



## INFORME FINAL

**SINOPSIS BIBLIOGRÁFICA Y PARÁMETROS PETROFÍSICOS UTILIZADOS EN EL MODELAMIENTO DIRECTO DE LA TRANSECTA GEOFÍSICA UBICADA EN EL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA (VMM) ENTRE LOS MUNICIPIOS DE SAN PABLO (BOLÍVAR) Y SAN VICENTE DEL CHUCURÍ (SANTANDER)**

DOCUMENTO DE TRABAJO SGC

Bogotá, Diciembre de 2021



El futuro  
es de todos

Minenergía

*Sinopsis bibliográfica y parámetros petrofísicos utilizados en el modelamiento directo de la transecta geofísica ubicada en el Valle Medio del Magdalena (VMM) entre los municipios de San Pablo (Bolívar) y San Vicente del Chucurí (Santander).*

## **SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©**

Oscar Paredes Zapata

**Director General**

Mario Andrés Cuellar Cárdenas

**Director Técnico de Geociencias Básicas**

Julián Andrés López Isaza

**Coordinador Grupo de Trabajo Tectónica**

## **AUTORES**

Wilson Quintero Camacho

Carlos Eduardo González Idárraga

Freddy Tovar Vergara

Ángela Rocío Guevara Espitia

Valentina Blandón Hurtado

Julián Andrés López Isaza

**Grupo de Trabajo Tectónica**

**CITACIÓN:** QUINTERO, W., GONZÁLEZ, C., TOVAR, F., GUEVARA, A.R., BLANDÓN H., V. Y LÓPEZ ISAZA, J.A. (2021). *Sinopsis bibliográfica y parámetros petrofísicos utilizados en el modelamiento directo de la transecta geofísica ubicada en el Valle Medio del Magdalena (VMM) entre los municipios de San Pablo (Bolívar) y San Vicente del Chucurí (Santander)*. BOGOTA: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO.

*Sinopsis bibliográfica y parámetros petrofísicos utilizados en el modelamiento directo de la transecta geofísica ubicada en el Valle Medio del Magdalena (VMM) entre los municipios de San Pablo (Bolívar) y San Vicente del Chucurí (Santander).*

## CONTENIDO

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
Introducción	6
Objetivos	7
1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	8
1.1 Localización	8
1.2 Evolución geológica del VMM	9
1.2.1 Evento volcano-sedimentario Triásico Tardío – Jurásico medio	10
1.2.2 Evento magmático Jurásico tardío	12
1.2.3 Evento sedimentario Jurásico tardío	12
1.2.4 Evento sedimentario Cretácico – Eoceno temprano y magmatismo Albiano	12
1.2.5 Evento de inversión tectónica Eoceno – Oligoceno	14
1.2.6 Evento Mioceno - Reciente	14
1.3 Estratigrafía del norte del VMM	16
1.4 Configuración tectónica	21
2. TRANSECTA GEOFÍSICA EN EL VMM	23
2.1 Ubicación	23
2.2 Parámetros geológicos	24
2.3 Parámetros geofísicos teóricos	26
2.3.1 Parámetros Regionales	26
2.3.2 Parámetros Locales	27
2.4 Síntesis de la compilación de propiedades petrofísicas	35
3. MODELACION	39
3.1 Modelos regionales.	39
3.2 Modelos Locales	40
3.3 Modelación directa	44
3.3.1 Datos para el modelamiento	46
3.3.2 Modelos directos	49
4. RESULTADOS	53
5. CONCLUSIONES	55

*Sinopsis bibliográfica y parámetros petrofísicos utilizados en el modelamiento directo de la transecta geofísica ubicada en el Valle Medio del Magdalena (VMM) entre los municipios de San Pablo (Bolívar) y San Vicente del Chucurí (Santander).*

## RESUMEN

La adquisición de información geofísica a partir de métodos potenciales y electromagnéticos en el sector centro-norte de la cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) por parte del Grupo de Trabajo Tectónica de la Dirección de Geociencias Básicas (DGB), inicia con la fase pre-campo constituida en 3 etapas. La primera etapa corresponde a la sinopsis bibliográfica del área de estudio, recopilando alrededor de 100 textos, de los cuales se escogen 43, que fueron considerados los de mayor aporte en los aspectos evolutivo, estratigráfico, tectónico y geofísico.

