

GEOFISICA INTERNACIONAL

REVISTA DE LA UNION GEOFISICA MEXICANA, AUSPICIADA POR EL INSTITUTO DE
GEOFISICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Vol. 18

México, D. F., 1o. de julio de 1979

Núm. 3

219-242

DIACLASAS Y TECTONICA DE LA REGION DEL CARIBE

ADRIAN E. SCHEIDEGGER*
(Received Nov. 8, 1979)

RESUMEN

Medidas de las orientaciones de diaclasas en la región del Caribe se acuerdan bien con el sistema de esfuerzos tectónicos. Las direcciones principales de este sistema están orientadas en la dirección de N 70°E. En la región de las Bermudas que se halla en el interior de la placa tectónica americana, esta orientación es una extensión, pero en la región de Barbados, que se halla al margen de la placa, una compresión. En Guadalupe, en la parte de Basse-Terre, el origen de las condiciones de los esfuerzos no está completamente comprendido.

ABSTRACT

Joint measurements in the Caribbean region indicate that these fit well into a tectonic stress system whose principal axes are oriented horizontally, with a general direction of N 70°E. In the intraplate region of Bermuda, this orientation defines extension, whereas at the plate margin near Barbados, compression. On Guadalupe, on the Basse-Terre part, the origin of the existing stress relations is not yet completely understood.

* *Institut für Geophysik, Technische Universität, Gusshaus Str. 27-29, A-1040 WIEN (Österreich).*

INTRODUCCION

La estructura actual de la superficie de la Tierra es, con toda evidencia, la resultante de la acción de fuerzas tectónicas. Es también razonable pensar que estas fuerzas están siempre actuantes sobre la corteza terrestre y son ellas las que determinan el movimiento de las placas tectónicas. En tanto que esas fuerzas actúan en un medio continuo, están representadas físicamente por *esfuerzos* que se constituyen, en su entorno, como cantidades tensoriales. La presión o el cizallamiento dependen de la orientación de una superficie virtual, en cada punto de su extensión: en cada punto existen tres "direcciones principales" de la superficie virtual en los cuales no ocurre ningún cizallamiento.

Estos esfuerzos geológicos que operan sobre la corteza terrestre no pueden ser totalmente arbitrarios. Parece evidente que no puede ocurrir una fuerza de cizallamiento paralela a la superficie terrestre porque el aire o el agua no pueden transmitir ese esfuerzo. Por lo tanto, la dirección normal a la superficie debe ser una dirección principal del tensor del esfuerzo. Las otras direcciones serán paralelas a la superficie. Uno de los problemas fundamentales de la geotectónica es determinar la orientación de las direcciones principales que operan paralelas a la superficie terrestre.

Para evaluar los esfuerzos tectónicos en un lugar determinado de la corteza terrestre, debemos investigar sus manifestaciones. Un tipo natural de manifestación ocurre en las aberturas naturales o artificiales como minas, cuevas, túneles, etc. Es posible medir directamente los esfuerzos tectónicos en tales aberturas mediante diversos extensímetros. Estos aparatos miden solamente variaciones de longitud. Si se conocen las constantes elásticas de la roca, es posible determinar las variaciones de esfuerzos que dan lugar a las variaciones de longitud registradas por el extensímetro. En la práctica, los esfuerzos tectónicos pueden medirse insertando un extensímetro en un pequeño orificio de la pared de una mina y cortando después el extensímetro con el trozo de roca en que está insertado. En el trozo de roca cortado, se puede suponer que los esfuerzos tectónicos son nulos y pueden así calcularse los esfuerzos origina-

les a partir de las variaciones de extensión del fragmento durante la operación de corte. Desafortunadamente, este método es muy costoso.

Un método alternativo de determinar los esfuerzos tectónicos se basa en los fenómenos sísmicos. Una hipótesis plausible es la de que todas las sacudidas sísmicas están relacionadas con los esfuerzos tectónicos actuales en la zona. Es posible determinar las fallas de los temblores por las "soluciones de continuidad del plano de falla". En general, se reconocen dos planos de falla posibles que permiten determinar la dirección de los esfuerzos que condicionan estos planos. De este modo, puede establecerse la dirección principal de los esfuerzos ocurientes en un foco sísmico, aunque esa dirección se refiere al nivel del foco y no a la superficie terrestre.

Finalmente, las manifestaciones geológicas de los esfuerzos tectónicos pueden ser utilizadas para determinar esos esfuerzos. Es precisamente esta posibilidad la que exponemos en el presente trabajo.

LAS DIACLASAS

En cada afloramiento se encuentran muchas "grietas", llamadas "diacclasas" por los geólogos. Para posibilitar la caída de un fragmento de roca de una pared rocosa, deben concurrir tres planos de diaclasas, por cuanto vivimos en un espacio de tres dimensiones.

Las diaclasas visibles en un afloramiento presentan aspectos muy complejos, pero la orientación de esas diaclasas no es totalmente producto del azar. En general, es posible reconocer tres orientaciones preferidas; una de ellas es aproximadamente horizontal, las otras son verticales y forman un sistema casi ortogonal. (Scheidegger, 1979).

