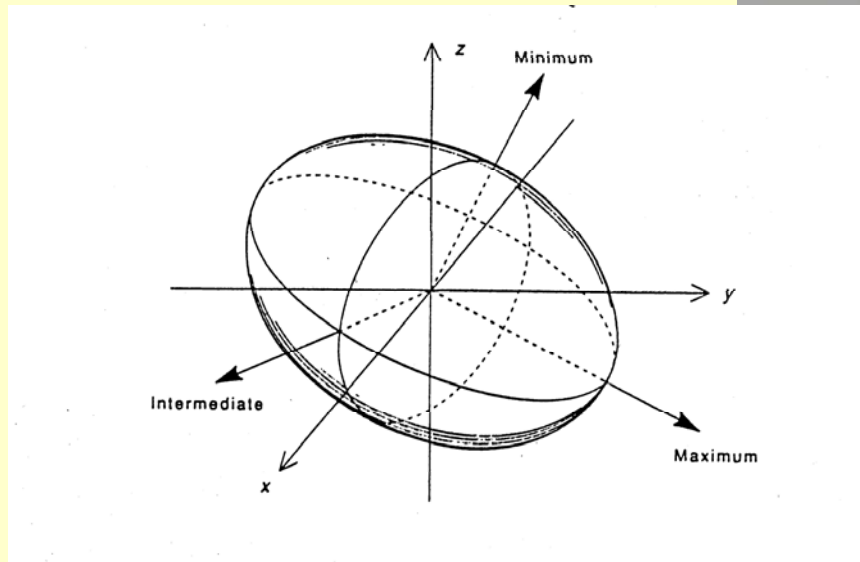






## Anisotropía de susceptibilidad magnética (AMS)

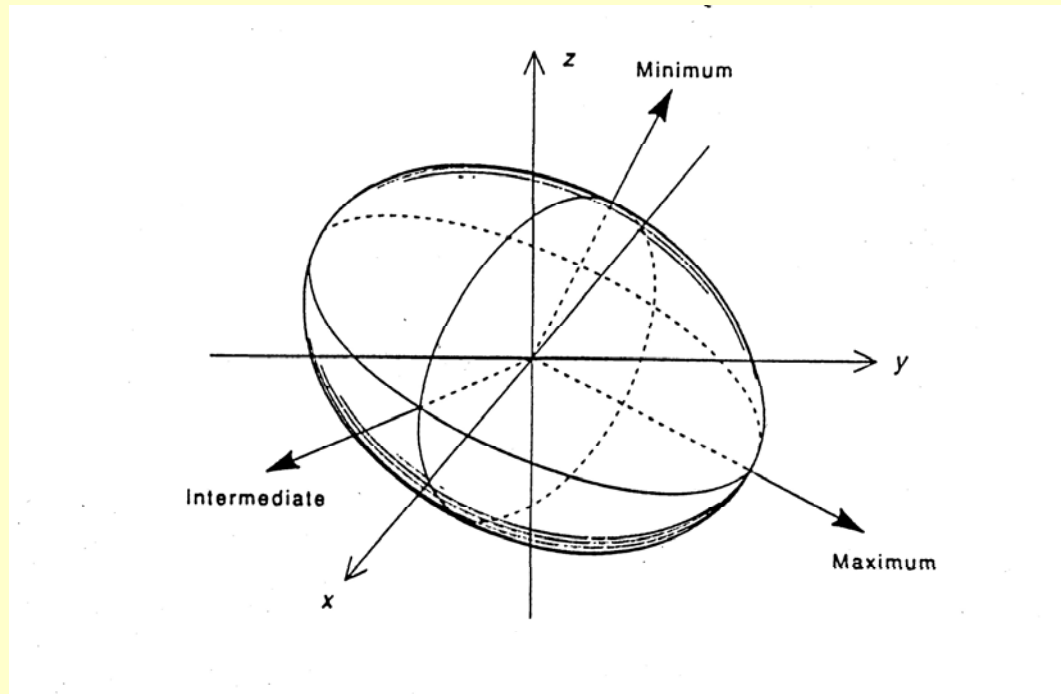
- \* La susceptibilidad magnética de un material homogéneo pero anisótropo, no se puede describir mediante una cantidad escalar única, sino que toma la forma de un *tensor simétrico de segundo orden*. Los ejes principales del tensor definen un **elipsoide**.



El elipsoide está definido por la magnitud y orientación de sus tres ejes principales:

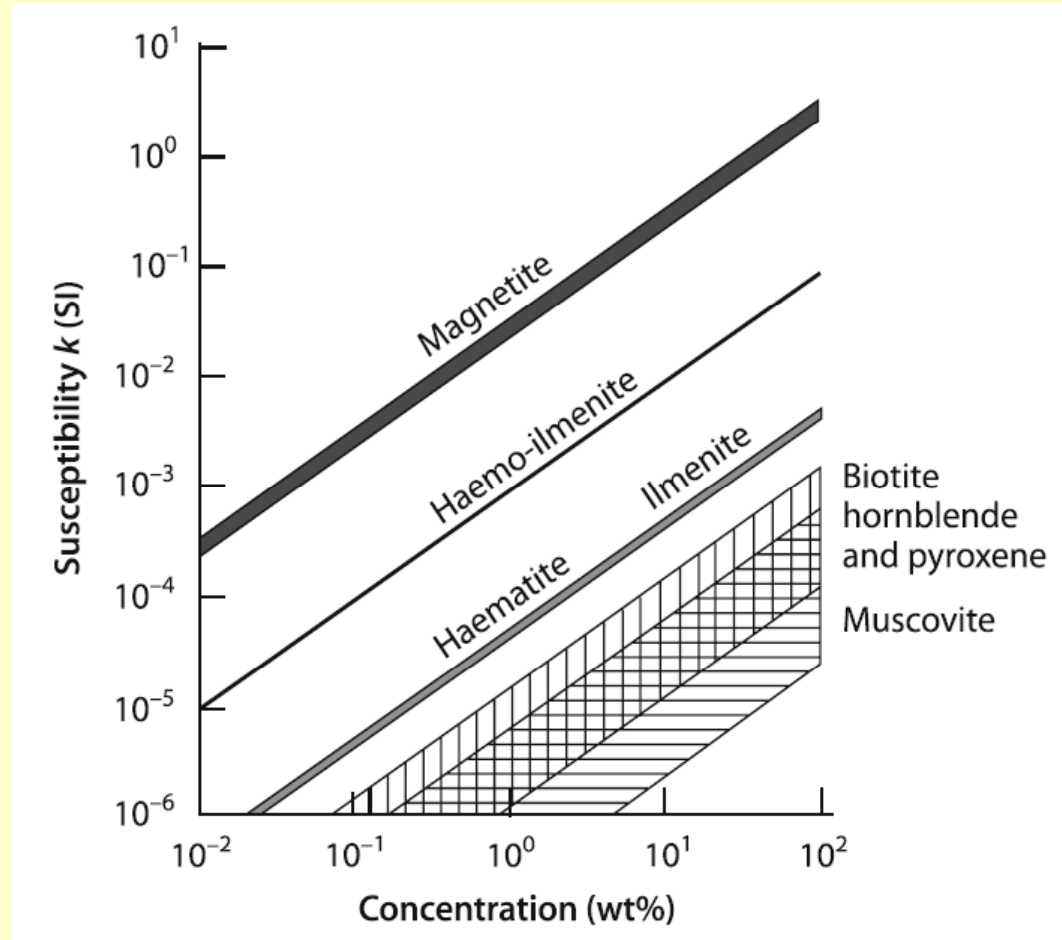
$$K_1 \geq K_2 \geq K_3$$

que constituyen los tres autovectores del tensor susceptibilidad.

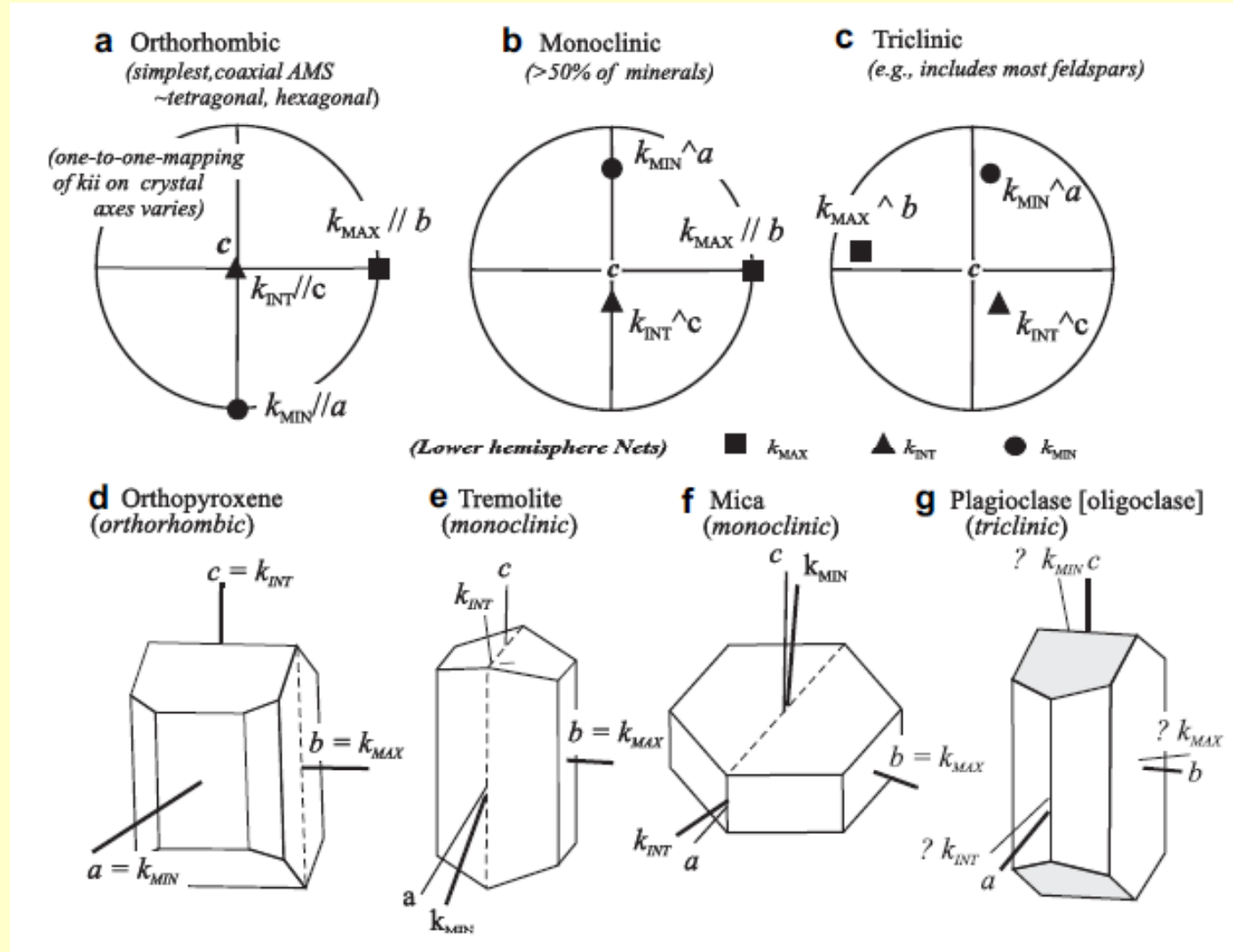


La orientación de los ejes en el espacio puede ser definida en coordenadas cartesianas o en coordenadas polares (declinación e inclinación)

La AMS de una roca homogénea se corresponde con la distribución de orientación de sus minerales. Va a estar controlada por los minerales según su abundancia, susceptibilidad y anisotropía.

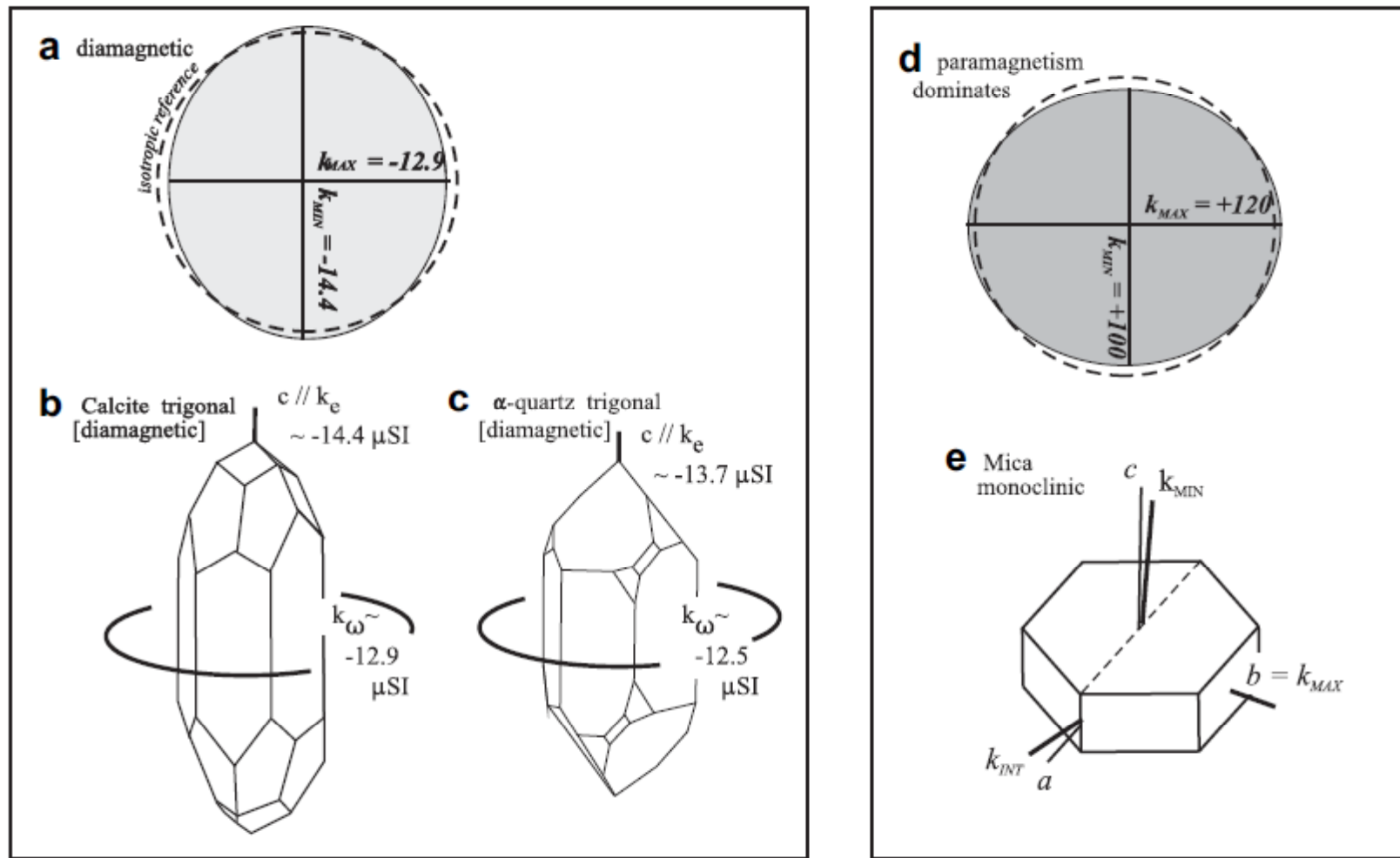


Es una herramienta extraordinaria para establecer la petrofábrica en forma rápida y sencilla.



Borradaile y Jackson 2010





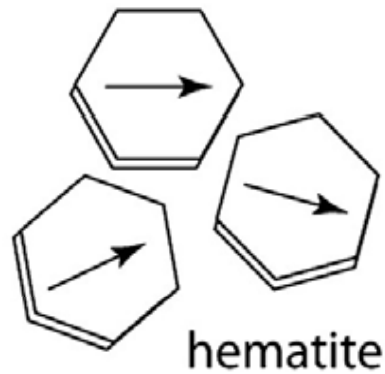
Borradaile y Jackson 2010

## Anisotropía magnetocristalina

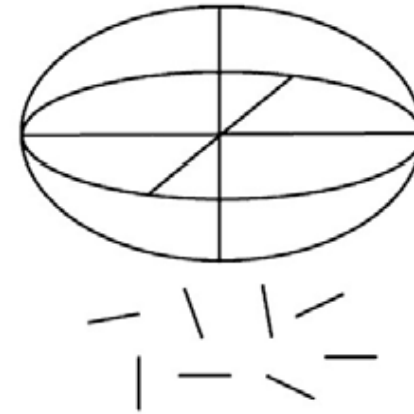
Table 2

Susceptibilities and anisotropy of dominantly paramagnetic (+ve) or diamagnetic (−ve) minerals in  $\mu\text{SI}$  (volume basis).  $k_M$  is paramagnetic susceptibility for BW data, otherwise general low field susceptibility, including ferromagnetic contamination.  $k_F$  is the ferromagnetic contamination in BW data.  $n$  is number of different sources of mineral, where known.  $i$  is inverse fabric, largest susceptibility magnitude close to longest crystallographic axis

	$n$	$k_M (\pm \text{StDv})$	$P_j$	$T_j$	$k_F (\pm \text{StDv})$	$P_j$	$T_j$	Source
Biotite	30	1042 (493)	1.38	0.62	106 (134)	1.72	0.15	BW
Phlogopite	12	273 (162)	1.54	0.78	135 (159)	3.36	0.69	BW
Chlorites	41	552 (478)	1.19	0.28	447 (444)	3.77	0.07	BW
Muscovites	19	140 (134)	1.27	0.56	347 (602)	1.27	0.56	BW
Epidotes	23	639 (316)	1.33	0.11				BP
Amphiboles	9	903 (884)	1.14	0.53				F
Pyroxenes		500–5000	$\geq 1.30$	?				RJA
Tourmaline		1690	1.01	1.0 $i$				RJA,B
Siderite		3980	1.56	−0.9				RJA
Dolomite		40	?	?				B
Calcite		−13.6	1.11	1.0 $i$				RJA
Quartz		−13.4	1.01	1.0				H
Feldspars		−14.0	?	?				B

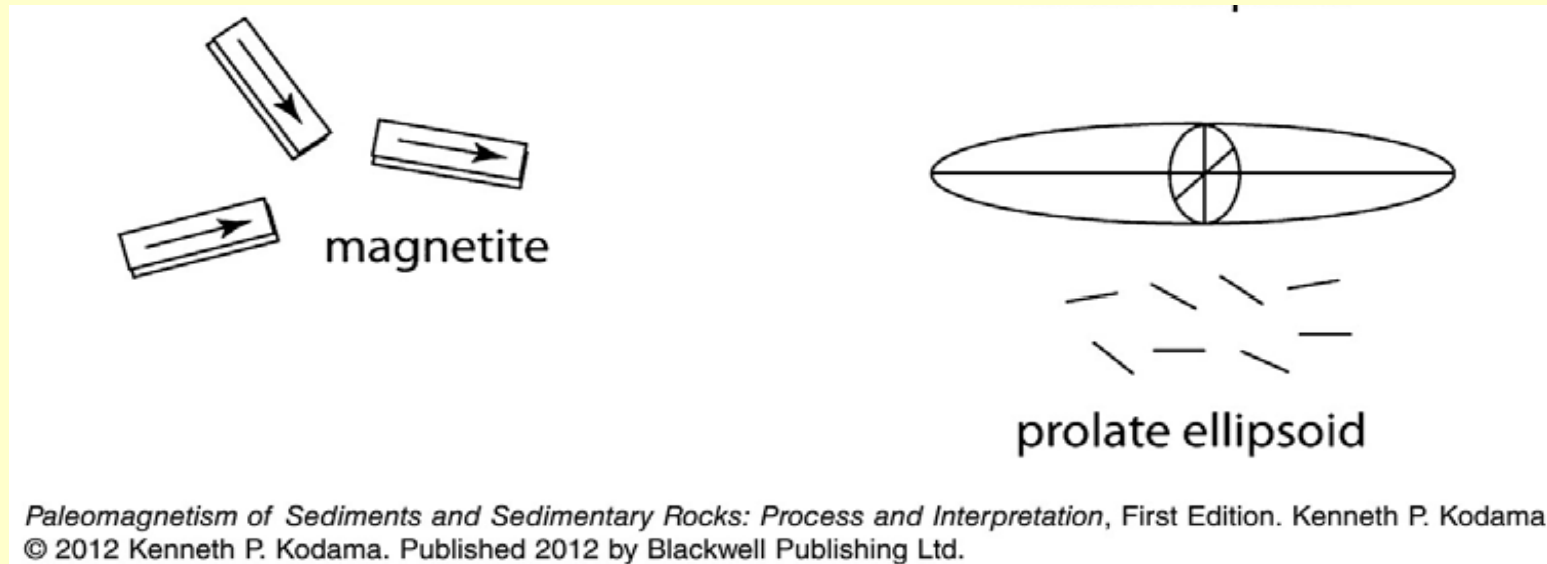


hematite



oblate ellipsoid

**Hematita y pirrotina** tienen baja simetría, y por lo tanto fuerte anisotropía. Para ambos, la susceptibilidad en el plano basal es órdenes de magnitud mayor que en el eje  $c$  ( $P > 100!$ ). *Una leve orientación preferencial de estos minerales le imprime a la roca una AMS significativa.*



En el caso de la magnetita, su anisotropía se relaciona con la forma externa del grano, debido al factor desmagnetizante.

El comportamiento es muy diferente dependiendo del estado de dominio.