La segunda etapa se centra en la extracción de los parámetros petrofísicos teóricos y la construcción de tablas de datos tanto para el marco geológico como para el geofísico, el geológico enfocado en datos de espesores y litologías predominantes para las distintas formaciones geológicas; el geofísico, enfocado en datos de gravimetría, magnetometría, sísmica, pozos y magnetotelúrica, al igual que datos netamente físicos como densidad, susceptibilidad y resistividad.

La tercera etapa consiste en la modelación directa, tomando como insumo los parámetros petrofísicos teóricos de la segunda etapa y varios modelos iniciales del subsuelo construidos por el equipo de geofísica del Grupo de Trabajo Tectónica a partir de la información bibliográfica de la etapa uno. Este ejercicio permite comparar la respuesta calculada a partir de este modelo con los datos observados en diferentes bases de datos globales y las propias del Servicio Geológico Colombiano (SGC), las cuales han sido utilizadas en la construcción de mapas gravimétricos y magnetométricos del territorio colombiano.

El modelamiento directo de métodos potenciales, gravimetría y magnetometría, estuvo soportado en las propiedades petrofísicas indagadas en la compilación de información, mientras que los modelos teóricos regionales y locales no ajustaron con las anomalías observadas. De este modo, el modelo propuesto se caracteriza porque el VMM está soportado en una placa fracturada y actualmente sellada contra la misma placa, con dos abombamientos prominentes producto quizá de la compresión. Tal configuración facilita la construcción de un basamento más inclinado al oriente de la cuenta y por consiguiente un mayor espesor sedimentario que puede alcanzar los 12 km de espesor.

*Sinopsis bibliográfica y parámetros petrofísicos utilizados en el modelamiento directo de la transecta geofísica ubicada en el Valle Medio del Magdalena (VMM) entre los municipios de San Pablo (Bolívar) y San Vicente del Chucurí (Santander).*

## **ABSTRACT**

The acquisition of geophysical information from potential and electromagnetic methods in the north-central sector of the Valle Medio del Magdalena basin (VMM) by the Tectonics Working Group of the Direction of Basic Geosciences (DGB), begins with the phase pre-field constituted in 3 stages. The first stage corresponds to the bibliographic synopsis of the study area, compiling around 100 texts, of which 43 are chosen, which were considered the ones with the greatest contribution in the evolutionary, stratigraphic, tectonic and geophysical aspects.

The second stage focuses on the extraction of the theoretical petrophysical parameters and the construction of data tables for both the geological and geophysical framework, the geological one focused on data of thicknesses and predominant lithologies for the different geological formations; the geophysicist of the group, focused on data from gravimetry, magnetometry, seismic, wells and magnetotelluric, as well as purely physical data such as density, susceptibility and resistivity.

The third stage consists of direct modeling, taking as input the theoretical petrophysical parameters of the second stage and several initial subsoil models built by the geophysics team from the bibliographic information of stage one. This exercise permits comparing the response calculated from this model with the data observed in different global databases and those of the Colombian Geological Service (SGC), which have been used in the construction of gravimetric and magnetometric maps of the Colombian territory.

The direct modeling of potential methods, gravimetry and magnetometry, was supported by the petrophysical properties investigated in the compilation of information, while the regional and local theoretical models did not adjust with the observed anomalies. In this way, the proposed model is characterized in that the VMM is supported in a fractured oceanic plate and currently sealed against the same plate, with two prominent bulges, perhaps the product of compression. Such configuration facilitates the construction of a more inclined basement to the east of the account and consequently a greater sedimentary thickness that can reach 12 km thick.

## INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto de Gestión - Evolución Tectónica de Colombia se describe la fase “Integración de Métodos Potenciales”, la cual está ligada a la realización de una caracterización geofísica a través de un perfil o transecto a lo largo del Valle Medio del Magdalena (VMM). El levantamiento de datos se centra en los métodos de gravimetría, magnetometría y magnetotelúrica, complementado con datos de diferentes registros de pozo disponibles de información de la industria del petróleo.

Con el fin de plantear un rango y modelo inicial de los parámetros petrofísicos existentes en el área de trabajo, se lleva a cabo una fase pre-campo dividida en tres etapas denominadas sinopsis, parámetros petrofísicos y modelación. Para la primera etapa se lleva a cabo una revisión bibliográfica del área de estudio, en la cual se pretende entender los aspectos geológico-geofísicos más relevantes del sector centro – norte de la cuenca del VMM en cuanto a sus límites geográficos y geológicos, los diferentes eventos evolutivos que han llevado a la distribución actual de la cuenca, la estratigrafía generalizada enfocada a las unidades más relevantes, la configuración tectónica regional y los diferentes estudios geofísicos realizados en la zona.

La segunda etapa se ha centrado en la construcción de tablas de datos donde se almacenan los parámetros petrofísicos teóricos recolectados a partir de la sinopsis bibliográfica. Estos datos están clasificados dentro de un marco geológico cuando se relacionan a valores de espesores y litologías predominantes para cada una de las unidades geológicas. Entre tanto, para el marco geofísico se clasificaron los parámetros físicos como densidad, susceptibilidad y resistividad, a partir de gravimetría, magnetometría, sísmica, pozos y magnetotelúrica, realizados en la zona de estudio. Igualmente se ubican y grafican perfiles geofísicos, desarrollados en otras investigaciones, en cercanías al área de interés, con el fin de obtener información lo más relevante posible.

La tercera etapa, correspondiente a la modelación, permite la comparación de los resultados calculados obtenidos a partir de varios modelos iniciales construidos a partir de los datos de la etapa uno, complementados con los valores teóricos establecidos en la etapa dos, y los observados en bases de datos globales y locales para el área de trabajo.

Finalizadas las tres etapas pre-campo, se espera tener una idea inicial de los posibles modelos del subsuelo y los parámetros petrofísicos esperados en las campañas de adquisición y fases de procesamiento e interpretación; al igual que establecer la congruencia entre la información bibliográfica consultada y la configuración real de este sector centro-norte del VMM.

*Sinopsis bibliográfica y parámetros petrofísicos utilizados en el modelamiento directo de la transecta geofísica ubicada en el Valle Medio del Magdalena (VMM) entre los municipios de San Pablo (Bolívar) y San Vicente del Chucurí (Santander).*

## **OBJETIVOS**

Realizar la sinopsis bibliográfica del área de interés con el fin de comprender los aspectos evolutivo, estratigráfico, tectónico y geofísico. A su vez, crear la columna generalizada del sector de influencia de las campañas de adquisición de datos magnetotelúricos, gravimétricos y magnéticos en la cuenca.

Establecer, a partir de la revisión bibliográfica, los parámetros petrofísicos teóricos para el área de estudio del transecto, con el fin de estimar los rangos numéricos esperados de resistividad, densidad y susceptibilidad de las unidades geológicas en superficie y profundidad.

Modelar teóricamente la respuesta geofísica esperada, a partir de modelos iniciales construidos con la información geológica-geofísica analizada para el sector centro-norte del VMM.

