

DETERMINACION DE LOS PATRONES DE DIACLASAMIENTO (USANDO REGISTROS DE DIPMETER) EN EL ANTICLINAL DEL CAMPO PROVINCIA, VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

Jorge Luis Rubiano-Ortiz

Ecopetrol-Instituto Colombiano del Petróleo, Piedecuesta, Colombia. A.A. 4185 Bucaramanga.

RESUMEN

En la determinación de las direcciones de los sistemas de diaclasamiento en el Campo Provincia se tomaron 452 medidas obtenidas de los registros de *dipmeter*.

El objetivo es mostrar la variación del esfuerzo principal obtenido de los pares conjugados de las diaclasas y el que causó la estructura anticlinal y discutir sus implicaciones estructurales en cada uno del dominio estructurales presentes.

Con base en el mapa de la geología de superficie, el anticlinal de Provincia se puede dividir en 3 dominios estructurales así: En la parte sur el eje tiene una dirección de N 20° E, en la parte central es aproximadamente N S y en la parte norte su dirección es N 32° E.

Para cada uno de estos dominios estructurales se determinaron los principales patrones de diaclasamiento: En la parte sur los sistemas de diaclasamiento predominantes N 70° W y N 56° E; en la parte central N 45° E y N 68° W y en la parte norte, esta área es más compleja, aparecen 3 patrones de diaclasamiento N 7° W, N 82° W y N 53° E.

En general los anteriores sistemas de diaclasamiento son pares conjugados de la estructura anticlinal en cada uno de los dominios. En la parte norte aparece un nuevo sistema de diaclasamiento subparalelo con el eje del anticlinal.

Con este trabajo se muestra una metodología para poder definir los principales sistemas de diaclasamiento a partir de los datos de *dipmeter*. El grado de precisión en la interpretación de los patrones de diaclasamiento depende de la integración del modelo estructural y del grado de conocimiento del área de estudio

Este tipo de resultados se puede aplicar por ejemplo en yacimiento fracturado.

INTRODUCCIÓN

Localización y Marco geológico

El Campo Provincia se encuentra localizado en el Valle Medio del Magdalena (VMM), aproximadamente a 100 Km. al NW de la ciudad de Bucaramanga (Figura 1). La secuencia estratigráfica que perforaron los pozos en este campo va desde la Formación (Fm.) Umir (edad Cretáceo) hasta los sedimentos recientes (Figura 2). El ambiente de sedimentación varía de deltaico a la base de la secuencia sedimentaria de la Fm. Umir y parte de la Fm. Lisama (Castro y Gómez, 1990) a ambientes continentales para las suprayacentes unidades estratigráficas (Fms. Esmeraldas, Mugrosa, Colorado, Grupo Real, Mesa y depósitos Cuaternarios). Para una explicación mas detallada sobre la estratigrafía, tectónica y geología del área véase a Morales *et al.*(1958), Ward *et al.*(1973, 1977), Rubiano-Ortiz (1995) entre otros.

El anticlinal de Provincia se encuentra localizado en el sistema de cabalgamiento del flanco Oeste de la Cordillera Oriental. El rumbo general de anticlinal es N 15° E y con cabeceo hacia el NE. La edad de estos cabalgamientos es el Mioceno Tardío (Van der Hammen Th, 1958; Ramírez, 1988). Limita al W con el sinclinal de Nuevo Mundo y al E por un sinclinal apretado y el anticlinal de las Monas (Figura 1). El anticlinal de Provincia es una estructura apretada asimétrica con su flanco W más abrupto y fuertemente fallado; los buzamientos de sus flancos varían entre 10 y 80° (Arango, 1991; Rubiano-Ortiz, 1995).

El cabalgamiento principal de la estructura es la Falla de Provincia (Figura 1), con un salto variable de 50 m (pozo Provincia 1) a 550 m (pozo Sabana 1) aunque en otras parte del área reportan saltos más grandes (Rubiano-Ortiz, 1995). El rumbo del plano de falla varía de N 15° E (parte Sur) a N-S (parte Norte). Las demás fallas asociadas al falla principal son de tipo sintético exceptuando en la parte más superior de la estructura que son de tipo antitético y de salto pequeño (Rubiano-Ortiz, 1995).

Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son:

- 1) Utilizar los datos de los registros de *dipmeter* para definir las direcciones principales de diaclasamiento de los diferentes dominios estructurales que presenta el anticlinal de Provincia.
- 2) Mostrar la variación del esfuerzo principal obtenido de los pares conjugados de las diaclasas y el que causó la estructura anticlinal.
- 3) Discutir sus implicaciones estructurales en cada uno de los diferentes dominios estructurales presentes.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en este estudio, consiste en tratar de diferenciar de la totalidad de los datos suministrados a partir del registro de *dipmeter*, los patrones de diaclasamiento del resto de la información, como son las medidas de rumbo y buzamiento de la estratificación o las medidas de paleocorrientes.

Existen varios métodos en la literatura como son, por ejemplo, el *estereonet*, el diagrama polar, la escala de Mercator, el SCAT (*statistical curvature analysis techniques* de Bengtson, 1981 y 1982), los diagramas de rosetas y los patrones de colores verde y rojo (Schlumberger, 1989), más recientemente el método de desviación sintética (Berg, 1998) etc.