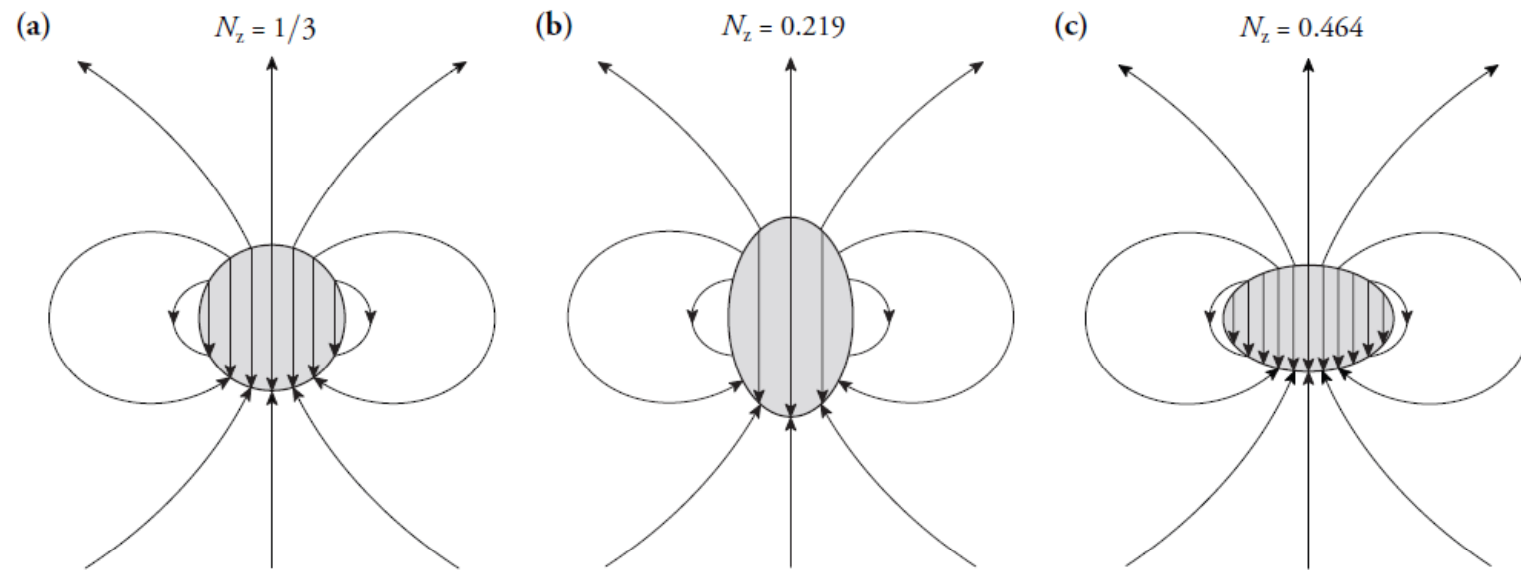
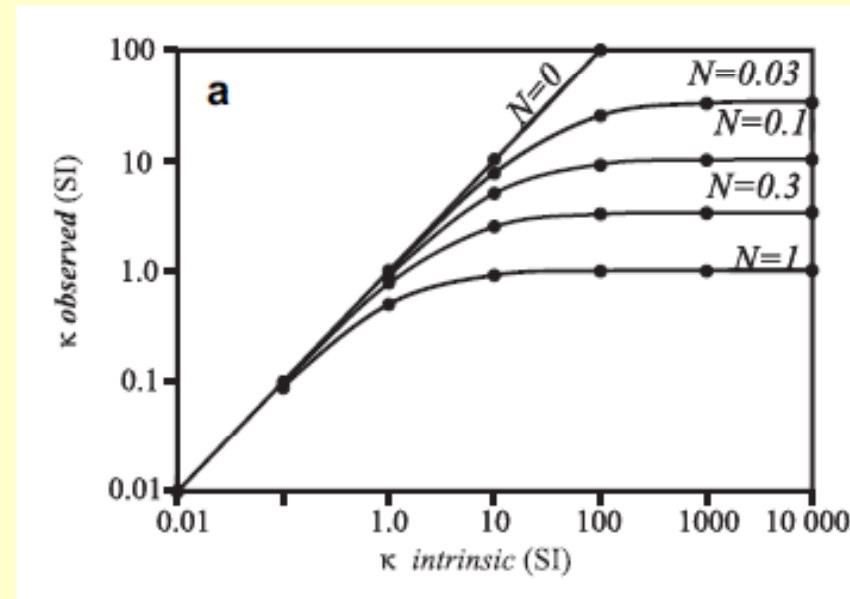


Fig. 13.1: The magnetic field produced by (a) a homogeneously magnetized sphere, (b) a prolate ellipsoid, and (c) an oblate ellipsoid. The magnetization vector is vertical (along the z-axis) and points upwards in all three cases. Sphere and ellipsoids have the same volume, the same magnetic moment, and therefore produce the same field outside. The inner demagnetizing field  $H = -N_z M$ , however, is different for the three cases.

Egli, 2011

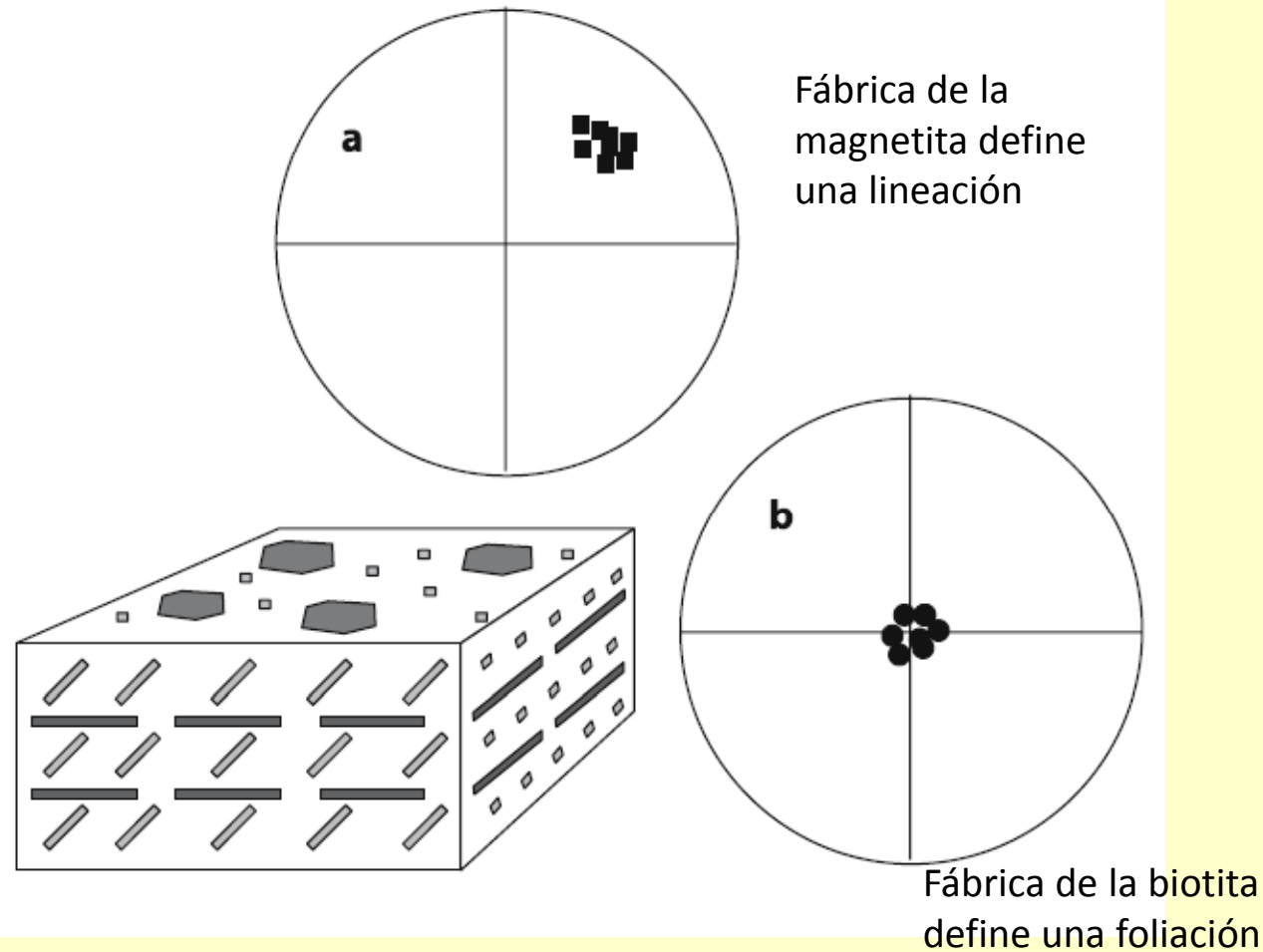
**Magnetita multidominio:**

la magnetización fácil se produce en la dirección de elongación del grano. El factor desmagnetizante atenúa la susceptibilidad magnética y también su anisotropía.



Borradaile y Jackson 2010

**Magnetita dominio simple:** la magnetización espontánea se encuentra en la dirección fácil (la dirección de elongación del grano). Esto no se modifica con la aplicación de campo externo, excepto que éste supere la fuerza coercitiva del grano. La susceptibilidad magnética es cero en el eje fácil (largo) de la magnetita SD.



Si la magnetita está presente en más de un 0,1% la fábrica será la de la magnetita. Si la magnetita está ausente, la fábrica será la de la biotita. Si la magnetita aparece en menos de 0,1%, las dos fábricas estarán superpuestas.

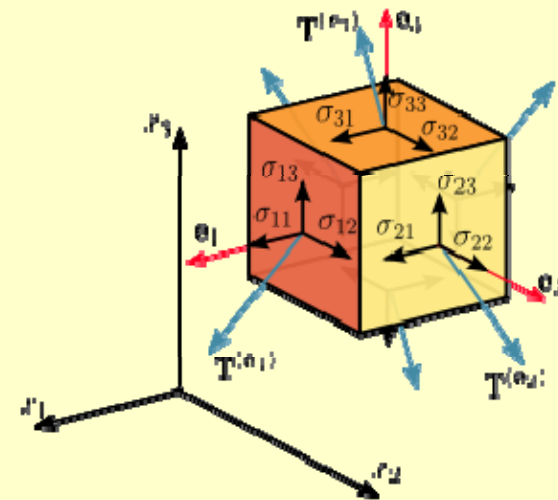
Lanza y Meloni 2006

En un sistema de coordenadas cartesianas x, y, z:

$$M_x = k_{xx} H_x + k_{xy} H_y + k_{xz} H_z$$

$$M_y = k_{yx} H_x + k_{yy} H_y + k_{yz} H_z$$

$$M_z = k_{zx} H_x + k_{zy} H_y + k_{zz} H_z$$



$$\begin{pmatrix} K_{//1} \\ K_{//2} \\ K_{//3} \\ \vdots \\ K_{//n} \end{pmatrix} = \left( \frac{1}{H^2} \right) \begin{pmatrix} H_{x1}^2 & H_{y1}^2 & H_{z1}^2 & 2H_{x1}H_{y1} & 2H_{y1}H_{z1} & 2H_{z1}H_{x1} \\ H_{x2}^2 & H_{y2}^2 & H_{z2}^2 & 2H_{x2}H_{y2} & 2H_{y2}H_{z2} & 2H_{z2}H_{x2} \\ H_{x3}^2 & H_{y3}^2 & H_{z3}^2 & 2H_{x3}H_{y3} & 2H_{y3}H_{z3} & 2H_{z3}H_{x3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ H_{xn}^2 & H_{yn}^2 & H_{zn}^2 & 2H_{xn}H_{yn} & 2H_{yn}H_{zn} & 2H_{zn}H_{xn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K_{xx} \\ K_{yy} \\ K_{zz} \\ K_{xy} \\ K_{yz} \\ K_{zx} \end{pmatrix}$$

Se los obtiene por diagonalización iterativa en la matriz compuesta por medición en n orientaciones espaciales diferentes (mínimo 6)

6 elementos  
independientes  
del tensor



Static specimen  
measuring positions



POS. 1



POS. 2



POS. 3



POS. 4



POS. 5



Initial position P6 .. P10



POS. 6



POS. 7



POS. 8



POS. 9



POS. 10



Initial position P11..P15



POS. 11



POS. 12



POS. 13



POS. 14



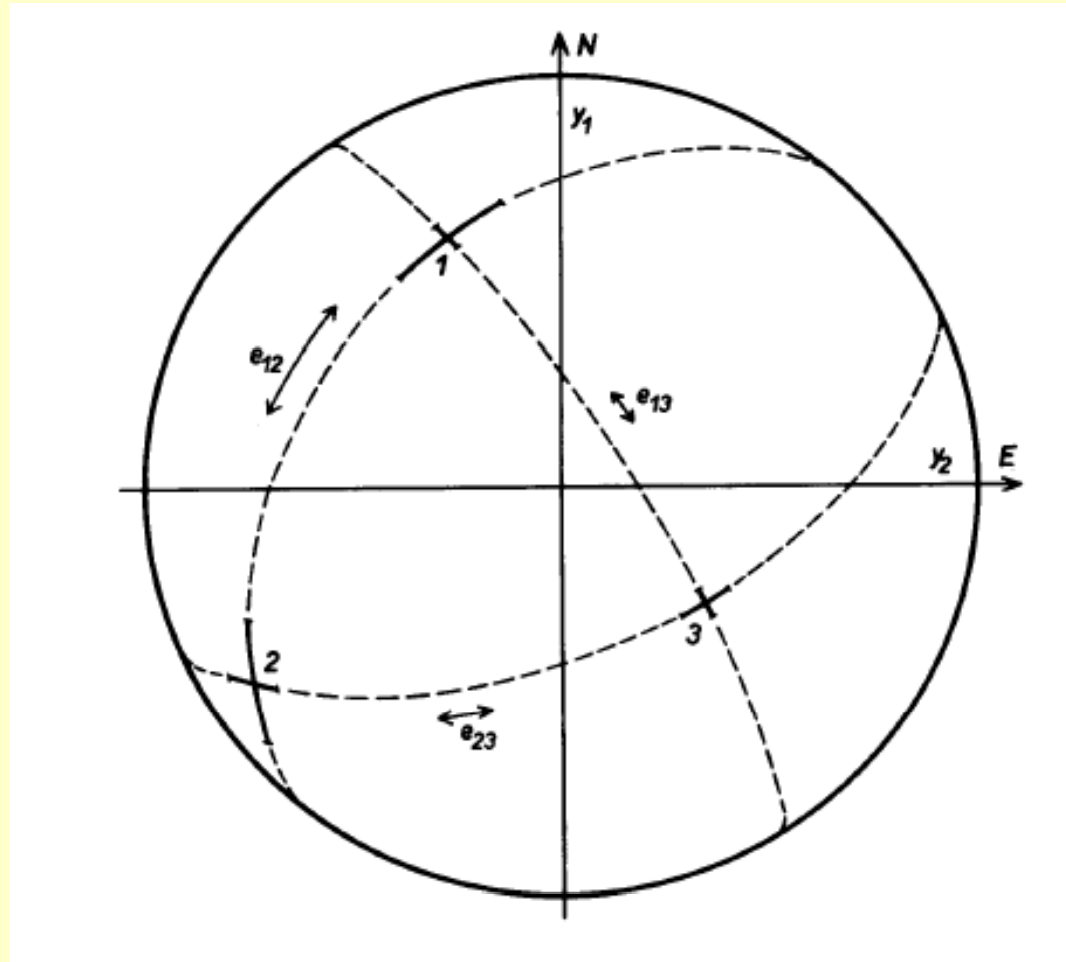
POS. 15

DATA MEASURED			RESIDUALS in %		
30.41E-03	32.25E-03	31.54E-03	-0.12	-0.19	0.03
31.27E-03	31.42E-03	31.79E-03	-0.11	-0.13	0.05
30.60E-03	31.20E-03	32.63E-03	-0.13	-0.26	-0.12
30.44E-03	32.33E-03	31.60E-03	-0.02	-0.05	0.24
30.29E-03	31.45E-03	31.85E-03	-0.03	-0.02	0.22
			Std. error : 0.18		
Anisotropy test : 356.1 322.9 135.6					
Confidence angles : 3.3 5.1 2.0					

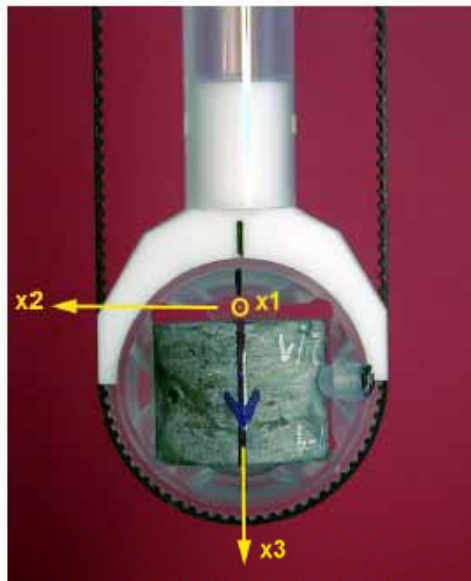
Test de anisotropía: valor del F test para anisotropía vs. isotropía (VC al 95% 3,48), elipsoide triaxial vs. rotacional prolado y elipsoide triaxial vs. rotacional oblado (VC al 95% 4,25, respectivamente).

Residuales luego de ajustar los datos medidos a un elipsoide, aplicando cuadrados mínimos. El error estándar es la media de los valores residuales

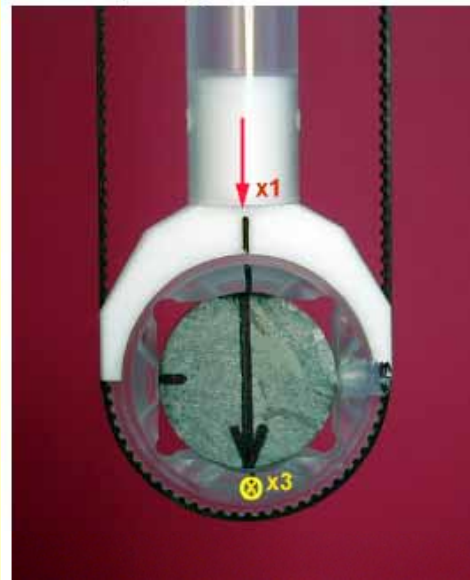
Ángulos de confianza al 95% en la determinación de los ejes principales del elipsoide



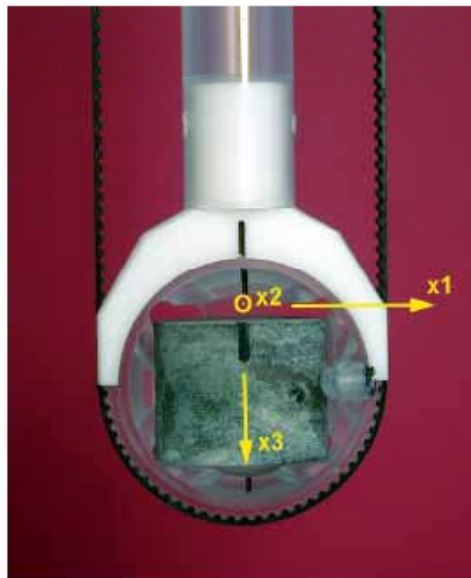
**Estadística de Jelinek**, desarrollada originalmente por Hext (1963)



POS. 1 spinning about axis x1

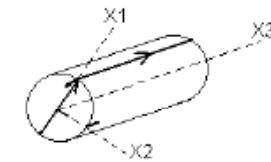


POS. 3 spinning about axis x3 and Tsus3



POS. 2 spinning about axis x2

SPECIMEN MARKING



POSITION 1



POSITION 2



POSITION 3



Ax	Range	Cosine	Sine	Error	Error%
1	1	-5.709E-06	-2.102E-06	8.2E-09	0.14

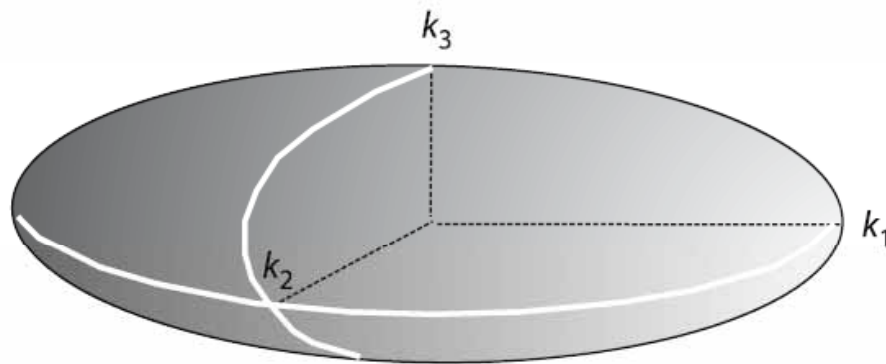
Alternativa a la medición estática: medición  
continua de una rotación alrededor de 3 ejes  
diferentes; se determinan 3 sinusoides

**Table 1.1** Some published anisotropy parameters

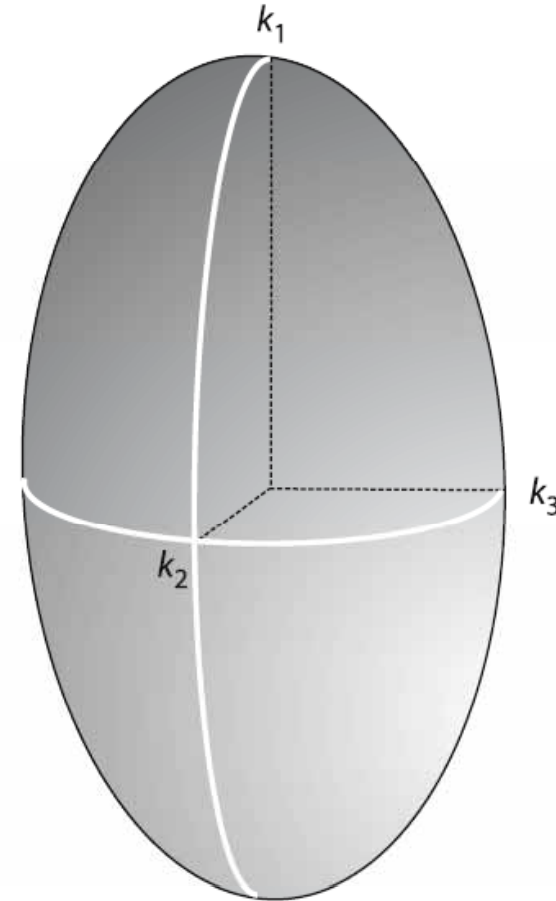
Property/parameter	Equation	Reference
<b>Magnitude of anisotropy</b>		
Corrected anisotropy degree	$P_J = \exp \sqrt{2[(\eta_1 - \eta_m)^2 + (\eta_2 - \eta_m)^2 + (\eta_3 - \eta_m)^2]}$ where $\eta_1 = \ln K_1; \eta_2 = \ln K_2; \eta_3 = \ln K_3; \eta_m = \sqrt[3]{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3}$	Jelinek, 1981
Anisotropy degree ( $P_2$ )	$K_1/K_3$	Nagata, 1961
Absolute anisotropy	$(K_1 - K_3)/K_2$	Rees, 1966
Total anisotropy ( $H$ )	$(K_1 - K_3)/K_{\text{mean}}$	Owens, 1974
<b>Lineation</b>		
Lineation ( $P_1$ )	$K_1/K_2$	Balsley and Buddington, 1960
Magnetic lineation ( $L$ )	$(K_1 - K_2)/K_{\text{mean}}$	Khan, 1962
Lineation	$(K_1 + K_3)/2K_2$	Urrutia-Fucugauchi, 1980
Lineation degree	$2K_1/(K_2 + K_3)$	Hrouda <i>et al.</i> , 1971
<b>Foliation</b>		
Foliation ( $P_3$ )	$K_2/K_3$	Stacey <i>et al.</i> , 1960
Magnetic foliation ( $F$ )	$(K_2 - K_3)/K_{\text{mean}}$	Khan, 1962
Foliation	$(K_1 + K_2)/2K_3$	Balsley and Buddington, 1960
Degree foliation	$2K_2/(K_1 + K_3)$	Urrutia-Fucugauchi, 1980
<b>Prolateness</b>		
Prolateness	$(K_1 - K_2)/(K_2 - K_3)$	Khan, 1962
Prolateness	$(2K_1 - K_2 - K_3)/(K_2 - K_3)$	Urrutia-Fucugauchi, 1980