DOCUMENTO DE TRABAJO SGC

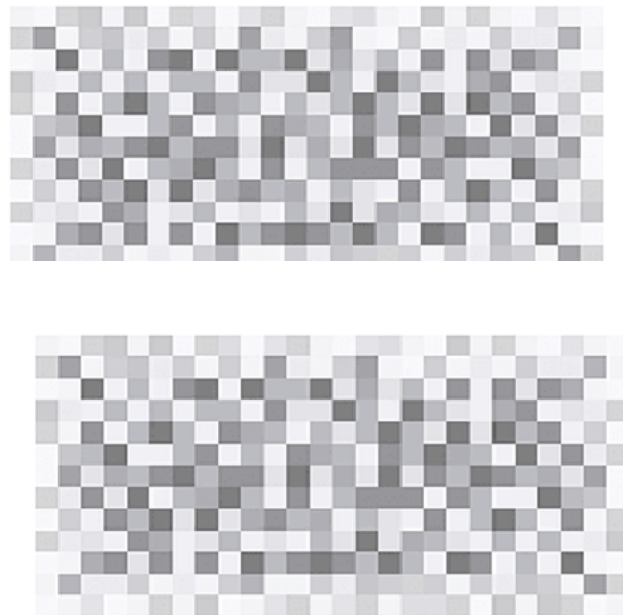
*Sinopsis bibliográfica y parámetros petrofísicos utilizados en el modelamiento directo de la transecta geofísica ubicada en el Valle Medio del Magdalena (VMM) entre los municipios de San Pablo (Bolívar) y San Vicente del Chucurí (Santander).*

## 1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Como trabajo previo a las actividades de toma de datos en las campañas de campo, el equipo de geofísica del grupo de tectónica del Servicio Geológico Colombiano (SGC) recolecta información bibliográfica en artículos académicos, informes de empresas públicas y privadas y en las bases de datos internas de la entidad con el fin de establecer las características geológicas (estratigrafía, tectónica y evolución) regionales y locales del área de interés, así como también información relevante de carácter geofísico obtenida en adquisiciones previas por otros grupos de investigadores y que fueron documentadas en diferentes tipos de textos.

### 1.1 Localización

La subcuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) se encuentra ubicada en la denominada cuenca del Magdalena (Malagón *et al.*, 2016); la cual también incluye las subcuencas Valle Superior y Valle Inferior del Magdalena. En la Figura 1, estas subcuencas están identificadas con los números 16, 21 y 15, respectivamente. Toda la cuenca ha sido considerada como una cuenca intramontana que separa la cordillera Oriental (CO) al este y la cordillera Central (CC) al oeste.



**Figura 1.** Ubicación de la cuenca del Valle Medio del Magdalena.



*Sinopsis bibliográfica y parámetros petrofísicos utilizados en el modelamiento directo de la transecta geofísica ubicada en el Valle Medio del Magdalena (VMM) entre los municipios de San Pablo (Bolívar) y San Vicente del Chucurí (Santander).*

Se observan las 23 cuencas petrolíferas de Colombia donde las líneas de color rojo representan lineamientos tectono-estructurales que han servido para delimitar algunas de ellas. En el recuadro de color beige se identifican con un número cada una de las cuencas y el recuadro de color rojo resalta la ubicación del Valle Medio del Magdalena

Fuente: Modificado de Malagón *et al.* (2016)

Los límites de la cuenca del VMM son: Sistema de Fallas Bituima y La Salina, al sureste; Sistema de Fallas Espíritu Santo, al norte; sedimentos Neógenos en el flanco este de la serranía de San Lucas y la cordillera Central, al oeste; Cinturón Plegado de Girardot, al sur y Sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta, al noreste (Figura 2).