Para la obtención de los datos de diaclasamiento se utilizó como paso intermedio (determinación de la magnitud de los buzamientos de los flancos de la estructura anticlinal) el método del SCAT (Bengtson, 1981 y 1982). En la aplicación de este método para la obtención de las medidas de diaclasamiento se emplearon los siguientes pasos:

- 1) Definir los dominios estructurales locales en el anticlinal considerando variaciones en el rumbo del eje mayores a 15°.
- 2) Para cada pozo se hizo la corrección por basculamiento de todos los datos obtenidos del registro de *dipmeter* .
- 3) Después de la corrección por basculamiento se seleccionaron los datos que tenían buzamientos mayores a 45° (grados) y se agruparon los valores de rumbo de los anteriores datos en diagramas de rosetas.
- 4) Elaboración de los diagramas de rosetas con intervalos de clase de 15° y 30° y definición de los principales sistemas de diaclasamiento.
- 5) Definición del esfuerzo principal que produjo el patrón conjugado de diaclasas y a la estructura anticlinal.
- 6) Comparación entre los diferentes esfuerzos (diaclasas y anticlinal) a nivel local y regional.

Fundamentados en la anterior metodología para obtener los datos básicos de interpretación de las direcciones principales de diaclasamiento, se puede concluir que es una primera aproximación a un modelo geológico. Su exactitud depende del grado de conocimiento geológico del área de estudio. Para nuestro caso, podemos decir que es bueno.

RESULTADOS

El anticlinal de Provincia se puede dividir en tres dominios estructurales, la parte sur con una dirección del eje de N 20° E, la parte central con dirección N - S y la parte norte con una dirección N 32° E (Figura 3). La suma vectorial de estos tres dominios del anticlinal es de N 15° E. A continuación se describirán las principales direcciones de diaclasamientos encontradas en los tres dominios estructurales y en el caso de considerar todo el anticlinal como un dominio estructural.

Dominio Estructural Sur

De quince pozos con datos de *dipmeter*, se tomaron datos de diaclasa a 10, estos corresponden al área de los pozos Santos (Figura 3);. Fueron tomadas en total 55 medidas. Las direcciones predominantes de diaclasamiento son: N 56° E y N 70° W (Figura 4).

La dirección del esfuerzo principal del par conjugado de diaclasas (σ_{1d}) es de N 83° E. La dirección de esfuerzo principal (σ_{1a}) que produjo la estructura anticlinal es de N 70° W (Figura 4). La diferencia entre los dos esfuerzos es de 26°, lo cual sugiere que en este dominio estructural existen mas de un efecto de deformación.

Dominio Estructural Central

De 36 pozos con datos de *dipmeter*, se tomaron datos de diaclasa a 29 (Figura 3) de los cuales, 5 pertenecen a los pozos Suerte, 21 a los pozos Santos, dos a los pozos Sabana 034y el pozo Provincia-1. Fueron tomadas 227 medidas. Las direcciones principales de diaclasamiento son: N 45° E y N 68° W (Figura 5).

La dirección del esfuerzo principal de este par conjugado de diaclasas (σ_{1d}) es N 78° E. La dirección esfuerzo principal que produjo la estructura anticlinal en el Campo Provincia (σ_{1a}) es: E W (Figura 5). La diferencia entre estos dos esfuerzos es de 12°, lo cual sugiere que existe una relativa buena correlación entre los esfuerzos y pueden corresponder a un mismo evento tectónico.

Dominio Estructural Norte

De los 5 pozos Suerte y uno de los pozos Sabana con registros de *dipmeter*, se tomaron los datos de diaclasas (Figura 3). Se analizaron 170 medidas. Las direcciones de diaclasamiento principales son: N 7° W y N 82° W, existe un tercer patrón con la dirección N 45° W (Figura 6).

La dirección de esfuerzo principal del primer par conjugado de diaclasamiento (σ_{1d}) es: N 45° W y entre el segundo y tercer sistema de diaclasas es: N 75° E. La dirección de esfuerzo principal que genero la estructura anticlinal (σ_{1a}) son: N 58° W (Figura 6). La diferencia entre estos dos esfuerzos es de 13° y 47° respectivamente, sugiriendo la existencia de mas de un evento de deformación.

Dominio Estructural General

Este dominio estructural es la suma vectorial de los dominios (3) la resultante del eje del anticlinal es N 15° E. De la totalidad de 45 pozos con *dipmeter*, se tomaron 452 medidas de diaclasas. Las direcciones predominantes de diaclasamiento son: N 48° E y N 70° W (Figuras 3 y 7).

La dirección principal de esfuerzos del par conjugado de diaclasas (σ_{1d}) es de N 79° E. La dirección del esfuerzo principal para la dirección general (σ_{1a}) es de N 75° E. La diferencia de los dos esfuerzos es de 4°, lo cual sugiere que a escala regional los esfuerzos que generaron las diaclasas y el pliegue son el mismo (Figura 7).

CONCLUSIONES

Si consideramos al anticlinal de Provincia con una dirección general (N 15° E) existe una buena concordancia con el par conjugado de diaclasamiento (N 48° E y N 70° W). La diferencias entre los dos esfuerzos principales es de 4°, sugiriendo que pertenecen a un mismo evento deformativo.

A escala local el anticlinal del campo Provincia se divide en tres dominios estructurales con direcciones de: sur (N 20° E), centro (N S) y norte (N 32° E).

