

DETERMINACIÓN DE LAS DIRECCIONES DE PALEOCORRIENTES EN EL CAMPO PROVINCIA, VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

J. L. RUBIANO

Ecopetrol - Instituto Colombiano del Petróleo, A.A. 4185 Bucaramanga, Santander, Colombia
e-mail: jrubiano@ecopetrol.com.co

Para la determinación de las direcciones de paleocorrientes en el Campo Provincia se tomaron 2.664 medidas de los registros de buzamiento (*dipmeter*), con las cuales se hicieron los análisis estadísticos de las formaciones (fms.) comprendidas entre la Formación (Fm) Umir y el Grupo (Gr) Real (edad Maastrichtiano a Mioceno). Las direcciones de paleocorrientes se definen con base en análisis estadísticos, como son el valor de la media (θ , medida en azimuth) y su relación de consistencia (CR). Las direcciones de paleocorrientes son principalmente hacia el noreste para las Fms. Umir, real inferior para las Fms. Lisama, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado, y Real Medio y en la dirección sureste para la Fm. Real Superior. En general se observaron cambios importantes en las direcciones de paleocorrientes entre las Fms. Umir-Lisama, Lisama-Esmeraldas, Colorado-Real y entre la parte Media y Superior del Gr. Real. Estos cambios en las direcciones de las paleocorrientes sugieren estar asociados con eventos tectónicos que afectaron esta área.

For the determination of the palaeocurrent directions in the Provinica Field, were took 2664 measurements of the dipmeter logs were taken to make the statistical analyses of the Formations that are between Umir and the Real Group (Maastrichtian and Miocene age). The palaeocurrent directions are defined based on statistics analyses, as the average (in azimuth) and its consistency ratio (CR). The paleocurrent directions are principally to the northeast for the Umir and the Lower Real Formations; to the east for the Lisama, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado and Middle Real Formations, and in the southeast for the Upper Real Formation. In general, there were observed important changes in the palaeocurrent directions between the Umir-Lisama, Lisama-Emeralds, Colorado-Real and between the medium and the upper part of the Real Group. These changes in the paleocurrent directions suggest to be associated to tectonic events that involved this area.

Palabras clave: paleocorrientes, área fuente de sedimentos, estratigrafía, tectónica, tectoestratigrafía, Campo Provincia, valle medio del Magdalena, Colombia, registros de buzamiento.

* A quien debe ser enviada la correspondencia

INTRODUCCIÓN

Localización y marco geológico

El Campo Provincia se encuentra localizado en el Valle Medio del Magdalena (VMM), aproximadamente a 100 km al NO de la ciudad de Bucaramanga (Figura 1). La secuencia estratigráfica que perforaron los pozos en este campo va desde la Fm. Umir (edad Cretáceo) hasta los sedimentos recientes (Figura 2). El ambiente de sedimentación varía de deltaico a la base de 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 más detallada sobre la estratigrafía, tectónica y geología del área véase a Morales *et al.* (1958), Ward *et al.* (1977), Rubiano-Ortiz (1995), entre otros.

El anticlinal de Provincia es una estructura asimétrica con su flanco oeste más abrupto y con un cabeceo hacia el noreste (Arango, 1991; Rubiano-Ortiz, 1995).

Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son:

- Utilizar los datos de los registros de *dipmeter* para definir las direcciones de paleocorrientes en las diferentes unidades estratigráficas
- Mostrar su variación a través del tiempo
- Sugerir las áreas de aporte de los sedimentos
- Discutir sus implicaciones tectosedimentarias

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 paleocorrientes del resto de la información, como son las medidas de rumbo y buzamiento de la estratificación o las medidas de las fracturas (fallas o diaclasas). Existen varios métodos en la literatura como por ejemplo, el *estereonet*, el diagrama polar, la escalera 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), recientemente el método de desviación sintética (Berg, 1998), etc.

Para la obtención de los datos de paleocorrientes se utilizó como paso intermedio el método del SCAT.

En la aplicación de este método se siguieron los siguientes pasos:

- Definición de los valores regionales de rumbo y buzamiento de la estratificación para cada una de las diferentes formaciones.
- Corrección por basculamiento de todos los datos obtenidos del registro de *dipmeter* para cada pozo y unidad estratigráfica estudiada.
- Selección y análisis estadístico de los datos con buzamientos entre 5° y 45° (grados) .
- Se determinó el valor de la media (θ , medida en azimuth) para cada unidad estratigráfica y en cada pozo, lo mismo que su relación de consistencia (CR).
- Elaboración de mapas de cada formación (Figuras 3A a 10A).
- Cálculo de la media del vector promedio dividiendo el área en una retícula. Se escogió un área de 1 km², y los datos de paleocorrientes en esta área se sometieron a un nuevo análisis estadístico. Se calculó la media y su CR.
- La media se dibujó en el centro de cada cuadrado, luego se corrió 0,5 km y se repitió el procedimiento anterior hasta cubrir toda el área de estudio.
- Elaboración de un mapa (Figuras 3B a 10B).
- Con base en el anterior mapa se procedió a construir el mapa de interpretación de las direcciones de las paleocorrientes para cada unidad estratigráfica (Figuras 3C a 10C).

Fundamentados en la metodología empleada para obtener los datos básicos de interpretación de las direcciones de paleocorrientes, 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, se puede decir que es bueno.

RESULTADOS

A continuación se describirán las principales direcciones de paleocorrientes encontradas en la secuencia sedimentaria, atravesada por las diferentes perforaciones de los pozos, con registro de *dipmeter* en el Cam-