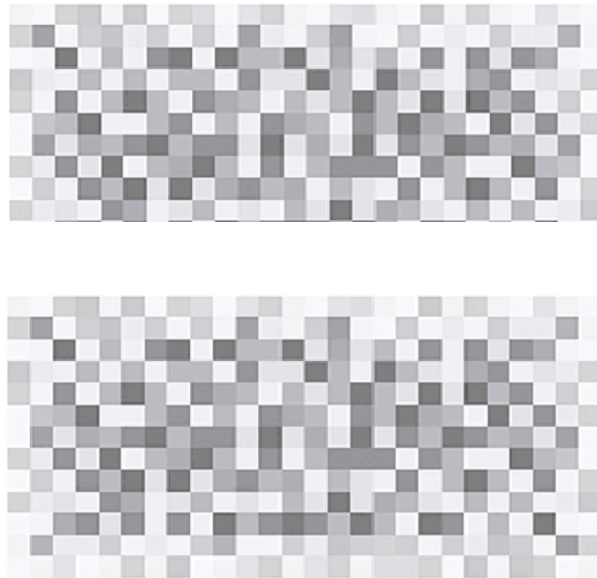


Figura 2. Límites de la cuenca del VMM

El polígono de color amarillo representa la cuenca del VMM y las líneas de color rojo hacen alusión a lineamientos estructurales, donde las líneas discontinuas corresponden a sistemas de fallas inferidas. SL: serranía de San Lucas; CC: cordillera Central; R.S.Z.: Sistema de Fallas Romeral; E.S.F.S.: Sistema de Fallas Espíritu Santo; B.S.M.F.: Sistema de Falla Bucaramanga - Santa Marta; B.S.F.S.: Sistema de Fallas Bituima - La Salina; GFB: Cinturón Plegado de Girardot

Fuente: Sarmiento (2011)

## 1.2 Evolución geológica del VMM

Para Caballero *et al.* (2010), Cooper *et al.* (1995), Horton *et al.* (2020), Mojica y Franco (1990), Rolon (2004), Sarmiento *et al.* (2015) y Sarmiento (2011), entre otros, la evolución geológica de la cuenca del VMM se caracteriza por diferentes etapas o fases tectónicas de distensión y compresión desde el Mesozoico hasta el presente. En

*Sinopsis bibliográfica y parámetros petrofísicos utilizados en el modelamiento directo de la transecta geofísica ubicada en el Valle Medio del Magdalena (VMM) entre los municipios de San Pablo (Bolívar) y San Vicente del Chucurí (Santander).*

particular para Sarmiento (2011), el VMM, la cordillera Oriental y los llanos Orientales, se desarrollaron desde el Jurásico tardío al Cretácico temprano como una cuenca de trasarco (*backarc*); la cual estuvo sujeta a esfuerzos distensivos y compresivos como consecuencia de la ruptura de Pangea y la subducción de la paleoplaca Farallón, respectivamente (Figura 3 parte a). Durante el Cretácico tardío se produce un hundimiento térmico que genera subsidencia regional que cubre los rasgos geográficos ya mencionados; mientras que en el sector occidental de esta región se acrecentó una meseta oceánica que provocó un extenso levantamiento y exhumación de rocas, iniciando un frente de deformación por compresión orogénica, en el que se delinearón los límites laterales de la cuenca del VMM (Figura 3 parte b). Durante el Paleoceno al Eoceno medio la deformación por compresión y el levantamiento subsecuente de la cordillera Central generaron una cuenca regional de antepaís, cubriendo los rasgos geográficos ya mencionados y concentrando la deformación en el borde oriental del actual VMM (Figura 3 parte c). Desde el Eoceno tardío hasta el Oligoceno temprano ocurrió una ruptura de la cuenca de antepaís producto de la migración hacia el este del frente orogénico, generando levantamiento de la cuenca como resultado de la inversión tectónica (Figura 3 parte d). Finalmente, durante el Oligoceno tardío y hasta el Mioceno se llega a la configuración actual, la cual ha sido clasificada como una cuenca intermontana (VMM), con las fallas La Salina y Palestina como principales rasgos estructurales limitantes (Figura 3 parte e).