<b>Oblateness</b>		
Oblateness	$(K_2 - K_3)/(K_1 - K_2)$	Khan, 1962
Oblateness	$(K_1 + K_2 - 2K_3)/(K_1 - K_2)$	Urrutia-Fucugauchi, 1980
<b>Shape</b>		
Shape parameter (T)	$(2\eta_2 - \eta_1 - \eta_3)/(\eta_1 - \eta_3)$	Jelinek, 1981
E-factor	$K_2^2/K_1K_3$	Hrouda <i>et al.</i> , 1971
Shape indicator	$(K_1K_3 - K_2K_3)/(K_1K_2 - K_1K_3)$	Stacey <i>et al.</i> , 1960
Ellipsoid shape	$(K_1 - K_2)(2K_1 - K_2 - K_3)/(K_2 - K_3)(K_1 + K_2 - 2K_3)$	Urrutia-Fucugauchi, 1980
Shape indicator	$(K_1K_3 - K_2^2)/(K_1K_2 - K_1K_3)$	Urrutia-Fucugauchi, 1980
<b>Other parameters</b>		
Strain indicator	$(K_1K_3 - K_2K_3)/(K_2^2 - K_1K_3)$	Flinn, 1962
q-factor	$(K_1 - K_2)/[0.5(K_1 + K_2) - K_3]$	Granar, 1958
Angle (V)	$\sin^{-1} \sqrt{[(K_2 - K_3)/(K_1 - K_3)]}$	Graham, 1966
Emplacement	$K_1^2/\sqrt{(K_2^2 K_3^2)}$	Ellwood, 1975
Current velocity	$K_1^2/\sqrt{(K_2^2 K_3^2)}$	Ellwood and Ledbetter, 1977

Lineación K1/K2  
Foliación K2/K3

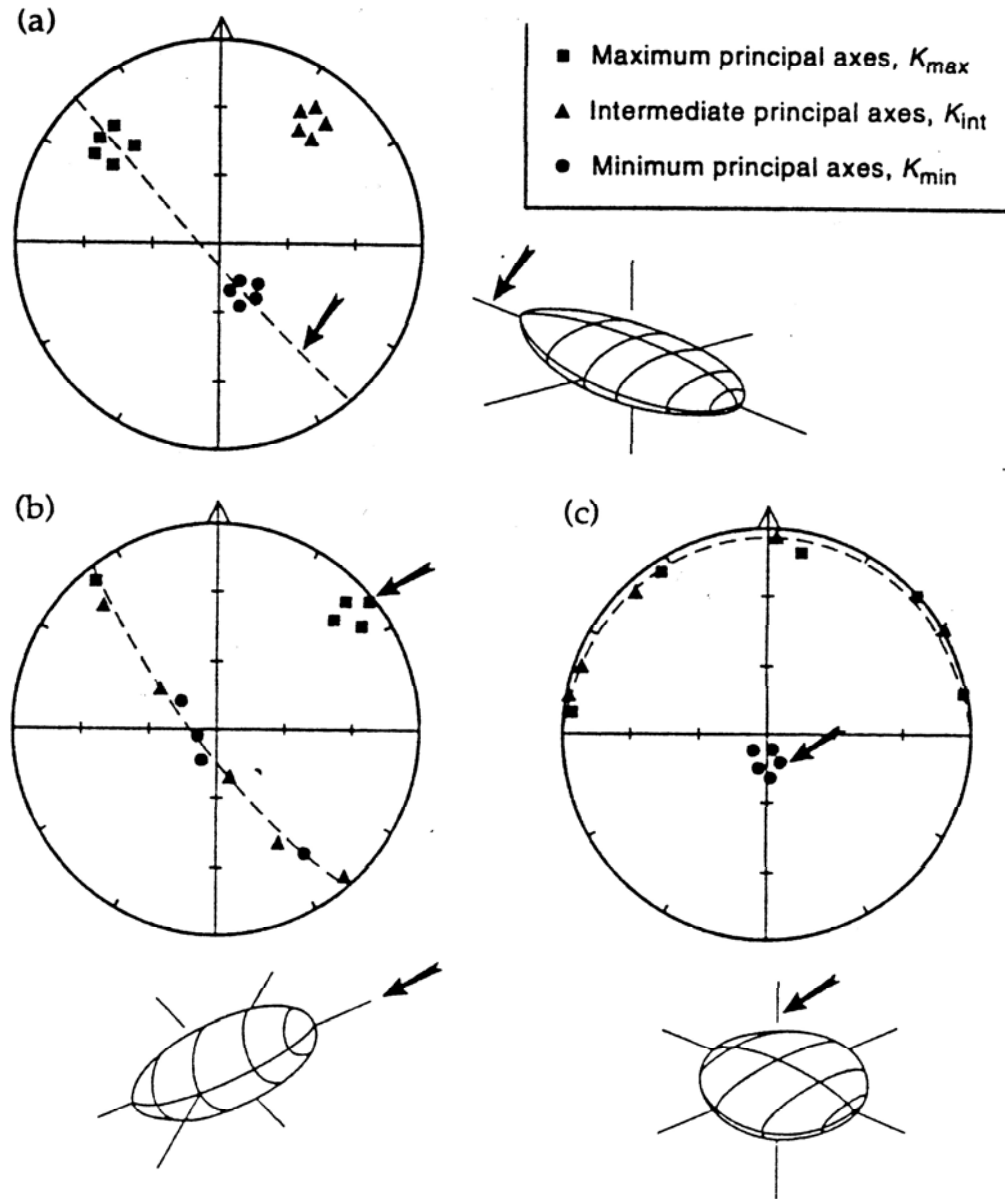


Elipsoide oblado (fábrica planar)  
 $F > L$

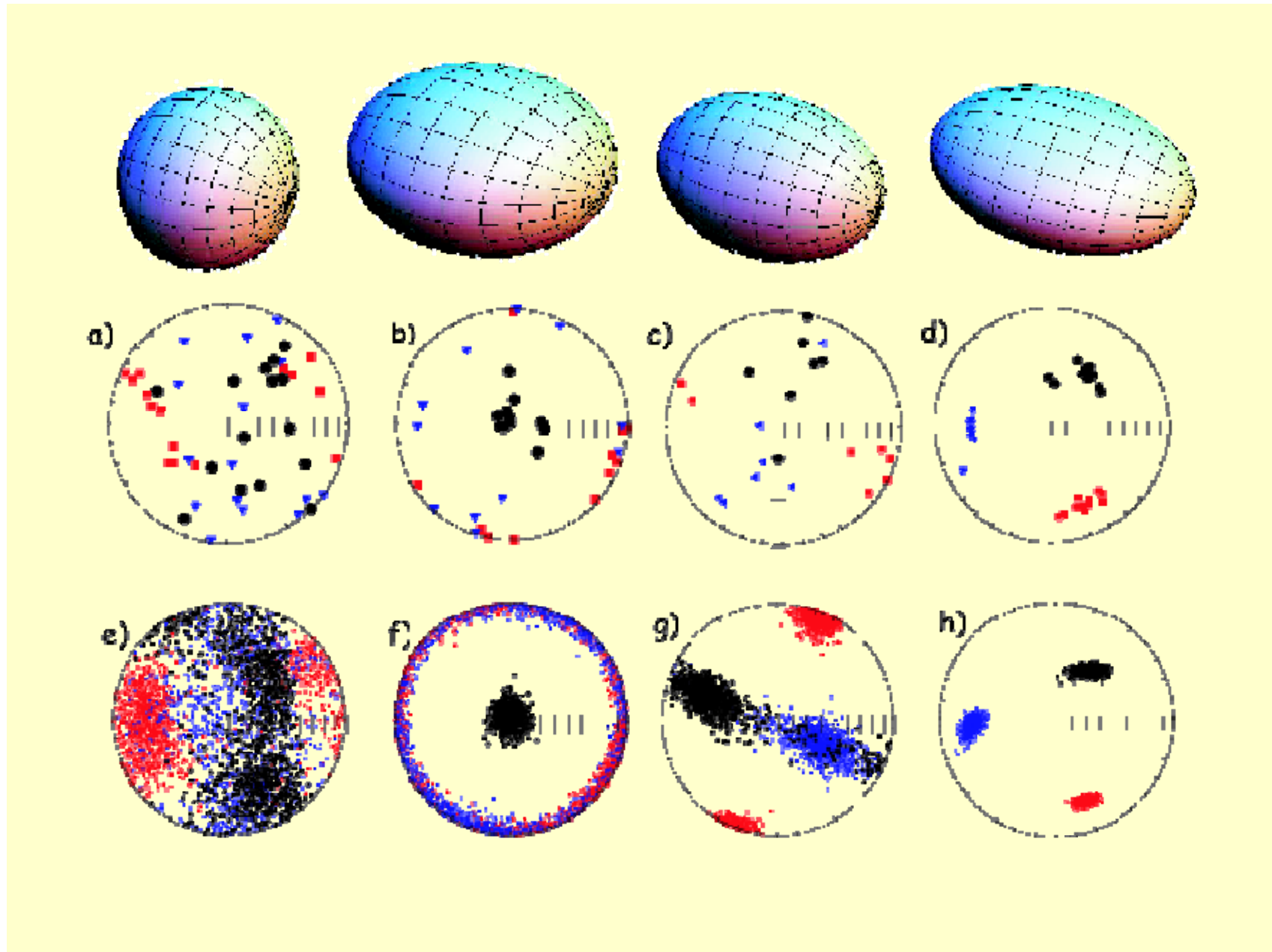


Elipsoide prolado (fábrica lineal)  
 $L > F$

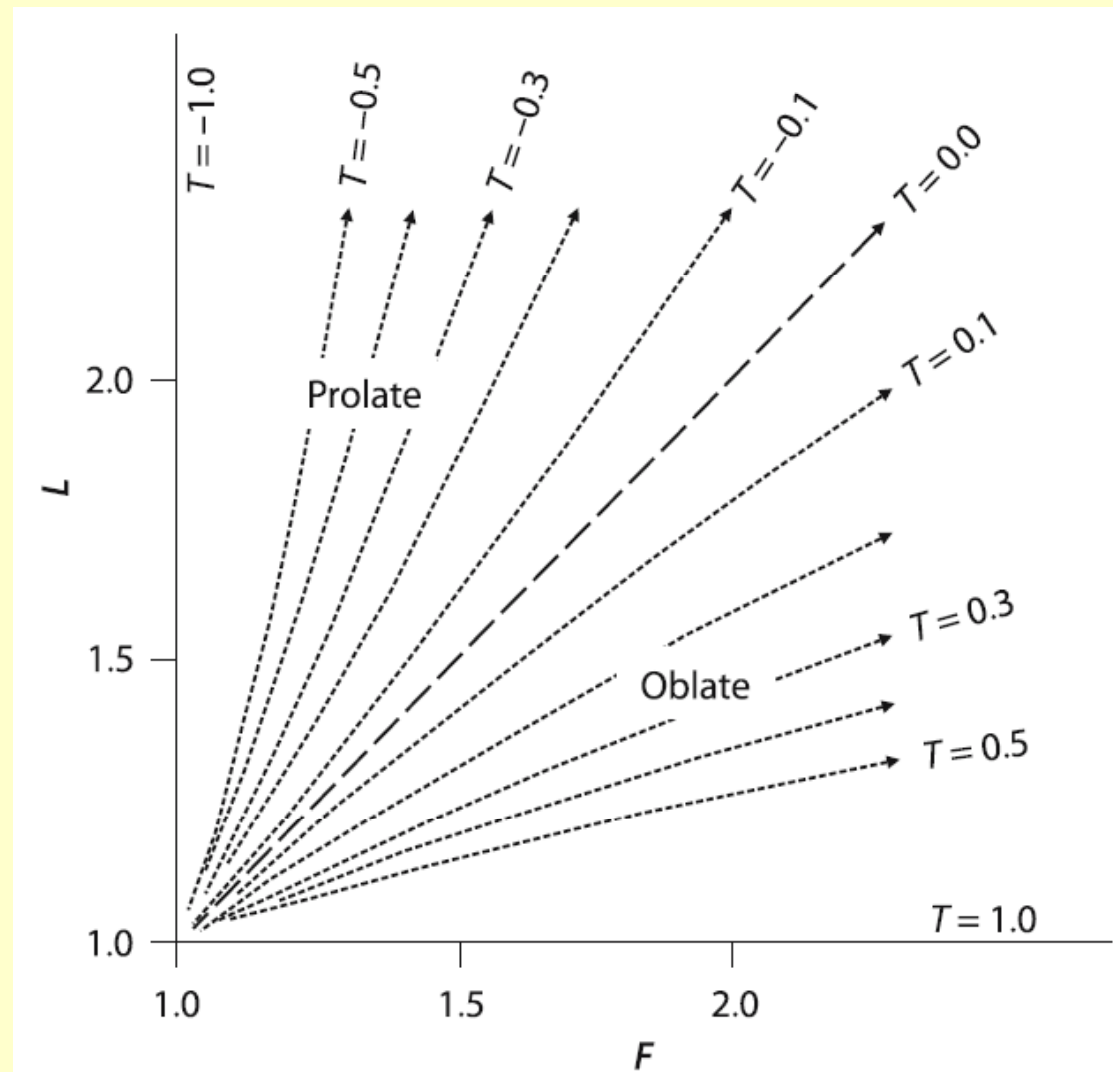




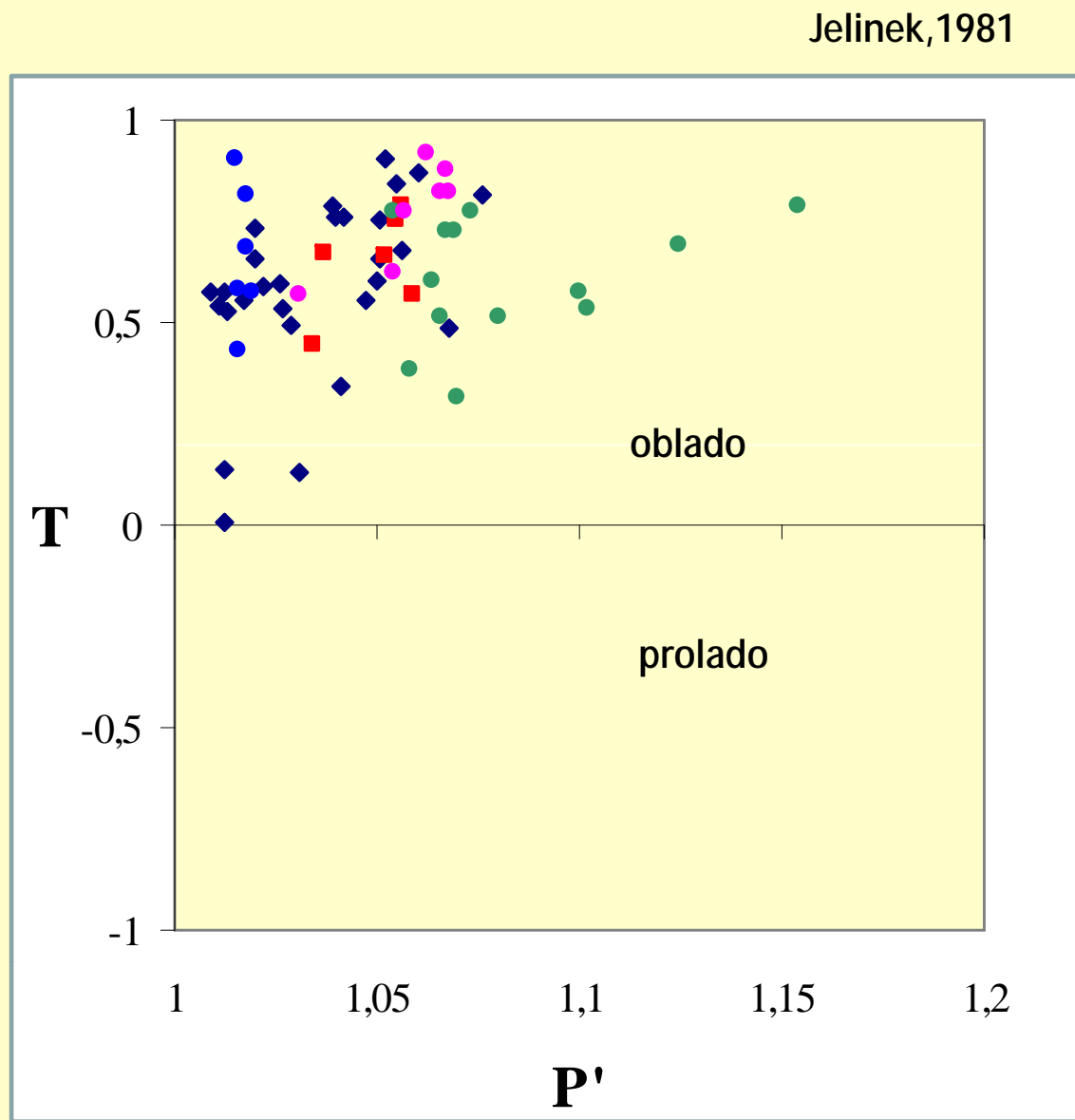




### Parámetro de forma T (diagrama tipo Flinn)



El grado de anisotropía aumenta hacia afuera



3

```

PYR-B
*****
          ANISOTROPY OF SUSCEPTIBILITY    Program SAFYR ver.1.7

Azi      5      O.P. : 12  90   6   0      Nom. vol. 10.00
Dip     20      Demag. fac. : YES   Holder -1.69E-06  Act. vol. 10.00

T1        F1        L1          T2        F2        L2
CD        10/20      30/40          0/0        00/00      00/00

      Directional Total Susc.      Residuals [%]

11.32E-03  72.45E-04  81.87E-04      0.05  -0.18  0.12
10.27E-03  88.80E-04  90.29E-04     -0.02  -0.51  0.46
11.22E-03  10.36E-03  59.48E-04     -0.69   0.60  0.71
11.35E-03  71.86E-04  81.93E-04     0.35  -0.82  0.17
10.31E-03  88.81E-04  89.72E-04     0.42  -0.49 -0.17

Field      Mean      Standard      Tests for anisotropy
[A/m]      susc.     err. [%]      F      F12      F23
200 F1      9.186E-03    0.586      2593.2    262.2    3625.0

      Normed principal      95% confidence angles
      susceptibilities      E12      E23      E13
1.2575      1.1222    0.6203      3.6      1.0      0.8
+- 0.0037    0.0037    0.0037

      Anisotropy factors (principal values positive)

      L      F      P      'P      T      U      Q      E
1.121    1.809    2.027    2.136      0.678    0.575    0.237    1.614

```

Codes characterizing mesoscopic foliations and lineations :

<i>Code</i>	<i>Foliation</i>	<i>Code</i>	<i>Lineation</i>
B	bedding	A	mineral alignment
C	cleavage	D	bedding/cleavage intersection
K	cataclastic schistosity	F	fold axis
S	metamorphic schistosity	R	striation
J	joint	W	wave hinge lineation
G	igneous banding	P	current direction
E	fluidal foliation	M	beta axis
H	schlieren foliation	L	lava flow lineation
N	lava flow foliation	O	schlieren lineation

B0 es el código para una estratificación, en la que no existe lineación

		Principal directions			Normed tensor		
Specimen system	D	337	67	245	1.2327	1.1256	0.6417
	I	0	12	78	-0.0571	0.0911	0.0444
Geograph system	D	314	75	173	0.7308	1.1342	1.1350
	I	59	17	25	0.0315	-0.0650	0.2305
Paleo 1 system	D	337	75	172	0.9205	1.1277	0.9518
	I	45	8	44	0.0106	-0.0595	0.3107
Tecto 1 system	D	37	135	232	1.0668	0.9815	0.9518
	I	45	8	44	-0.0950	0.2393	0.2069

Tensor normalizado: en el primer renglón, elementos diagonales K11, K22, K33; en el segundo renglón, elementos no diagonales K12, K23, K13

```

9-4-1          ANISOTROPY OF SUSCEPTIBILITY          Program SAFYR ver.1.0
*****

Azi    30      O.P. :  12   0   3  90                      Nom. Vol. 10.00
Dip    60      Demag. fac. :  Yes  Holder -1.67E-06      Act. vol. 11.00

T1      F1      L1      T2      F2      L2
CD      100/20    30/40      SO      140/60    70/80

Field    Mean    Standard    Tests for anisotropy
[A/m]    susc.    Err. [%]    F      F12      F23
420 F1    127.9E-06    0.042    2953.2    2055.3    1564.5

      Normed principal          95% confidence angles
      susceptibilities          Ax1      Ax2      Ax3
      1.0304    0.9985 0.9711    1.6      1.9      0.9
+- 0.0003    0.0003 0.0003    0.9      1.6      1.9

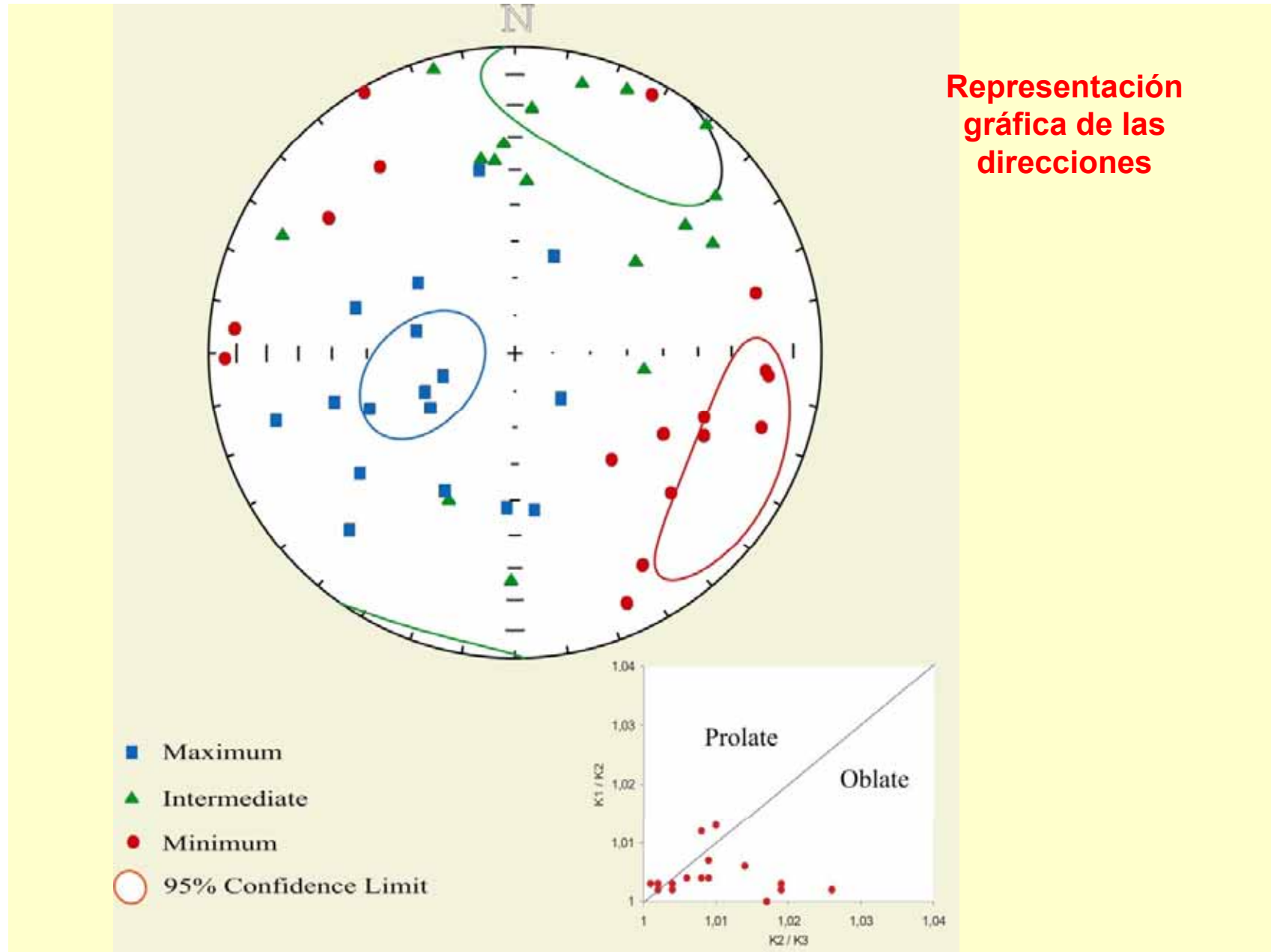
      Anisotropy factors (principal values positive)
      L      F      P      'P      T      U      Q      E
      1.032    1.028 1.0611.061    -0.063 -0.078 0.738 0.996