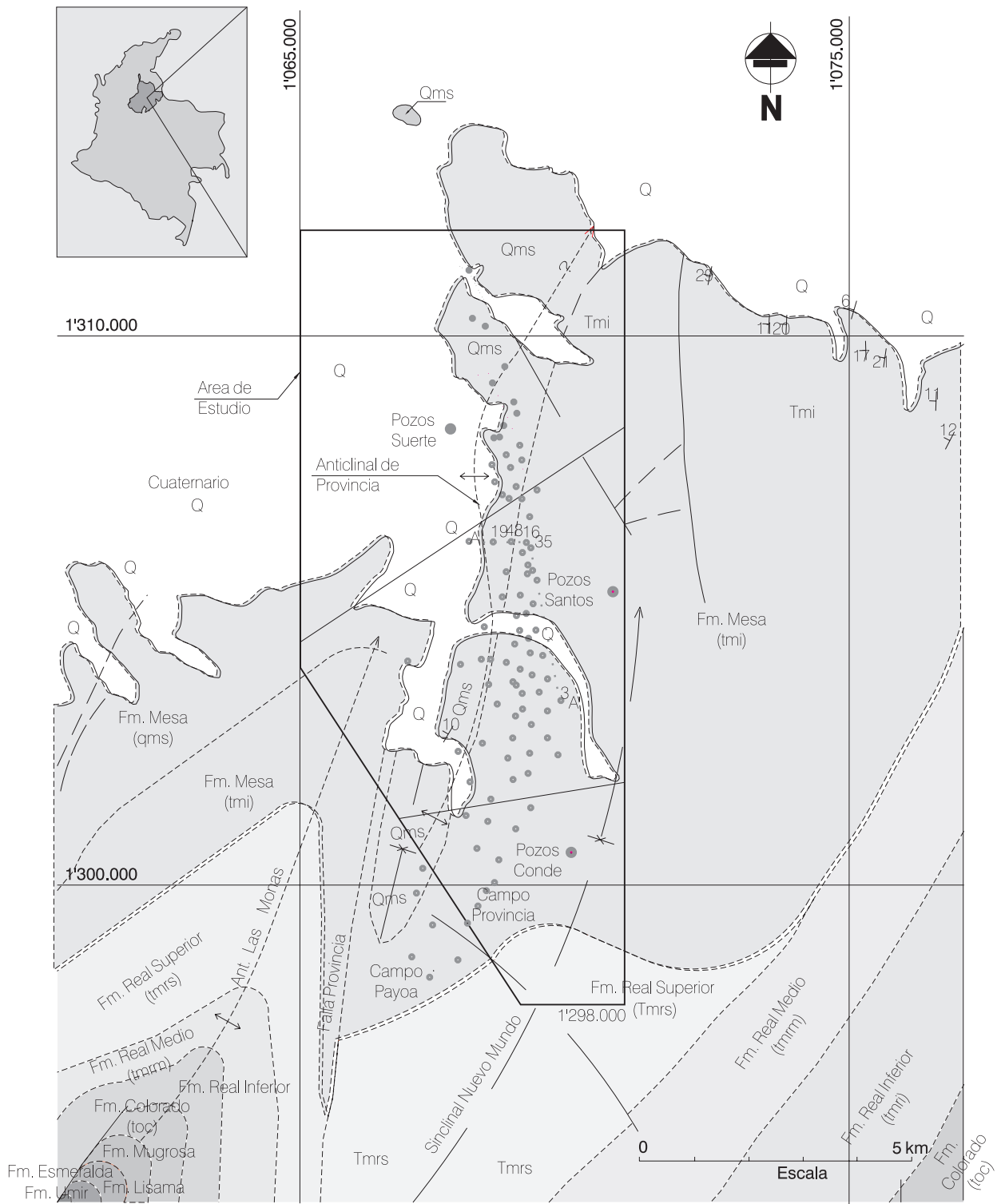


Figura 1. Mapa de localización geográfica y geológica del Campo Provincia. Los puntos negros muestran la localización de los diferentes pozos usados en este estudio, (Modificado de Ward et al., 1977).

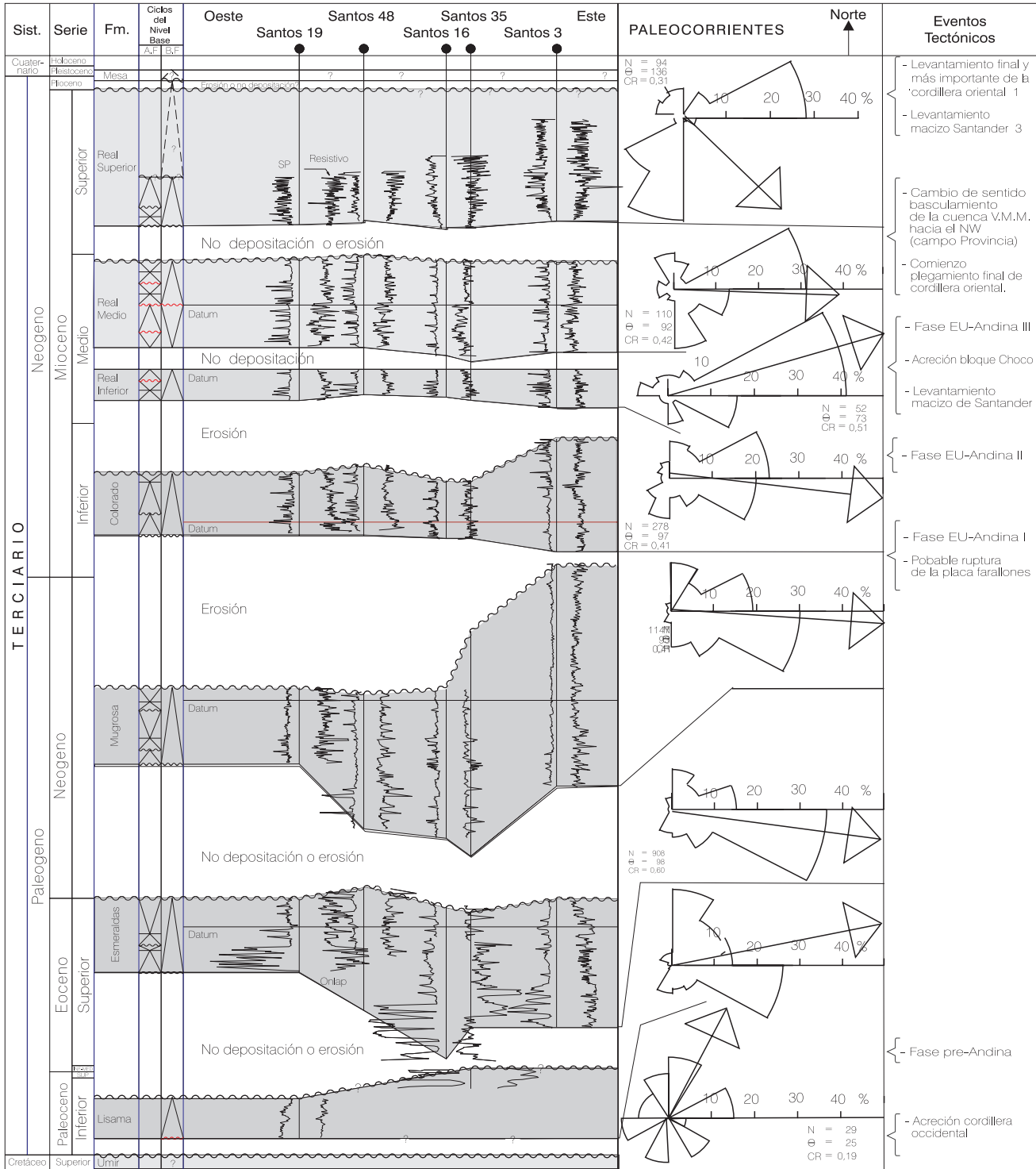


Figura 2: Estratigrafía del Campo Provincia en la dirección este-oeste, donde se observa el adelgazamiento de las unidades estratigráficas hacia el oeste debido a dos causas: 1) relaciones de onlap, y 2) fenómenos de erosión. También se aprecia la relación entre los ciclos de nivel base y los eventos 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. Paleocorrientes: N = Número de medidas θ = La media medida en azimuth, CR. = La relación de consistencia de los datos. El diagrama de roseta se construyó con intervalo de clase de 30°. En la columna de eventos tectónicos 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 ver Figura. 1 (Corte A-A'). Modificado de Rubiano-Ortiz (1995)