El origen de las diaclasas no es seguro. Pero es razonable suponer que las diaclasas verticales correspondan a planos de cizallamiento reciente en un sistema tridimensional de esfuerzos. Es bien conocido que los planos de fractura en un tal sistema contienen la dirección principal intermedia de los esfuerzos y bisecan las direcciones principales externas. También hay bastantes testimonios que las diaclasas vectoriales representan fenómenos de cizallamiento. En un conglomerado, las guijas es-

tán generalmente cortadas de través, lo cual no sería posible sin el cizallamiento. Por otra parte, las diaclasas más o menos horizontales parecen ser causadas por la litología.

En consecuencia de lo anterior, debemos suponer que es posible determinar la dirección principal de los esfuerzos tectónicos en los alrededores de un afloramiento, según las orientaciones preferidas de las diaclasas. En rocas recientes no hay cuestión de la edad de los fenómenos: todas deben ser absolutamente recientes.

El método descrito no es completamente sencillo. En cuanto existe gran dispersión de orientaciones, la primera tarea es determinar las orientaciones *preferidas* de las diaclasas. Mediante una brújula geológica podemos medir las orientaciones individuales: debe medirse el acimut y el ángulo del buzamiento en una cantidad de diaclasas. Obtenidos estos valores, hay que determinar los preferidos. Esto se logra trazando las orientaciones individuales (generalmente sus polos) en cualquier representación de la esfera unitaria y determinando las áreas más compactas sobre esta base. Es preferible utilizar una calculadora electrónica, ajustando las distribuciones teóricas del tipo $\exp(k \cos^2 \vartheta)$ para las direcciones actualmente medidas. Las orientaciones preferidas pueden determinarse exigiendo una discrepancia mínima entre la distribución teórica y la distribución actual. Una vez establecidas las orientaciones preferidas de las diaclasas, pueden determinarse las direcciones principales de los esfuerzos. Esas direcciones corresponden a la presión máxima que biseca el ángulo menor de las orientaciones preferidas. En cuanto ese ángulo siempre está cerca de 90° , no es posible afirmar a menudo cuál dirección corresponde a la presión y cuál a la tensión.

LA REGION CARIBE

a) Observaciones Generales

Ilustremos la teoría expuesta con el ejemplo de la región Caribe. Hemos

medido multitud de diaclasas en las Bermudas, en las Bahamas, en el Archipiélago de la Guadalupe (Basse Terre, Grande Terre, Iles des Saintes) y en Barbados. La Fig. 1 da una representación de la región entera. En cada zona, investigamos una serie de afloramientos; en cada afloramiento se determinaron las orientaciones preferidas de las diaclasas y las direcciones principales de los esfuerzos tectónicos horizontales se calcularon de acuerdo al método descrito. Todos estos valores fueron determinados para cada *entera* región. Las rocas en esas regiones son de tipo calizo, a veces modificadas por el viento, excepto en Basse Terre y en Iles des Saintes, donde la roca es volcánica de tiempo reciente.

Veamos, en detalle, las diferentes zonas.

b) Las Bermudas

En la Fig. 2 se muestra un mapa de las Bermudas: Las áreas de afloramientos investigadas se marcan con estrellas y letras. En cada área, las direcciones preferidas de las diaclasas verticales (el rumbo) están marcadas por líneas y la dirección de los esfuerzos principales por flechas. Los mismos datos están marcados también por la región entera.

La Fig. 3 representa un diagrama (en %) de polos de todas las diaclasas medidas en Bermudas sobre la esfera unitaria en una proyección de Lambert. El cuadro 1 presenta los valores preferidos de las orientaciones (acimut N-E y ángulo de buzamiento) de las diaclasas (con los errores) y la dirección (acimut N-E e inclinación) de los esfuerzos tectónicos extremos (P: presión, T: tensión), en cada área (marcada por la letra correspondiente en la Fig. 2) y en la región entera.

c) Bahamas

De acuerdo al mismo esquema, los resultados para las Bahamas están representados en el mapa de la Fig. 4 y en el cuadro 2. El diagrama de la densidad de polos se ve en la Fig. 5.

d) Archipiélago de la Guadalupe

El "archipiélago" de la Guadalupe comprende tres partes: la "Grande

Terre", cuya región oriental está constituida de calizas, la "Basse Terre", cuya zona occidental es roca volcánica y el grupo de las Iles des Saintes, también de rocas volcánicas.

Se realizó investigación individual de cada región (Bonneton and Scheidegger, 1980). Los resultados se presentan en los cuadros 3-5 que deben estudiarse conjuntamente con el mapa de la Fig. 6. El esquema de valores es el mismo anterior. Finalmente, las figuras 7-9 muestran los diagramas de densidad de polos para las tres regiones.

e) Barbados

Los resultados para Barbados se presentan en las figuras 10 y 11 y en el cuadro 6. La representación es la misma.

DISCUSION

En el cuadro 7 y en la figura 1, hemos recogido los resultados de las regiones individuales en el área del Caribe. En todas ellas, excepto la "Basse Terre", una de las direcciones principales de los esfuerzos tectónicos tiene el acimut de ca. N 70° E. En Bermudas y Bahamas, esta dirección parece ser una tensión pero, debido al hecho que el ángulo entre las diaclasas está cerca de 90°, esta identificación de "presión" y "tensión" no es cierta. La dirección N 70° E es la dirección a través de la plancha tectónica de las Américas (cf. Fig. 12). Es muy razonable suponer que el movimiento de la plancha Americana ocurra precisamente en esta dirección.