```

		Principal directions			Normed tensor		
Specimen system	D	283	193	68	1.0000	1.028	0.9715
	I	4	3	85	-0.0069	0.0046	0.0004
Geograph system	D	40	146	305	1.0095	0.9973	0.9932
	I	9	60	28	0.0254	0.0124	-0.0028
Paleo 1 system	D	34	152	284	1.0153	0.9890	0.9957
	I	26	44	35	0.0162	0.0194	0.0074
Tecto 1 system	D	94	212	344	0.9815	1.0228	0.9957
	I	26	44	35	0.0033	0.0161	-0.0131
Paleo 2 system	D	229	42	133	0.9878	0.9868	1.0254
	I	67	23	2	0.0160	-0.0095	-0.0068
Tecto 2 system	D	249	62	153	0.9774	0.9972	1.0254
	I	67	23	2	0.0126	-0.0112	-0.0031

Tensor normalizado: en el primer renglón, elementos diagonales K11, K22, K33; en el segundo renglón, elementos no diagonales K12, K23, K13





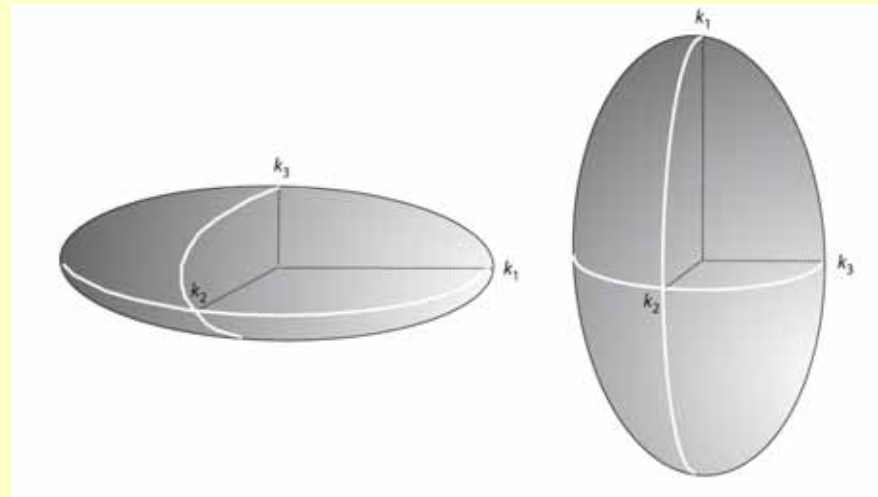
\*Los especímenes deben tener medidas y formas específicas que cumplan con los requerimientos de los instrumentos medidores de anisotropía, los cuales son más sensibles a la forma de los especímenes que sus equivalentes paleomagnéticos.

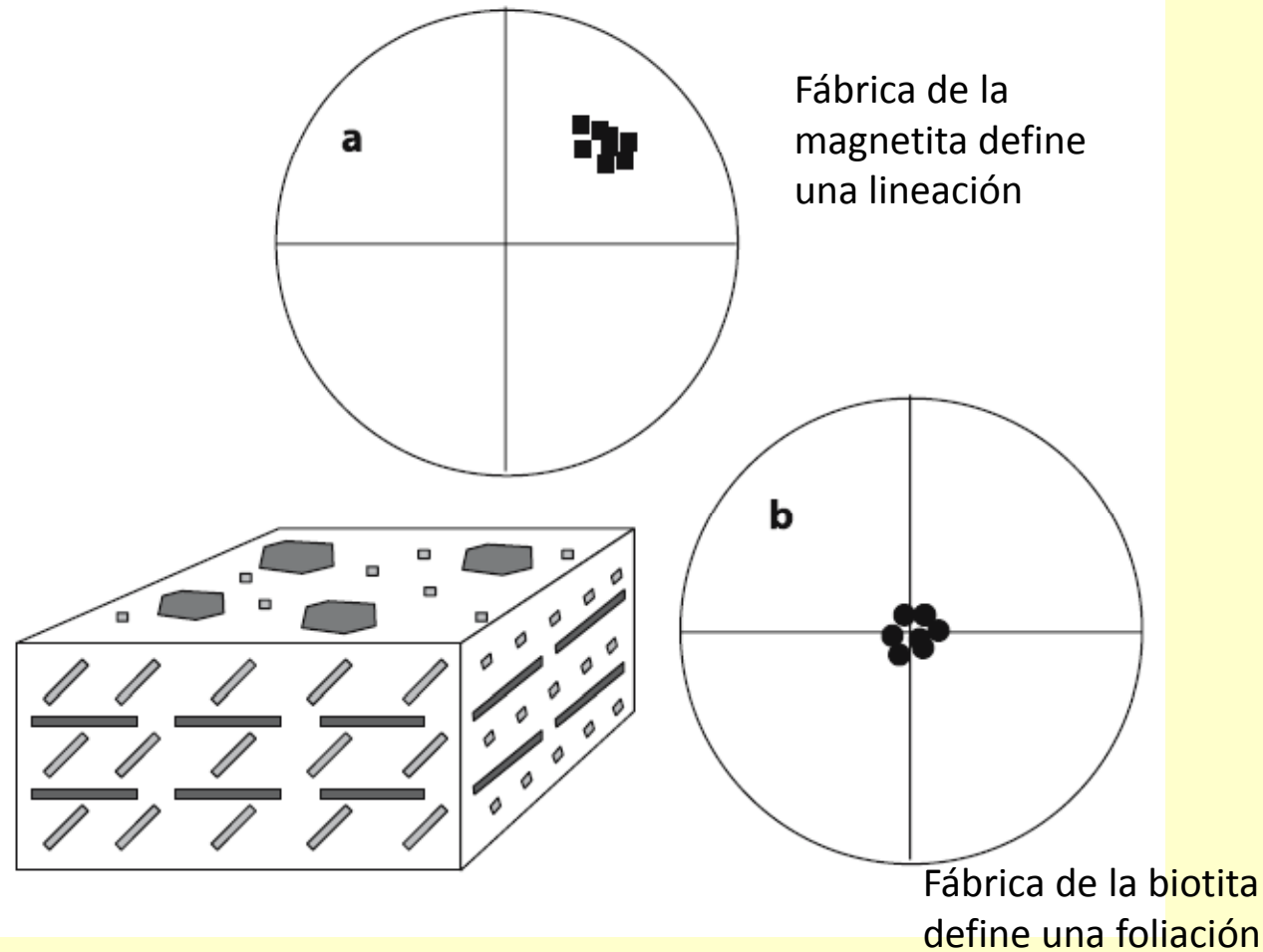
\*Idealmente cada espécimen debería ser una esfera perfecta, pero este cuerpo es difícil de reproducir y orientar, por lo tanto se usan cubos o cilindros.

\*Para reducir el efecto de la desviación de la forma esférica, los cilindros se cortan de tal forma que su altura sea el 87% de su diámetro (Collinson, 1983).  $h = 2,2 \text{ cm}$

En la interpretación de los datos ASM se asume generalmente:

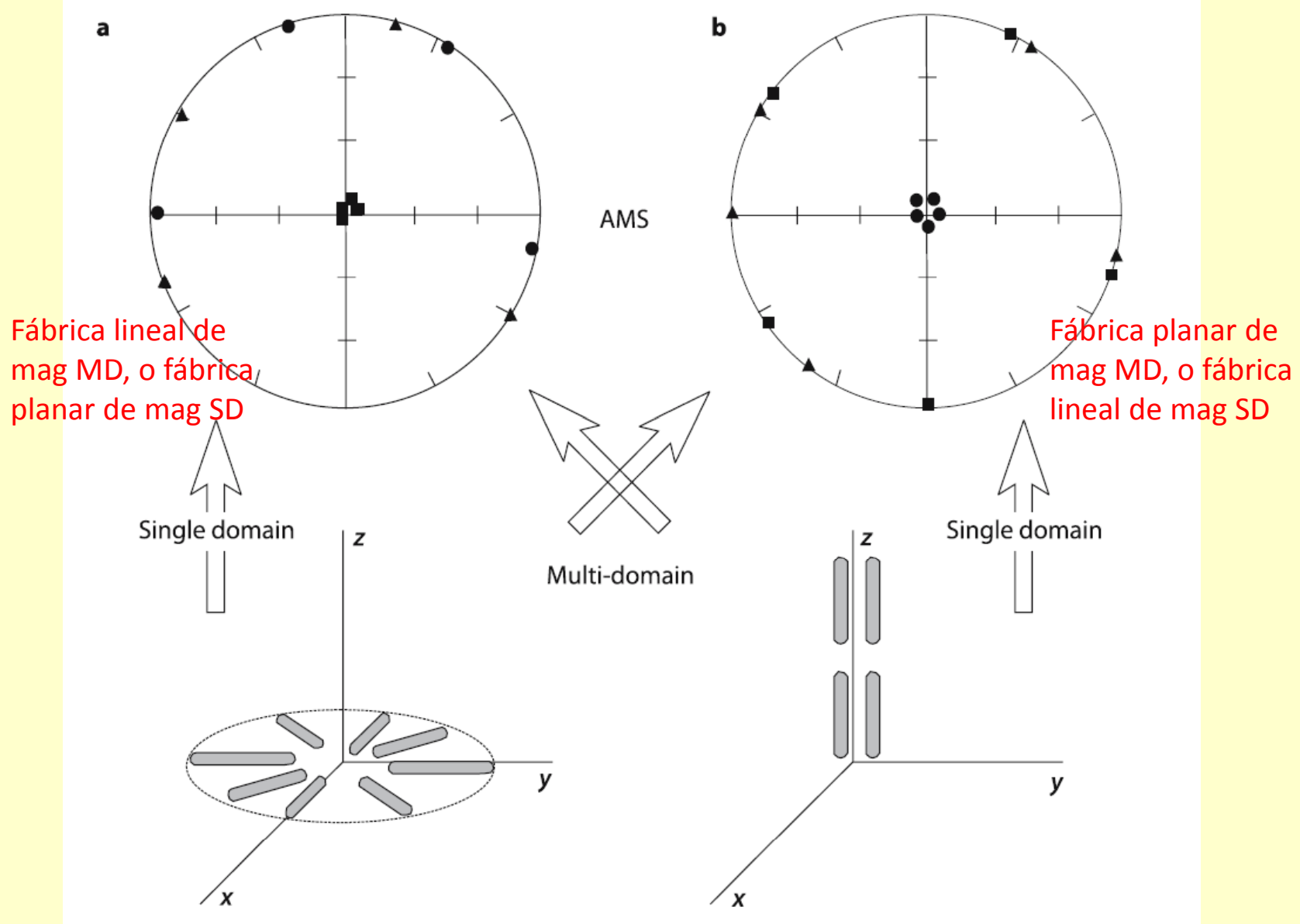
- \* El elipsoide ASM es coaxial a la petrofábrica.
  - \* El eje  $K_3$  es perpendicular a la foliación, la cual puede ser el plano de estratificación en una roca sedimentaria, el plano de foliación magmática en una roca magmática, o el plano de flattening para una roca deformada en estado sólido.
  - \* El eje  $K_1$  es paralelo a la lineación de la petrofábrica, la cual puede ser una lineación tectónica, la dirección de flujo magmática o la dirección de una paleocorriente de sedimentos.
- \*  $K_3$  es el polo de la foliación magnética.
  - \*  $K_1$  da la dirección de la lineación magnética.





Si la magnetita está presente en más de un 0,1% la fábrica será la de la magnetita. Si la magnetita está ausente, la fábrica será la de la biotita. Si la magnetita aparece en menos de 0,1%, las dos fábricas estarán superpuestas.

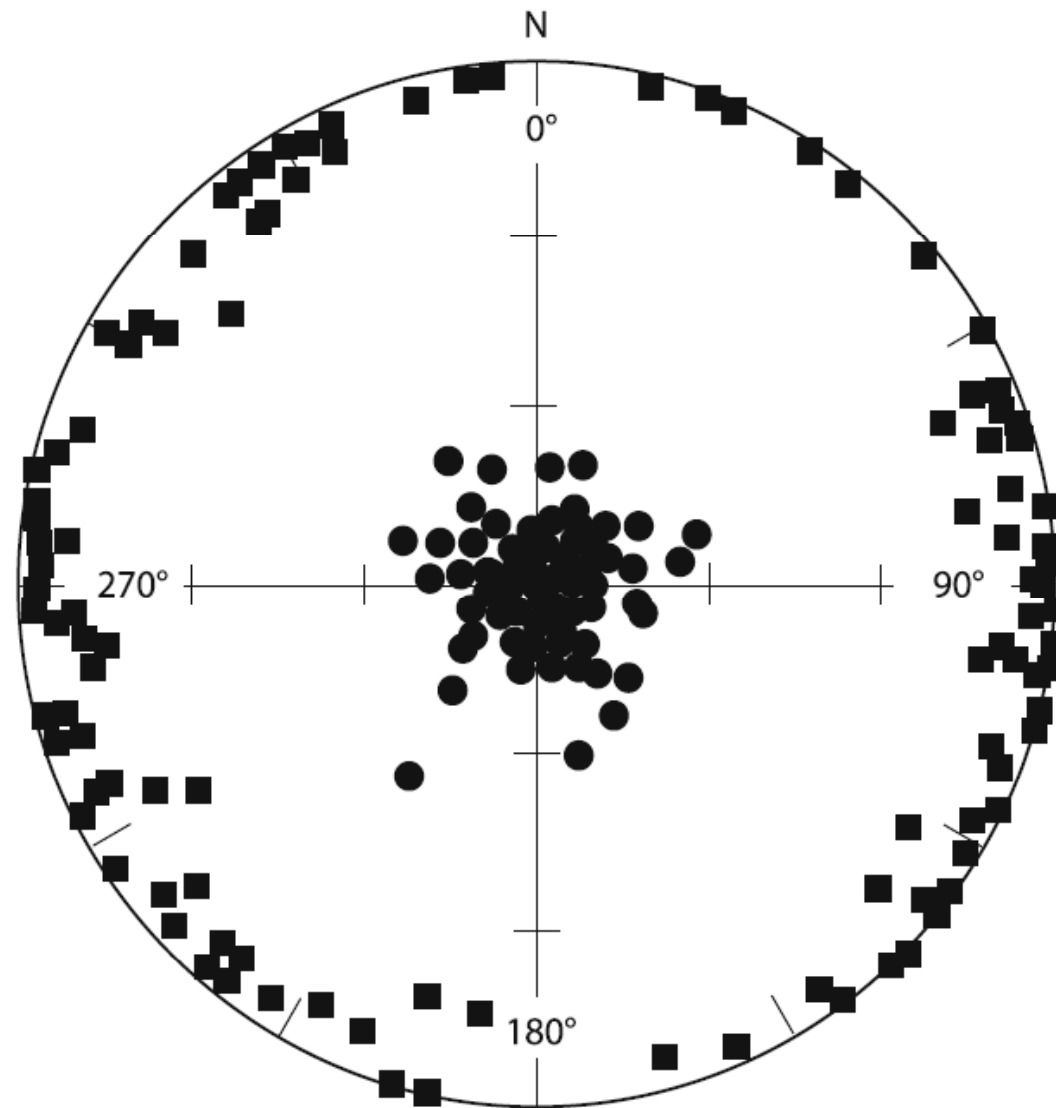
Lanza y Meloni 2006



Lanza y Meloni 2006

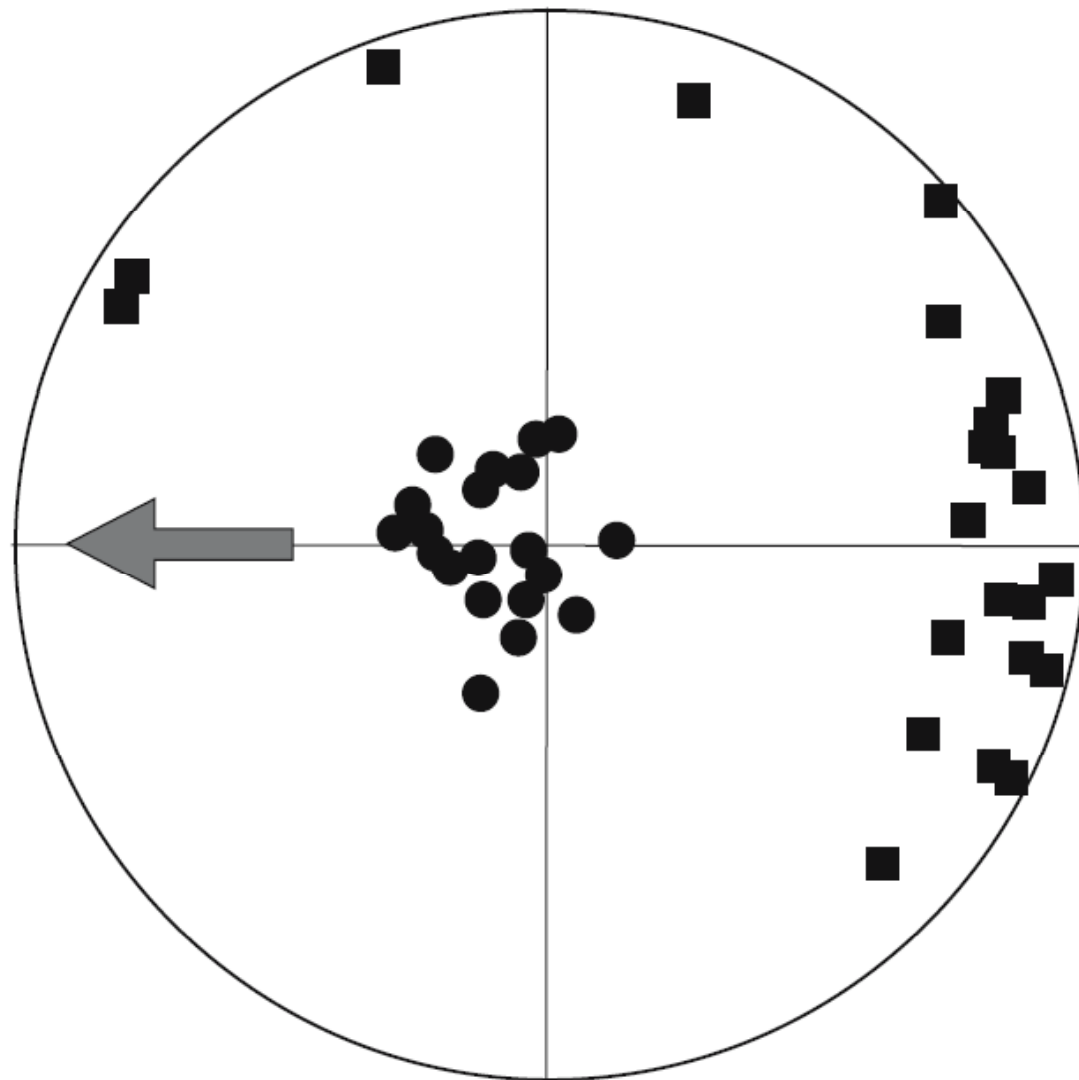
## AMS en rocas sedimentarias

**Fig. 5.8.** Magnetic fabric of hematite-bearing clayey silts deposited in still water (Plio-Pleistocene continental sediments, NW Italy). Symbols: *square* =  $k_1$ ; *dot* =  $k_3$ . Platy grains lie within the bedding plane: the  $k_3$ -axes are vertical, the  $k_1$ - and  $k_2$ -axes (not shown) are dispersed within the bedding plane, which coincides with the magnetic foliation

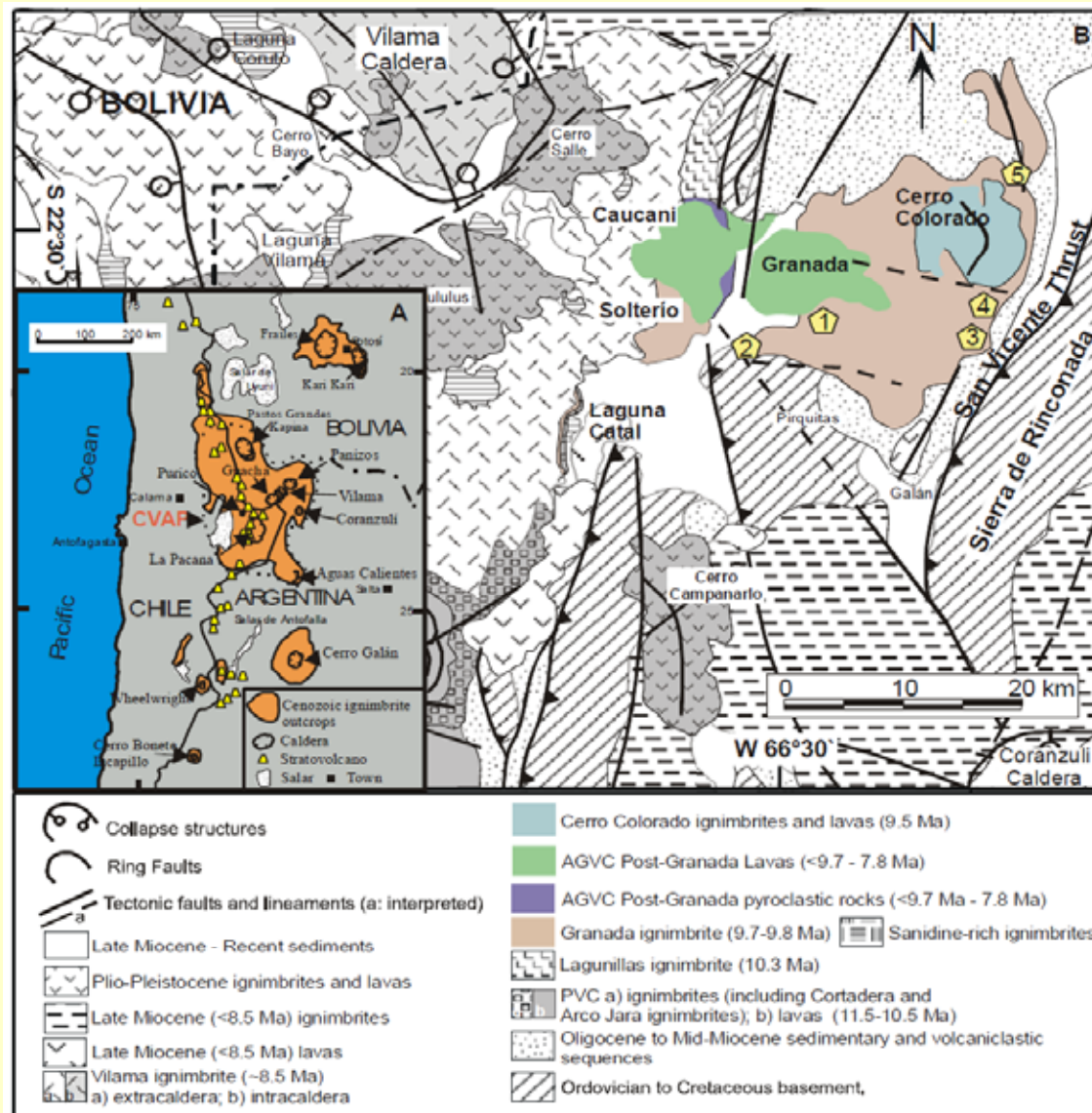


## AMS en rocas sedimentarias

**Fig. 5.9.** Magnetic fabric of estuarine Holocene sediments (Yangtze Delta, China). Symbols: *square* =  $k_1$ ; *dot* =  $k_3$ ; *arrow* = paleocurrent (flood-tide) direction. The *rose diagram* shows the azimuthal distribution of  $k_1$ -axes (from Liu et al. 2001)