Los pares conjugados para cada dominio son: sur (N 56° E y N 70° W), centro (N 45° E y N 68° W) y norte (N 7° W y N 82° W, un tercer sistema N 53° E).

A escala local se observa que los dominios sur y norte presentan mas de un evento de deformación.

Con esta metodología se puede ayudar a mejorar por ejemplo el diseño de pozos desviados para yacimientos fracturados.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece de manera especial al Instituto Colombiano del Petróleo por su ayuda logística. A la Gerencia de Yacimientos de Ecopetrol-Bogotá quienes financiaron parcialmente este trabajo. También agradezco a los colegas, Ricardo Santacruz, por sus discusiones sobre el Campo Provincia, Adriano Lobo, con quien discutimos sobre el manejo y la interpretación de los datos de *dipmeter* utilizando el programa SCAT, A Martín Mantilla e Ivan Olaya por sus sugerencias que le hicieron a este trabajo, a Marta Garnica por la elaboración de los dibujos y a las personas que de una u otra manera contribuyeron para poder llevar a cabo este estudio.

REFERENCIAS

Arango R., 1991. "Campo de Provincia Caso Histórico" *Universidad Nacional de Colombia*, Depto. Geociencias, Tesis de grado, 1-102 p.

Bengtson C. A., 1981. "Statistical Curvature Analysis Techniques for Structural Interpretation of Dipmeter Data" *AAPG Bull.*, 65:312-332.

Bengtson C. A., 1982. "Structural and Stratigraphic Uses of Dip Profiles in Petroleum Exploration" in *"The Deliberated Search for the Subtle Trap"* (Halbouty M.T., ed) *AAPG Memoir* 32 :31-45.

Berg, Ch. R., 1998. "Synthetic Desviation: A New Dipmeter Interpretation Method" *AAPG Bull.*, 82:6:1133-1139.

Castro, E., y Gómez, F., 1990. "Reconstrucción del Ambiente de Depósito del Miembro Superior de la Fm. Umir en el Sinclinal de los Andes, Dpto. de Santander, Bucaramanga, *Universidad Industrial de Santander, UIS Tesis*, 102 p.

Duque-Caro H., 1990. "The Choco Block in the Northwestern Corner of South America: Structural, Tectonostratigraphic and Paleogeographic Implications" *Journal of South America Earth Sciences*, 3:1:71-84.

McCourt W. J., J.A. Aspden, and M. Brook., 1984. " New Geological and Geochronological Data from the Colombian Andes: Continental Growth by Multiple Accretion," *J. Geol. Soc. London*, 141:831-845.

Morales L. G., and the Colombian Petroleum Industry, 1958. "General Geology and Oil Occurrences of the Middle Magdalena Valley, Colombia". in *"Habitat of Oil: A Symposium"* (L. G. Weeks ed.) *AAPG Bull.*, Tulsa, 641-695.

Ramirez R. E., 1988. "Stratigraphy of the Tertiary of the Middle Magdalena Basin (Colombia) Central and Northern Parts" The University of Texas at Austin . MSc. Tesis, 1-119 p.

Rubiano-Ortiz J. L., 1995. "Modelo estratigráfico y estructural del Campo Provincia, Valle Medio del Magdalena, Santander, Colombia". *VI Congreso Colombiano del Petróleo*, Octubre 3-6 de 1995, Bogotá, Memoria 1:235-245.

Shagan R., B. P. Kohn, P. O. Banks, L. E. Dasch, R. Vargas, G. I. Rodríguez and N. Pimente., 1984. " Tectonic Implication of Cretaceous-Pliocene Fission-Track Ages from Rocks of the Circum-Maracaibo Basin Region of Western Venezuela and Eastern Colombia" in " *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics*" (Bonini W. E., R. B. Hargraves, R. Shagan, ed) *The Geological Society of America Memoir* 162: 385-412.

Schlumberger, 1989. "Log Interpretation Principles/Applications" *Schlumberger Educational Service*, Houston, Texas, U.S.A. 1-15.

Van der Hammen Th., 1958. " Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano Continentales y Tectogénesis de los Andes Colombianos" *Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional*, Bogotá, 6:1-3:67-128.

Ward D. E., R. Goldsmith, J. Cruz, H. Restrepo., 1973."Geología de los Cuadrángulos H12 Bucaramanga y H13 Pamplona. Departamento de Santander". *Boletín Geológico, Instituto de Investigaciones Geológico Mineras*, Bogotá 21:1-3:1-132.

Ward D. E., R. Goldsmith, V. Jimeno, B. J. Cruz, H. Restrepo, and R. E. Gomez., 1977. "Mapa geológico del cuadrángulo H12 (Bucaramanga) Colombia," *INGEOMINAS*, Bogotá, escala 1:100.000.

LEYENDA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Mapa de localización geográfica y geológica del Campo Provincia. Los círculos rellenos muestran la localización de los diferentes pozos perforados en el área de estudio, (Modificado de Ward *et al.*, 1977).