Además, la tensión calculada en las Bermudas, de ser real, sería muy razonable. La plancha tectónica se traslada desde la Cordillera Centroatlántica hasta la zona de subducción en el Oeste. Los esfuerzos tectónicos en medio de la plancha deberían ser tensiones. Por otra parte, en una zona situada cerca del margen de la plancha, como los alrededores de Barbados, debería existir una compresión, la que, de hecho, se observa actualmente.

La causa de la anomalía de la dirección de los esfuerzos en "Basse Terre" todavía no ha sido explicada.

Cuadro 1

Lugar	No.	Diaclases en Bermuda				T
		Max. 1	Max. 2	Angulo	P	
A	15	31±48/85±32				
B	8	164±25/65±19				
C	18	81±13/89±11				
D	16	34±18/84±17	307±24/68±21	85	78/11	172/18
E	10	not def.				
F	20	342±25/89±18				
G	10	not def.				
H	7	not def.				
I	10	167±17/83±16				
J	22	75±29/76±23				
K	15	208±39/84±28				
L	19	8±24/82±22	287±13/88±12	81	238/4	147/6
M	23	80±12/88±12	350±21/85±19	90	215/5	125/2
N	22	287±21/76±19	18±26/85±26	90	61/7	153/13
O	20	15±19/88±18				
P	12	not def.				
Q	15	43±26/88±18				
R	11	243±28/84±21				
S	22	258±31/86±24	159±15/84±13	82	29/8	298/2
Todos	295	14±10/89±6	282±14/86± 8	87	148/4	58/2

Cuadro 2

Diaclasas en las Bahamas

Lugar	No.	Max. 1	Max. 2	Angulo	P	T
New Providence	262	226± 7/89± 5	186± 7/88± 6	89	1/3	271/1
Bimini	105	105±10/88± 8	100±11/88± 8	85	328/3	238/0
Eleuthera	109	1±22/89±10	95±18/88± 9	86	228/2	318/1
Grand Bahama	154	12±13/90± 8	278±13/88± 8	86	145/2	55/2
Todos	630	218±12/89± 4	125±12/89± 4	87	352/1	82/0

Cuadro 3

Diaclasas en Grande Terre

Lugar	No.	Max. 1	Max. 2	Angulo	P	T
A	28	37±18/87±12	111±26/89±17	74	164/2	254/2
E	23	113±16/88±15	189±12/86±12	76	61/2	331/4
F	21	9±24/89±23	90±26/87±17	81	319/2	229/3
G	16	33±31/89±19	294±22/81±19	82	163/8	73/5
H	7	24±18/80±18	304±16/88±16	80	254/6	164/8
Todos	95	24±12/89± 9	293±12/89± 9	89	158/1	249/0

Cuadro 4

Diaclasas en Basse Terre

Lugar.	No.	Max. 1	Max. 2	Angulo	P	T
N: Norte	101	72±15/88± 9	162±20/87±12	90	297/4	27/1
C: Centro	204	14± 9/82± 7				
S. Sur	41	355±13/88±14	273±24/82±20	82	44/5	134/6
Todos	346	64±12/85± 7	348±11/87± 7	75	296/1	206/5

Cuadro 5

Diaclasas en las Iles des Saintes

L	No.	Max. 1	Max. 2	Angulo	P	T
T: Terre-de-Haut	234	115±13/88±10				
B: Terre-de-Bas	66	7±35/83±19				
Todos	300	200±28/87±14	114 18/89 10	87	67/2	337/3

Cuadro 6

Diaclasas en Barbados

Lugares	No.	Max. 1	Max. 2	Angulo	P	T
A	18	210±14/79±13	111±20/90±18	82	340/9	71/7
B	32	338±20/90±14	273±28/89±16	64	36/1	116/1
C	22	46±23/89±19	326±14/90±12	82	277/1	187/1
D	20	181±28/80±21	84±17/85±14	84	312/11	43/3
E	25	33±16/82±14	136±20/89±18	78	265/7	175/4
F	22	216±18/78±18	121±19/87±17	86	348/11	79/6
G	15	207±28/85±13	291±16/90±22	84	338/3	69/4
H	15	2±21/87±19	91±16/90±16	88	136/2	226/2
I	14	153±20/84±20	254± 8/82± 8	80	24/10	114/1
J	20	14±23/89±20	299±19/85±16	74	66/3	157/4
K	25	339±14/89±12	93±22/86±17	66	216/4	306/2
L	33	26±19/90±13	312±22/89±14	79	82/0	172/1
todos	261	205±14/89± 6	303±12/90± 6	82	74/1	164/0

Cuadro 7

Resultados por regiones

Región	No.	Max. 1	Max. 2	Angulo	P	T
Bermuda	295	14±10/89± 6	282±14/86± 8	87	148/4	58/2
Bahamas	630	218±12/89± 4	125±12/89± 4	87	352/1	82/0
Grande Terre	95	24±12/89± 9	293±12/89± 9	89	158/1	249/0
Basse-Terre	346	64±12/85± 7	348±11/87± 7	75	296/1	206/5
Iles des Saintes	300	200±28/87±14	114±18/89±10	87	67/2	337/3
Barbados	261	205±14/89± 6	303 12/90± 6	87	74/1	164/0

