

CAPÍTULO 10

El Registro Sedimentario de Falcón y Cambios en Vegetación y Paisaje en el Tiempo Geológico

Carlos Jaramillo y Luis Quiroz

Nuestro planeta es un sistema dinámico que siempre está cambiando a lo largo del tiempo geológico. Muchos factores varían, desde el clima y las especies que habitan el planeta hasta la posición de los continentes. Para entender nuestro presente y poder predecir nuestro futuro, es crucial estudiar nuestro pasado. Como alguna vez dijo el estadista inglés Winston Churchill “The farther backward you can look, the farther forward you are likely to see”: en la medida que mires para atrás, podrás ver hacia adelante.

Pero ¿Cómo estudiar el pasado? Y más aún, ¿Cómo estudiar el pasado en tiempo geológico, es decir, aquel que cubre miles o millones de años? Para ello, los geólogos y paleontólogos estudian las rocas sedimentarias y los fósiles que ella contienen. Una roca sedimentaria se forma por la acumulación de sedimento, que luego es compactado y se convierte en capas de roca; este proceso puede ocurrir en multitud de ambientes, como lagos, barras de los ríos, madrevejas abandonadas y el mar. Los sedimentos a su vez, provienen de la erosión de montañas y su posterior transporte por el agua, y es por eso que a veces también quedan atrapados en ellos restos de animales y plantas, que luego se convierten en fósiles. En la medida que transcurre el tiempo geológico, más y más sedimentos se apilan encima de los sedimentos antiguos hasta que el resultado final, después de millones de años de acumulación, es una secuencia de capas de rocas sedimentarias, con

las mas antiguas al fondo y las mas jóvenes hacia el tope, en las cuales quedó registrado como era el paisaje (cómo eran los ríos, de dónde venían los sedimentos, hacia dónde iban), y que vida contenían a lo largo de millones de años. Es, por decirlo de otra forma, un libro en el cual cada página (o capa de roca) representa una línea de tiempo diferente. El objetivo del geólogo/paleontólogo es leer ese libro. Pero ¿cómo leerlo? Para ello el geólogo va al campo a estudiar las rocas donde estén expuestas, usando un martillo geológico (un martillo especial practicamente indestructible), lleva además una pequeña lupa, una brújula/GPS para orientarse en el campo y una libreta de campo para hacer anotaciones. Con estos elementos, el geólogo camina por toda una región, explorando caminos, carreteras, quebradas y ríos, buscando cualquier lugar donde la roca este expuesta en la superficie. Una vez la roca es hallada, se mide para determinar su espesor y su litología es descrita, es decir, como luce la roca y de qué esta compuesta. Para ello, el geólogo toma una muestra de la roca con el martillo y la observa con la lupa. Un ejemplo de descripción sería decir: «un capa de arenitas, de 3 metros de espesor, compuesta por arena de tamaño medio, de cuarzo, con algunas láminas oscuras de materia orgánica y de color gris oscuro, con algunos fósiles de ostras». Luego, el geólogo procede a medir y describir la roca que esta inmediatamente encima, y así sucesivamente con todas las rocas en una región. Pero como la roca no está expuesta en todos lados, es necesario relacionar y comparar las rocas que aparecen o “afloran” en un sitio, con rocas que afloran en otro. Para esta etapa se requiere utilizar un “mapa topográfico” en el cual se dibujan las rocas que están aflorando, indicando el tipo de roca que está expuesto, su espesor y para dónde están inclinadas. De esta forma, sitio por sitio, se construye un mapa geológico de una región. Es importante resaltar que hacer mapas geológicos en regiones tropicales es un trabajo muy difícil, ya que la gran mayoría del paisaje

está cubierto por bosque y es allí donde radica la gran maravilla que representa la provincia de Falcón.