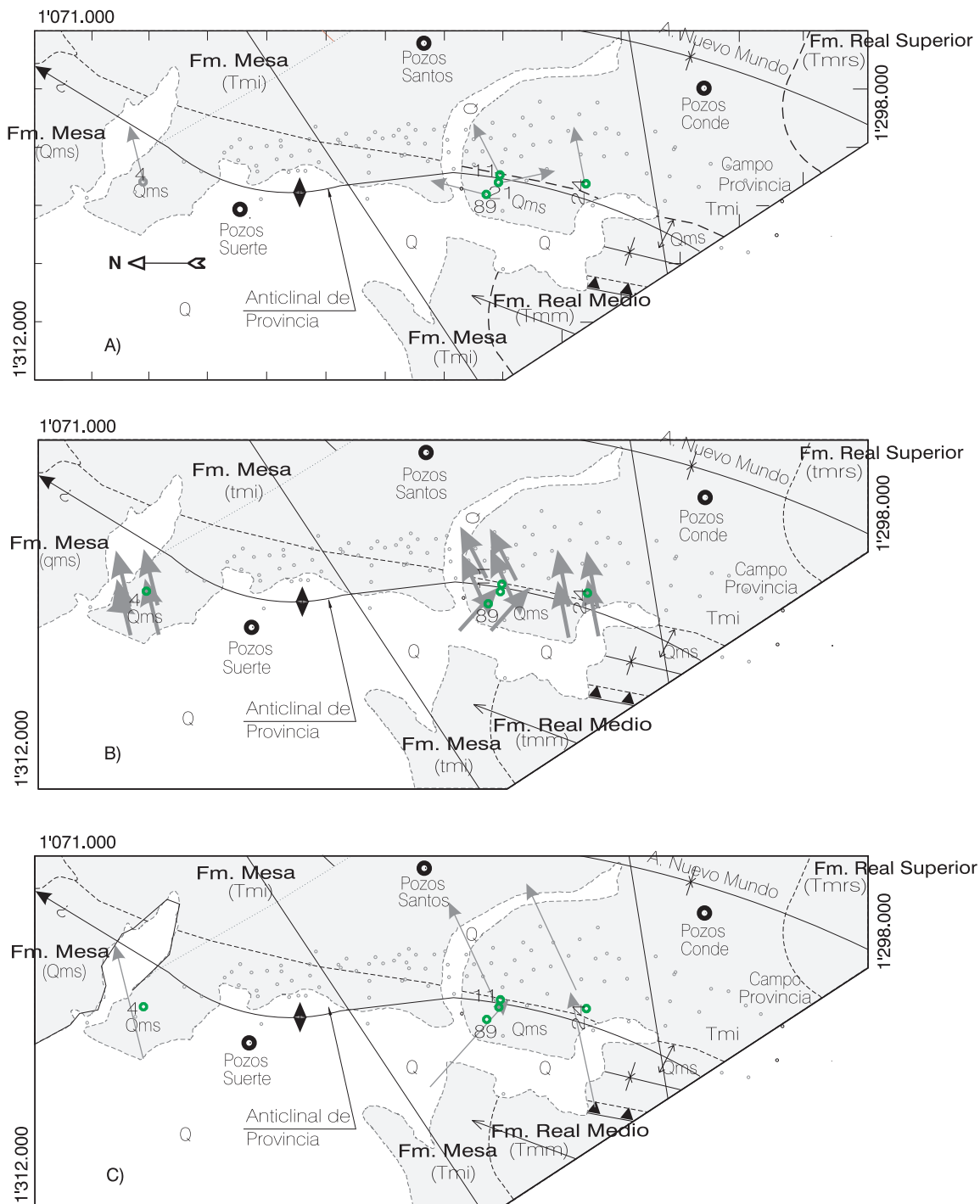


Figura 3. Direcciones de paleocorrientes de la Fm. Umir (Maastrichtiano) en el Campo Provincia.
 A) Valor de la media obtenida para cada pozo.
 B) Valor de la media (vector promedio) obtenida a partir de una retícula de 1 km del lado, y
 C) Interpretación de la dirección de las paleocorrientes. Note la tendencia noreste de las direcciones de las paleocorrientes.

po Provincia. Las unidades estratigráficas estudiadas son las siguientes: Fms. Umir, Lisama, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado, Real Inferior, Real Medio y Real Superior (Figuras 2 a 10).

Formación Umir (Maastrichtiano)

Cinco pozos perforaron esta formación y tienen registro de *dipmeter*. Uno pertenece al área de los pozos Suerte y cuatro al área de Santos (Figura 3A). Fueron tomadas en total 29 medidas cuyo valor de la media varía entre el noreste y suroeste (Figura 3A). La dirección de paleocorriente predominante para la Fm. Umir es hacia el noreste (Figuras 3B y 3C).

En la parte norte del campo (pozos Suerte) y central (pozos Santos) el valor de la media es hacia el noreste, con una buena consistencia (CR) de los datos analizados (Tabla 1). En menor proporción presenta una paleodirección de 132° con un CR bajo de 0,29.

En la elaboración del diagrama roseta para la Fm Umir en el Campo Provincia fueron utilizados todos los datos recolectados para esta unidad (29 datos) y un intervalo de clase de 30°. La media para estos datos fue de 25° con un CR de 0,31 (Figura 2 y Tabla 1).

Como se observa, la roseta presenta una tendencia polimodal. El valor de la paleodirección para la Fm. Umir en el Campo Provincia es consistente con las reportadas en el área cercana de San Luis, que van hacia el este (Castro y Gómez, 1990).

El área de aporte de los sedimentos con base en las paleodirecciones sugiere que la proveniencia de los sedimentos fue del suroeste, muy probablemente de la ancestral Cordillera Central.

Formación Lisama (Paleoceno Inferior)

De 25 pozos con datos de *dipmeter*, cuatro pertenecen a los pozos Suerte, veinte a los pozos Santos y uno a los pozos Conde (Figura 4A). Fueron tomadas 154 medidas y se les determinó el valor de la media por pozo (Figura 4A).

Por lo general, las paleodirecciones de la Fm. Lisama, en la parte norte del campo (pozos Suerte) y central (pozos Santos), varían entre los cuadrantes noreste a sureste (Tabla 1, Figuras 4B y 4C). En menor proporción la dirección varía entre 122° y 129°, medidos en azimuth, con un CR de 0,62 y 0,97 (Tabla 1, Figuras 4B y 4C). En su parte sur (pozos Conde), la paleodirección es de 198° (Figuras 4B y 4C). Sin embargo, se

Tabla 1. Resultados estadísticos de las direcciones de paleocorrientes en el Campo Provincia. Valor de la media del vector promedio (θ , medida en azimuth y grados) y su relación de consistencia (CR).

Formación	Número de pozos	Número total de medidas	Area pozos Suerte		Area pozos Santos		Total de medidas por Formación		Diferencia de ángulo entre las Formaciones
			Media (θ)	CR	Media (θ)	CR	Media (θ)	CR	
Umir	5	29	76	0,76	66-79 132*	0,76-1,00 0,29*	25	0,31	52
Lisama	25	154	151-89	0,79-0,99	68-105 122-129	0,65-1,00 0,62-0,97	77	0,53	22
Esmeraldas	54	908	108-90	0,70-0,90	108-90	0,70-0,90	98	0,60	5
Mugrosa	51	1147	82-106	0,70-0,75	82-106	0,70-0,75	93	0,62	4
Colorado	42	278	110-175	0,50-0,96	72-85	0,68-0,99	97	0,41	24
Real Inferior	16	56	70-115	0,50-1,00	70-115	0,50-1,00	73	0,41	19
Real Medio	13	110	70-114	0,49-0,90	70-114	0,49-0,90	92	0,42	44
Real Superior	12	94	100-174 67-96*	0,43-0,98 0,70-0,91*	100-174 67-96*	0,43-0,98 0,70-0,91*	136	0,31	

* Los valores con asteriscos corresponden a las tendencias predominantes y con asteriscos corresponden a direcciones de paleocorrientes secundarias.

