



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO PALEOAMBIENTAL DE LA FORMACIÓN MAGDALENA, EN CHAZUMBA,
OAX.

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA GEÓLOGA
PRESENTA:
AXÉL MORALES YÁÑEZ

DIRECTORA: DRA. CLAUDIA CRISTINA MENDOZA ROSALES.

Ciudad Universitaria 2014



RESUMEN

Con base en análisis de facies y de procedencia se describe a la formación Magdalena en las cercanías de Chazumba, Oax. Se propone un estratotipo con base en una columna estratigráfica de 66.8 m medida a detalle, la cual se caracteriza de la base a la cima por un ortoconglomerado basal , un miembro de cuarzoarenita y litarenita con estratificación cruzada, estructura herring bone, laminación paralela, intraclastos skolitos y thalassinoides, La parte alta está menos expuesta y consiste en ortoconglomerado y arenisca. La Formación Magdalena pasa transicionalmente a la Caliza Coyotepec. Los clásticos provienen principalmente de la erosión de las rocas del complejo Acatlán. Se reconoce la influencia del clima y la tectónica en la creación del espacio de acomodo para la acumulación de la formación. La formación Magdalena se acumuló en una zona transicional, específicamente en una zona de playa en donde se pueden interpretar eventos de cambios del nivel medio del mar y la influencia de tempestades. Se presenta un modelo de depósito y un bosquejo paleogeográfico para el tiempo de su acumulación. Ante la carencia de contenido fosilífero se propone una edad del Barremiano por su posición estratigráfica y su posible correlación con la unidad San Vicente, con la Formación Zapotitlán y con el miembro Agua del Cordero.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes	1
Localización y vías de acceso.....	2
Objetivo	3
Método de trabajo	3
MARCO GEOLÓGICO	5
Basamento	6
Formación Piedra Hueca	6
Formación Otlaltepec.....	6
Formación Agua del Cordero	7
Caliza Coyotepec	7
ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN MAGDALENA	9
SEDIMENTOLOGÍA DE LA FORMACIÓN MAGDALENA.....	13
Análisis de facies:	13
Análisis de paleocorrientes.	18
Modelo de facies.	19
ANÁLISIS DE PROCEDENCIA.....	20
Conteo de clastos en conglomerados.	20
Conteo de puntos en areniscas	22
DISCUSIÓN.....	26
CONCLUSIONES	29
Bibliografía	30
APÉNDICE PETROGRAFÍA Y TABLAS.....	33
Muestra FM1.....	34
Muestra FM2.....	35
Muestra FM3A.....	36
Muestra FM3B.....	37
Muestra FM4.....	38

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La formación Magdalena es descrita por primera vez por Ortega-Guerrero (1989) como una sucesión terrígena carbonatada, conformada por conglomerado, arenisca, lutita y marga, de 200m de espesor; de edad aptiana-albiana, la cual sobreyace discordantemente a la unidad Otlaltepec, a las rocas del Complejo Acatlán y a la unidad Piedra Hueca. Subyace transicionalmente a la Caliza Coyotepec y en partes está cubierta por caliche o derrubios.

Los afloramientos nombrados por Ortega-Guerrero (1989) como formación Magdalena fueron descritos por Ramos Leal (1989) como parte de la Unidad Otlaltepec, compuesta por conglomerado oligomíctico, litarenita, grauvaca lítica y toba híbrida, con un espesor de 800 m, perteneciente al Jurásico tardío. Ramos Leal (1989) la considera como la componente superior de la Formación Tecomazúchil.

Moran-Zenteno *et al.* (1993) reportan que la formación Magdalena, está constituida por conglomerado, arenisca, lutita y marga, no presenta fósiles, y reporta un espesor de 200 m; le asignan una edad aptiana-albiana. Sobreyace discordantemente a las unidades jurásicas y parcialmente al Complejo Acatlán y subyace transicionalmente a la Caliza Coyotepec.

Cruz-Cruz (2012) asigna a la formación Magdalena al Aptiano-Albiano, en su parte basal contiene conglomerados blancos y guindas intercalados con horizontes arenosos, sus componentes clásticos son fragmentos de granodiorita, esquistos y cuarzo blanco y negro subredondeados. En su parte media comienzan a aparecer intercalaciones arcillosas y horizontes bentoníticos, en su parte superior predomina la fracción fina arcillosa cambiando a carbonatada; sobreyace discordantemente a las unidades Piedra Hueca y Otlaltepec y subyace concordantemente a la Caliza Coyotepec. Concuerda con los trabajos antecedentes en la ausencia de contenido fósil.