El Neógeno representa los últimos 23 millones de años (Ma) de la historia de la tierra (recuerden que nuestro planeta tiene 4600 Ma, y la especie humana apareció hace 140 mil años, es decir apenas el 0.003% de la duración del planeta). En estos últimos 23 Ma, nuestro planeta ha tenido grandes transformaciones, especialmente climáticas, la más importante de ellas, es que pasamos de un período caliente el cual duró cientos de millones de años, a un periodo frío en el cual estamos viviendo actualmente. Durante el período caliente (~140 Ma a 23 Ma), la tierra tenía una temperatura promedio mucho mayor a la actual, no había mucho hielo en los polos, los niveles de CO₂ eran casi el doble que el actual nivel y la diferencia en temperatura entre los polos y la línea ecuatorial era muy reducida (~15 °C). En los últimos 23 millones pasamos a un mundo con bajos niveles de CO₂ (aunque en los últimos 100 años, los niveles han aumentado rápidamente, aproximándonos a los niveles del período caliente ya mencionado), abundante hielo en los polos, y una alta diferencia entre la temperatura tropical y la de los polos (~40 °C).

Cómo y por qué pasó este cambio, es motivo de investigación para científicos en todo el planeta. La región de Falcón representa una oportunidad incomparable para responder estos interrogantes, porque allí se acumularon durante el Neógeno más de 9000 metros de roca sedimentaria. Para que comparen, por ejemplo, en la región del Amazonas durante esta época apenas se acumularon 300 metros. Es decir, el registro de la historia que quedó acumulado en Urumaco es uno de los más espesos en todo el mundo, lo cual nos permite estudiar los cambios en el paisaje, clima y biota a una resolución que puede alcanzar los miles de años.

Hemos estado estudiando las rocas de Falcón, utilizando los métodos descritos arriba y también apoyándonos en los estudios que otros geólogos han realizado en la región. Resultado de ello es

un mapa geológico de la región, así como una descripción de las rocas que afloran, como están dispuestas en el tiempo y qué nos indican acerca de la historia de Falcón durante los últimos 23 Ma.

El paisaje que domina la provincia de Falcón en la actualidad corresponde a una vegetación adaptada a condiciones muy secas,

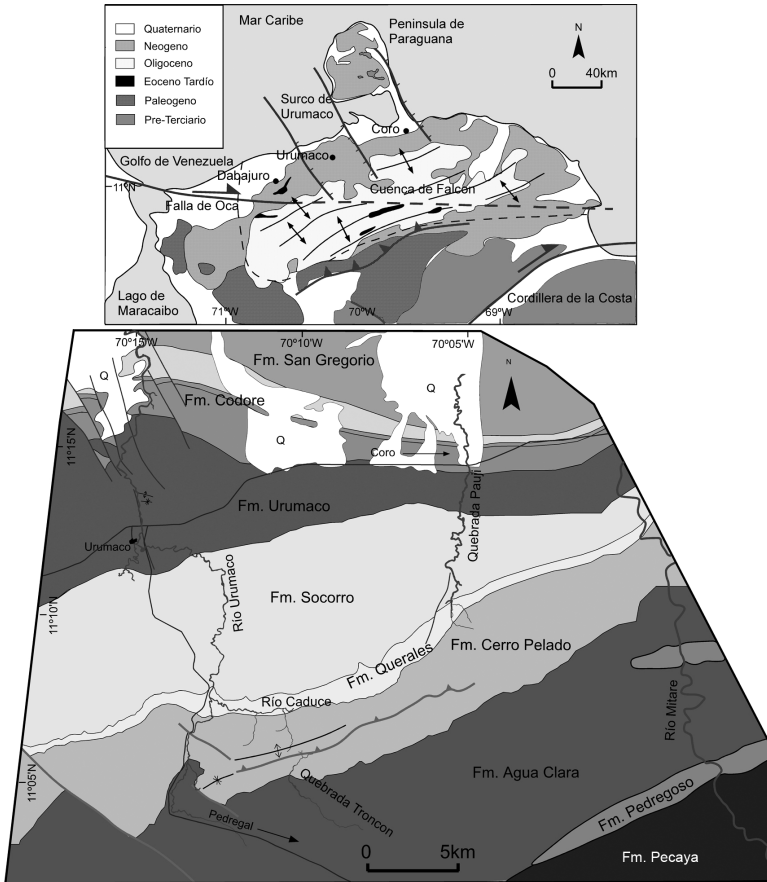


Figura 10.1. Mapa geológico de la región de Falcón. Los diversos tonos representan las formaciones que se encuentran aflorando (es decir expuestas) en la región. Una “formación” es un grupo de rocas con características litológicas similares cuyo nombre esta relacionado con algún rasgo geográfico en donde las rocas están mejor expuestas.