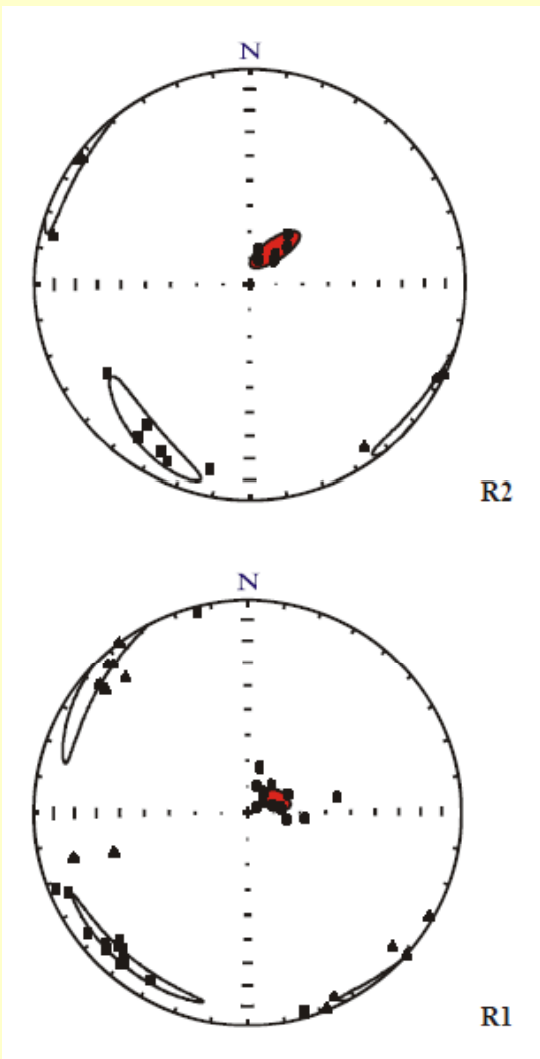
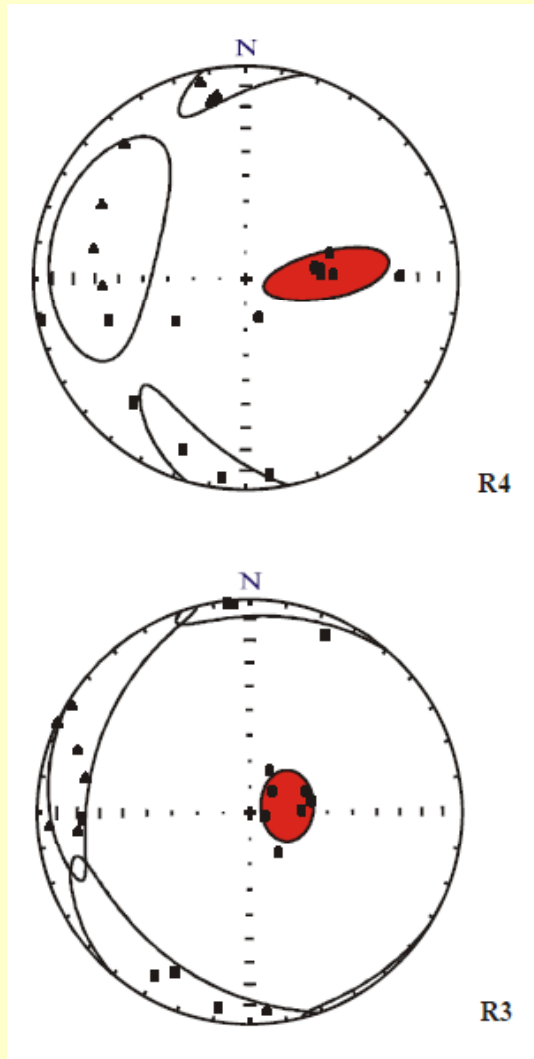


## AMS en rocas piroclásticas

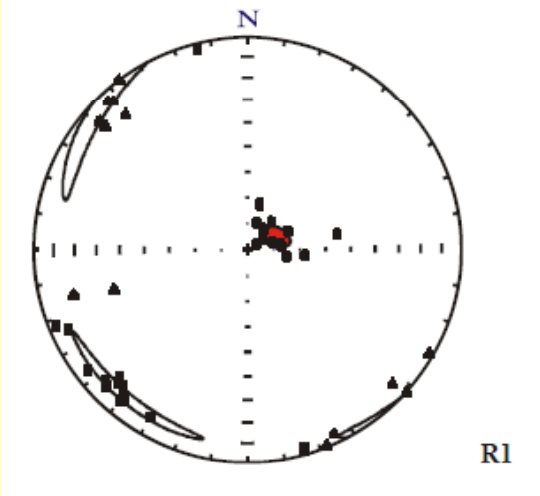
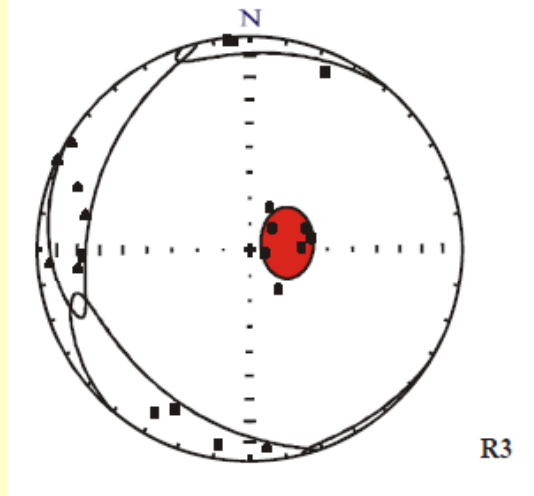


Singer et al.  
2011

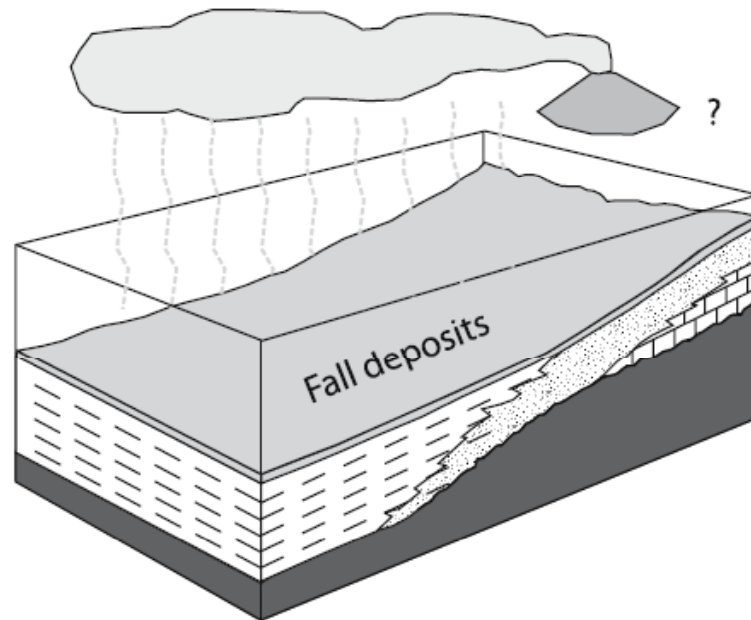




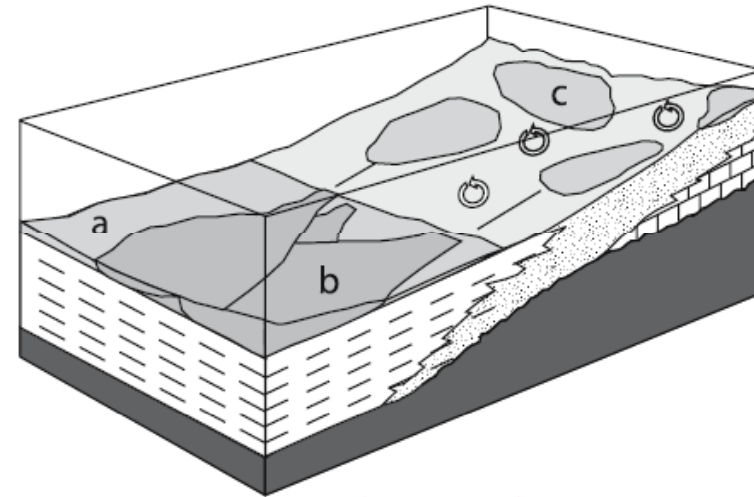
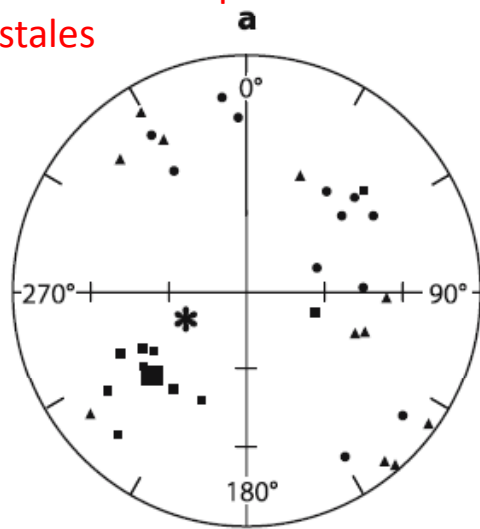
Fábrica controlada por biotita.  
Proveniencia desde el oeste – sudoeste, consistente con indicadores geológicos.



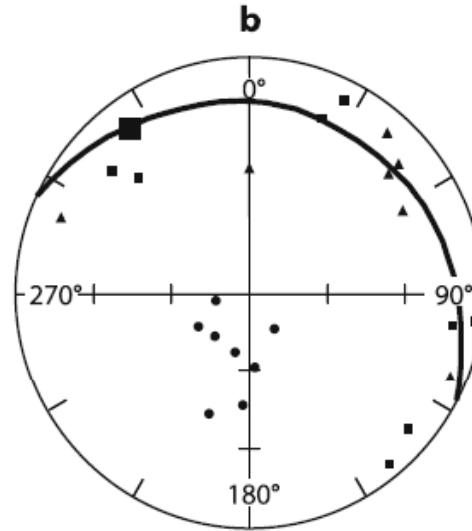
Singer et al. 2011



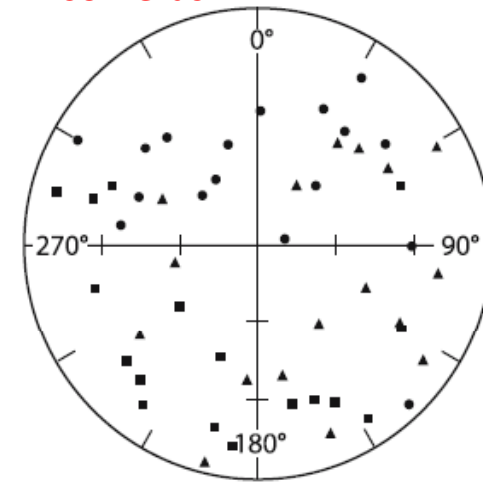
Fábrica deposicional  
primaria en depósitos  
distales



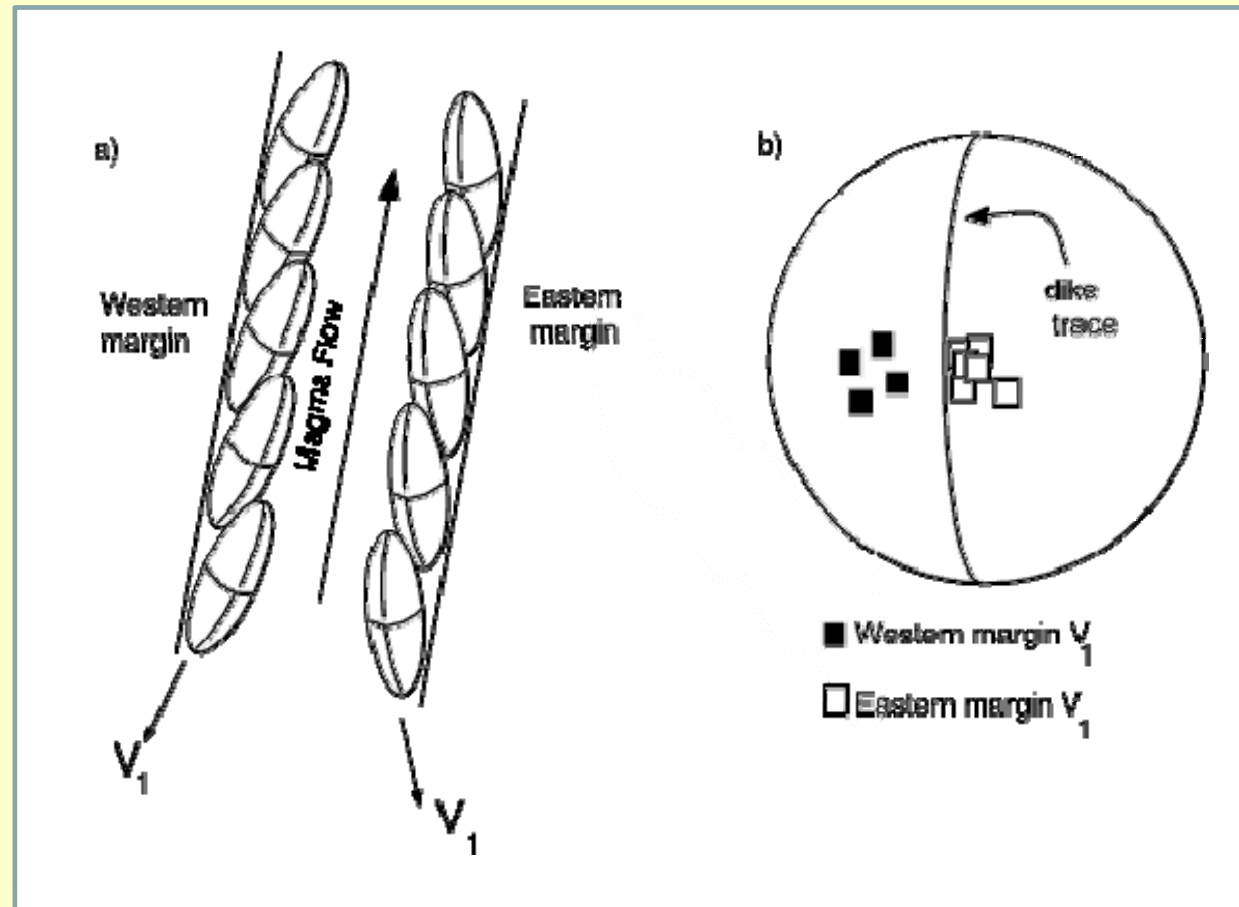
Fábrica de turbiditas



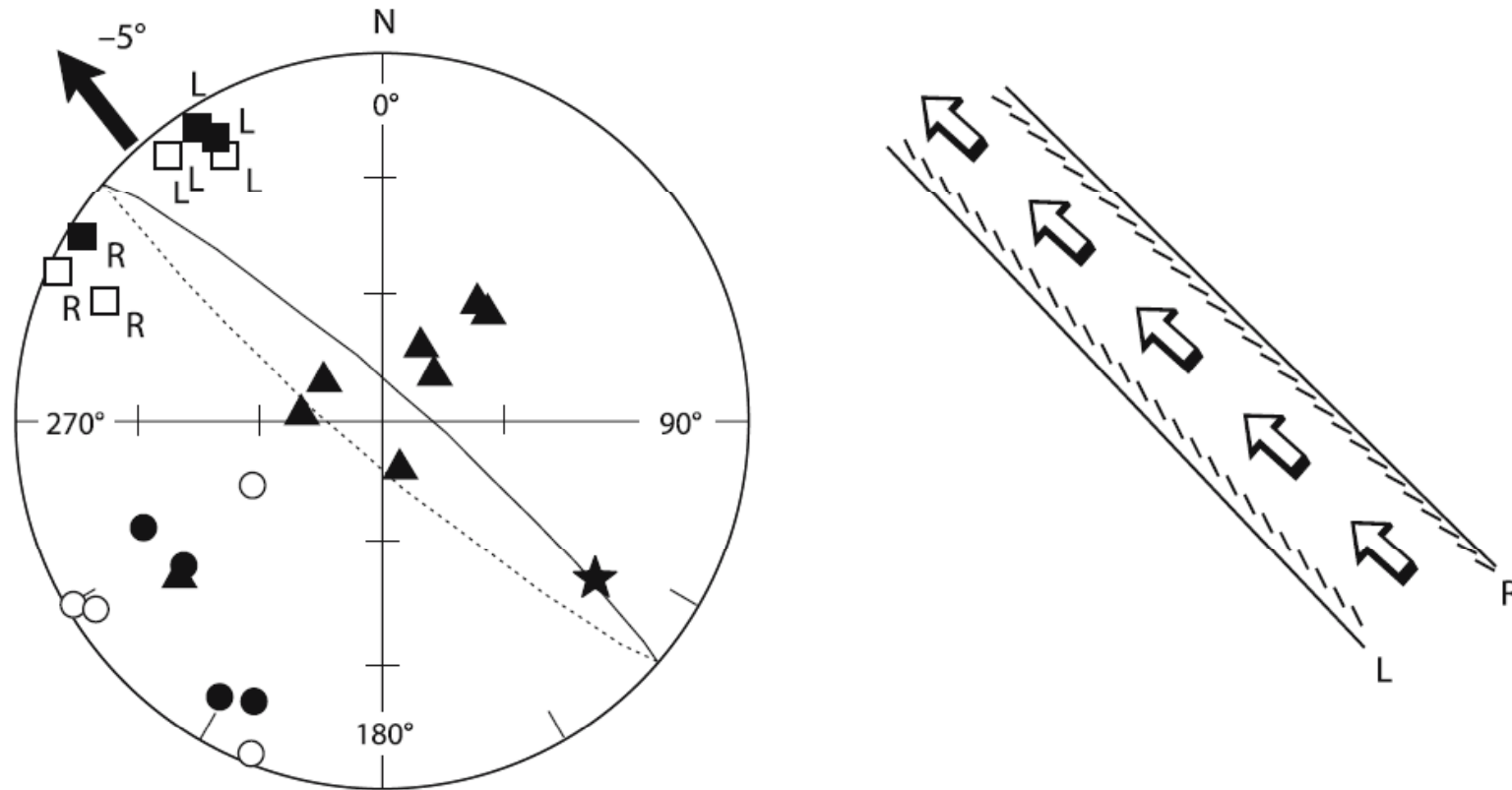
Fábrica caótica por  
retrabajo en aguas  
someras



## AMS en diques intrusivos

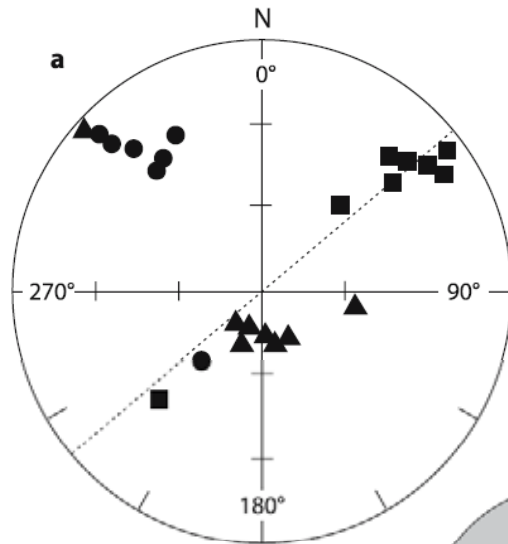


## AMS en diques intrusivos

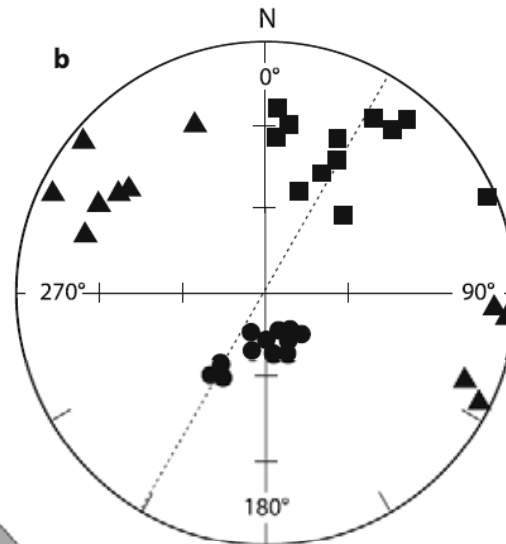


**Fig. 5.11.** Normal fabric in a dike of the Koolau Complex, Hawaii (*left*) and magmatic flow model (*right*). Symbols: *square* =  $k_1$ ; *triangle* =  $k_2$ ; *dot* =  $k_3$  (note that both *full/open symbols* – positive/negative inclination – are used); *great circle* = plane of dike; *star* = macroscopic lineation; *black arrow* = inferred magma flow direction and plunge angle. Letters *L/R* denote specimen taken from the left/right side of the dike: the systematic difference between the *L/R*  $k_1$  directions gives the imbrication of the grains, and thus the absolute flow direction (from Knight and Walker 1988)