Ortega-Guerrero (1989) interpreta a la formación Magdalena como un evento marino transgresivo y que en el lineamiento Tecajete con una dirección NE-SW se observa un desplazamiento probablemente debido a la erosión que afecta a la formación Magdalena, además que el rumbo de las capas de esta unidad podría estar asociado a pliegues de arrastre originados por fallamiento lateral izquierdo. Ramos Leal (1989) no menciona a la formación Magdalena en sí, si no que la toma como parte de la unidad Otlaltepec y dice que su formación es resultado de una transgresión marina, en un ambiente de litoral con influencia de actividad volcánica. Cruz-Cruz (2012) indica que la formación Magdalena se desarrolló en un ambiente continental pasando a litoral debido a una transgresión durante el Albiano-Cenomaniano.

Del análisis de los trabajos previos se observa que ninguno de los autores que han trabajado en la región describe los procesos de sedimentación de la formación Magdalena ni precisa el ambiente de depósito. En este trabajo se analizarán las características litológicas y estructuras primarias asociadas a la formación Magdalena para definir su ambiente de depósito y realizar una interpretación sobre el paleogeográfico de la misma.

Para ello, se levantó una columna estratigráfica detallada, se describieron las estructuras sedimentarias primarias presentes, se hizo un análisis de paleocorrientes, análisis modales de conglomerados y recolección de muestras de mano. En el trabajo en gabinete se procedió a la elaboración de láminas delgadas de muestras seleccionadas, para realizar análisis de petrografía y procedencia.

Localización y vías de acceso

La zona de estudio se encuentra en el límite sureste del estado de Puebla con el noreste del estado de Oaxaca, en las cartas del INEGI E14B85 "Atzumba" a escala 1:50,000 y E14-6 "Orizaba" a escala 1:250,000, entre las coordenadas 97°38'50.65"N, 18°12'45.25"W y 97°37'24.42"N, 18°11'50.28"W, como se observa en la Figura 1. La zona de estudio tiene una morfología contrastada como se aprecia en la Figura 2.



Figura 1. Localización y vías de acceso a zona de estudio y levantamiento de columna estratigráfica.

Los poblados cercanos a la zona son: en el límite con Oaxaca al suroeste el poblado de Chazumba, y al sur, San José Trujapan; en el límite con Puebla al oriente se encuentra Plan de San Miguel; la ciudad más cercana es Tehuacán, a 46.3 km al noreste. Para llegar al lugar, se toma la carretera federal 125 Tehuacán - Huajuapán y en el límite que marca un letrero entre Oaxaca y Puebla se toma una desviación por una brecha de la cual se recorren aproximadamente 1,400 m hasta el área de trabajo.

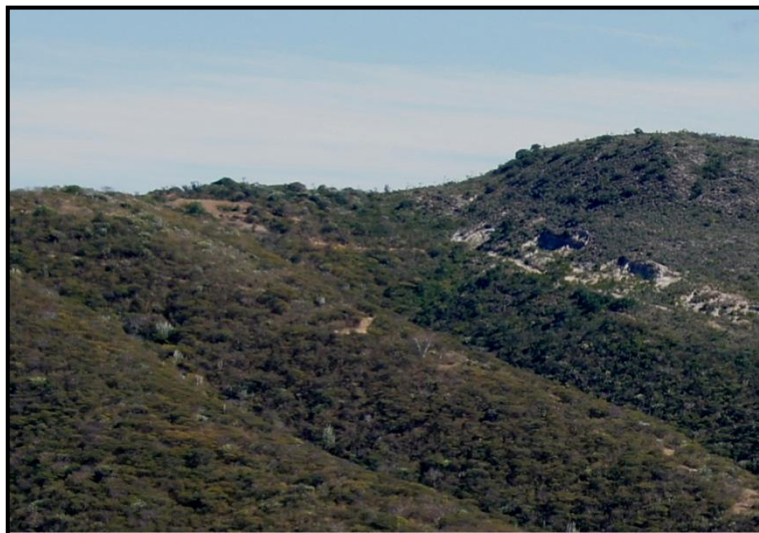


Figura 2. Panorámica del área de estudio hacia el este. El basamento (Complejo Acatlán) se observa con un color ocre oscuro en el sector norte. La ruptura de pendiente corresponde con la sucesión sedimentaria, note el escarpe labrado en la Caliza Coyotepec.

Objetivo

Describir litoestratigráficamente a la formación Magdalena, con base en análisis de facies y de procedencia, para proponer un modelo de depósito y la paleogeografía correspondiente.