dominadas por leguminosas y cactus, con muy poca agua disponible y pocos ríos de gran y continuo caudal.

Pero entonces aparecen otros interrogantes: ¿Desde cuándo ha sido de esta manera? si ésta ha cambiado, ¿cómo y por qué? Esto es lo que discutimos a continuación.

Historia Sedimentaria de Falcón

El Estado de Falcón está ubicado en el noroccidente de Venezuela, zona donde se encuentran las placas del Caribe y Sur América. La colisión entre estas dos placas durante el Paleoceno y parte del Eoceno (~65 a 35 Ma), creó una amplia zona de hundimiento (también llamada “Cuenca”) de más de 100 km de ancho donde se ha generado el espacio para que los sedimentos en la región de Falcón se hayan preservado. La Cuenca de Falcón aflora por más de 36.000 km², incluyendo todo el Estado de Falcón y parte de los estados de Zulia, Lara y Yaracuy. Esta cuenca se formó a finales del Eoceno (~35 Ma) y la acumulación de sedimentos ha sido casi continua desde esta época.

La secuencia sedimentaria de los últimos 23 Ma está conformada por las formaciones Agua Clara, Cerro Pelado, Querales, Socorro, Urumaco, Codore y San Gregorio. (Una “formación” es un grupo de rocas con características litológicas similares cuyo nombre está relacionado con algún rasgo geográfico en donde las rocas están mejor expuestas). La formación más antigua es Agua Clara mientras que la más joven es San Gregorio.

La mayoría de la sucesión de roca representa una gruesa sedimentación de un frente deltaico que representa la acumulación de sedimentos en la desembocadura de un río, intercalada con algunas inundaciones marinas que cubrieron el área de Falcón. La sedimentación deltaica en el Mioceno inferior (23- 16 Ma) es caracterizada por el avance de un delta en una gran bahía semiprotegida, mientras que la sedimentación en el Mioceno medio y superior

(16 a 5 Ma) representa complejos de deltas en un ambiente marino con mayor influencia de olas y tormentas, y un gran desarrollo de zonas inundables sobre el plano deltaico. La mayoría de los ríos que alimentaban estos deltas provenían de zonas altas cercanas, aunque los fósiles indican una conexión biogeografía con los Llanos y la región del Amazonas. Es claro además, que la gran aridez actual de la región es un fenómeno muy reciente, probable-