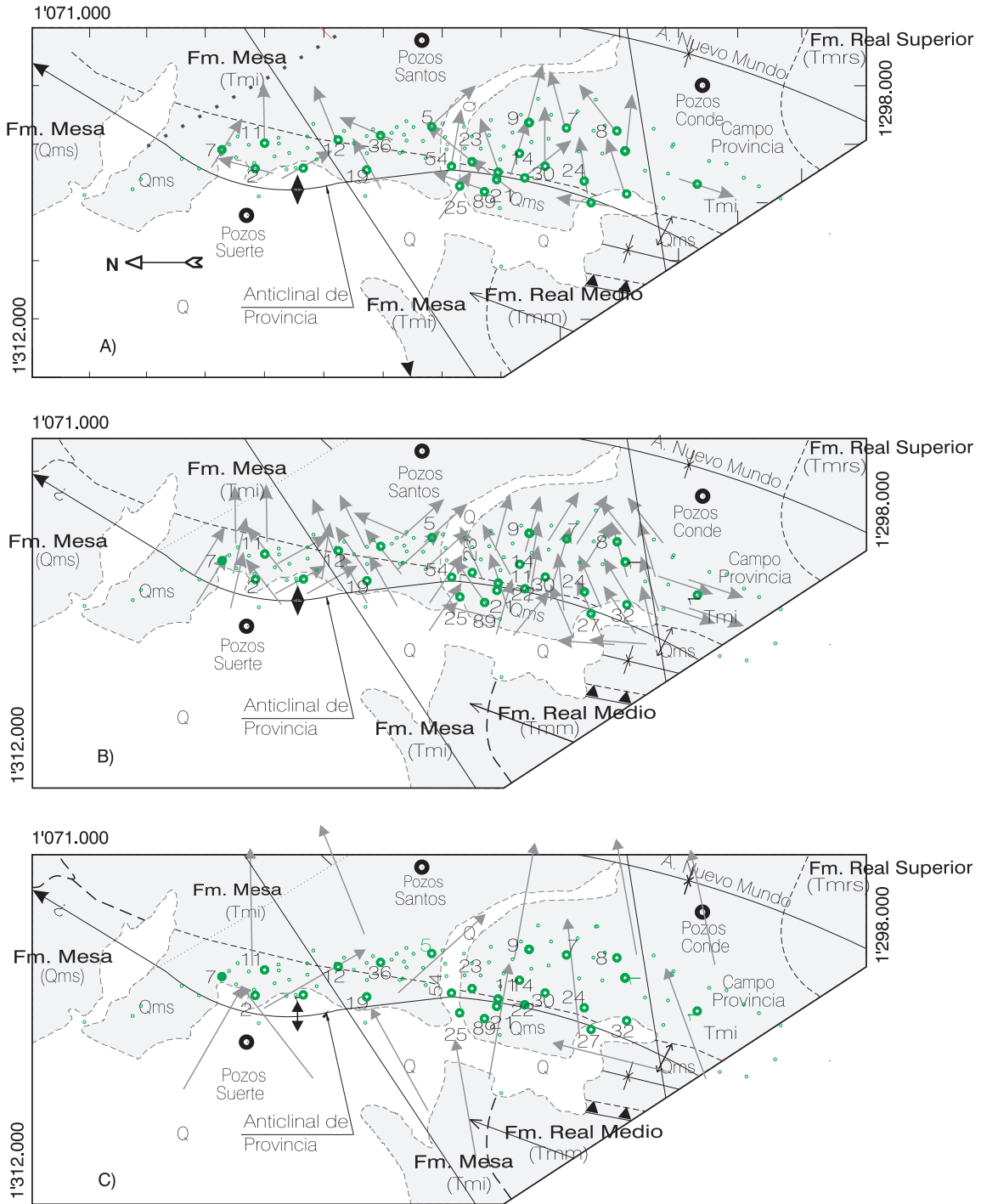


Figura 4. Direcciones de paleocorrientes de la Fm. Lisama (Paleoceno Inferior) en el Campo Provincia. Note la tendencia noreste de las direcciones de las paleocorrientes. Ver convenciones Figura 3.

trata de una sola medida, probablemente no representativa.

El diagrama de roseta elaborado para la Fm. Lisama

en el campo Provincia (con 154 datos) presenta una marcada forma bipolar (Figura 2), con un valor de la media de 77° y un CR de 0,53 (Tabla 1). Esta paleo-

dirección sugiere que el área de aporte de los sedimentos es predominantemente de la parte oeste-suroeste del campo Provincia, de la ancestral Cordillera Central.

La diferencia en ángulo entre el valor de las medias de la Fm. Umir y la Fm. Lisama es de 52° (Tabla 1), lo cual sugiere un cambio en las áreas de aporte de la ancestral Cordillera Central, e implica una actividad tectónica considerable o la existencia de un nuevo pulso tectónico.

Formación Esmeraldas (Eoceno Superior)

De 54 pozos con registros de *dipmeter* en la Fm. Esmeraldas, 14 corresponden a los pozos Suerte, 39 a los pozos Santos y uno (1) a los pozos Conde (Figura 5A). Se analizaron 908 datos a los cuales se les determinó el valor de la media por pozo (Figura 5A).

Las direcciones de paleocorrientes de la Fm. Esmeraldas, en su parte norte y central (pozos Suerte y Santos), en general es hacia el este y con una buena relación de consistencia (Tabla 1, Figuras 5B y C). Al sur la dirección de las paleocorrientes varía entre 77° y 85° , con CR de 0,65 - 0,81.

El diagrama de roseta de la Fm. Esmeraldas (N = 908) presenta un patrón unimodal (Figura 2), con un valor de la media de 98° y un CR de 0,60 (Tabla 1).

De nuevo esta paleodirección sugiere que el oeste es el área fuente de los sedimentos, del área del campo Provincia, es decir, la Cordillera Central.

Entre las Fms. Esmeraldas y Lisama, el valor de la media presenta una diferencia en ángulo de 22° (Figura 2 y Tabla 1), lo cual sugiere que continúa la migración del área de aporte de los sedimentos y posiblemente la actividad tectónica es más moderada.

Formación Mugrosa (Oligoceno)

De 51 pozos con *dipmeter* en la Fm. Mugrosa se analizaron estadísticamente 1.147 datos (Figura 6A). Las direcciones de las paleocorrientes en la Fm. Mugrosa en general son hacia el este con una buena relación de consistencia (Tabla 1, Figuras 6B y 6C).

El diagrama de Roseta para la Fm. Mugrosa (N = 1.147) presenta un patrón unimodal (Figura 2) con un valor de la media de 93° y un CR de 0,62 (Tabla 1). Esta paleodirección sugiere de nuevo que el oeste es el área de aporte de sedimentos, es decir, la Cordillera

Central.

La diferencia de ángulo de las medias entre las Fms. Mugrosa y Esmeraldas es de 5° (Figura 2 y Tabla 1), lo cual sugiere que el área de aporte se mantiene relativamente constante (del oeste) y con una baja actividad tectónica, ya sea el área del campo o en la cordillera Central.

Formación Colorado (Mioceno Inferior)

De 42 pozos con registros de *dipmeter* en la Fm. Colorado (Figura 7A), se analizaron estadísticamente 278 medidas (Tabla 1, Figura 7A). La dirección de la paleocorriente en la parte norte (pozos Suerte) y en su parte central (Pozos Santos) varía entre el sureste y noreste (Figuras 7B y C) con una buena relación de consistencia (Tabla 1). En su parte sur presenta paleodirecciones que varían entre 33° y 110° con CR de 0,37 a 1.

El diagrama de roseta para la Fm. Colorado (N = 278) presenta un patrón unimodal (Figura 2 y Tabla 1), con el valor de la media de 97° y un CR de 0,41. De nuevo esta paleodirección sugiere el oeste como área de aporte de los sedimentos, es decir, de la Cordillera Central.

La diferencia de ángulo entre la media de las Fms. Colorado y Mugrosa es de 4° (Figura 2 y Tabla 1), lo cual indica que el área fuente de los sedimentos se mantuvo constante (oeste) y la actividad tectónica del área continúa relativamente con baja intensidad.

Grupo Real (Mioceno Medio a Superior)

El Grupo Real está constituido por las formaciones Real Inferior, Real Medio y Real Superior (*Sensu*, Ward *et al.*, 1973).

Formación Real Inferior (Mioceno Medio)

De 16 pozos con registro de *dipmeter* que perforaron esta formación, seis corresponden al área de los pozos Suerte y diez al área de los pozos Santos (Figura 8A). En estos registros se midieron 56 datos (Figura 8A).

En general, las direcciones de paleocorrientes de la Fm. Real Inferior en el Campo Provincia presentan una tendencia en sentido noreste a sureste con un CR de moderado a bueno (Tabla 1, Figuras 8B y C).