Figura 2. Estratigrafía del Campo Provincia en la dirección este-oeste, donde se observa el adelgazamiento de las unidades estratigráficas hacia el oeste debido a dos causas: 1) relaciones de *onlap*, y 2) fenómenos de erosión. También se aprecia la relación entre los ciclos de nivel base y los eventos tectónicos principales que afectaron la parte noroeste de Suramérica. Ciclo de subida del nivel base Δ , caída del nivel base ∇ , AF ciclo de alta frecuencia, BF ciclo de baja frecuencia. En la columna de eventos tectónicos regionales 1= Van der Hammen (1958), 2= McCourt *et al.*, (1984), 3= Shagan *et al.* (1984), 4= Duque-Caro (1990) y 5= Rubiano-Ortiz (1995). Para la localización véase Figura 1 (Corte A-A'). Modificado de Rubiano-Ortiz (1995).

Figura 3. Localización de los diferentes dominios estructurales del Campo Provincia. En los pozos con círculo relleno se tomaron los datos de diaclasas.

Figura 4. Diagrama de roseta para el dominio estructural sur en el Campo Provincia. Note que la dirección principal de esfuerzos que generó las diaclasas es de N 83° E y la que generó el anticlinal es de N 70° W, sugiriendo que existe más de un evento deformativo en la generación de la estructura. La roseta se construyó con intervalo de clase de 15° (parte interna de la roseta) y 30° (parte rellena).

Figura 5. Diagrama de roseta para el dominio estructural central en el Campo Provincia. Note que la dirección principal de esfuerzos que generó las diaclasas es de N 78° E y la que generó el anticlinal es de E W, sugiriendo que existe un evento deformativo en la generación de la estructura. La roseta se construyó con intervalo de clase de 15° (parte interna de la roseta) y 30° (parte rellena).

Figura 6. Diagrama de roseta para el dominio estructural norte en el Campo Provincia. Note que la dirección principal de esfuerzos que generó las diaclasas es de N 45° W y en segundo orden con la dirección N 75° E y la que generó el anticlinal es de N 58° W, sugiriendo que existe más de un evento deformativo en la generación de la estructura. La roseta se construyó con intervalo de clase de 15° (parte interna de la roseta) y 30° (parte rellena).

Figura 7. Diagrama de roseta para el dominio estructural general en el Campo Provincia. Note que la dirección principal de esfuerzos que generó las diaclasas es de N 79° E y la que generó el anticlinal es de N 75° W, sugiriendo que existe un evento deformativo a nivel regional en la generación de la estructura. La roseta se construyó con intervalo de clase de 15° (parte interna de la roseta) y 30° (parte rellena).