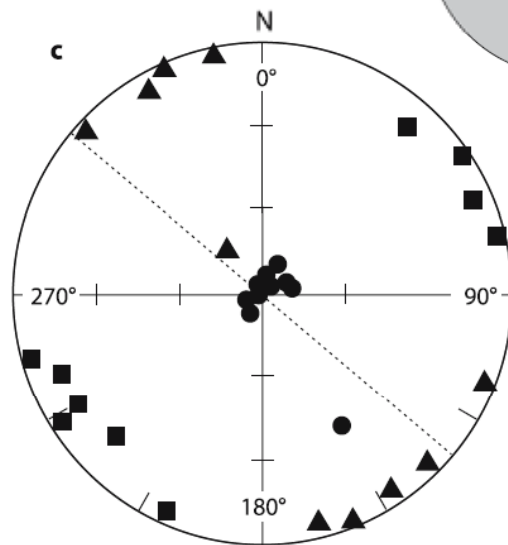
Fábrica  
normal



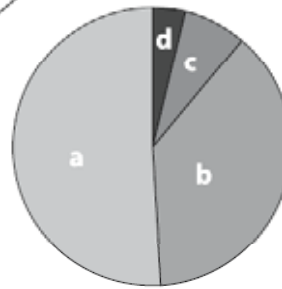
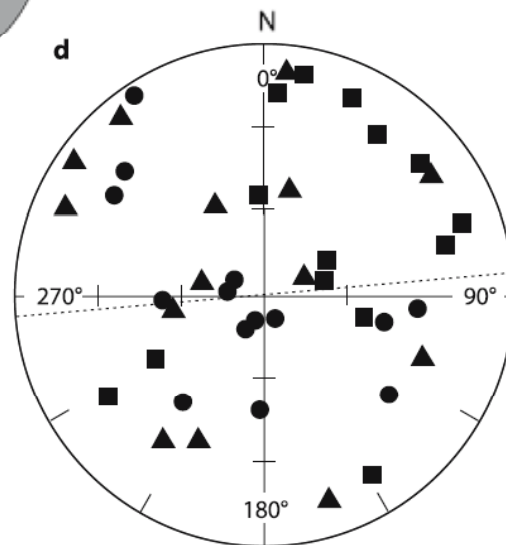
Fábrica  
intermedia



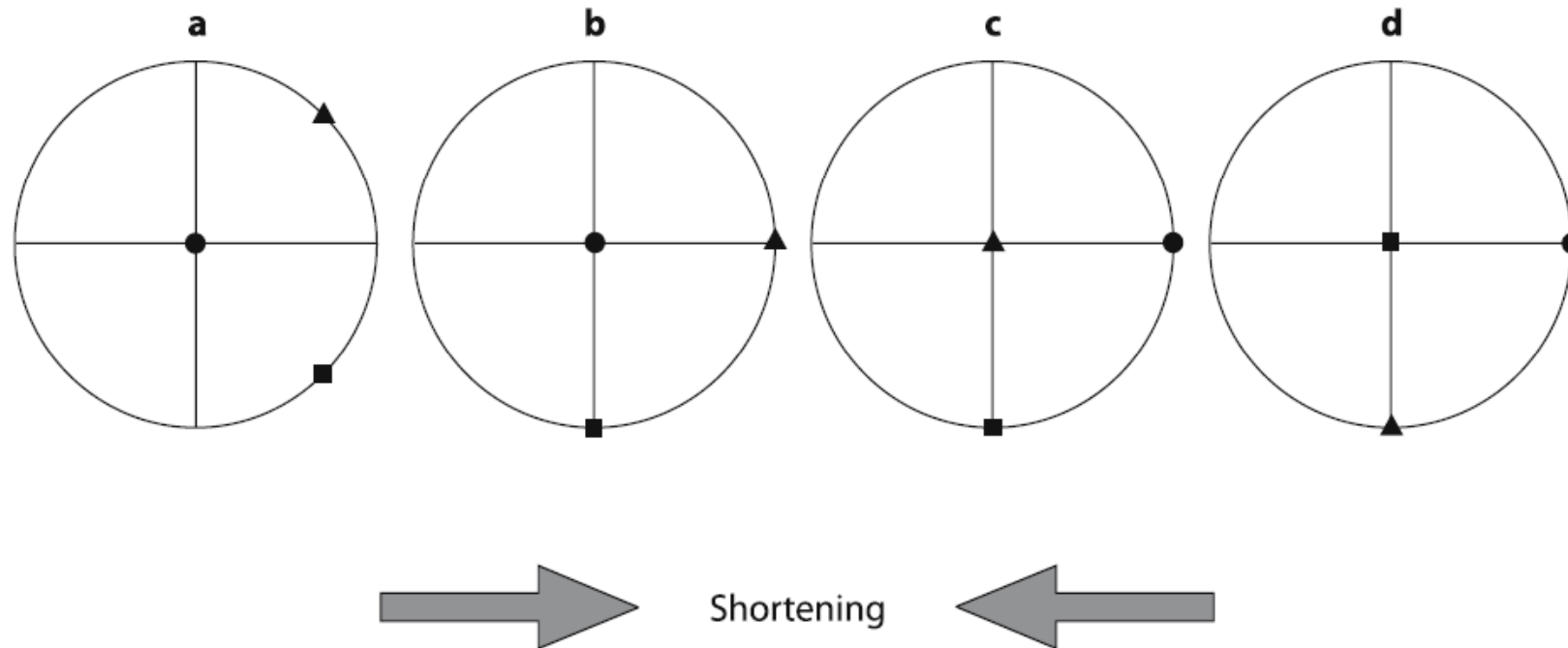
Fábrica  
inversa



Fábrica  
caótica

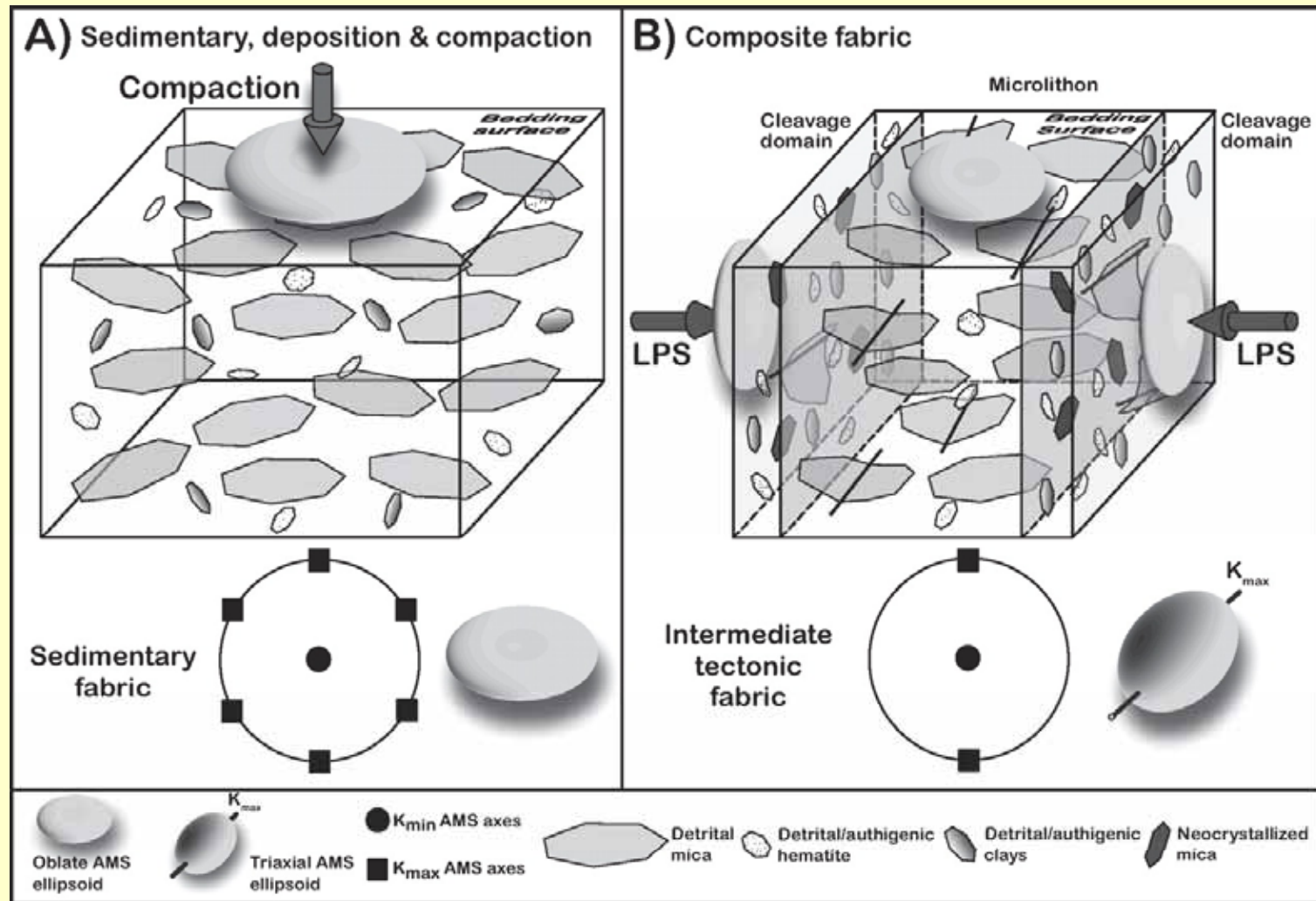


## AMS y deformación

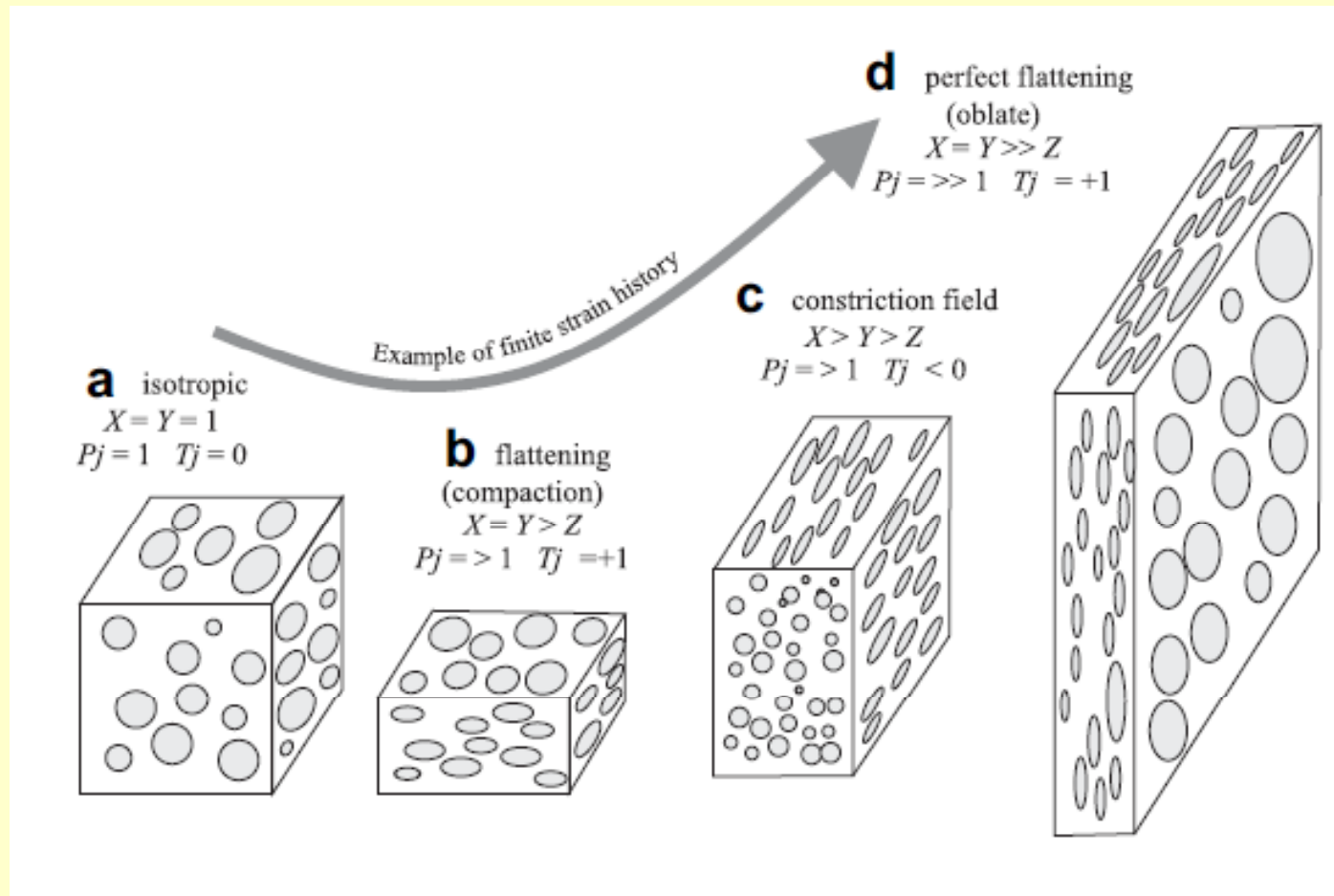


**Fig. 5.17.** Equal-area projections of the principal susceptibility axes during progressive deformation of sedimentary rocks (compression parallel to the bedding plane). Symbols: *square* =  $k_1$ ; *triangle* =  $k_2$ ; *dot* =  $k_3$ ; **a** primary, depositional fabric; **b,c** superimposed primary and deformational fabrics; **d** deformational fabric: the maximum, intermediate and minimum susceptibility and strain axes do coincide

Lanza y Meloni 2006



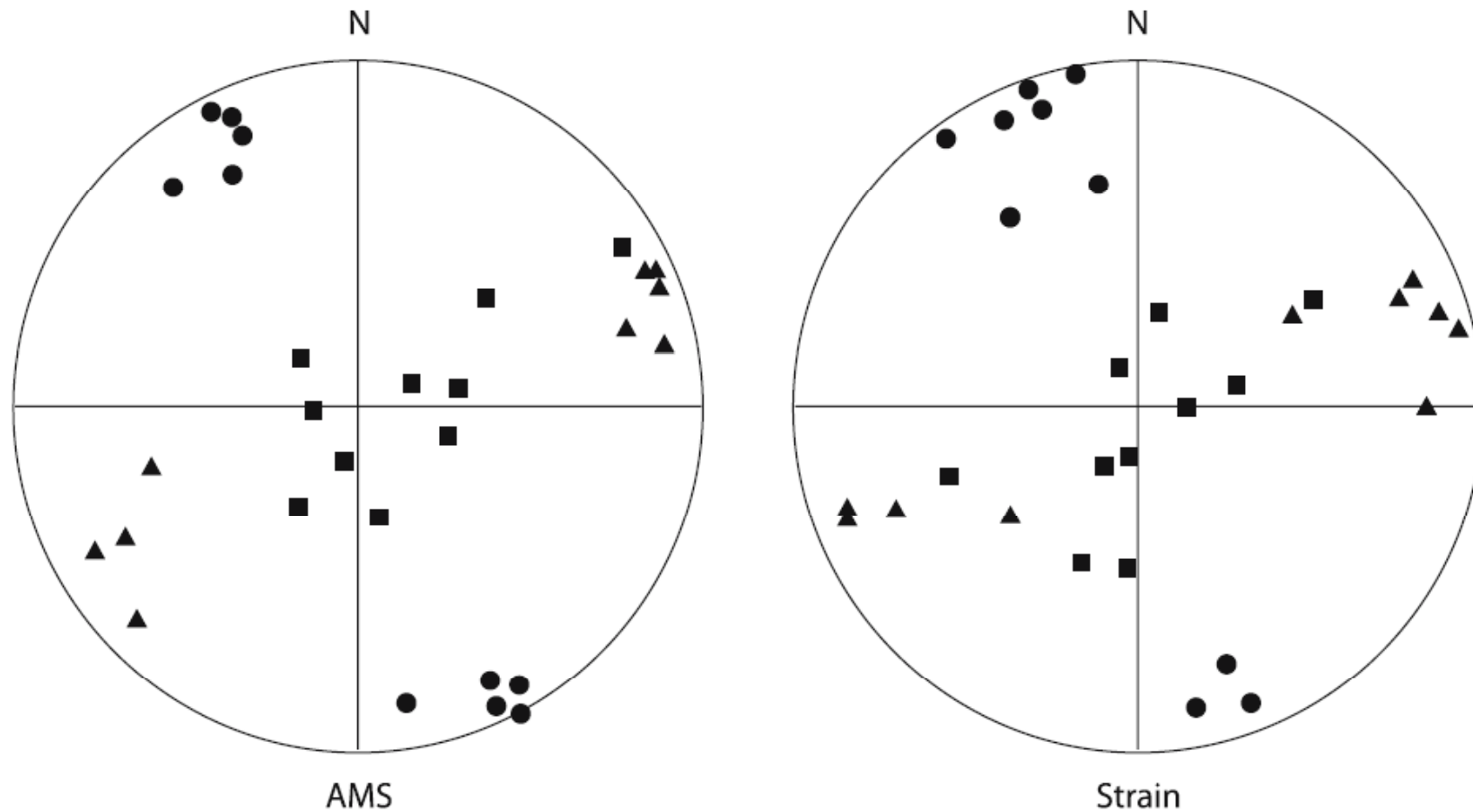
## AMS y deformación



Borradaile y Jackson 2010



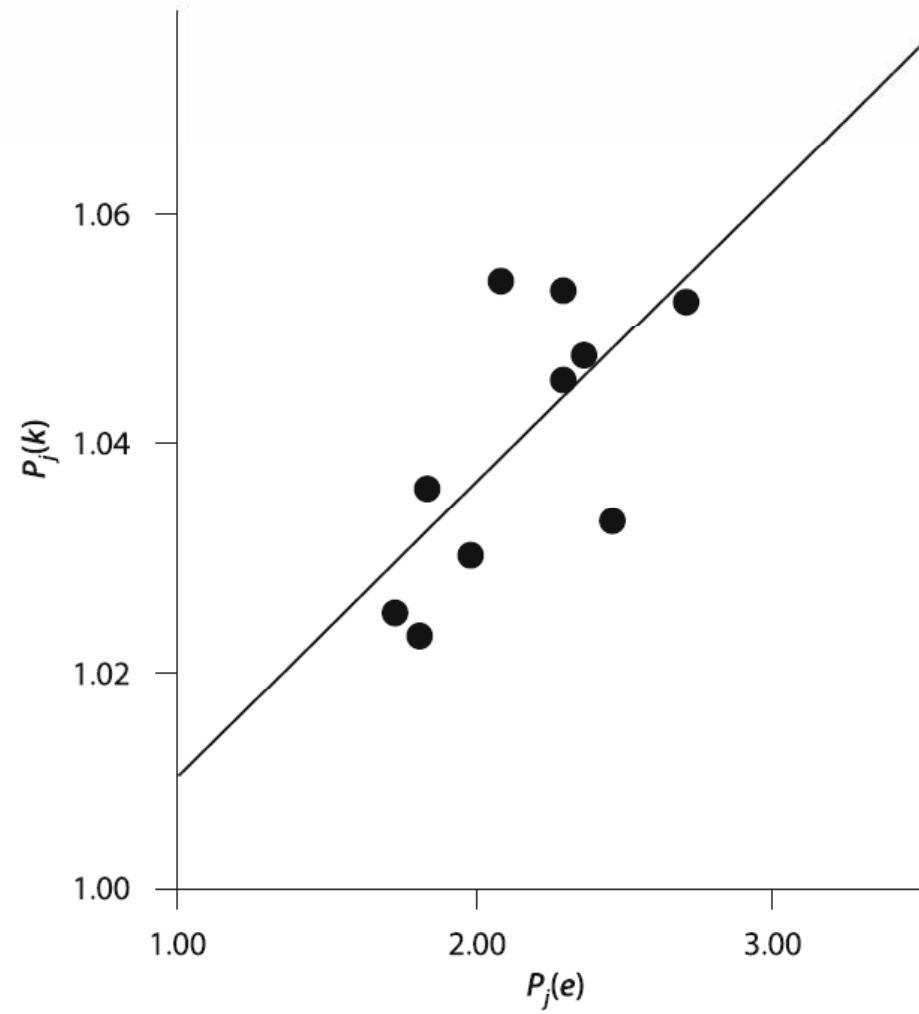
## AMS y deformación



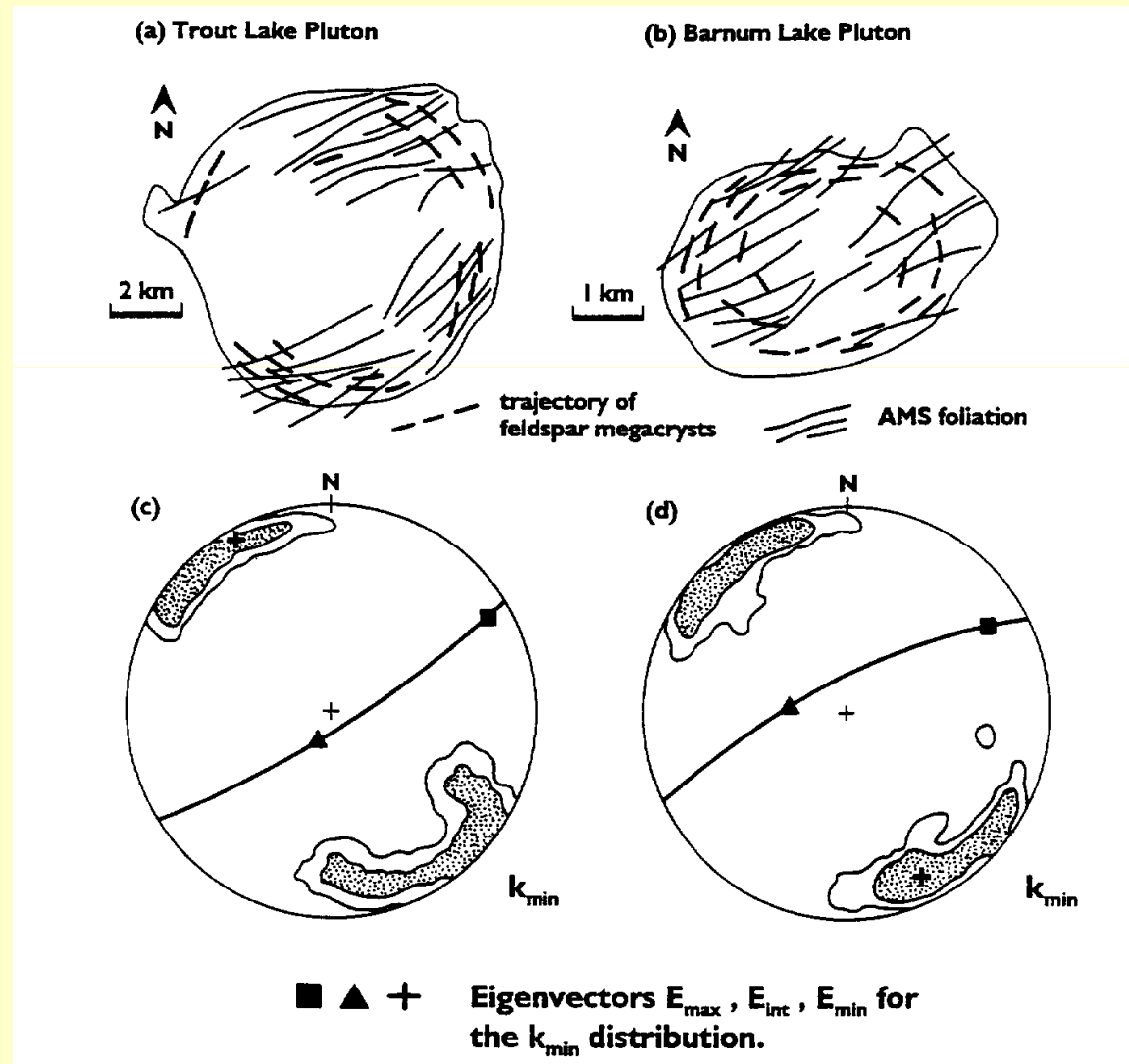
**Fig. 5.20.** Equal-area projection of the site mean principal directions of AMS ( $k$ ) and finite strain ( $e$ ) in the Chelmsford Formation (Sudbury Basin, Ontario, Canada). Symbols: *square* =  $k_1, e_1$ ; *triangle* =  $k_2, e_2$ ; *dot* =  $k_3, e_3$  (from Hirt et al. 1988)