El diagrama roseta de la Fm. Real Inferior (Figura 2) presenta un patrón unimodal, con un valor de la media

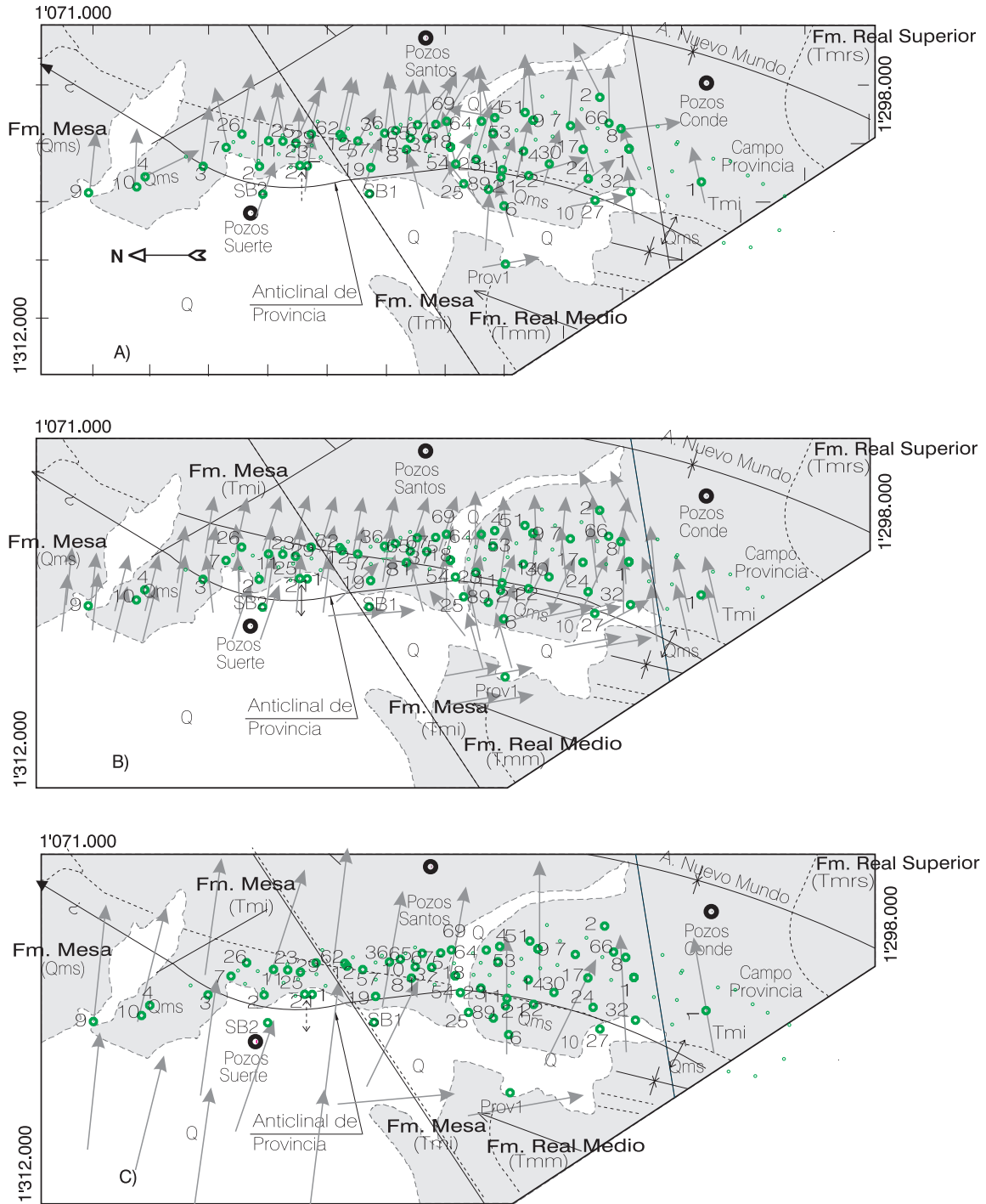


Figura 5. Direcciones de paleocorrientes de la Fm. Esmeraldas (Eoceno Superior) en el Campo Provincia. Note la tendencia este-sureste de las direcciones de las paleocorrientes. Ver convenciones Figura 3.

de 73° y un CR de 0,41 (Figura 2 y Tabla 1). Esta orientación de la paleodirección sugiere que el área fuente de los sedimentos es predominantemente del suroeste del

campo Provincia, es decir, la Cordillera Central.

La diferencia de ángulo entre los valores de las medias de las Fms. Colorado y Real Inferior es de 24°

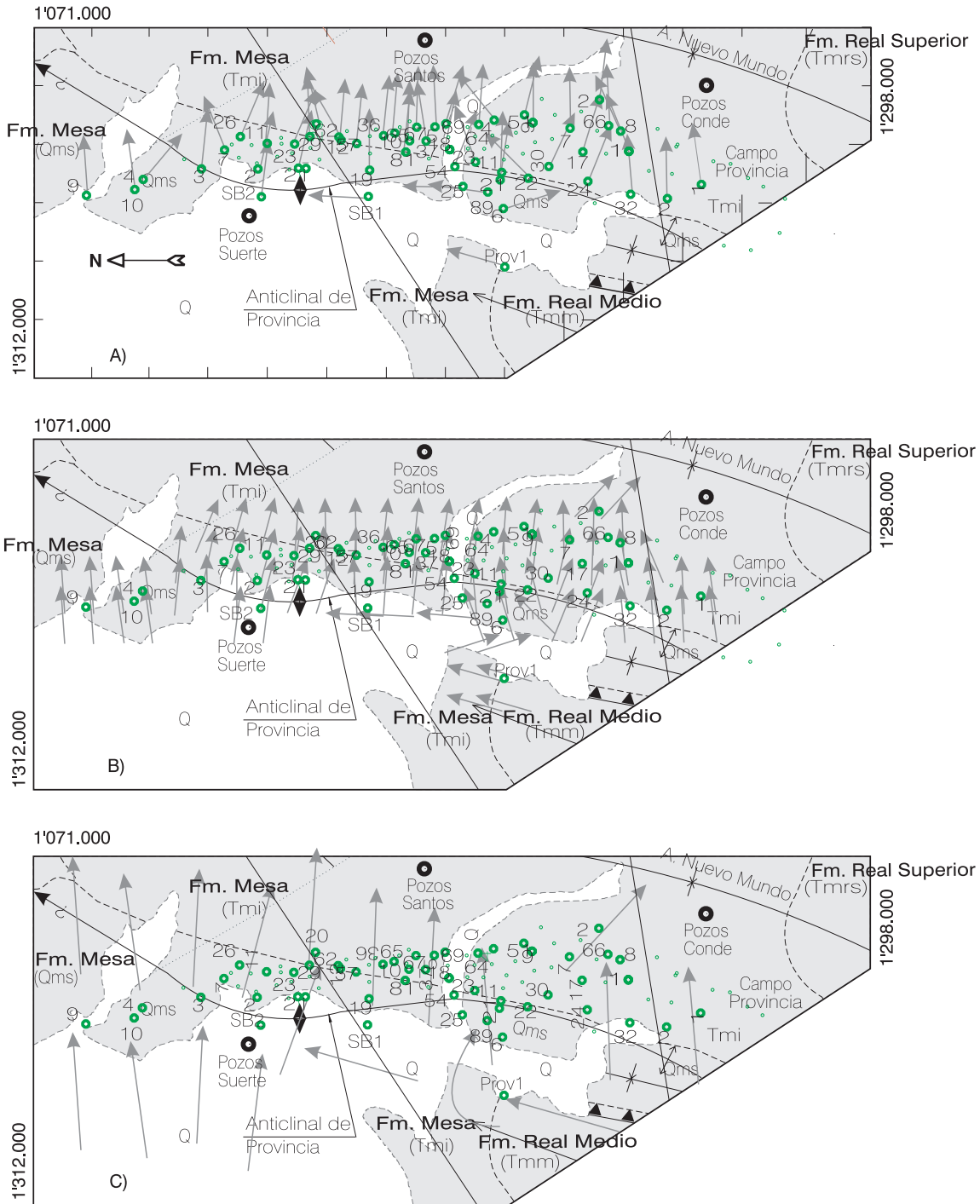


Figura 6. Direcciones de paleocorrientes de la Fm. Mugrosa (Oligoceno) en el Campo Provincia. Note la tendencia este-sureste de las direcciones de las paleocorrientes. Ver convenciones Figura 3.