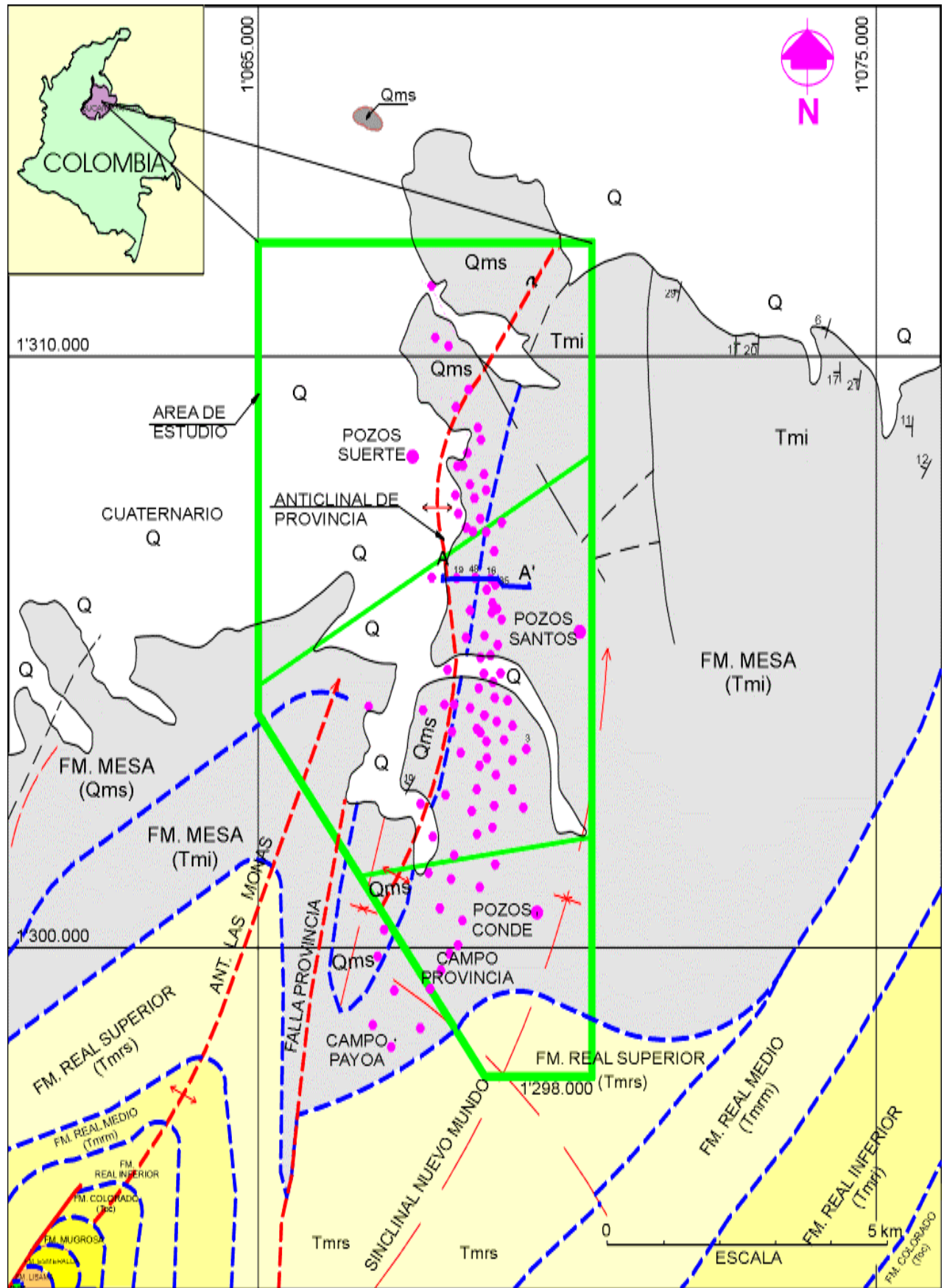


FIGURA 1

ESTRATIGRAFIA CAMPO PROVINCIA