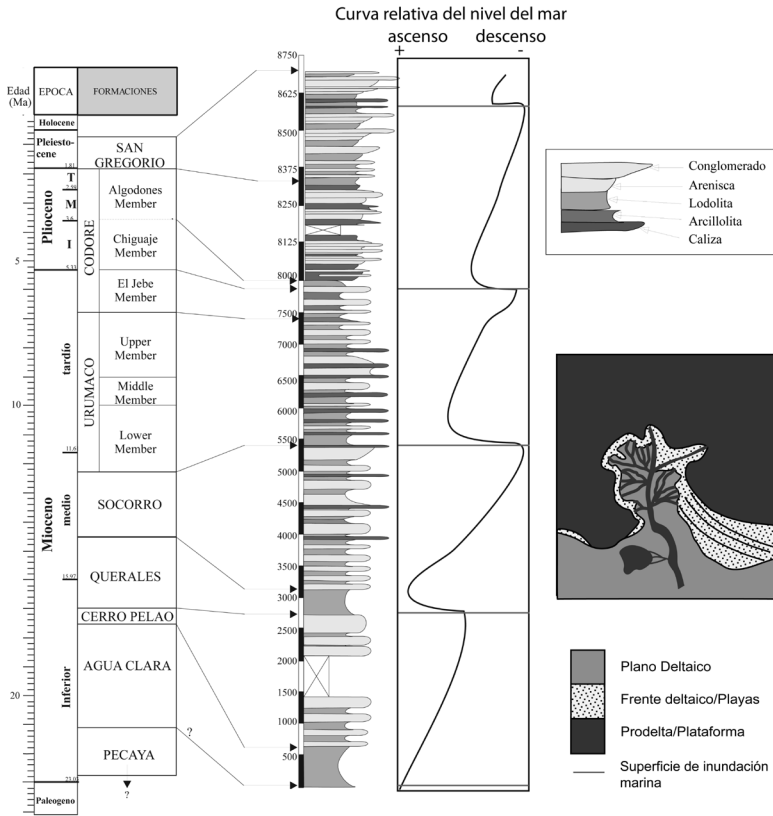


Figura 10.2. Columna estratigráfica de la región de Falcón. Las formaciones representan un grupo de roca con una litología similar. Note como los ambientes sedimentarios de la región cambian a lo largo del tiempo así como la línea de costa se mueve hacia el sur o norte, hacia el sur cuando hay una inundación marina y la región queda bajo el nivel del mar, y hacia el norte cuando hay un movimiento de los deltas hacia el norte y el nivel del mar baja.

mente que ocurrió en los últimos 3-5 Ma, ya que la mayoría de la secuencia sedimentaria en Falcón indica un gran aporte de agua y ríos con caudales continuos, capaces de transportar abundante sedimento.

Vegetación y paisaje

Los últimos 23 millones de años representan un capítulo diferente para la historia de los bosques tropicales de América del Sur ya que las sabanas se extienden radicalmente. Hoy en día, las sabanas/bosques secos ocupan el 30% del territorio global, proveen la mayor parte del alimento que consumimos y el área de habitación para una gran porción de la población humana. Aunque las sabanas son tan importantes, es aún muy poco lo que sabemos sobre su origen y los factores que las controlan, especialmente en los trópicos suramericanos, todo indica que hace 15 Ma no estaban muy extendidas y su expansión en el Neógeno representan el nacimiento de un nuevo ecosistema.

Las variaciones de temperatura media anual dentro de la zona tropical son mínimas, de 23 a 28 °C, con variaciones muy bajas a lo largo del año. El factor que determina en gran medida el tipo de vegetación dentro del trópico es la lluvia. Hay una continua variación de bosque húmedo, a bosque seco, sabana y desierto en la medida que la precipitación anual disminuye, y el aumento de la duración de la época seca aumenta. Otro factor importante lo constituye la del CO₂ a los niveles similares a los encontrados en épocas preindustriales. Esta reducción empezó a comienzo del Oligoceno (~34 Ma) pues ya para principios del Mioceno (23 Ma), los niveles de CO₂ alcanzaban niveles similares a los modernos.

Hay cuatro grandes grupos de plantas que son características de estos ambientes secos: Cactaceae, Agavaceae, Poaceae y las llamadas "ice plants" de Suráfrica. Muchas de ellas tienen algunas de dos formas alternas de hacer fotosíntesis, C4 o CAM. La mayo-

ría de árboles y en general de plantas hacen la llamada fotosíntesis C3. Por el contrario, los caminos fotosintéticos C4 y CAM son mucho más eficientes que C3 en zonas donde las temperaturas son muy elevadas y hay deficiencia de agua y/o hay niveles bajos de CO₂. Las plantas no pueden hacer fotosíntesis por la vía C3 porque perderían mucha agua por transpiración al abrir los estómatos en zonas de altas temperaturas y depresión hídrica; o si los niveles de CO₂ son muy bajos tendrían que mantener abiertos los estómatos por mucho más tiempo para capturar la misma cantidad de CO₂ con la consecuente pérdida extra de agua. Las plantas que hacen fotosíntesis por vía C4 y CAM, en contraste, realizan la fotosíntesis utilizando procesos más complejos pero más efectivos cuando hay estrés hídrico o bajos niveles de CO₂. La historia evolutiva de los cuatro grupos grandes de plantas de zonas secas mencionadas arriba, indican que su radiación (cuando se expanden y llegan a ser dominantes en el paisaje) ocurrió en los últimos 7-8 Ma y parece coincidir con la expansión del área ocupada por sabanas deducida del registro fósil.