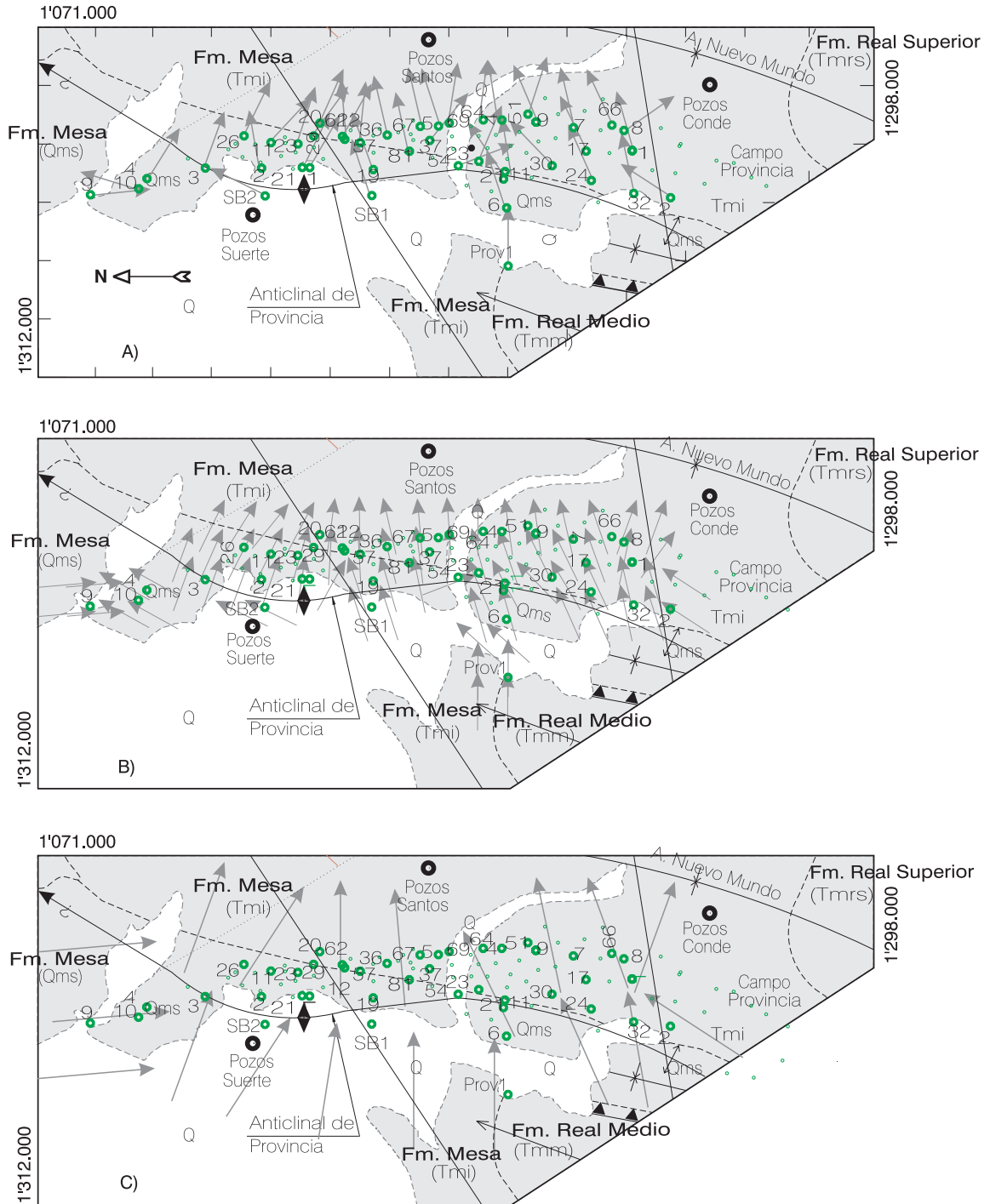


Figura 7. Direcciones de paleocorrientes de la Fm. Colorado (Mioceno Inferior) en el Campo Provincia. Note la tendencia este-sureste de las direcciones de las paleocorrientes. Ver convenciones Figura 3.

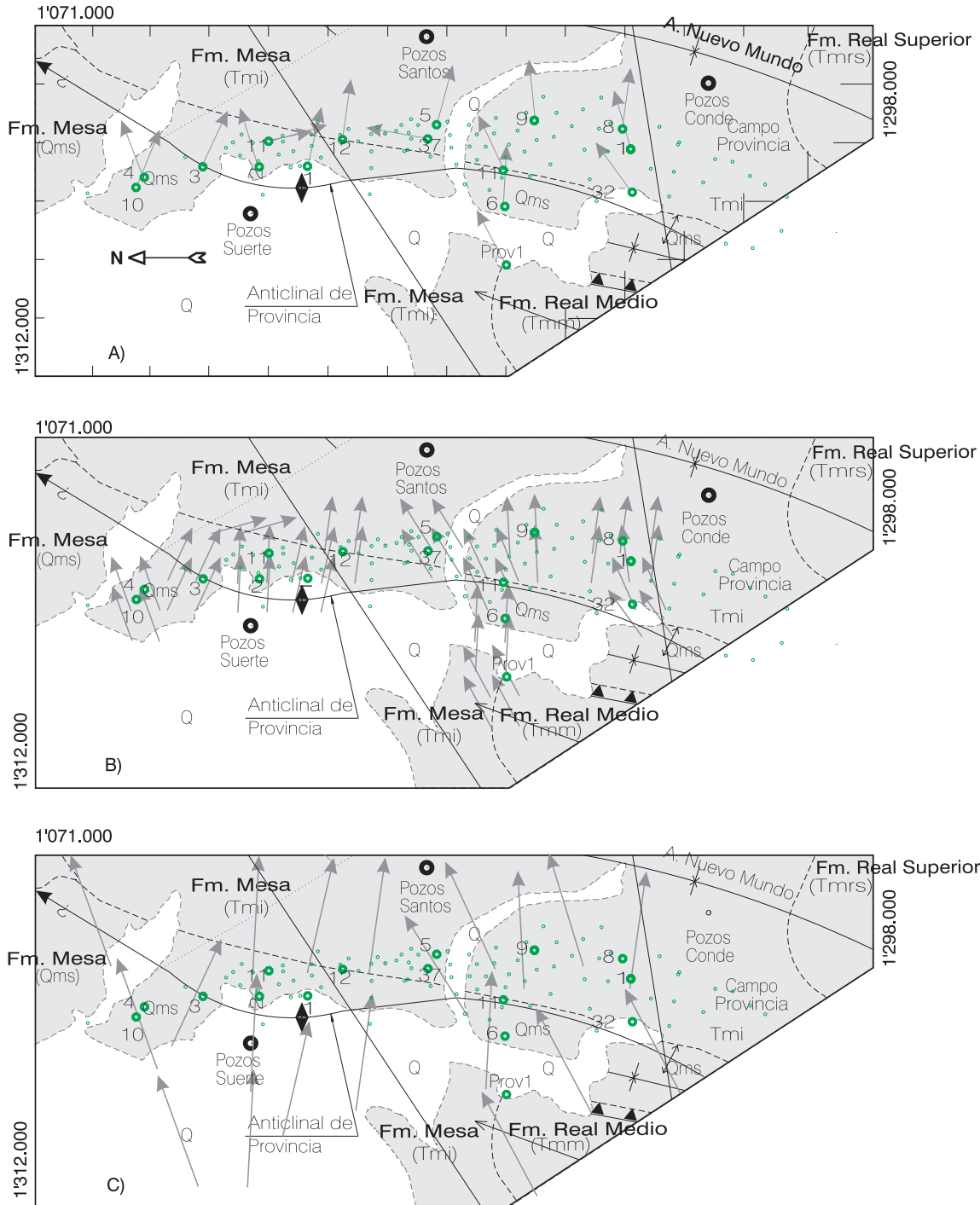


Figura 8. Direcciones de paleocorrientes de la Fm. Real Inferior (Mioceno Medio) en el Campo Provincia. Note la tendencia noreste de las direcciones de las paleocorrientes. Ver convenciones Figura 3.