Método de trabajo

Para realizar este trabajo y llegar a las respectivas conclusiones se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Se recopiló la información bibliográfica existente sobre la zona, se procedió a su análisis. Es importante mencionar que los trabajos son escasos y corresponden principalmente a tres tesis: Ramos-Leal (1989), Ortega-Guerrero (1989) y Cruz-Cruz (2012). Respecto a trabajos publicados, sólo está el artículo de Moran-Zenteno *et al.* (1993).
- Se llevó a cabo una salida de campo de 15 días, durante la cual se midió una columna estratigráfica completa de la formación Magdalena y se recolectaron muestras para el análisis petrográfico y de procedencia.

- Para el análisis petrográfico se realizaron 5 láminas delgadas de las muestras recolectadas en campo para conocer su composición mineralógica y posteriormente seleccionar algunas para el análisis de procedencia.
- Se realizó un análisis petrológico de los conglomerados encontrados en la zona, para lo cual se describió su composición mineralógica, tamaño, redondez y esfericidad.
- A partir de las estructuras primarias presentes, se realizó un análisis de paleocorrientes con los datos recolectados en campo en donde se tomaron datos de las paleocorrientes, que fueron posteriormente analizadas en el programa Stereo32, al rotarlas al mismo tiempo que al rumbo del estrato hasta hacer a este último horizontal.
- Con los datos de la columna estratigráfica se pudieron recolectar datos sedimentológicos como litología, estructuras primarias, y contenido fósil; con los cuales se procedió al análisis de facies y posteriormente a proponer el ambiente de depósito.
- Litoestratigrafía. A partir de la revisión de los trabajos previos y con base en los datos colectados en el trabajo de campo y gabinete, se determinó la estratigrafía de la zona de estudio, revisando en específico lo que corresponde a la formación Magdalena.
- Utilizando los datos de paleocorrientes se pudo apreciar la orientación e inclinación originales de los estratos y la dirección de las corrientes logrando así proponer un mapa paleogeográfico que considera la estructura original y ambiente de depósito de la formación Magdalena en la zona estudiada y compararla con otras zonas donde aflora esta formación.

MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se encuentra en el sector norte del Terreno Mixteco (Sedlock *et al.*, 1993) como se puede observar en la Figura 3. Al noreste del área de estudio (Elías-Herrera *et al.*, 2005) reportan la sutura del Terreno Mixteco con el Terreno Zapoteco representado por la Falla Caltepec en la que se emplazó el Granito Cozahuico el cual contiene bloques xenolíticos de gneises anfibolíticos, graníticos y migmatíticos bandeados con espesores que varían desde unos metros hasta 500 m de ancho y 7 km de largo; su edad reportada es de 270.4 ± 2.6 Ma, aflora un plutón leucocrático de grano medio a grueso.

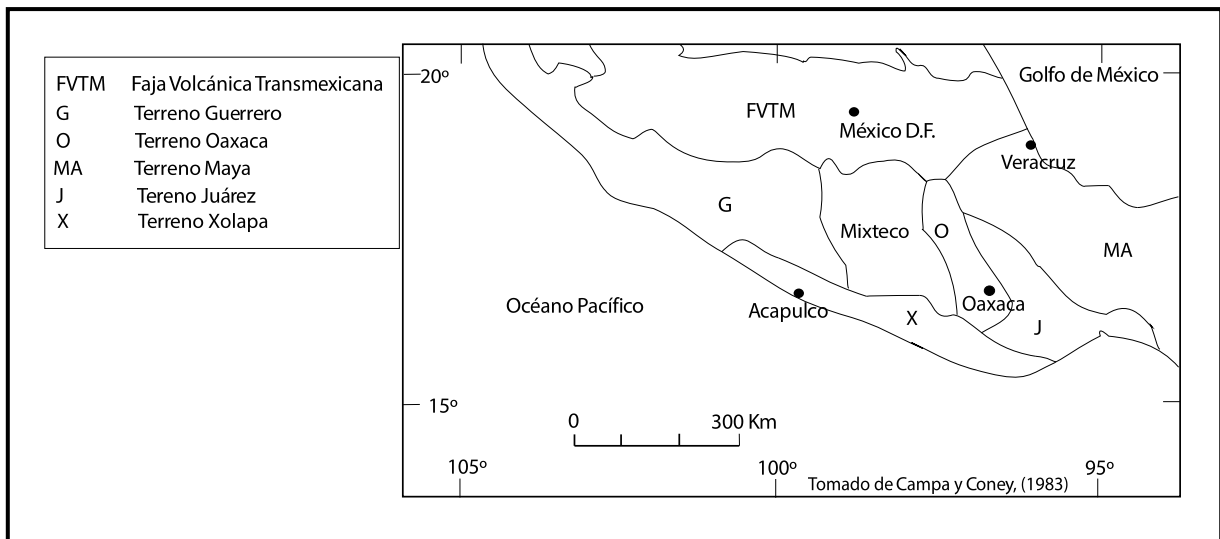


Figura 3. Ubicación del Terreno Mixteco.