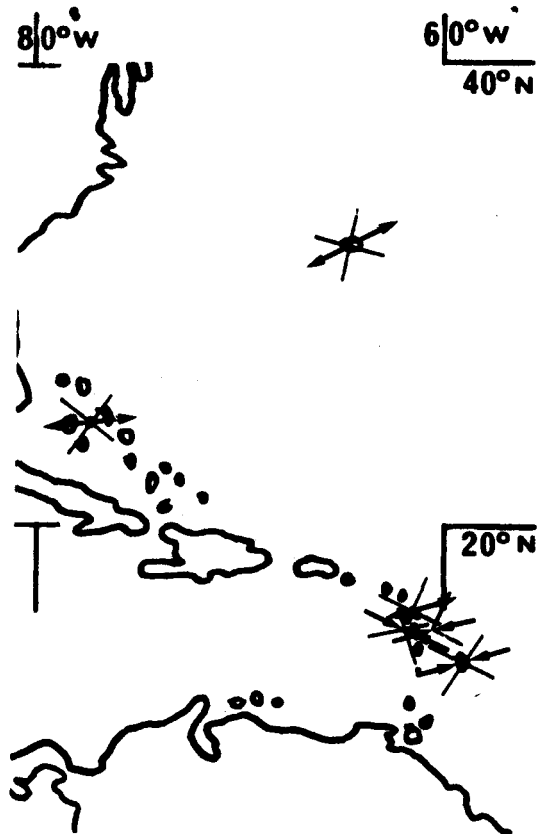


Figura 1. Mapa de la región Caribe con resultados de la investigación de diademas.

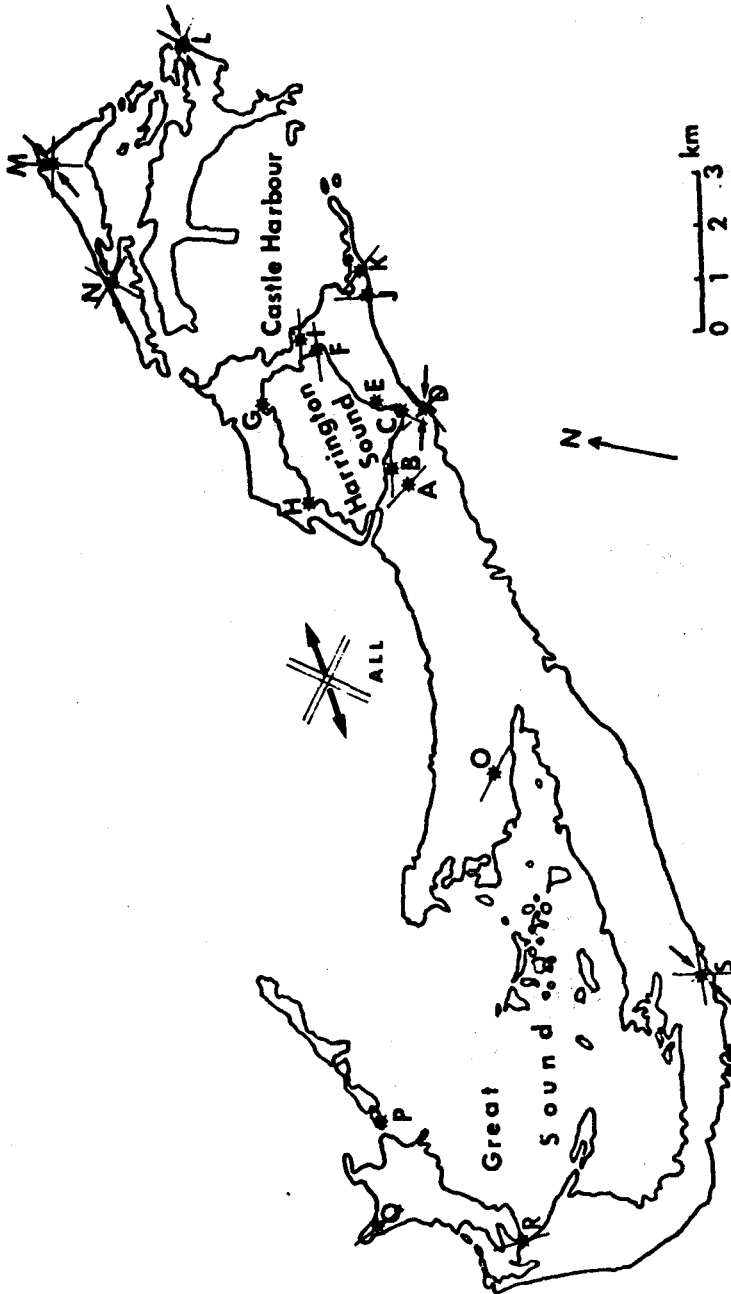
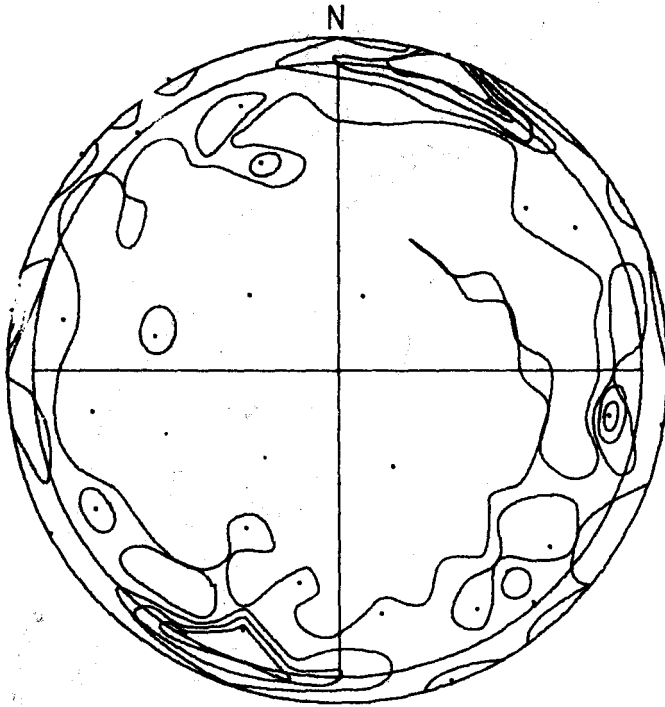