(Figura 2 y Tabla 1), lo cual sugiere que el área de aporte cambia su posición geográfica, con una actividad tectónica que comienza a cambiar de baja a moderadamente alta.

Formación Real Medio (Mioceno Medio)

El número de pozos que perforaron la Fm. Real Medio y tienen registro de *dipmeter* fue de 13, de los cuales cuatro corresponden al área de los pozos Suerte y nueve al área de los pozos Santos (Figura 9A). De éstos fueron analizados 110 datos (Figura 9A).

Las direcciones de paleocorrientes de la Fm. Real Medio, en general, cambian entre el noreste y el sureste con un radio de consistencia que varía de regular a bueno (Tabla 1, Figuras 9B y C).

El diagrama roseta de la Fm. Real Medio presenta un patrón biomodal (Figura 2), con un valor de la media de 92° y con CR de 0,42 (Figura 2). Como con las unidades subyacentes, esta paleodirección sugiere que el oeste es el área fuente de sedimentos en la Cordillera Central.

La diferencia de ángulo entre la media de las Fms. Real Inferior y Real Medio es de 19° (Figura 2 y Tabla 1), lo cual sugiere que el área de aporte de sedimentos cambió un poco y que la actividad tectónica fue, relativamente, entre baja y moderada.

Formación Real Superior (Mioceno Superior)

De los 12 pozos con registro de *dipmeter* que perforaron la Fm. Real Superior tres pertenecen a los pozos Suerte y nueve al área de los pozos Santos (Figura 10A), de los cuales fueron analizadas 94 medidas.

Las paleodirecciones en la Fm. Real Superior van hacia el sureste y su relación de consistencia es de mala a buena (Tabla 1). En menor proporción presenta una paleodirección entre 67° y 96° con un CR 0,70 a 0,91 (Tabla 1, Figuras 10B y C).

El diagrama de roseta elaborado para la Fm. Real Superior presenta una forma biomodal (Figura 2) con su valor de la media de 136° y un CR de 0,31, con baja consistencia (Figura 2 y Tabla 1). El sentido de la paleodirección sugiere una nueva área geográfica situada al noreste del campo Provincia, probablemente localizada en la Cordillera Central, como área fuente de los sedimentos.

La diferencia de ángulo entre las medias de las Fms. Real Medio y Real Superior es de 44° (Figura 2 y Ta-

bla1), y sugieren un cambio en el área fuente de los sedimentos y un nuevo pulso de actividad tectónica fuerte.

DISCUSIÓN

A partir del análisis de paleocorrientes se infieren cambios importantes en la paleogeografía de las áreas de aporte de los sedimentos en cada una de las diferentes formaciones del Campo de Provincia (Tabla 1 y Figuras 2 a 10). Siendo la Cordillera Central la principal fuente de suministro de los sedimentos de cada una de las diferentes formaciones, el área de aporte cambia su posición geográfica, por ejemplo: de la parte suroeste de la cordillera Central para las Fms. Umir y Real Inferior, a oeste para las Fms. Lisama, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y Real Medio, y de la parte noroeste de la cordillera Central para la Fm. Real Superior (Figura 2).

Con base en las diferencias entre los valores de la media para las diferentes formaciones se sugiere que el área estuvo sometida a diferentes grados de actividad tectónica o levantamiento.

Con una actividad tectónica fuerte en el Maastriactiano-Paleoceno (Fms. Umir-Lisama), la diferencia entre sus medias es de 52° , Paleoceno-Eoceno Medio (Fms. Lisama-Esmeraldas), la diferencia entre sus medias es de 21° , el Mioceno (Fms. Colorado-Real Inferior), la diferencia entre sus medias es de 24° , Real Inferior-Real Medio, la diferencia entre sus medias es de 19° , y Real Medio-Real Superior, la diferencia entre sus medias es de 44° .

Con base en lo anterior se sugiere una actividad tectónica moderada a baja. En el Eoceno Superior - Mioceno Inferior (Fms. Esmeraldas - Mugrosa), la diferencia entre sus medias es de 5° , Mugrosa - Colorado, la diferencia entre sus medias es de 4° . Estas diferentes actividades tectónicas se pueden relacionar con las que se encuentran en la literatura, por ejemplo: Van der Hammen (1958), McCourt *et al.*, (1984), Shagan *et al.* (1984), Duque-Caro (1990), y Rubiano-Ortiz (1995), entre otros (Figura 2).

CONCLUSIONES

- El área de aporte de sedimentos de las Fms. Umir a Real Superior en el campo Provincia, se sugiere,