Basamento

El Complejo Acatlán, así nombrado por Ortega-Gutiérrez en 1978, conforma el basamento del terreno Mixteco que se localiza en los estados de Puebla, Oaxaca, Guerrero y Morelos, tiene una edad premississípica. En el área de estudio afloran rocas de la Formación Chazumba. Está compuesta por esquistos pelíticos micáceos (principalmente de biotita) y cuarcitas o rocas silíceas (metagrauvas), en contacto superior está cubierto en discordancia por la unidad Otlaltepec y la unidad Magdalena (Ortega Guerrero, 1989). De edad Pensilvánico tardío-Pérmico temprano. Está cubierto discordantemente por la Formación Matzitzí (Centeno-García *et al.*, 2009). El complejo se yuxtapone en su lado oriental contra el Complejo Oaxaqueño, dentro del cual se encuentra el Grupo Petlalcingo, interpretado como un margen pasivo del Paleozoico inferior o una rinchera (*forearc*) depositada en el océano Iapetus o en el margen de Gondwana, del océano Rheico (Keppie, 2006). Talavera-Mendoza *et al.* (2005) propone que el Complejo Acatlán se formó durante la etapa final de la integración de Pangea; el evento tectonotermal Jurásico temprano que afectó a las unidades Chazumba y Cosoltepec para producir la Migmatita Magdalena está relacionado con la ruptura de Pangea y la apertura del Golfo de México.

Formación Piedra Hueca.

Ortega-Guerrero (1989) menciona que la formación Piedra Hueca es una sucesión de conglomerado, arenisca, limolita y lutita de color rojo que se encuentra en contacto inferior discordantemente con el Complejo Acatlán y sobre el Tronco de Totoltepec; su límite superior está en discordancia angular con la formación Otlaltepec y hacia el este de San Pablo Ameyaltepec en discordancia con la formación Magdalena. Diversos ejemplares fósiles de vegetales han sido reportados con edades de Jurásico Inferior y Medio, Moran-Zenteno *et al.* (1993). Silva-Romo y Mendoza-Rosales (2000) indican que la formación Piedra Hueca tiene un contenido rico en arcosas y conglomerados con gravas de granitoides, con un espesor aproximado de 800m, se encontraron fósiles vegetales; subyace discordantemente a la formación Otlaltepec.

Formación Otlaltepec.

Sucesión alternada de arcosas, lutitas y limolitas, tiene un espesor de 1,500 m aproximadamente, sobreyace discordantemente a las rocas del Complejo Acatlán, al Tronco de Totoltepec y a la formación Piedra Hueca con una discordancia angular, su contacto superior es discordante con la formación Magdalena (Moran-Zenteno, *et al.*, 1993); dichos

autores, le asignan una edad comprendida entre el Jurásico Medio y el Cretácico Inferior. Ramos Leal (1989) menciona que la formación Otlaltepec está constituida por conglomerados oligomícticos, litarenitas, grauvacas líticas, limolitas y tobas híbridas, tiene un espesor aproximado de 800 m, con una edad del Jurásico Superior; se encuentra en contacto inferior con el miembro "Santa Cruz" y discordantemente sobre el Complejo Acatlán. (Figura 4).

Formación Agua del Cordero.

Calderón (1956) la describe como un miembro de la Formación Zapotitlán, mientras que Barceló (1978) propone se considere como formación. Está constituida por una sucesión de conglomerados polimícticos y areniscas, de edad Barremiano Superior-Aptiano. Sobreyace discordantemente a las rocas del Complejo Acatlán mientras que, su contacto superior es concordante con la Formación San Juan Raya.

Caliza Coyotepec

Constituida por biomicrita parcialmente dolomitizada con nódulos de pedernal negro interestratificado con lutitas que se incrementan hacia la cima, se sugiere una edad Albiano – Cenomaniano (Moran-Zenteno, *et al.*, 1993). Su contacto inferior es transicional con la formación Magdalena, está cubierta por aluvión en la parte centro-occidental y hacia el oriente en contacto tectónico con la formación Agua del Cordero (Mendoza Rosales, 2010 y Ferreira & Islas, 2009), sucesión previamente denominada como Unidad Pozo Hondo, por Ortega-Guerrero (1989). (Figura 4).