En Falcón, la principal herramienta paleontológica para estudiar los cambios en la vegetación ha sido el polen (de 20-40 micras), que se preserva muy bien en las rocas sedimentarias. Para extraerlo de la roca, se usan variados químicos que destruyen los silicatos y carbonatos que están en la roca para poder liberar la materia orgánica donde se encuentra el polen que se observa usando un microscopio. El registro polínico que hemos encontrado en toda la secuencia desde Agua Clara hasta Urumaco indica la presencia de un bosque mucho más húmedo que el actual, con muchas afinidades a los bosques amazónicos y muy diferente a la extensa vegetación seca que se presenta hoy día en la región. Esta vegetación que requiere una mayor humedad también se corrobora por la inmensa variedad de fauna que se ha encontrado en rocas de la Formación Urumaco. Los datos en Falcón indican que la

expansión de las sabanas en el norte de América del Sur tuvo que ser un fenómeno muy reciente, al menos en los últimos 9 a 3 Ma.

Pero entonces, ¿Qué factores podrían haber inducido la expansión de las sabanas en el trópico suramericano? La lluvia a macroescala en América del Sur está controlada por la amplitud y migración de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) con la posibilidad de que ésta estuviera más al norte de su posición actual y apenas hace 9-3 Ma se hubiese movido hacia el sur a su posición actual, dejando la zona de Falcón mucho más seca. También es posible que antes la ZCIT fuese mucho más ancha e incluyera la zona de Falcón y se haya adelgazado en los últimos 9-3 Ma. Ahora pensemos por qué la ZCIT habría cambiado. Esto es aún un misterio, pero hay tres posibles hipótesis: 1. El cierre del istmo de Panamá habría hecho que la ZCIT migrara hacia el sur durante el Plioceno inferior (5-3 Ma) a su posición actual. 2. El comienzo de la glaciación en el polo norte a los 2.7 Ma habría causado que la posición del ZCIT migrara hacia el sur hasta su posición actual. 3. El levantamiento de los Andes del Norte habría detenido gran parte de la lluvia que provenía del Océano Pacífico hacia el continente América del Sur facilitando así la expansión de las sabanas.

El desarrollo del paisaje, sus sistemas de ríos, y las comunidades de plantas y animales en las zonas bajas neotropicales a lo largo del tiempo geológico ha sido afectado por una serie de accidentes históricos, cambios climáticos a escalas cortas y largas junto con procesos tectónicos que han creado montañas y unido continentes. La vegetación actual es producto de la suma de todos estos factores, los cuales necesitamos estudiar para entender por qué los trópicos son tan diversos y cómo responderán a los cambios climáticos en un futuro cercano.

Formaciones geológicas del Estado Falcón de especial relevancia paleontológica

Formación Agua Clara (22 a 17.5 Ma)

Litología: aflora extensamente en el área central de la Cuenca de Falcón. Su máximo espesor es de 2000 m en la parte central de la cuenca y se adelgaza hacia los bordes norte, sur y occidental de la cuenca. Está conformada por una secuencia espesa de arcillolitas negras y grises que deja una morfología de valles y baja topografía; hacia el tope comienzan a intercalarse capas delgadas de arenitas bioturbadas (es decir, con señales de actividad biológica que han alterado la configuración inicial del sedimento).

Ambiente: se acumuló en ambientes de baja energía en la plataforma externa, en donde la sedimentación es por decantación a partir de sedimentos en suspensión. Las intercalaciones de arenitas bioturbadas hacia el tope de la formación fueron depositadas en ambientes de prodelta, más próximos al continente, con aporte de material orgánico en periodos de alta descarga de los ríos.