Figura 2. Mapa de las Bermudas con resultados de la investigación de diademas.

BERMUDA DECL. 15 W

LAMBERT PROJECTION



+

Figura 3. Diagrama de densidad de polos de las diaclasas en Bermuda.

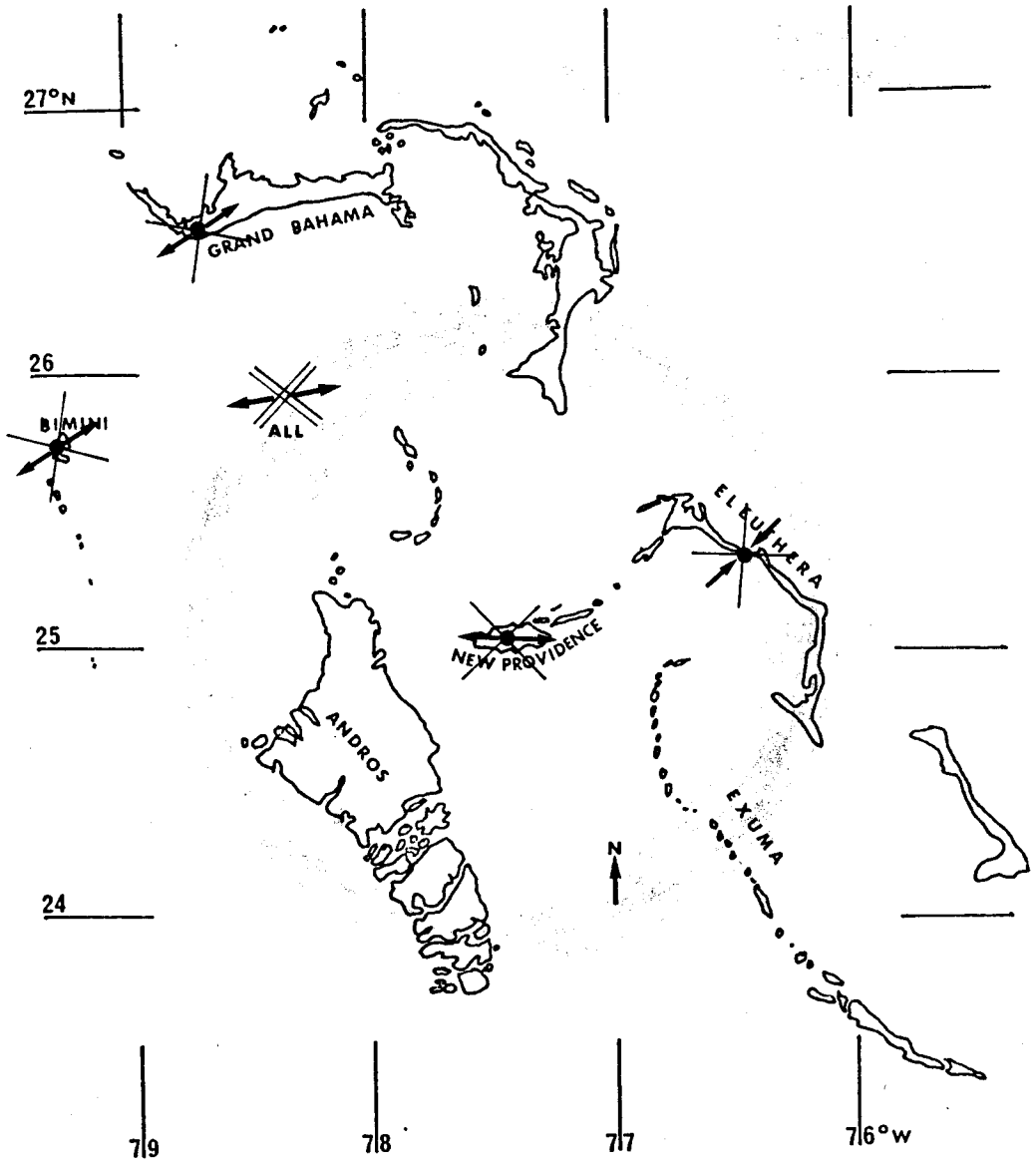


Figura 4. Mapa de las Bahamas con resultados de la investigación de diademas.