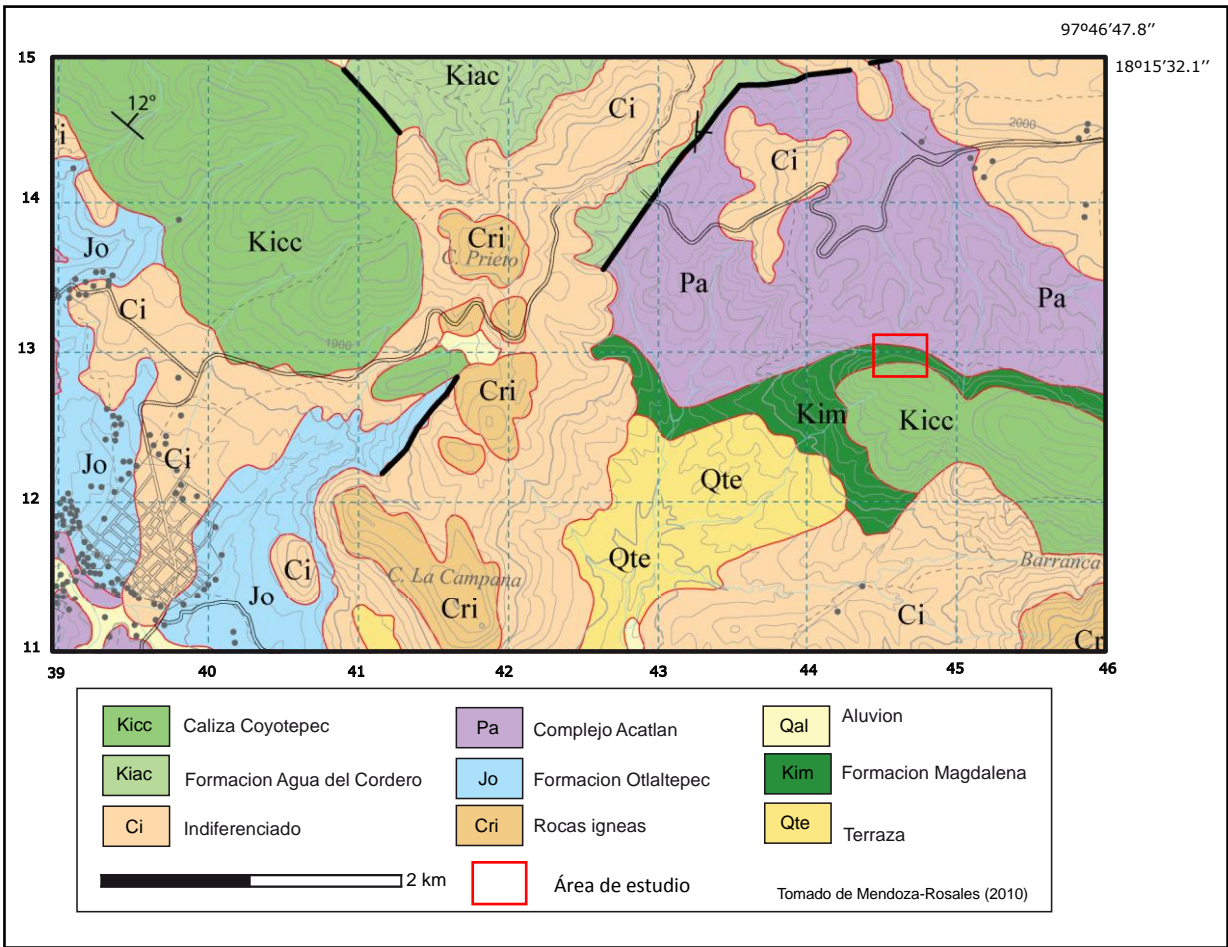


Figura 4. Mapa geológico de la región.

ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN MAGDALENA

La formación Magdalena es una unidad litoestratigráfica poco estudiada, sin un esquema de clasificación establecido. En este trabajo haremos una propuesta informal de la misma según lo especifica el Código Estratigráfico Norteamericano (Barragán *et al.*, 2010) en su Artículo 4o, en el apartado de observaciones, inciso (a), número (5), ya que este trabajo, al ser una tesis, no cumple con los requisitos de publicación.

Ortega-Guerrero (1989) es la primera en mencionar esta formación, la describe como una sucesión de conglomerado, arenisca, lutita y marga que aflora en el Arroyo Magdalena, propone una edad aptiana-albiana, en contacto inferior discordante con la formación Otlaltepec, el complejo Acatlán y la unidad Piedra Hueca y en contacto superior transicional con la Caliza Coyotepec. Cruz-Cruz (2012) la describe como conglomerados blancos y guindas intercalados con horizontes arenosos, con fragmentos de granodiorita, esquistos y cuarzo blanco además de arcillas con horizontes bentoníticos en su parte media y en su parte superior arcillas finas y con los mismos contactos que mencionan Ortega-Guerrero (1989) y Moran-Zenteno *et al.* (1993).