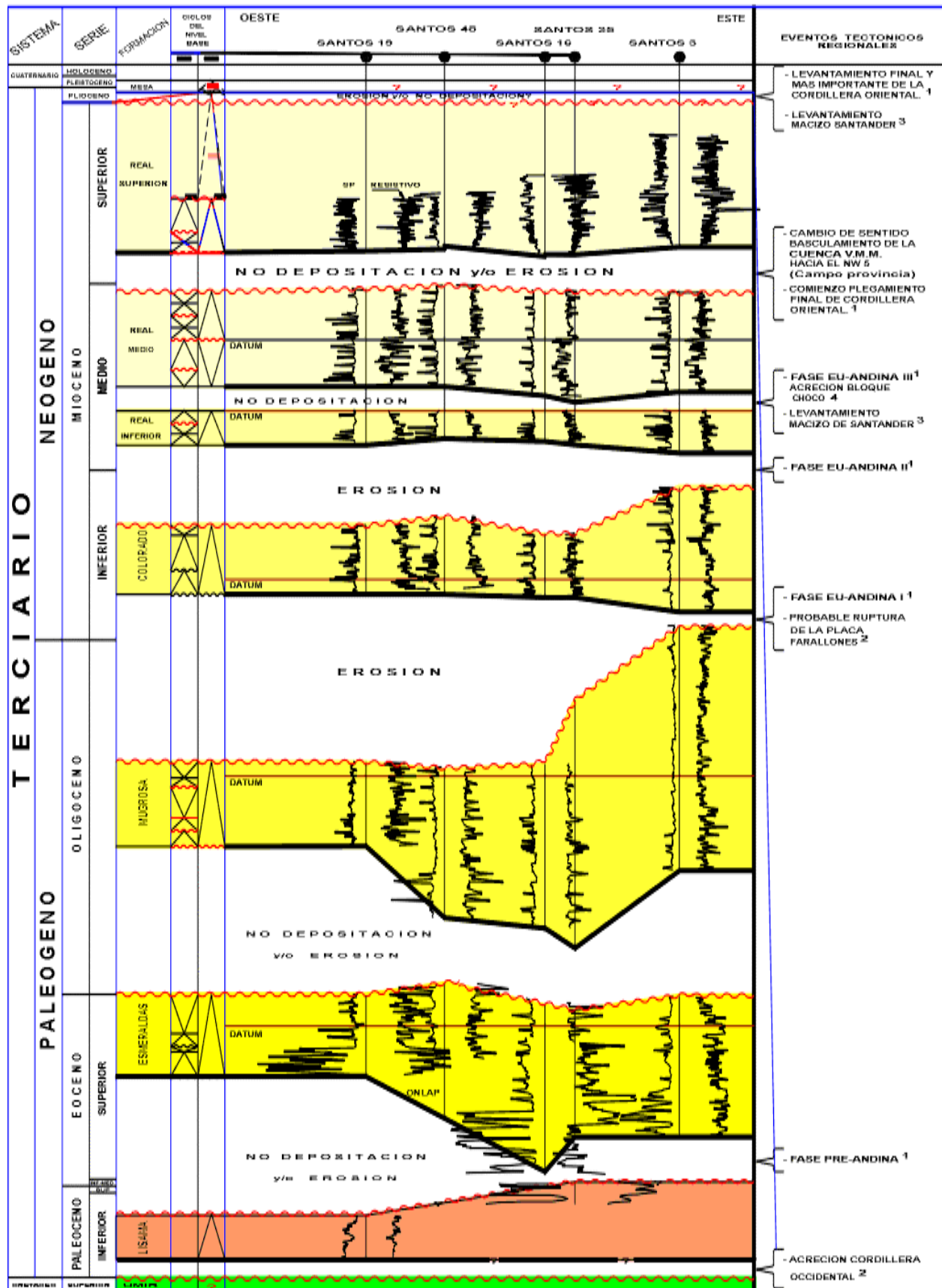


FIGURA 2

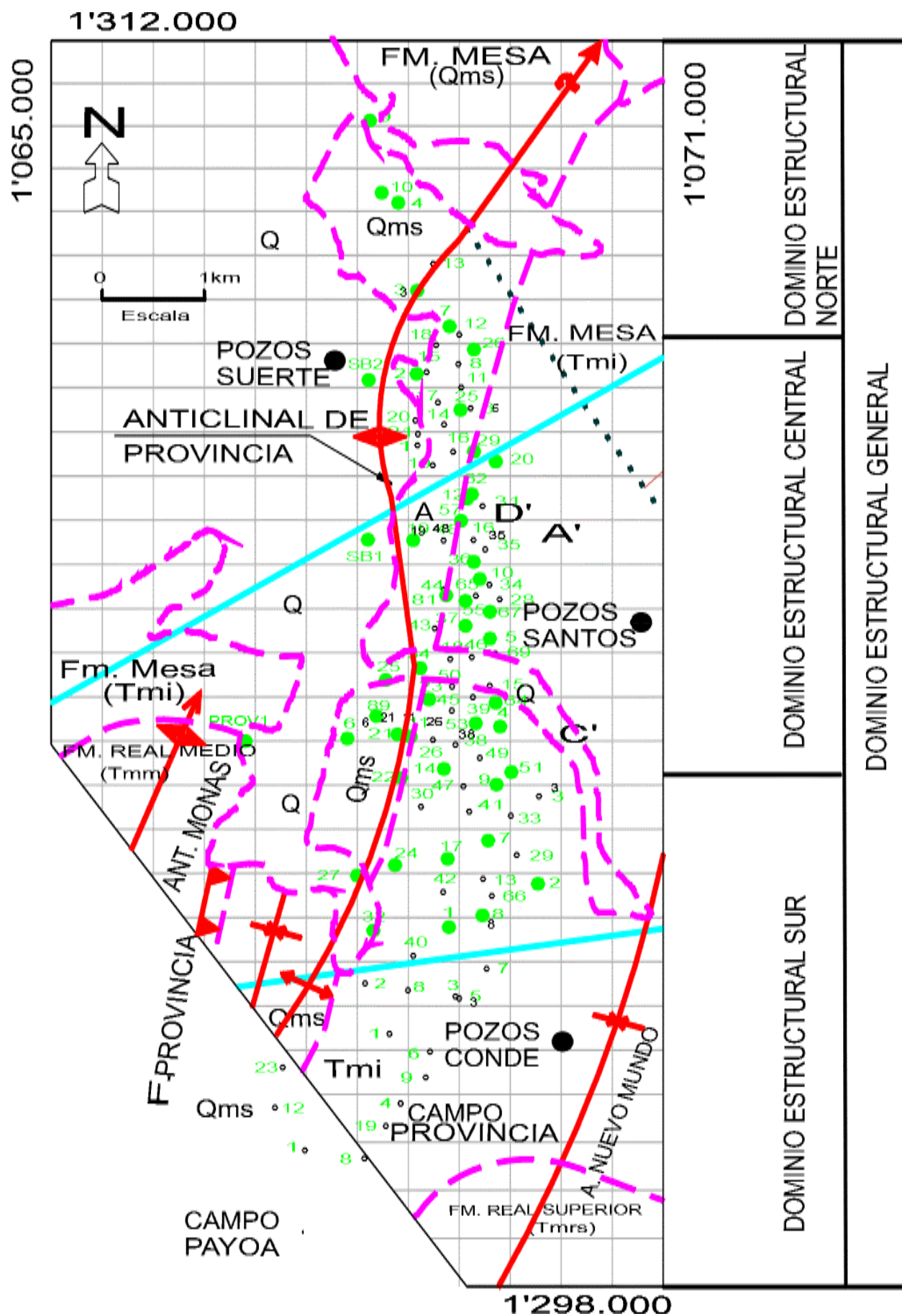


FIGURA 3