BAHAMAS
LAMBERT PROJECTION

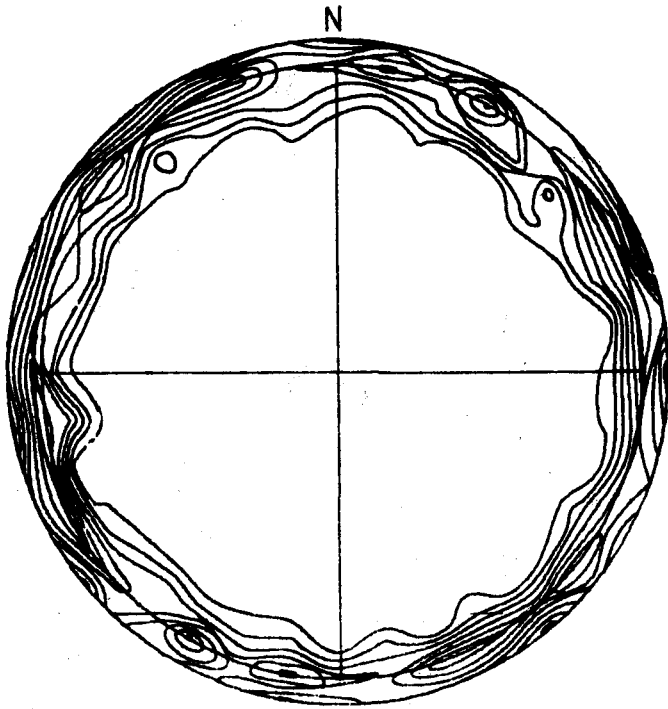


Figura 5. Diagrama de la densidad de polos de las diademas en las Bahamas.

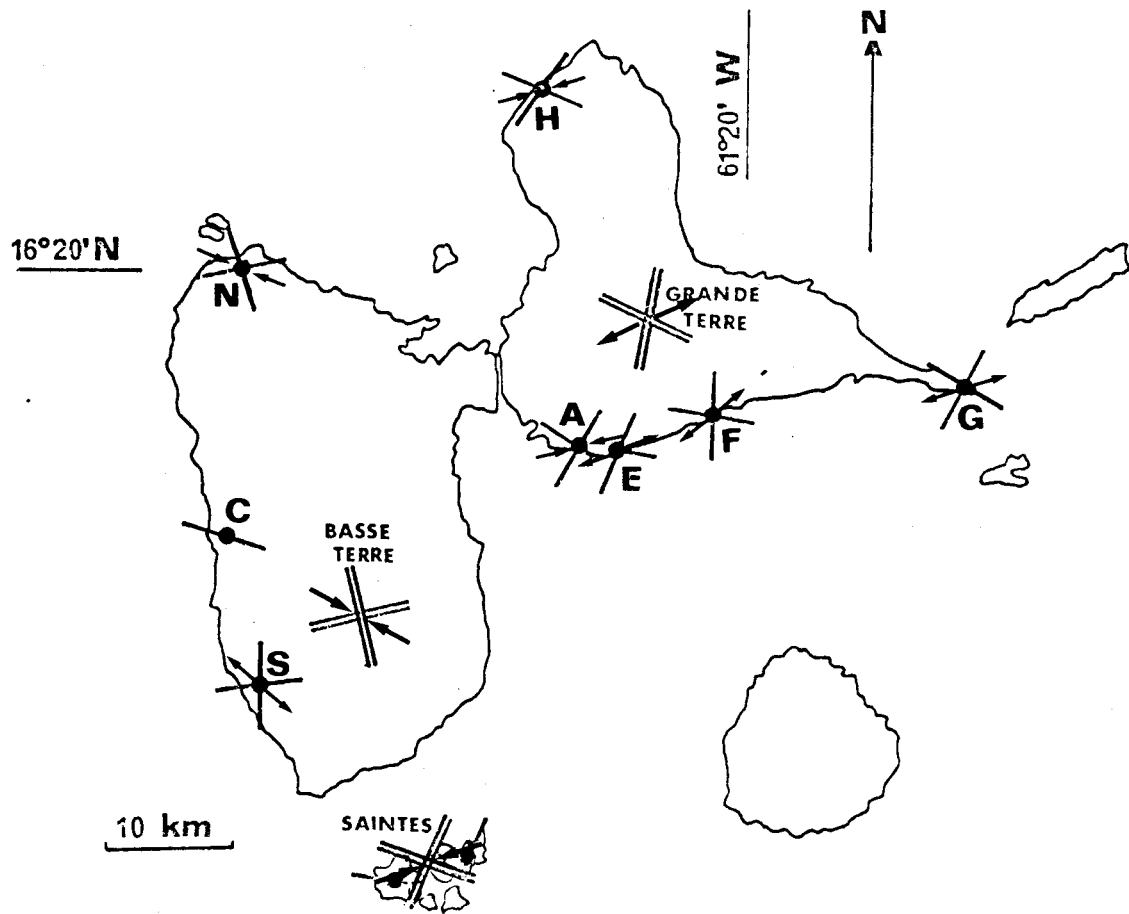


Figura 6. Mapa del archipiélago de Guadalupe con resultados de la investigación de diaclasas.