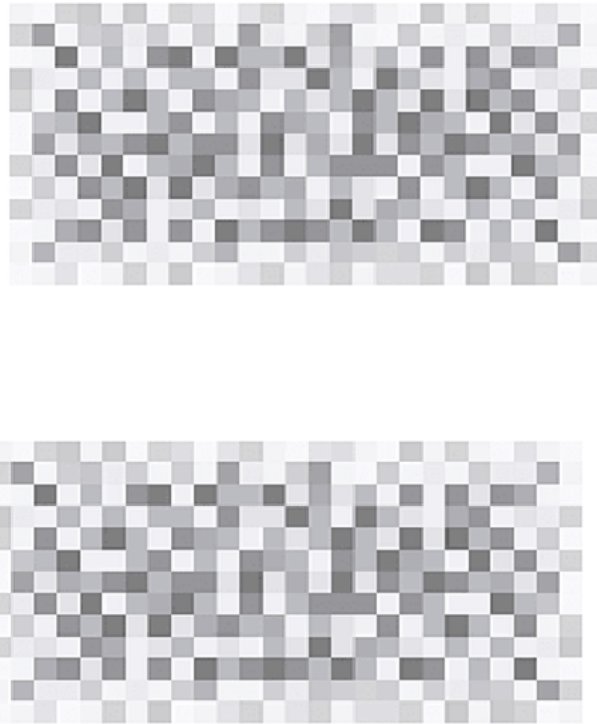
Por otro lado, de acuerdo con Clavijo *et al.* (2008), Mojica y Franco (1990) y Sarmiento *et al.* (2015), los eventos más relevantes en la evolución de la cuenca son: depositación volcano-sedimentaria del Triásico tardío al Jurásico medio, magmatismo y sedimentación del Jurásico tardío, sedimentación del Cretácico al Eoceno temprano y magmatismo Albiano, inversión tectónica del Eoceno al Oligoceno y depositación del Mioceno al Reciente.

### **1.2.1 Evento volcano-sedimentario Triásico Tardío – Jurásico medio**

Durante el Triásico y Jurásico, las tensiones desencadenadas por la ruptura de Pangea produjeron estiramiento de la litosfera, generando grietas estrechas (<150 km de ancho) en los sitios del actual VMM y el flanco occidental de la cordillera Oriental (Sarmiento, 2011).

El proceso de distensión inicia en una franja estrecha litológicamente compuesta por rocas metamórficas de edad Paleozoico (Sarmiento *et al.*, 2015), la cual empieza a hundirse en bloques escalonados de fallas normales. Se forman dos principales sistemas de fallas, uno con tendencia NNE y otro con tendencia SW-NE (Clavijo *et al.*, 2008).

*Sinopsis bibliográfica y parámetros petrofísicos utilizados en el modelamiento directo de la transecta geofísica ubicada en el Valle Medio del Magdalena (VMM) entre los municipios de San Pablo (Bolívar) y San Vicente del Chucurí (Santander).*



**Figura 3.** Evolución tectónica regional del VMM, cordillera Oriental y llanos Orientales desde el Jurásico al presente

Los recuadros a, b, c, d y e de la figura representan el modelo evolutivo de Horton *et al.* (2010, como se citó en Sarmiento, 2011) desde el Jurásico Tardío al presente. En este esquema se muestra la evolución y configuración actual del VMM, producto de la distensión y compresión en este lapso de tiempo. En la figura se resalta la subducción (línea de color rojo), la dirección de los esfuerzos (flechas de color negro) y las principales fallas con la dirección del movimiento (líneas y flechas de color rojo)

Fuente: Horton *et al.* (2010, como se citó en Sarmiento, 2011)

En la Figura 4 se muestra un esquema de este primer evento volcánico-sedimentario desde el Triásico tardío hasta el Jurásico medio (Clavijo *et al.*, 2008), donde se resalta que el fallamiento domina la depositación de los ambientes fluviales (Formación Súdán) y de mar somero (Formación Morrocoyal - Bocas); todo esto acompañado de volcanismo explosivo andesítico y riolítico, que genera una mezcla volcánico-sedimentaria (Formación Noreán).