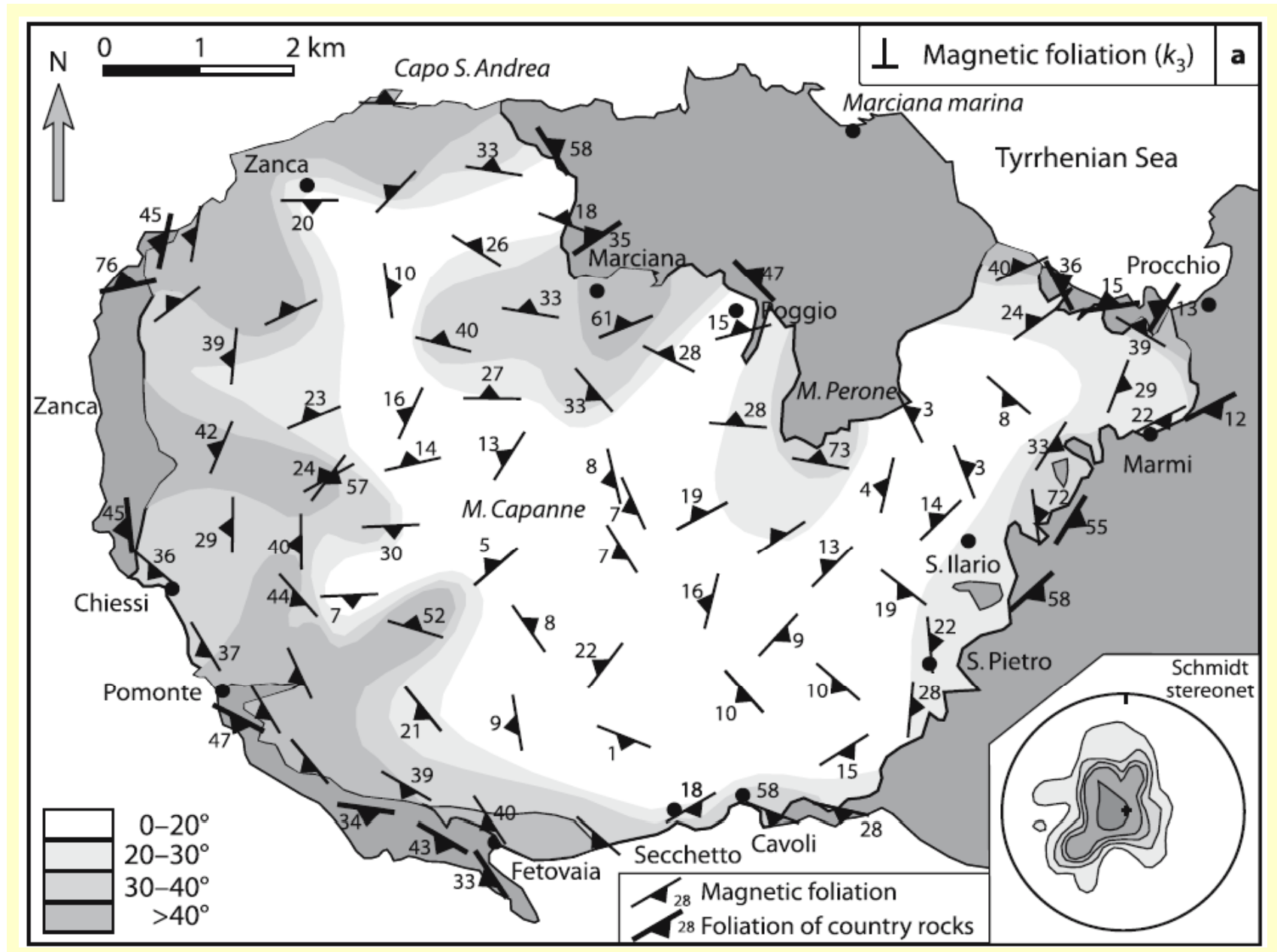
## AMS y deformación

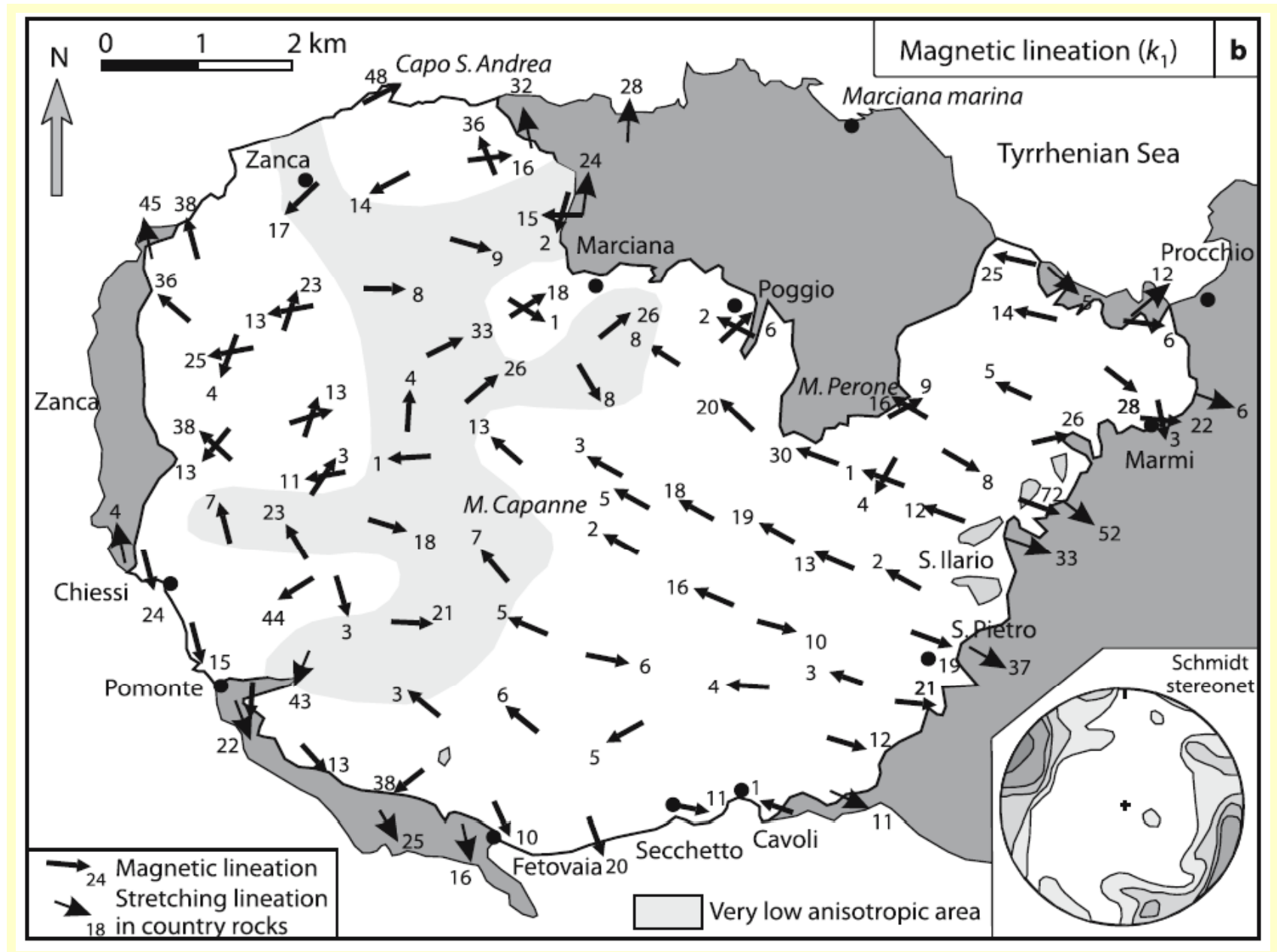
**Fig. 5.21.** Correlation of AMS,  $P_f(k)$ , versus finite strain,  $P_f(e)$ , in the Chelmsford Formation (Sudbury Basin, Ontario, Canada) (from Borradaile 1991)

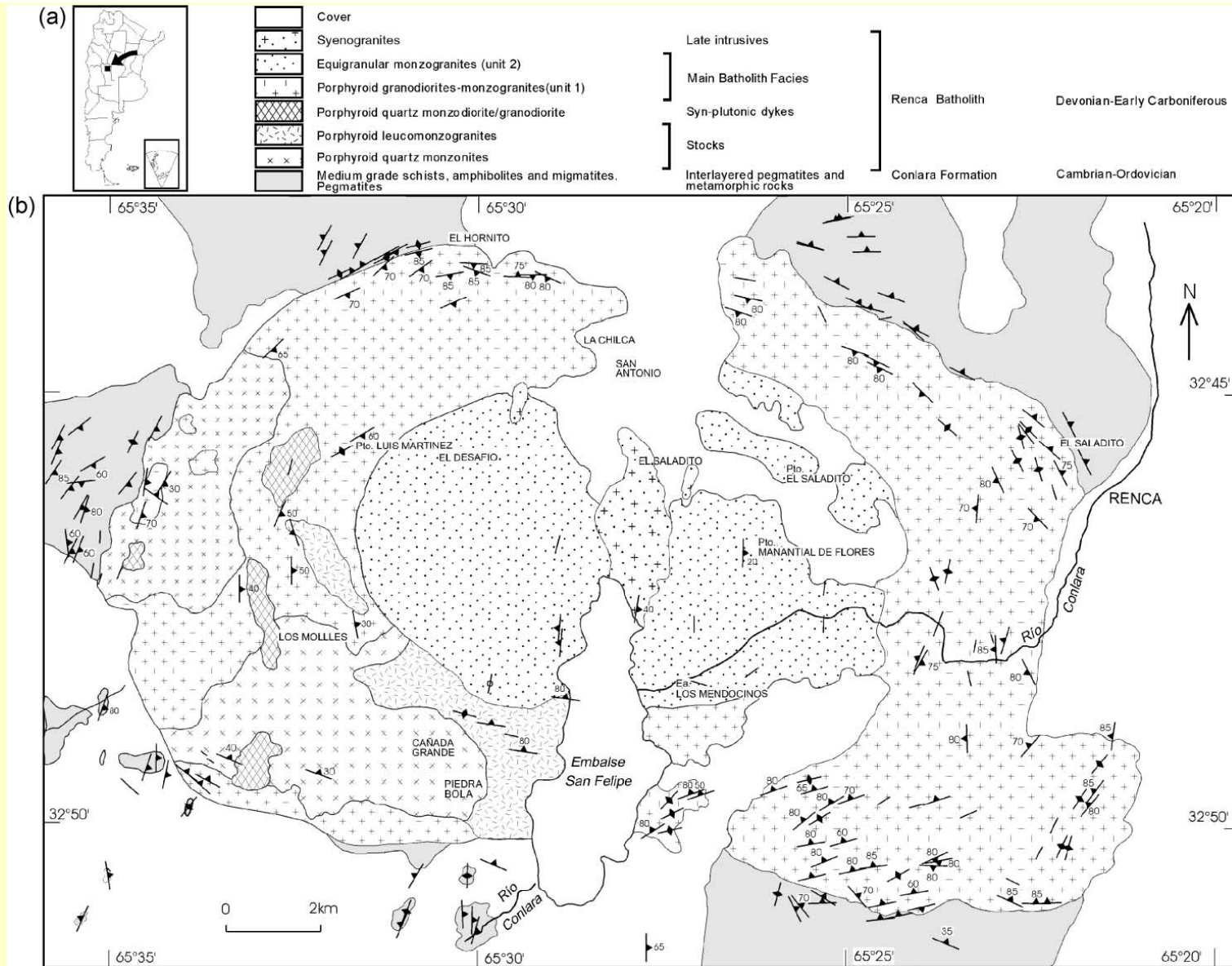


## AMS en rocas plutónicas



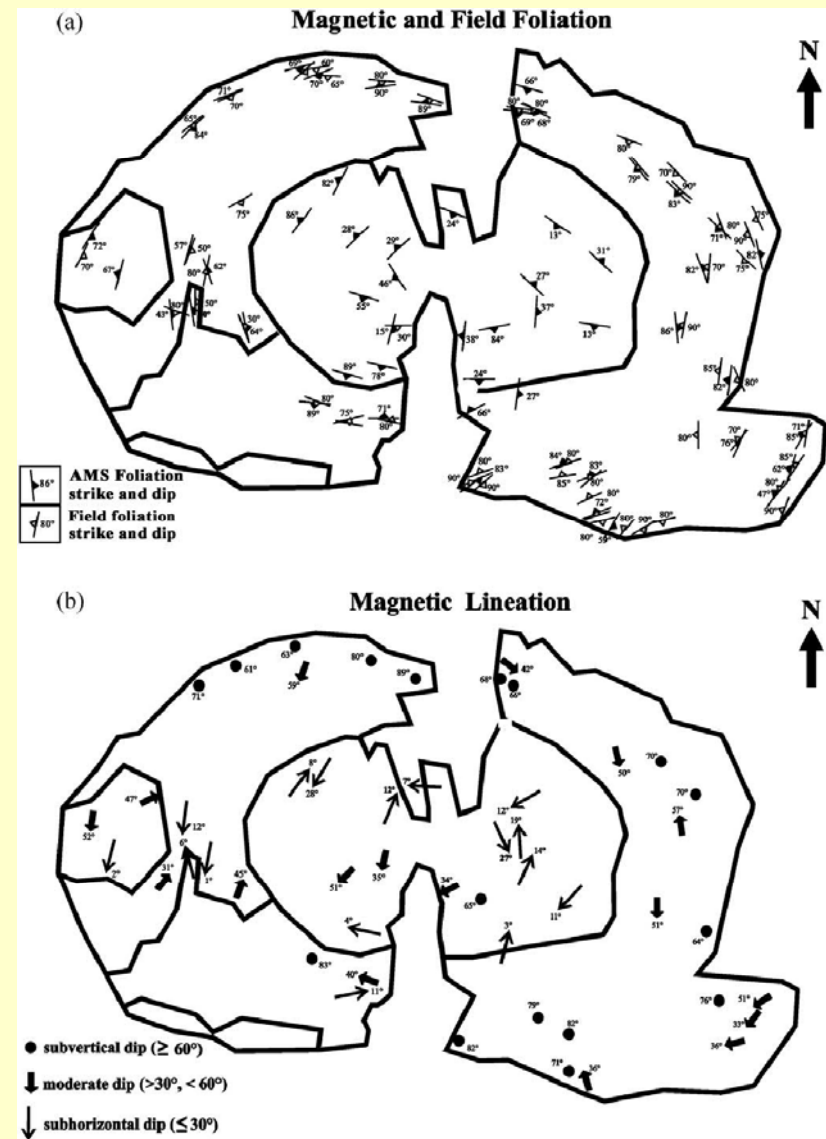
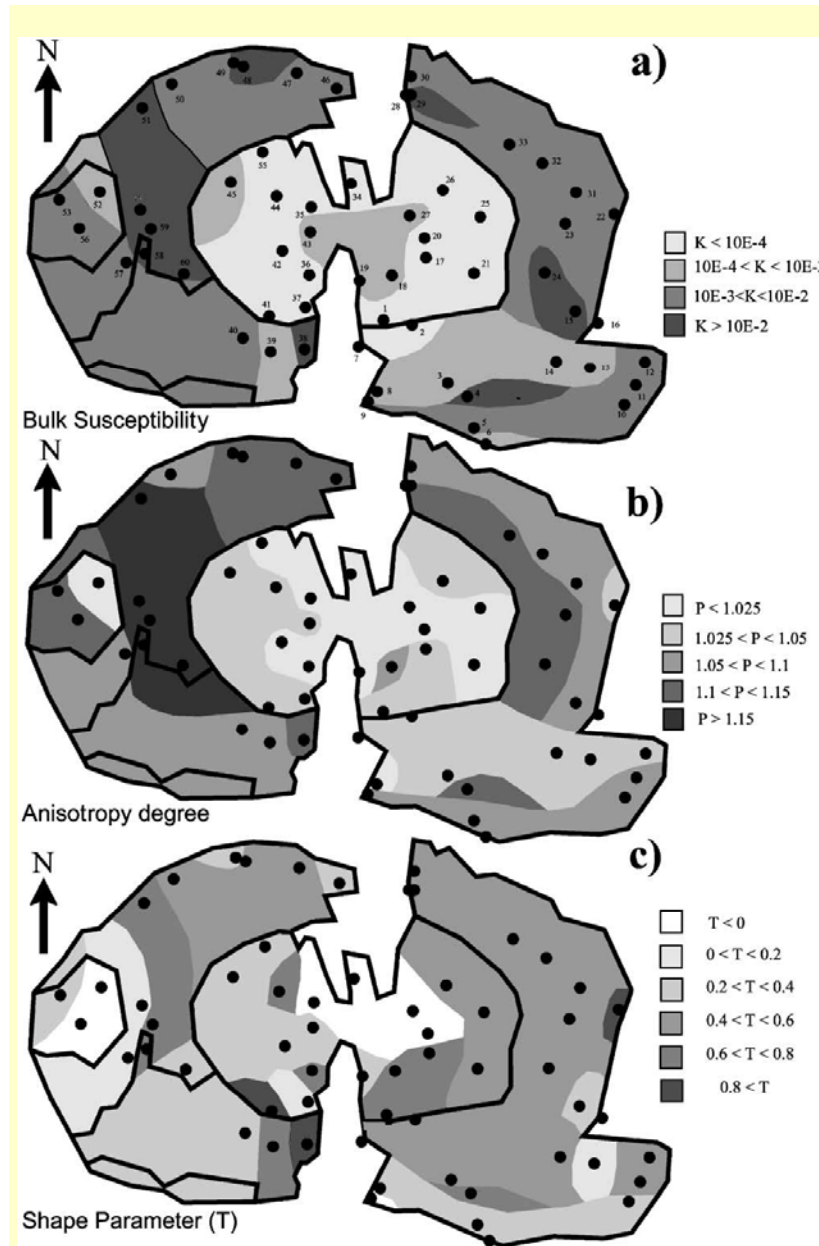






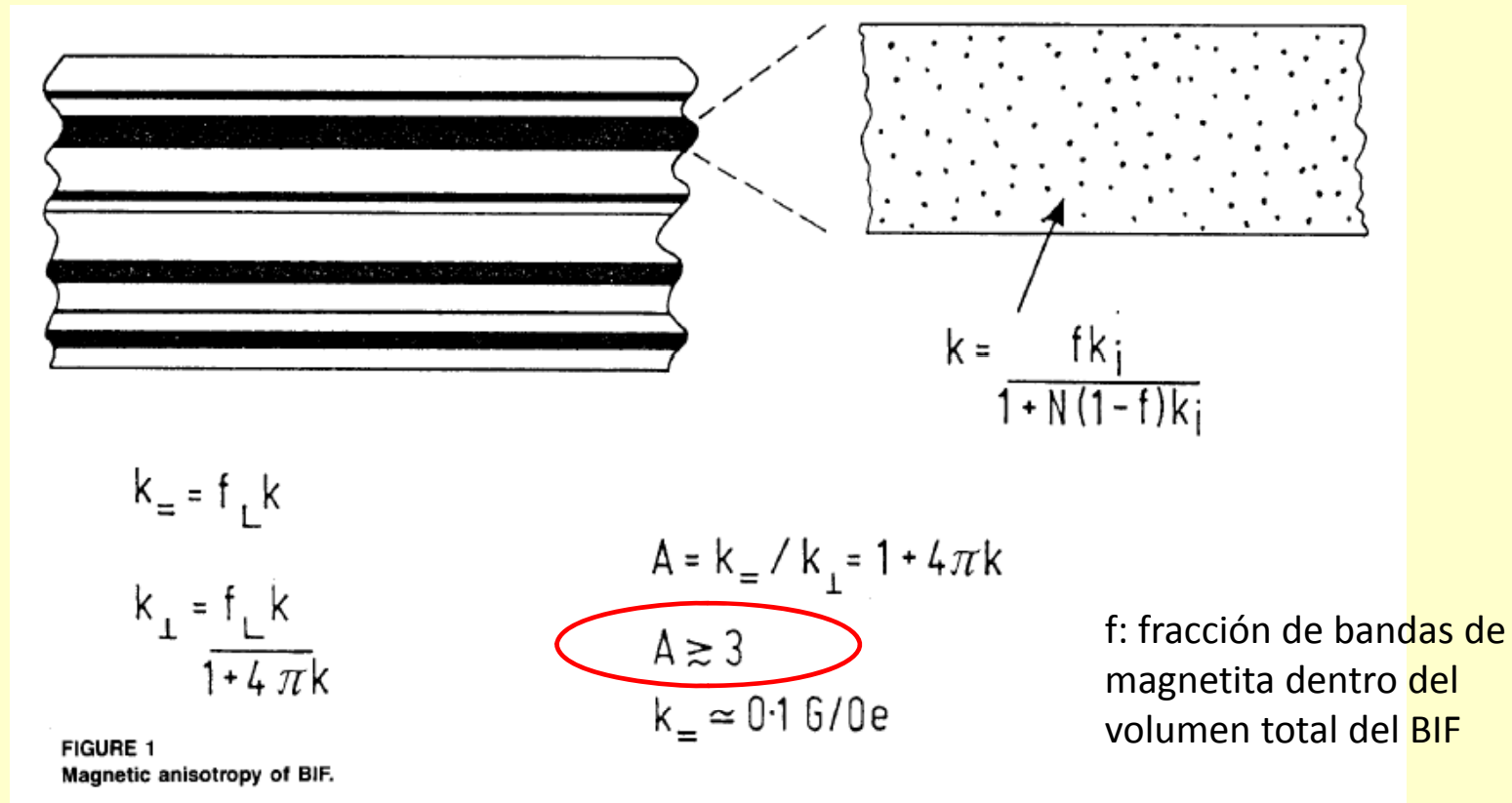
Batolito de Renca, López de Luchi et al. 2002





López de Luchi et al. 2002

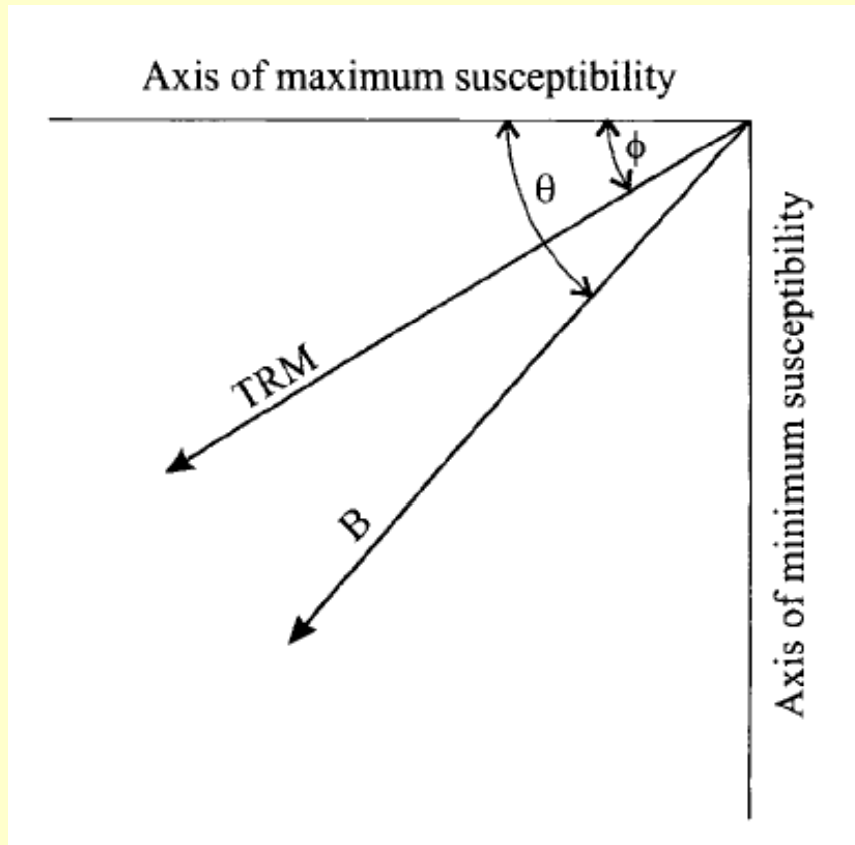
## Caso extremo de AMS: los hierros bandeados



Como resultado de tan fuerte anisotropía, la magnetización remanente de estas rocas va a ser deflectada hacia el plano de estratificación

Clark 1988





La dirección de remanencia magnética se desvía hacia el eje de máxima anisotropía. El grado de desviación es función del grado de anisotropía  $P$  y del ángulo entre  $F$  y la dirección preferencial

$$M_{\max} = c_{\max} B \cos \theta$$

$$M_{\min} = c_{\min} B \sin \theta,$$

$$(\theta - \phi)_{\max} = \tan^{-1} \left( \frac{A_n^2 - 1}{2A_n} \right)$$

Una AMS de 5 % genera una deflexión de  $\sim 2,5^\circ$

Una AMS de 10 % genera una deflexión de  $\sim 5^\circ$

Una AMS de 20 % genera una deflexión de  $\sim 10^\circ$

(salvedad: la AMS puede estar gobernada por magnetita multidominio, que no contribuye significativamente a la remanencia)

McElhinny y McFadden 2000

## Anisotropía de la remanencia

La anisotropía de la remanencia magnética se puede medir usando remanencias artificiales: IRM y ARM.