GRANDE TERRE DECL. 10 DEG.W
LAMBERT PROJECTION

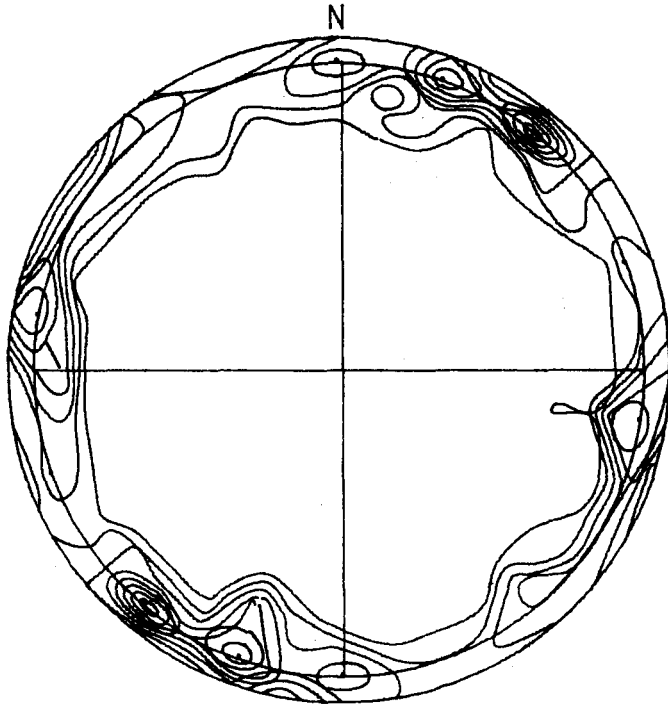


Figura 7. Diagrama de la densidad de polos de las diadimas en Grande Terre.

BASSE TERRE DECL. 10 W

LAMBERT PROJECTION

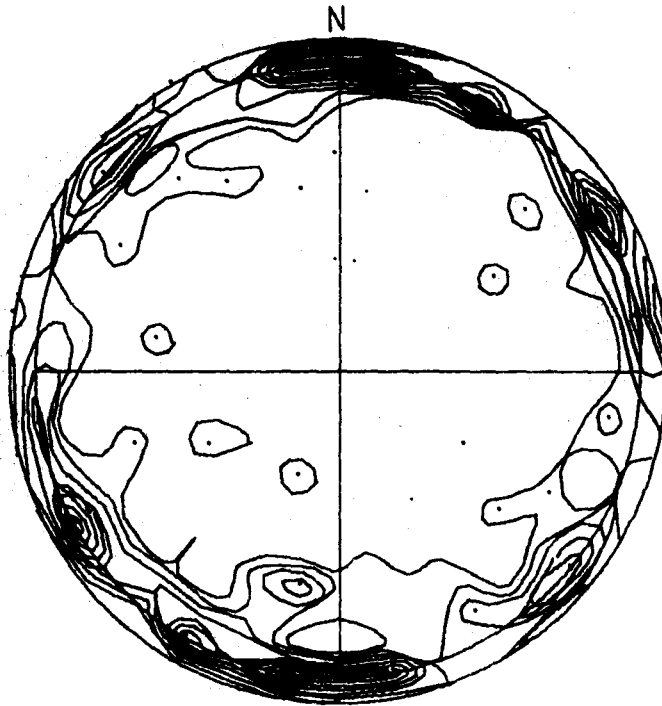


Figura 8. Diagrama de la densidad de polos de las diaclasas en Basse Terre.

ILES DES SAINTES DECL. 10 W

LAMBERT PROJECTION

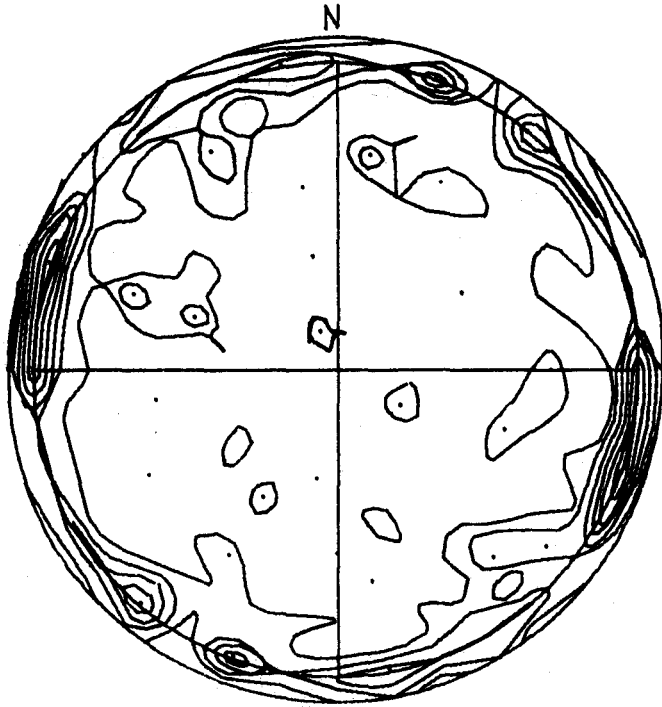


Figura 9. Diagrama de la densidad de polos de las diaclasas en las Iles des Saintes.