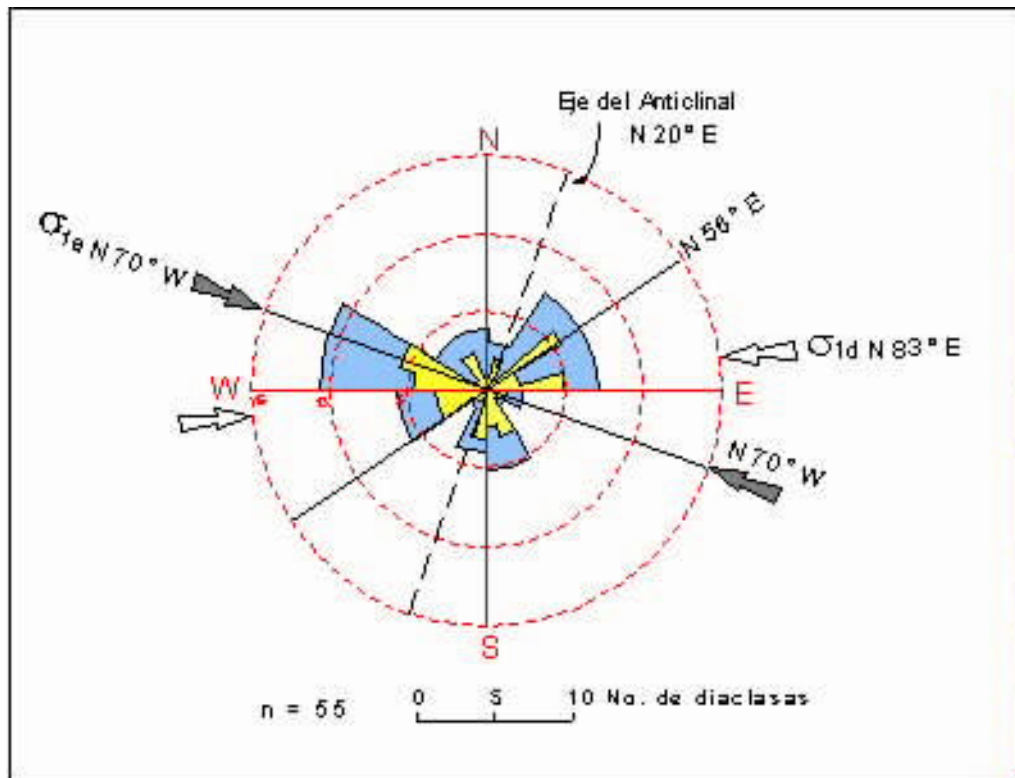


FIGURA 4

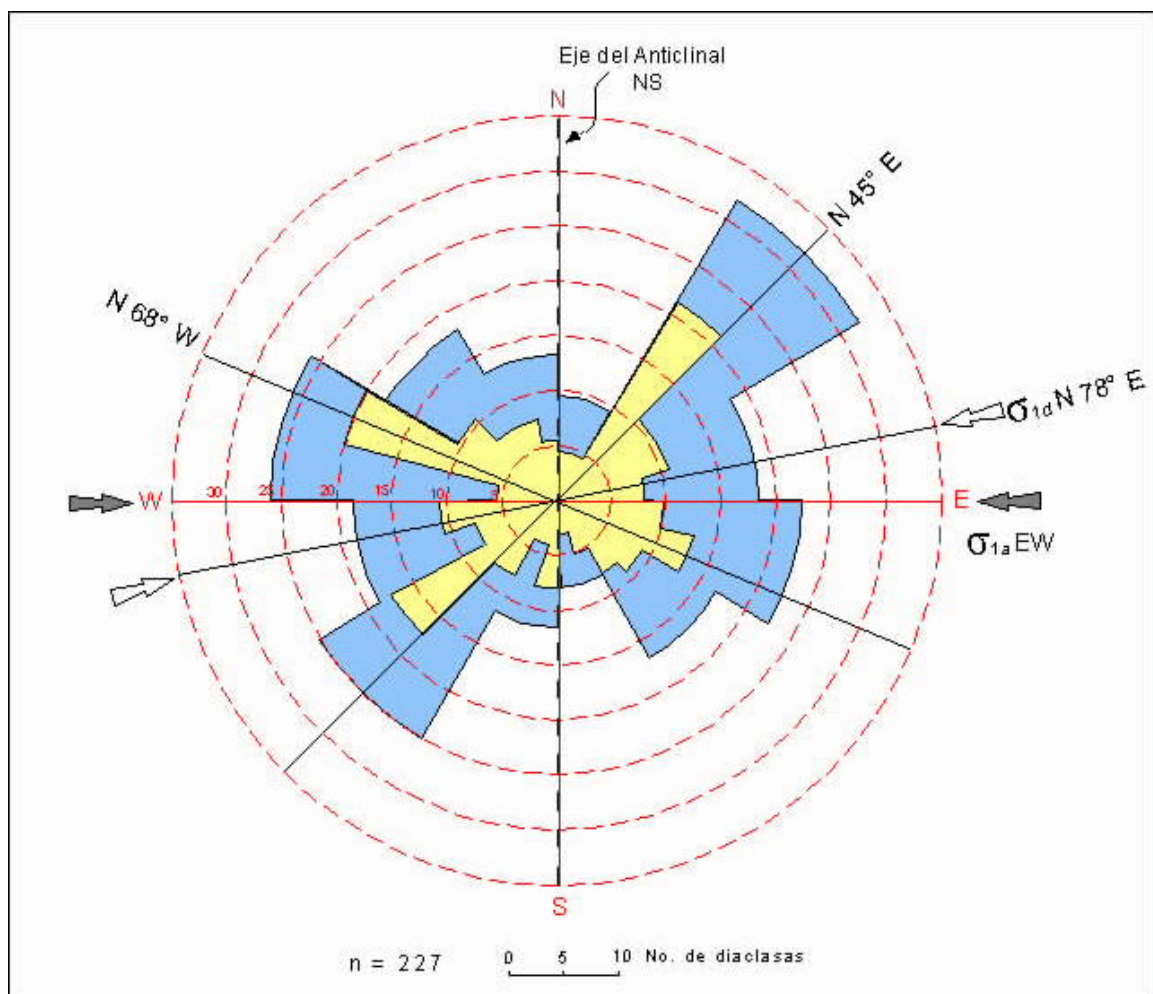


FIGURA 5