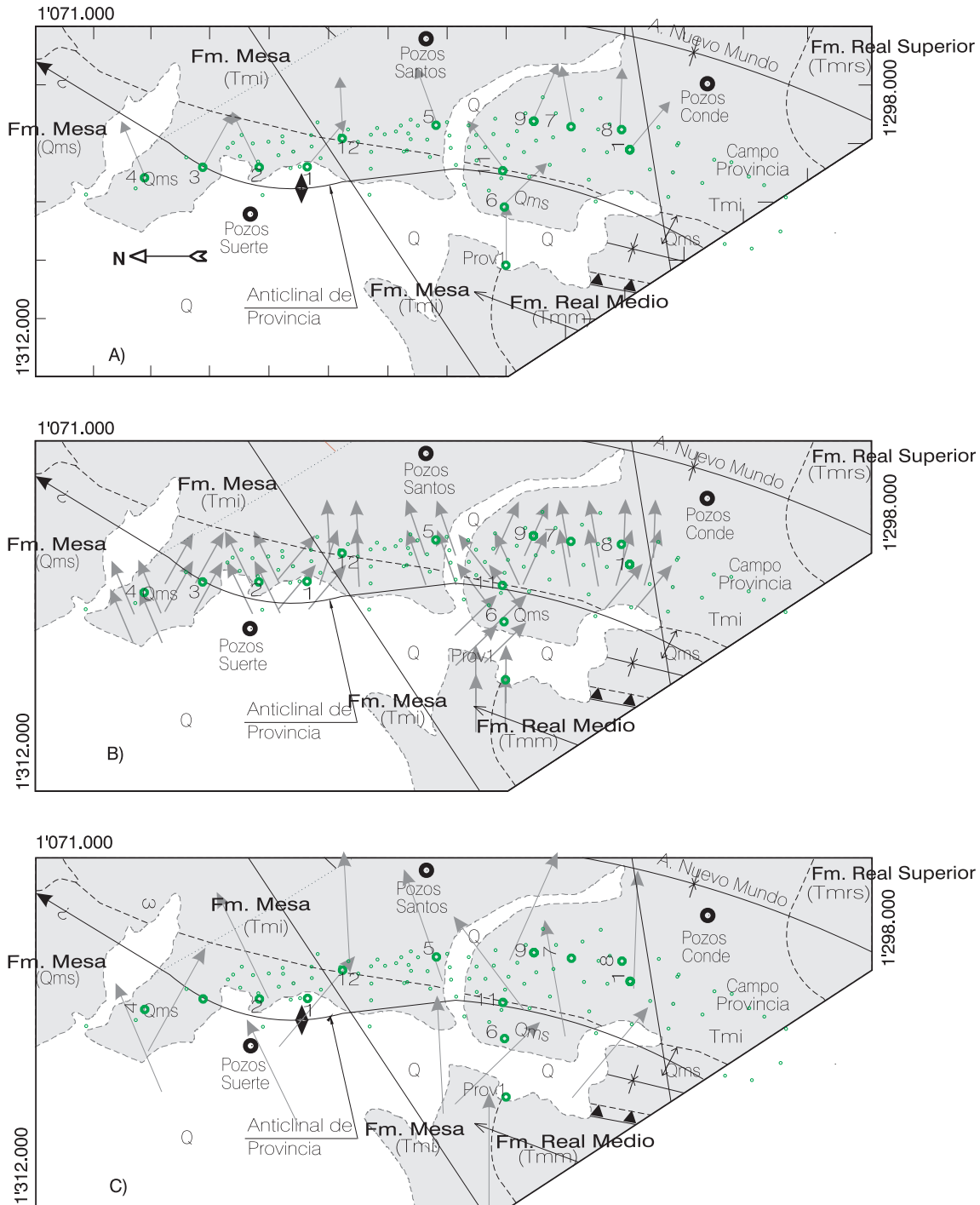


Figura 9. Direcciones de paleocorrientes de la Fm. Real Medio (Mioceno Medio) en el Campo Provincia. Note la tendencia este de las direcciones de las paleocorrientes. Ver convenciones Figura 3.

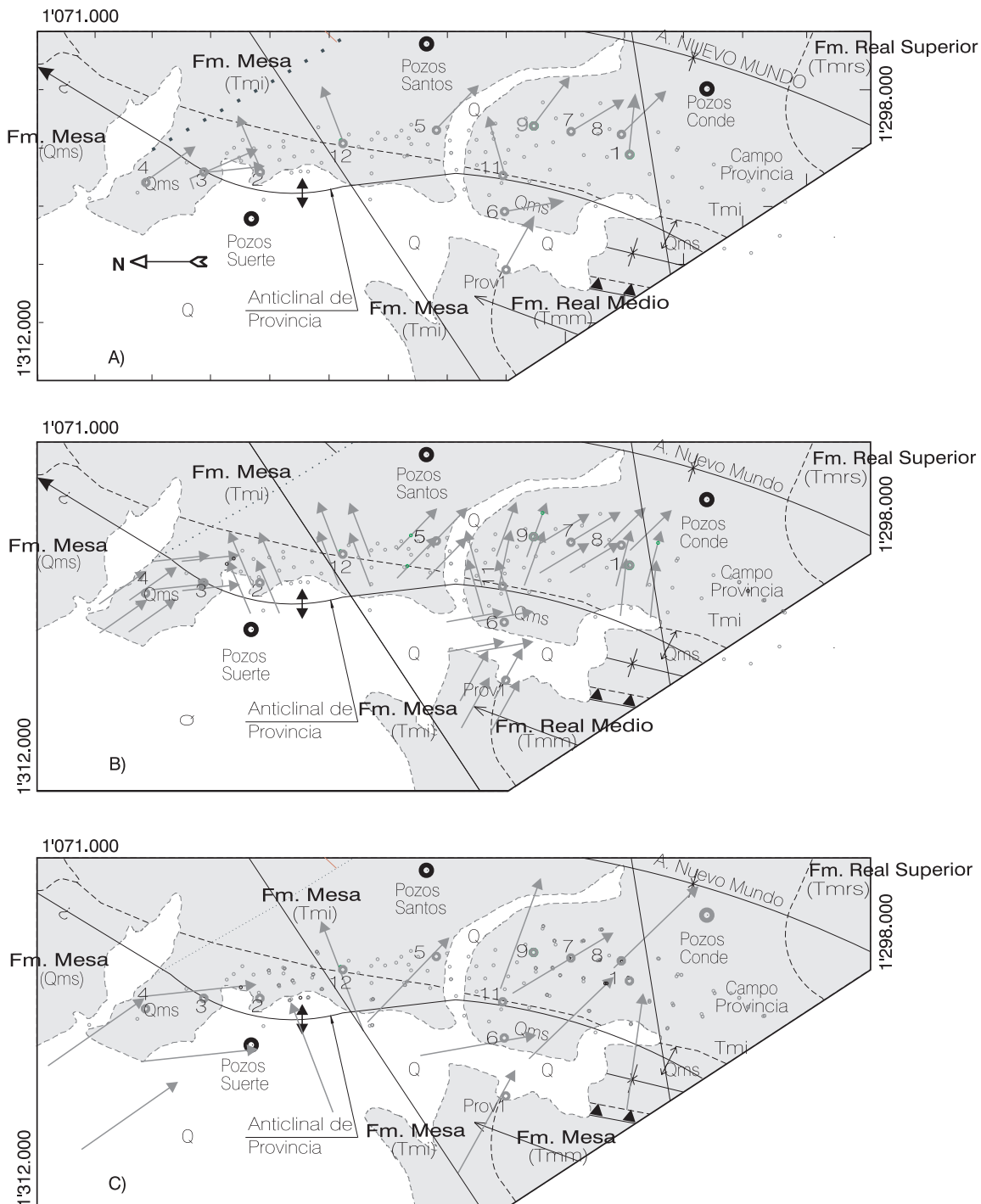


Figura 10. Direcciones de paleocorrientes de la Fm. Real Superior (Mioceno Superior) en el Campo Provincia. Note la tendencia sureste de las direcciones de las paleocorrientes. Ver convenciones Figura 3.

proviene de la Cordillera Central, pero de áreas geográficas diferentes: suroeste para las Fms. Umir y Real Inferior, del oeste para las Fms Lisama, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y Real Medio, y del noroeste para la Fm. Real Superior.

- La actividad tectónica y levantamiento en el área de aporte de los sedimentos para el área de estudio sugiere que comenzó desde el Maastrichtiano y continuó hasta el Mioceno con diferentes grados de intensidad, con actividad tectónica fuerte en el Maastrichtiano-Paleoceno, Paleoceno-Eoceno Medio, y en el Mioceno Superior. Una actividad tectónica de moderada a baja entre el Eoceno Superior y el Mioceno Inferior.
- Con base en lo anterior, estas unidades estratigráficas pueden clasificarse como unidades tectosedimentarias con características propias (Figura 2).

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, 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", *Tesis de grado*, Universidad Nacional de Colombia, Depto. Geociencias, 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* by (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", *Tesis*, Universidad Industrial de Santander, 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., Aspden, J.A. and Brook., M. 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.), Tulsa, *AAPG Bull.*: 641-695.
- Rubiano-Ortiz, J. L., 1995. "Modelo estratigráfico y estructural del Campo Provincia, Valle Medio del Magdalena, Santander, Colombia", *VI Congreso Colombiano del Petróleo, Memoria 1*, Bogotá (Octubre 3 - 6): 235-245
- Shagan R., Kohn, B. P. Banks, P. O. Dasch, L. E. Vargas, R. Rodríguez G. I. and Pimente., N. 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. 12 - 1 a 12 - 15.
- Van der Hammen, Th., 1958. "Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano Continentales y Tectogénesis de los Andes Colombianos", *Boletín Geológico*, 6 (1-3): 67 - 128. Servicio Geológico Nacional, Bogotá.
- Ward D. E., Goldsmith, R., Cruz J., Restrepo. H., 1973. "Geología de los Cuadrángulos H12 Bucaramanga y H13 Pamplona. Departamento de Santander". *Boletín Geológico*, 21(1 - 3): 1 - 132. Instituto de Investigaciones Geológico Mineras, Bogotá
- Ward D. E., Goldsmith R., Jimeno V., Cruz B. J., Restrepo H. and Gómez R. E., 1977. "Mapa geológico del cuadrángulo H12 (Bucaramanga) Colombia," *INGEOMINAS*, Bogotá, escala 1: 100.000.