La formación Magdalena aflora al NW del área de estudio, al sur de San Vicente Coyotepec, al suroeste de Santa Catarina Tehuixtla, a lo largo del lado noreste de la loma Encinera, cruza el río Magdalena, del cual adopta el nombre, recorre los cerros La Cruz, La Majada Torina, Castillo, Rincón el Nopal, cruza las cañadas el Mezquite y Palma Amarilla, el cerro Cueva el Bravo y la barranca del mismo nombre, y llega hasta el noreste del poblado Chazumba. La zona de estudio de este trabajo aflora al noreste de Chazumba, al suroeste de San Miguel y al sur de San Sebastián Frontera, en una franja NW-SE (Figura 1).

Su localidad tipo se encuentra en el Arroyo Magdalena, de donde toma su nombre, a 3.5 km al noreste de Santo Tomás Otlaltepec, en la Cañada Palma Amarilla y en las barrancas Chirimiyo y El Encino, al sureste de San Felipe Otlaltepec (Ortega-Guerrero, 1989). Proponemos un nuevo estratotipo de unidad en el área de estudio donde aflora como una franja de orientación N-S con un ancho de 66.8 m, a 7 km al noreste de Santiago Chazumba, Oaxaca y a 46.3 km al suroeste de Tehuacán, Puebla; donde se encuentra el letrero de división entre los estados de Oaxaca y Puebla se toma una brecha hacia el sureste con una longitud aproximada de 1,400 m que recorre zonas pertenecientes al Complejo Acatlán. El estratotipo que se propone para la formación Magdalena se encuentra en el entorno de las coordenadas 97°38'50.65"N, 18°12'45.25"W y 97°37'24.42"N, 18°11'50.28"W.

Consiste en su base de conglomerado monomítico con cuarzos que varían de 160 a 5 mm, con redondez y esfericidad variables, con matriz rojiza de tamaño de grano fino a medio en estratos de 0.20 a 1.50 m de espesor, con laminación paralela y gradación grano creciente, a

continuación presenta cuarzo arenitas y arenitas líticas (Apéndice 1, muestras FM1, FM2, FM3A y FM3B, Figura 5) de grano medio a grueso, en estratos que varían de 0.40 a 2.0 m de espesor, que presentan estratificación cruzada, planar, ondulada y de espina de pescado, además de gradación grano creciente y múltiple inversa, rizaduras, icnofósiles y bioturbación, en la parte media y hacia la cima de la formación encontramos también conglomerado monomíctico con cuarzos que varían de 3 a 80 mm, con matriz de arena media de color grisáceo en estratos de 2.10 a 2.50 m, presenta estratificación cruzada y gradación múltiple y múltiple inversa con una muy delgada capa intermedia de de 0.40 m de arenisca de grano medio y estratificación cruzada. Todo esto cubierto por una delgada capa de limolita y caliche.

En este trabajo se midió una columna estratigráfica (Figura 5), que pertenece a la formación Magdalena a partir de su contacto con los esquistos de la Formación Acatlán se midió un espesor continuo de 31 m y otros 35 m con afloramientos discontinuos hasta en 66.8 m. Ortega-Guerrero (1989) le asigna un espesor de 200 m en el Arroyo Magdalena mientras que Moran-Zenteno *et al.* (1993) reportan un espesor de 200 m a 3.5 km al noreste de Santo Tomás Otlaltepec. En el área de estudio, la formación Magdalena se encuentra en contacto inferior por medio de una discordancia con el Complejo Acatlán, mientras que el superior es transicional con la Caliza Coyotepec. En el Arroyo Magdalena, al sur de Ixcaquixtla, Ortega-Guerrero (1989) reporta que la unidad descansa concordantemente sobre la Formación Otlaltepec.

Se le ha asignado una edad Barremiano-Aptiano con base en su posición estratigráfica y en datos históricos que mencionan que se correlaciona con las capas rojas de la Sierra de Tentzo, la formación San Isidro en la región de Tezoatlán y con el grupo Tlaxiaco, del oeste de Oaxaca, (Ortega-Guerrero, 1989). Moran-Zenteno (1993) correlaciona a la formación Magdalena con la unidad San Vicente, unidad volcánica del Cretácico Inferior que aflora al noreste del Estado de Oaxaca en la región de Tezoatlán. De acuerdo a los datos recolectados y examinados en este trabajo se puede interpretar que la formación puede tener una edad Barremiana, periodo en el cual se dio un evento de transgresión debido a un aumento en el volumen de corteza oceánica y un aumento en el nivel del mar (Haq, 2013), interpretación que coincide con los datos de la columna estratigráfica: en sus primeros 30 m nos habla de una sucesión de playa con nivel del mar en ascenso.