Formación Cerro Pelado (17.5 a 17 Ma)

Litología: aflora a lo largo del frente de montañas de Falcón occidental, donde se extiende desde el Río Mitare al este por más de 150 km al oeste. Esta unidad alcanza un máximo espesor de 2075 m. Hacia el oeste el espesor disminuye a 900 m. y hacia el oriente mide 600 m. conformando una morfología abrupta de colinas desprovistas de vegetación que constituyen la topografía más alta en la región de Urumaco. Tiene tres segmentos, el inferior esta caracterizado por arcillolitas grises laminadas, con intercalaciones de arenitas. El medio se caracteriza por capas muy gruesas de arenitas con estratificación cruzada y mantos de carbón. El segmento superior lo dominan las arenitas con laminación ondulosa y de rizaduras, intercaladas con arcillolitas grises.

Ambiente: El segmento inferior representa un avance del frente deltaico hacia el océano, es decir, el nivel relativo del mar en Falcón bajo y la línea de costa avanzó hacia el norte. El medio representa depósitos de canales de ríos y zonas de inundación dentro de la llanura deltaica, que incluso podrían alcanzar a ambientes de llanura aluvial. Y en el segmento superior el nivel relativo del mar comenzó a subir, con un retroceso progresivo de la línea de costa hacia el sur y el predominio de ambientes de frente deltaico.

Formación Querales (17 Ma a 14.5 Ma)

Litología: aflora desde el Río Mitare al este, por unos 100 km al oeste, mide unos 425m y forma una depresión entre las arenitas de la parte superior de la Formación Cerro Pelado y la base de la Formación Socorro, sobre la cual se desarrolla el valle del Río Caduce. La parte inferior está caracterizada por arcillolitas grises laminadas con intercalaciones de capas delgadas a gruesas de arenitas completamente bioturbadas predominando hacia el tope las arcillolitas grises laminadas.

Ambiente: La Formación Querales representa una gran inundación con depósitos costa afuera, lo cual representó un aumento en el nivel del mar y un retroceso rápido de la línea de costa hacia el sur. En la parte media de la unidad se pasa a ambientes más profundos, representados por el predominio de arcillolitas y hacia la parte superior se vuelve a los ambientes de costa afuera, con las mismas características del segmento inferior.

Formación Socorro (14.5 a 12 Ma)

Litología: aflora en la parte media de Falcón, donde se extiende desde el sur de Coro al este, por más de 150 km al oeste, mide alrededor de 2209 m. en la quebrada Paují, donde está mejor expuesta; tiene un segmento inferior (690m) definido por un banco de arenitas de grano medio a grueso (>10m) completamente bioturbadas con gran expresión topográfica y continuidad lateral, seguidas de una sucesión de arcillolitas grises laminadas con intercalaciones de arenitas con moderada bioturbación. El segmento medio (880m) es bastante heterogéneo en su composición y se compone por lodolitas grises laminadas y lodolitas carbonosas, bancos de arenitas de hasta 25m de espesor y capas tabulares de calizas con abundantes fragmentos de conchas. El segmento superior (639m) tiene lodolitas grises macizas, con algunos niveles carbonosos, y capas gruesas de arenitas.

Ambiente: El segmento inferior representa un nuevo avance deltaico, con una mayor influencia de olas y tormentas, representando un descenso del nivel del mar y el avance de la línea de costa hacia el norte. El segmento medio se depositó en bahías interdistributarias, con la progradación de pequeños deltas de desborde. El segmento superior representa depósitos de llanuras de inundación en el plano costero del delta.