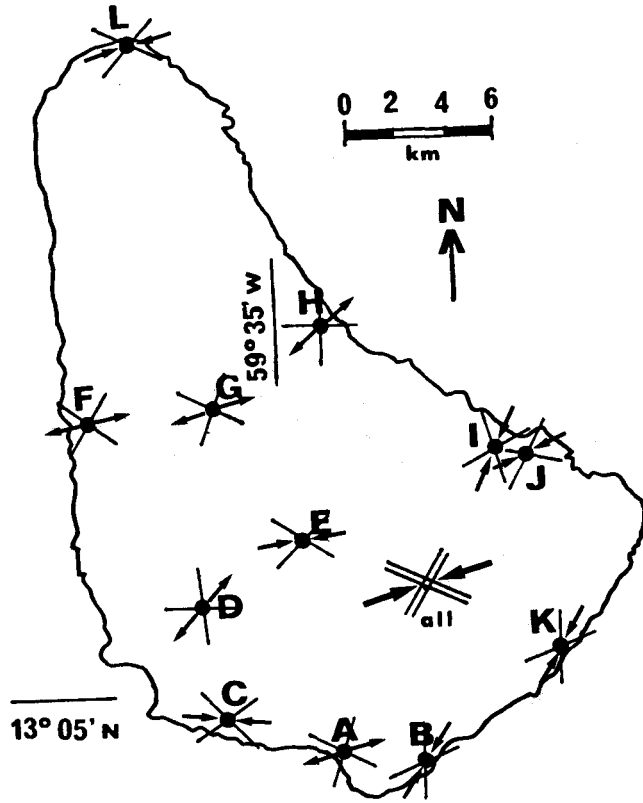


Figura 10. Mapa de Barbados con resultados de la investigación de diacronas.

BARBADOS DECL. 12.5 W

LAMBERT PROJECTION

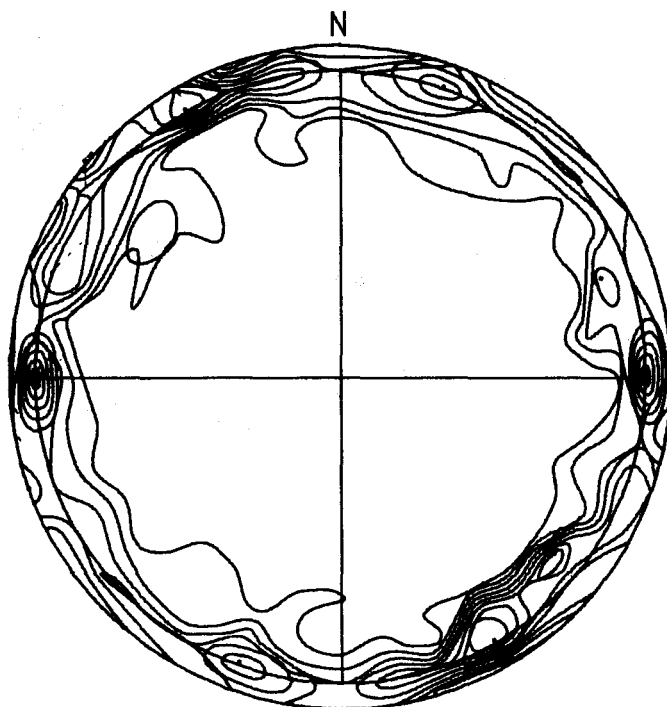


Figura 11. Diagrama de la densidad de polos de las diaclasas en Barbados.

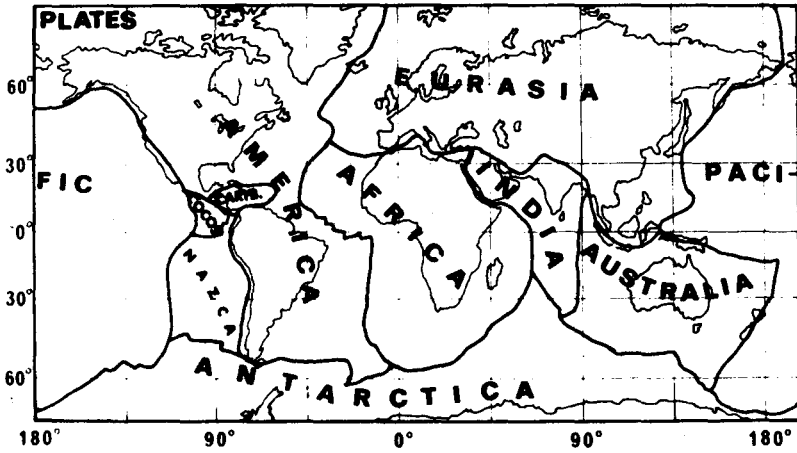


Figura 12. Planchas tectónicas del mundo.

BIBLIOGRAPHY

- BONNETON, J. R. & A. E. SCHEIDEGGER, 1980. Joints on Guadeloupe and their geotectonic significance *Arch. Meteorol. Geoph. Biokl. Ser. A*.
- KOHLBECK, F. & A. E. SCHEIDEGGER, 1977. On the theory of the evaluation of joint orientation measurements. *Rock Mech.* 9:9-25.
- SCHEIDEGGER, A. E., 1979. The enigma of jointing. *Riv. Ital. Geofis. Sci. Aff.* 5: 1A.