Se correlaciona con la unidad San Vicente de edad Hauteriviano superior-Barremiano (Moran-Zenteno *et al.*, 1993); con la Formación Zapotitlán a la cual Buitrón-Sánchez (1970) y Alencaster (1956) le asignan una edad de Barremiano inferior; con el miembro Agua del Cordero para la cual Ortega-Gutiérrez (1970) propone una edad de Barremiano a Aptiano; con el miembro Agua del Burro, que Barceló-Duarte (1978) propone una edad de

Barremiano Tardío; y con la unidad Santa Catarina, de edad Barremiana-Aptiana (Moran-Zenteno *et al.*, 1993).

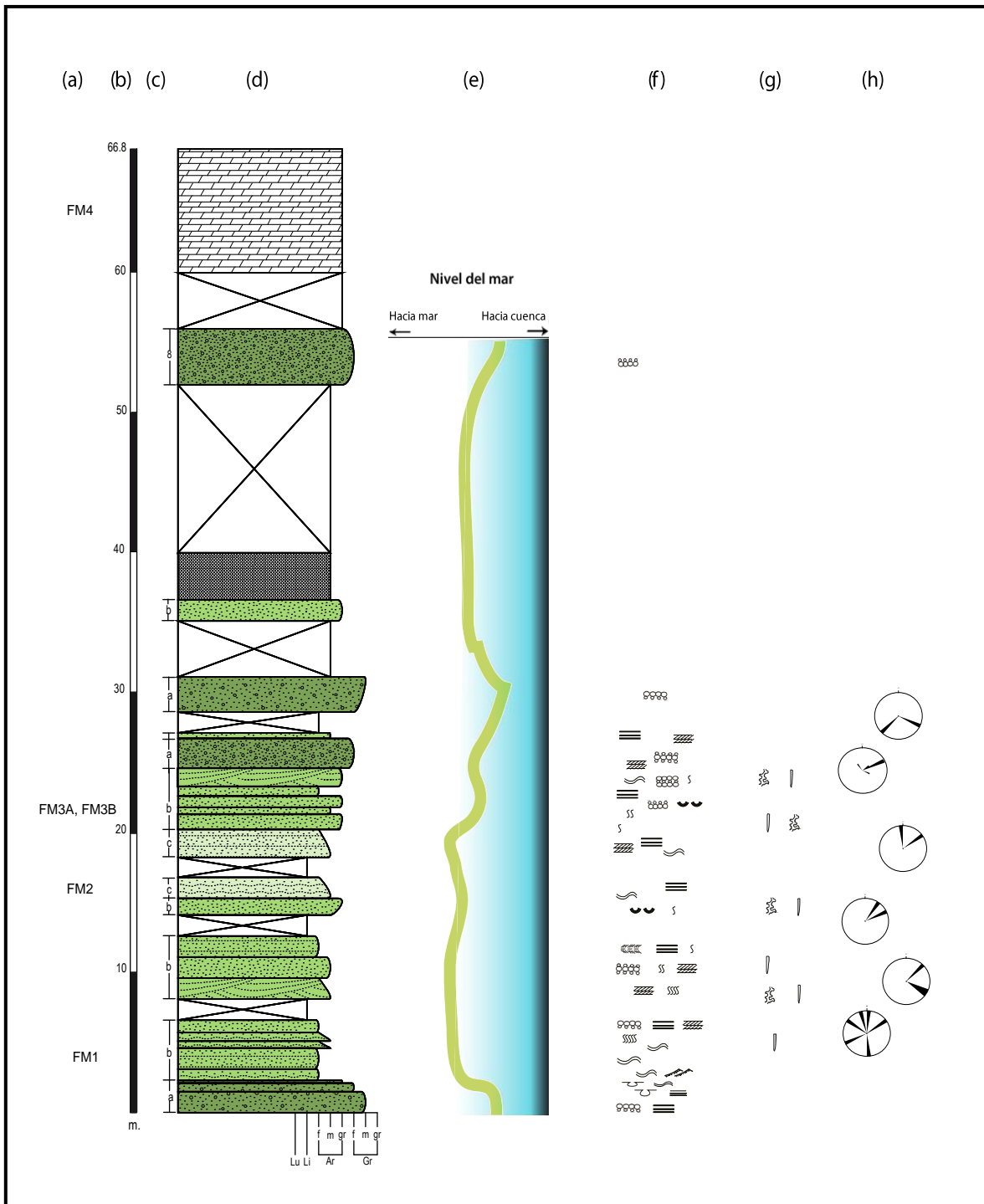


Figura 5. Columna estratigráfica de la formación Magdalena medida en las cercanías del límite entre Puebla y Oaxaca. (a) estrato del cual se tomó muestra en campo para su posterior petrografía, (b) escala de la columna, (c) facies designada a cada estrato, (d) Columna levantada en campo compuesta por conglomerados y areniscas, en estratos, en la base se observa una escala del tamaño de grano de los estratos, (e) la línea verde indica los desplazamientos del mar hacia tierra o hacia cuenca, (f) estructuras sedimentarias encontradas, (g) tipo de fósiles registrados en los respectivos estratos, (h) paleocorrientes registradas ya rotadas a su estado original, la tendencia indica la dirección de corrientes.

SEDIMENTOLOGÍA DE LA FORMACIÓN MAGDALENA

Para describir la sedimentología de la formación Magdalena se procedió a la medición de una columna estratigráfica detallada con un espesor de 66.8 metros (Figura 5), con la cual se realizó un **análisis de facies**, se describió la litología, los cambios granulométricos, las estructuras primarias, así como el color de la roca meteorizada y sin alterar, para lo cual se utilizó el esquema de color de Munsell.

Para caracterizar los conglomerados presentes realizamos un análisis modal de los mismos utilizando el método por área, de acuerdo a la metodología denominada "conteo de clastos" (Howard, 1993) contando entre 279 y 405 clastos en cada conglomerado, utilizando una malla impresa en acetato con una separación de 5 cm.

Con base en las estructuras primarias identificadas se tomaron datos de seis estratos que presentaban estratificación cruzada, con el objeto de realizar un **análisis de paleocorrientes**. Se levantaron 6 estaciones, en las cuales se tomaron rumbo y echado de los estratos y de la laminación cruzada contenida en estos. Para conocer su orientación original en el programa Stereo32 se capturaron por separado cada uno de los datos observados (rumbo y echado del estrato y sus respectivas estructuras sedimentarias y laminación cruzada). Después se realizó la corrección estructural con base en los rumbos y echados de los estratos hasta llevarlos a la horizontal restando su valor hasta hacerlo cero, los datos resultantes se graficaron en rosetas dentro del mismo programa para conocer la orientación de la línea de costa y el comportamiento de las corrientes.