Formación Urumaco (12 a 7 Ma)

Litología: aflora en la parte noroccidental del Estado de Falcón, se extiende desde el Río Mitare al este, por 100 km aproximadamente hacia el oeste. En las cercanías al municipio de Urumaco, la unidad tiene un espesor de 2060m. Presenta una morfología de pequeñas colinas y depresiones longitudinales y se divide en 3 miembros: inferior (780m), medio (570m) y Superior (470m). Miembro Inferior: lodolitas grises laminadas con algunos niveles carbonosos y mantos delgados de carbón e intercalaciones de capas gruesas de calizas bioturbadas, de gran continuidad lateral. El miembro medio está conformado por lodolitas grises laminadas a macizas, con niveles carbonosos y mantos delgados de carbón, e intercalaciones de capas medias a muy gruesas de arenitas. El miembro superior no posee calizas, y predominan las lodolitas grises, macizas a laminadas, con algunos niveles de lodolitas carbonosas y carbón, intercaladas con capas medias a muy gruesas de arenitas.

Ambiente: La base de la Formación Urumaco representa un nuevo evento de inundación marina y ascenso relativo del nivel del mar, con depósitos acumulados en una gran bahía o estuario abierto expuesto a la acción de olas y tormentas. Esta bahía fue sometida a constantes inundaciones marinas de corta duración, representadas por las capas de calizas, que localmente pueden dejar depósitos de mar abierto. El Miembro Medio se pudo haber depositado hacia las márgenes de la gran bahía o estuario, con depósitos de canales distributarios y depósitos de desborde sobre bahías y pantanos y progradaciones del frente deltaico. El miembro superior se depositó en ambientes de llanuras aluviales a deltaicas. La tabla de agua seguramente fue alta, lo cual implica la formación de cuerpos de agua dulce permanentemente inundados y pantanos, que fueron el hábitat ideal para la gran cantidad de fósiles de reptiles que se han encontrado en esta formación.

Formación Codore (7 a 4 Ma)

Litología: La Formación Codore aflora en la parte norte del Estado de Falcón. La unidad está dividida en tres miembros: Jebe, Chiguaje y Algodones, que en general no presentan mayores rasgos topográficos y solo las calizas arenosas del Miembro Chiguaje forman un pequeño cerro de gran extensión lateral. El Miembro Jebe (475m) está caracterizado por lodolitas moteadas rojizas, con intercalaciones de capas delgadas a gruesas de arenitas masivas. El Miembro Chiguaje (65m) se conforma por lodolitas grises laminadas con intercalaciones de capas gruesas de arenitas ma-

sizas con abundantes restos de conchas. El Miembro Algodones (320m) está constituido por arenitas de grano fino a medio y lodolitas moteadas rojizas, similares a las del miembro inferior.

Ambiente: El Miembro Jebe fue depositado en llanuras aluviales a deltaicas pero con un nivel de la tabla de agua mucho más bajo que la Formación Urumaco, en el cual no se preserva la materia orgánica por la constante exposición a condiciones subaerias y de oxidación. El Miembro Chiguaje marca un nuevo evento de inundación marina, dejando un ambiente de bahía protegida de la acción del oleaje sobre la llanura deltaica. El Miembro Algodones tiene características similares a las del Miembro El Jebe.

Formación San Gregorio (4 a 2 Ma)

Litología: La formación San Gregorio aflora en la parte norte y central del Estado de Falcón, extendiéndose desde las cercanías de la ciudad de Coro al este, por aproximadamente 50 km al oeste, en el área del Río Urumaco con un espesor de 355m. La unidad está dividida en tres miembros, Vergel (230m), Cocuiza (55m) Río Seco (70m). Los miembros inferior y superior están caracterizados por capas de conglomerados con limitada extensión lateral (Vergel) y subtabulares (Río Seco), los cuales dejan una morfología de pequeñas colinas y depresiones alargadas en la dirección del rumbo de las capas, mientras que el miembro Cocuiza esta caracterizado por la presencia de capas gruesas de calizas de gran extensión lateral generando una topografía más pronunciada.

Ambiente: El Miembro Vergel representan depósitos de abanicos aluviales dístales a costeros. El Miembro Cocuiza representa una nueva inundación marina que se depositó en una bahía costera, con el desarrollo de grandes bancos de ostras, mientras que el El Miembro Río Seco, muestra una rápida progradación de abanicos aluviales.