Se determina así la AIRM o la AARM.

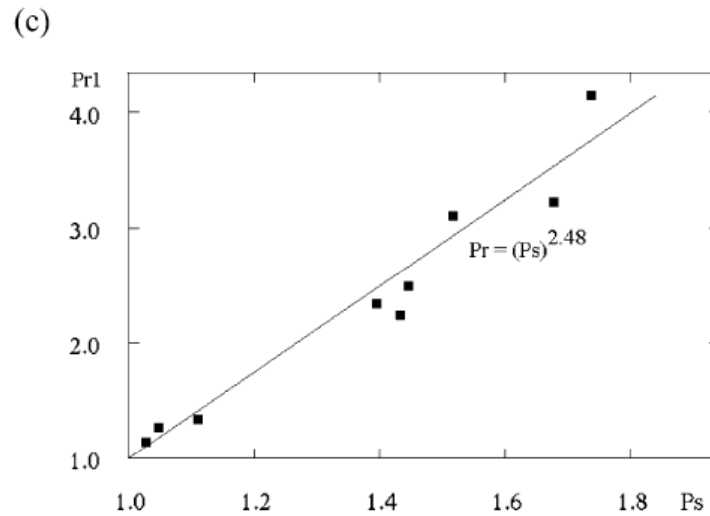
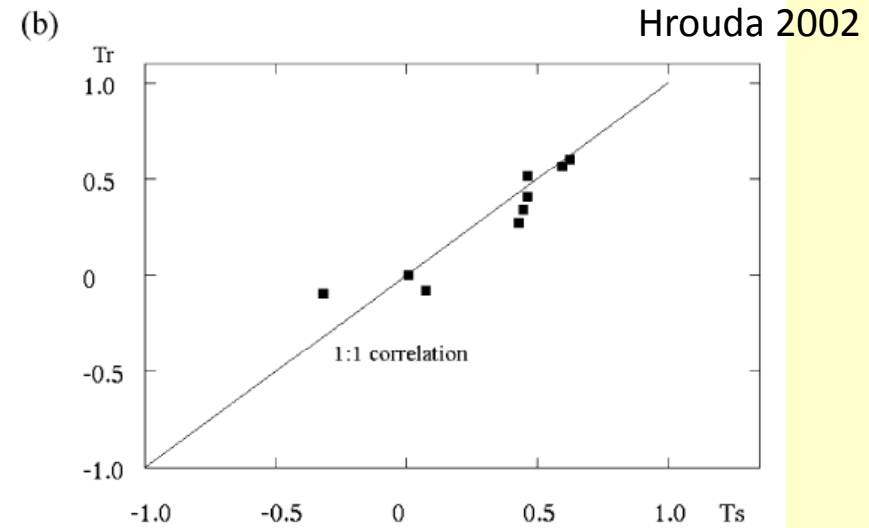
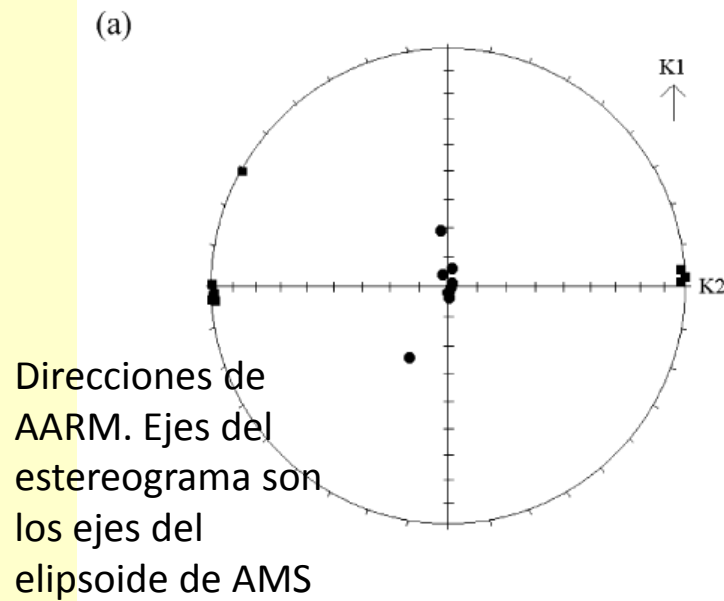
## Anisotropy of Magnetic Remanence: A Brief Review of Mineralogical Sources, Physical Origins, and Geological Applications, and Comparison with Susceptibility Anisotropy<sup>1</sup>

MIKE JACKSON<sup>2</sup>

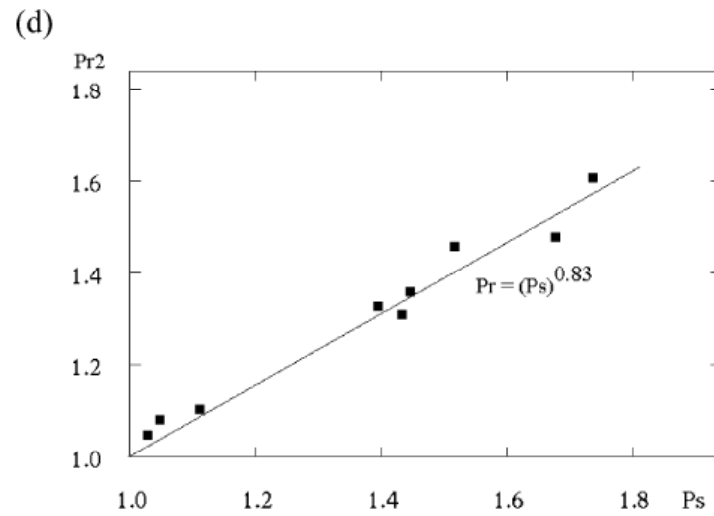
**Abstract**—The magnetic fabric of rocks and sediments is most commonly characterized in terms of the anisotropy of low-field magnetic susceptibility (AMS). However, alternative methods based on remanent magnetization (measured in the absence of a magnetic field) rather than induced magnetization (measured in the applied field) have distinct advantages for certain geological applications. This is particularly true for; (1) adjunct studies in paleomagnetism, in order to assess the fidelity with which a natural remanence records the paleofield orientation; (2) studies of weakly magnetic or weakly deformed rocks, for which susceptibility anisotropy is very difficult to measure precisely; and (3) quantitative applications such as strain estimation. The fundamental differences between susceptibility and remanence (and their respective anisotropies) are due to several factors: (1) susceptibility arises from all of the minerals present in a sample, whereas remanence is carried exclusively by a relatively small number of ferromagnetic minerals; (2) ferromagnetic minerals are generally more anisotropic than para- and diamagnetic minerals; (3) for ferromagnetic minerals, remanence is inevitably more anisotropic than susceptibility; and (4) a number of common minerals, including single-domain magnetites, possess an inverse anisotropy of susceptibility, i.e., they tend to have minimum susceptibility parallel to the long axis of an individual particle; remanence is immune to this phenomenon. As a consequence of all these factors, remanence anisotropy may generally provide a better quantitative estimate of the actual distribution of particle orientations in a rock sample.

**Key words:** Magnetic remanence, anisotropy, magnetic fabric.

Pure and Applied Geophysics



Tensor remanibilidad de primer tipo



Tensor remanibilidad de segundo tipo

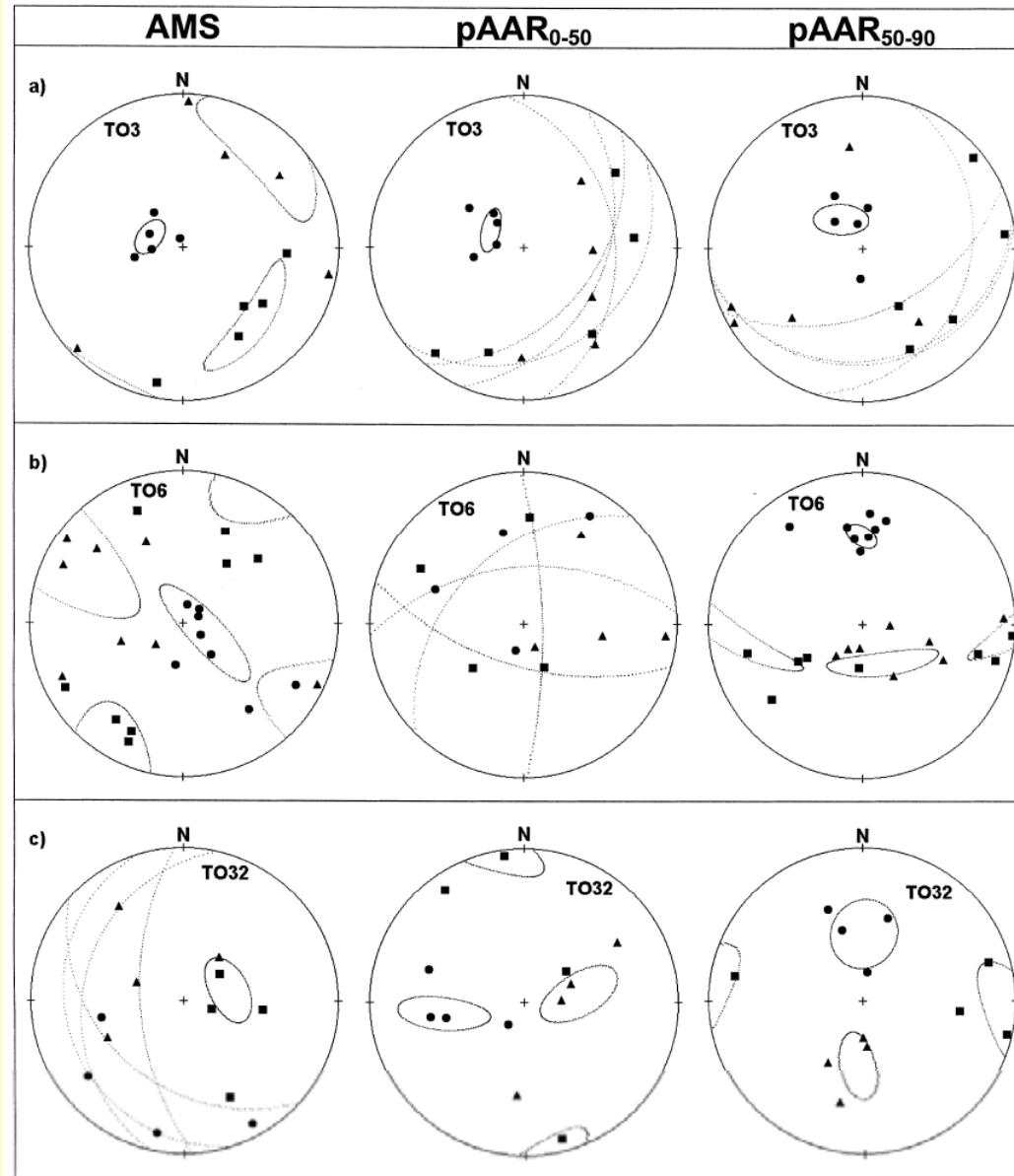
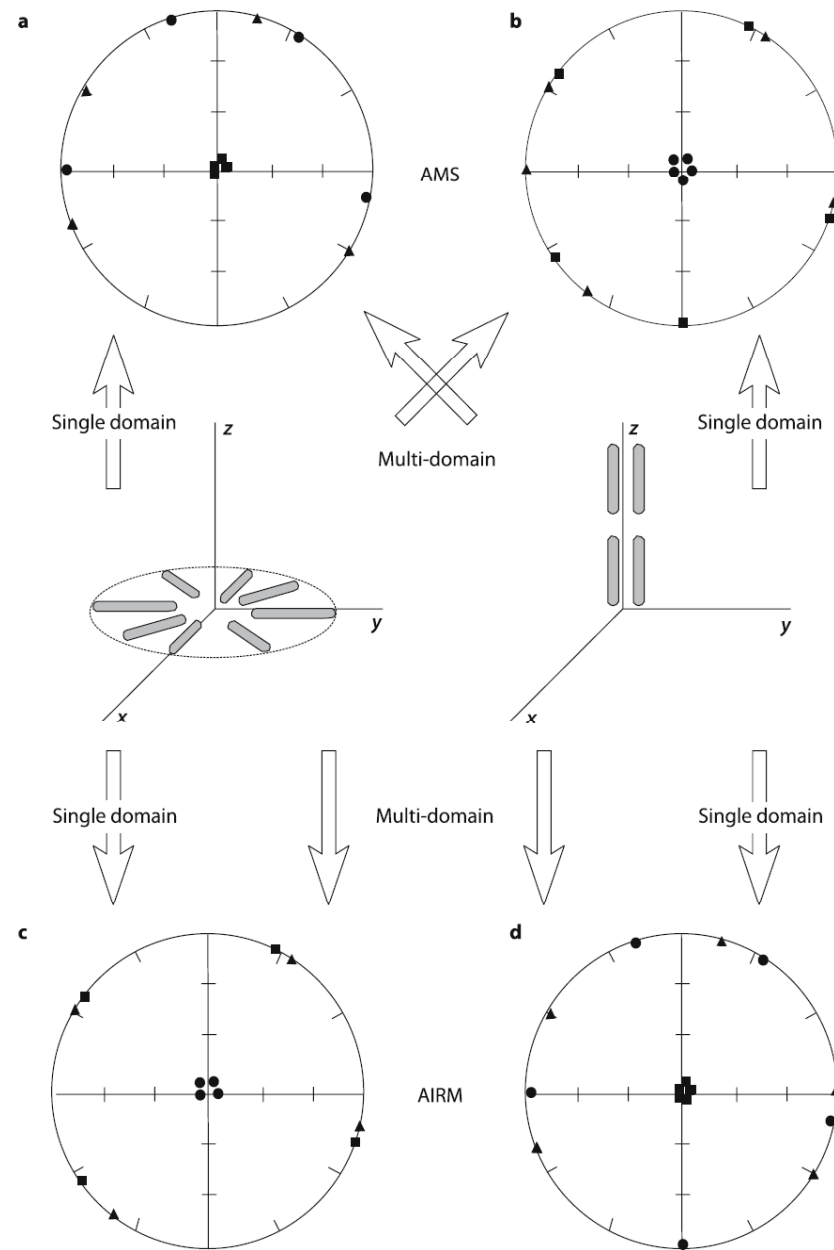


Fig. 12. Representative lower-hemisphere stereoplots of AMS, pAAR<sub>0-50</sub> and pAAR<sub>50-90</sub> for sites: (a) TO-3, (b) TO-6 and (c) TO-32. Squares:  $K_{max}$  and  $A_{max}$ ; triangles:  $K_{int}$  and  $A_{int}$ ; circles:  $K_{min}$  and  $A_{min}$ . Dashed line ellipses: 95% confidence ellipses.

Trindade et al. 1999



Una de las ventajas del uso de la anisotropía de la remanencia, es que resuelve la ambigüedad en la interpretación de magnetita SD/MD, ya que ambas adquieren su magnetización en la dirección del eje fácil.

Lanza y Meloni 2006

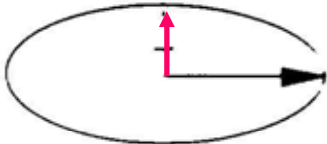
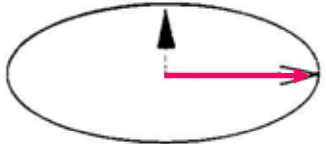
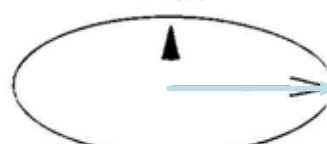

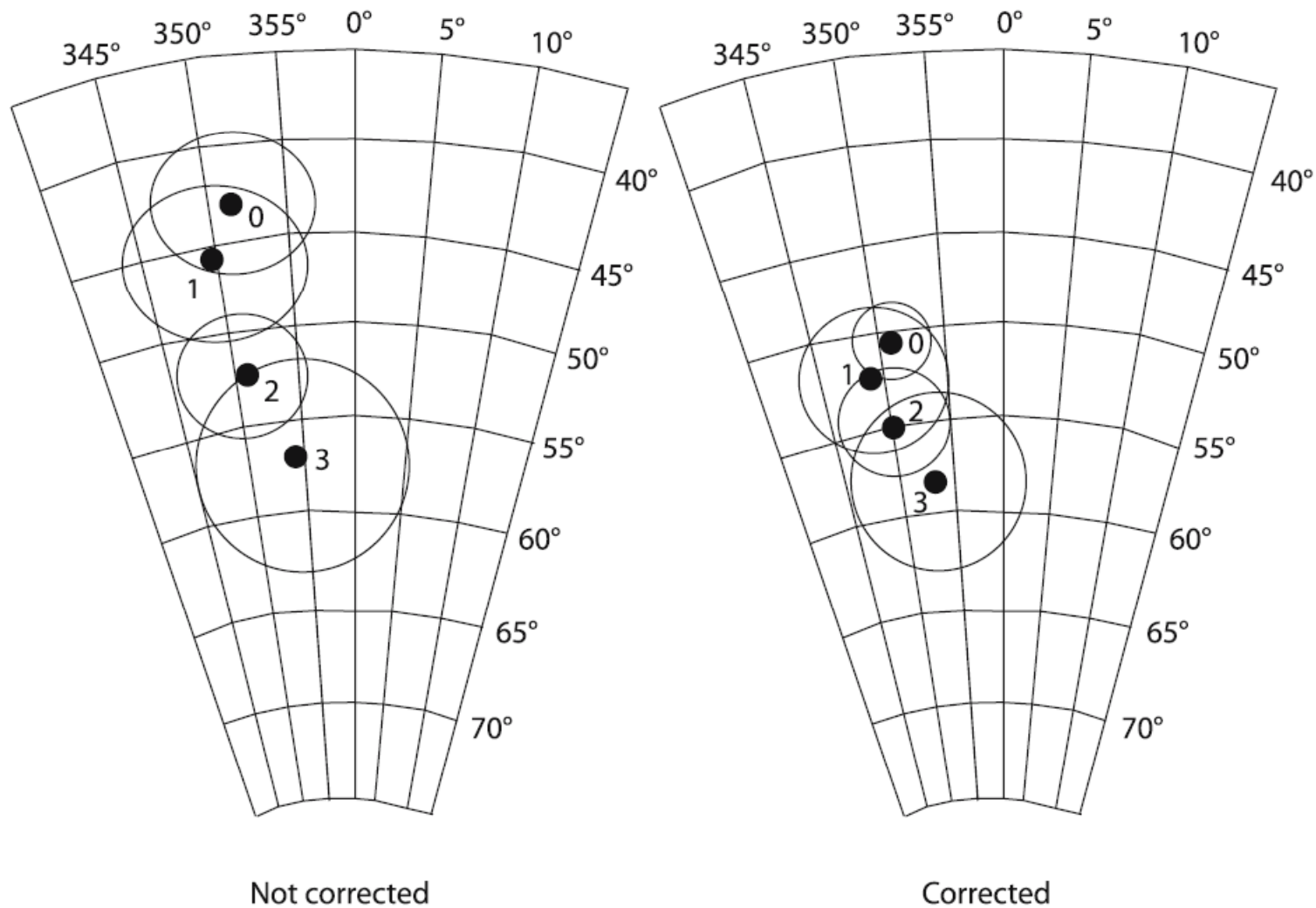
	AMS	AMR
SD uniaxial prolate	<p>max</p>  <p>min</p>	<p>min</p>  <p>max</p>
MD	<p>min</p>  <p>max</p>	<p>min</p>  <p>max</p>

Figure 2

“Inverse” AMS in prolate SD particles (top left), with minimum  $k$  parallel to the long axis. In contrast, AMR in the same particles is “normal”, with maximum  $k_R$  along the greatest dimension.

Jackson, 1991



**Fig. 5.23.** Equal-area projection of ChRM directions from four pyroclastic levels (Sardinia, Italy) before and after the magnetic anisotropy correction (from Gattacceca and Rochette 2002)