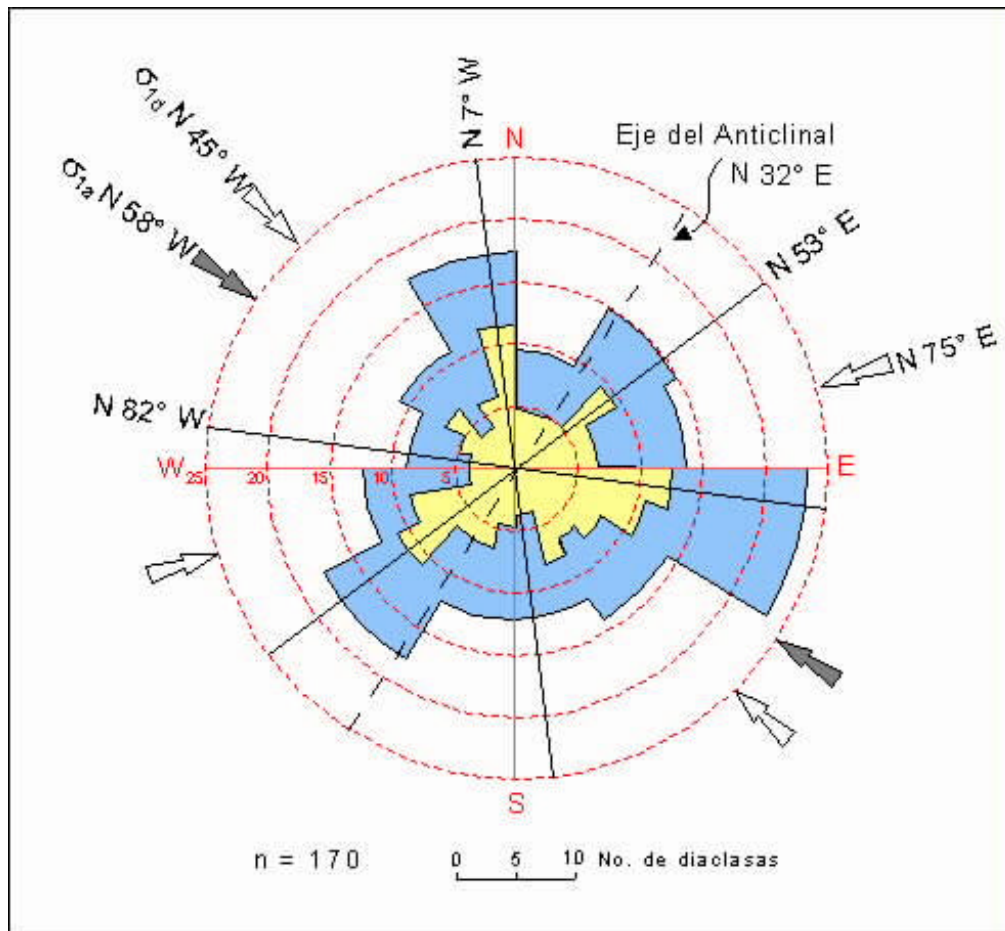


FIGURA 6

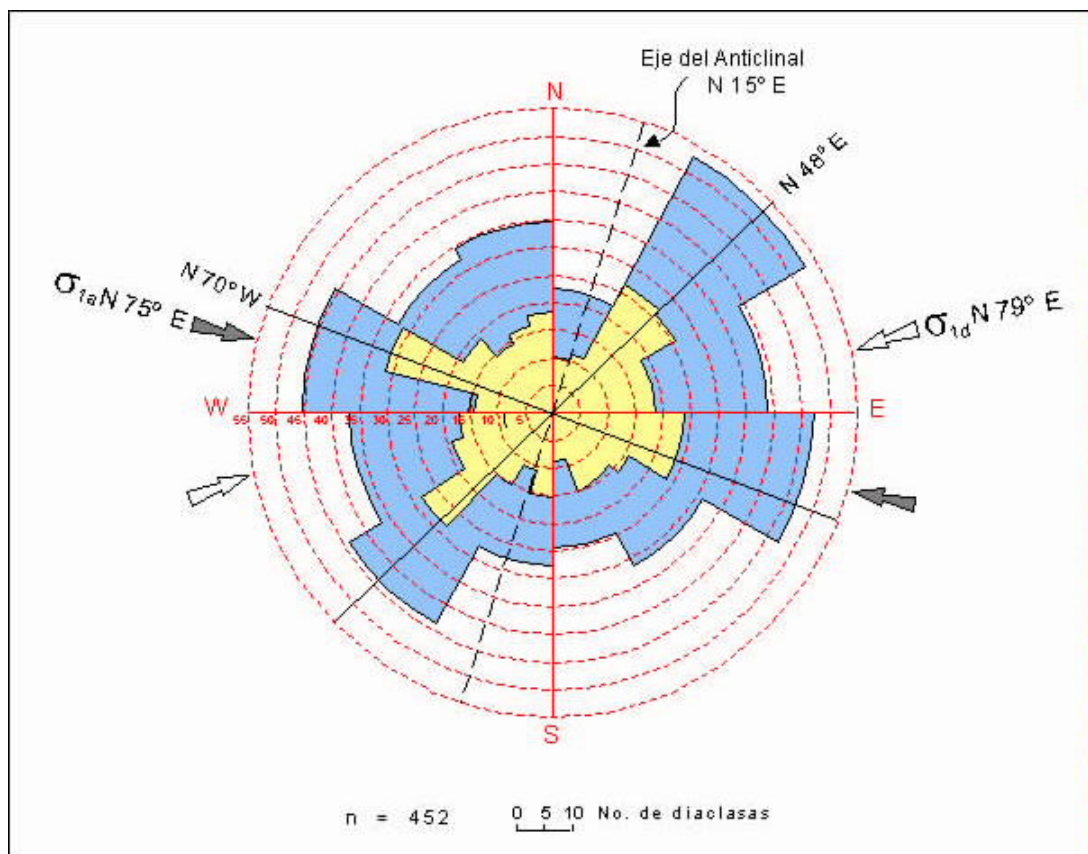


FIGURA 7