*Sinopsis bibliográfica y parámetros petrofísicos utilizados en el modelamiento directo de la transecta geofísica ubicada en el Valle Medio del Magdalena (VMM) entre los municipios de San Pablo (Bolívar) y San Vicente del Chucurí (Santander).*



**Figura 4.** Esquema del evento Triásico tardío - Jurásico medio  
Las paleofallas de Palestina? y Bucaramanga controlan la depositación de las formaciones Sudan, Morrocoyal, Bocas y Norean; este evento también está acompañado de magmatismo evidenciado en diques y silos Jurásicos y granitoídes de San Lucas  
Fuente: Clavijo *et al.* (2008)

### **1.2.2 Evento magmático Jurásico tardío**

Durante el Jurásico tardío se presenta un fuerte magmatismo que afecta principalmente a la Formación Noreán. Se caracteriza por diques y silos de composición andesítica, dacítica y cuerpos hipoabisales dioríticos (Clavijo *et al.*, 2008).

### **1.2.3 Evento sedimentario Jurásico tardío**

Finalizando el período Jurásico, el graben ha ganado profundidad y se ha ampliado lateralmente permitiendo la acumulación de los sedimentos de la Formación Noreán. En este punto se generan una fase de movimientos epirogénicos y una fase terminal del volcanismo Jurásico, teniendo como consecuencia el levantamiento de los bloques periféricos, los cuales son expuestos a la erosión, generando el depósito de la Formación Arenal (Figura 5) (Clavijo *et al.*, 2008).

### **1.2.4 Evento sedimentario Cretácico – Eoceno temprano y magmatismo Albiano**

Durante este tiempo se logra la depositación de una gran secuencia sedimentaria desde el Cretácico temprano hasta el límite Paleoceno – Eoceno medio (Rolon, 2004).

*Sinopsis bibliográfica y parámetros petrofísicos utilizados en el modelamiento directo de la transecta geofísica ubicada en el Valle Medio del Magdalena (VMM) entre los municipios de San Pablo (Bolívar) y San Vicente del Chucurí (Santander).*

Las formaciones que se encuentran en este rango de tiempo corresponden al conjunto que inicia con la Formación Rosablanca y culmina en la Formación Umir.



**Figura 5.** Esquema del evento Jurásico tardío – Cretácico temprano  
Se presenta la configuración de la cuenca VMM con su respectiva sedimentación para las formaciones Arenal, Rosablanca y Paja, sobre un basamento Jurásico – Paleozoico  
Fuente: Clavijo *et al.* (2008)

Clavijo *et al.* (2008) propone que la zona actualmente denominada como VMM, inicia su transgresión durante el Berriasiano – Valanginiano con sedimentación de carbonatos de plataforma (Formación Rosablanca). En el Hauteriviano – Barremiano se depositan carbonatos de plataforma somera y lodos calcáreos de plataforma interna que terminan con evidencias de regresión (Formación Paja). En el Aptiano no hay registro sedimentario por descenso del nivel del mar, lo cual generó una discontinuidad estratigráfica con la Formación Simití y sus lodos calcáreos de plataforma somera. En el Albiano se desarrolló una importante actividad magmática de composición intermedia a ácida, en lo que es hoy la cordillera Central. Durante el Cenomaniano se continúa con ambientes someros evidenciados en el registro de calizas (Formación El Salto). Posteriormente, durante el Turoniano – Coniaciano la cuenca presenta subsidencia y alcanza su máxima superficie de inundación, dando paso a la depositación de lodolitas y calizas de la Formación La Luna (Fabre, 1985, como se citó en Clavijo *et al.*, 2008).

En Clavijo *et al.* (2008), acorde con Sarmiento (2002), la sedimentación en la cuenca del VMM termina con la somerización de la misma durante el Campaniano – Maastrichtiano (Formación Umir) y el posterior predominio de sedimentos continentales depositados en el Paleoceno (Formación Lisama), en respuesta al inicio de la inversión tectónica y el levantamiento de la cordillera Central (Figura 6).