Se realizó el **análisis petrográfico** de cinco muestras de areniscas representativas de la unidad, recolectadas en campo. Se seleccionaron tres muestras para realizar un análisis modal por el método Gazzi-Dickinson (Ingersoll *et al.*, 1984) por lo que se procedió al conteo de 500 puntos de cada muestra y los resultados se graficaron en el diagrama ternario QFL (Dott, 1964 y Pettijohn *et al.*, 1972) para clasificar más precisamente las muestras examinadas, además de su **análisis de procedencia** para el cual se graficaron los datos en diagramas ternarios (Dickinson, 1985).

Análisis de facies:

Se identificaron 3 facies (Tabla 1):

Facies A.

Conglomerado monomítico de gránulos de cuarzo con formas tabulares y discoidales, que van de subredondeados a subangulosos. Se encuentra soportado por los clastos, está

moderadamente clasificado; presenta una fábrica anisotrópica con clastos tabulares orientados en forma paralela a la superficie de estratificación; la matriz es de arena media color al fresco naranja pálido (10YR 8/2) y de meteorización café rojizo oscuro (10R 3/4) con cuarzo y cementante de sílice. Presenta gradación granocreciente, en ocasiones tiene un arreglo simétrico, también se presenta laminación paralela. (Figura 6).



Figura 6. Facies A. Conglomerado de cuarzo con matriz de arena rojiza, de esquina inferior izquierda a superior derecha se observa gradación granocreciente. Formación Magdalena.

Interpretación:

El material fue transportado originalmente como un flujo de detritos dada la variabilidad granulométrica y la angulosidad de los clastos de cuarzo, además del arreglo grano creciente que presentan las partículas. La fábrica alineada nos indica que se trataba de un flujo pseudoplástico de baja densidad, en un régimen de flujo bajo-alto (Poché, 1993), resultado de esto es la laminación paralela en el fondo, sin embargo en la cima ya encontramos laminación ondulada lo que nos indica que el régimen de flujo fue decreciendo.

Facies B

Cuarzoarenita (Figura 7), color al fresco gris claro (N7) y de meteorización café rojizo oscuro (10R 3/4), el tamaño de grano es de arena fina a media, el tamaño de grano es de fino a medio, (Apéndice 1, muestra FM1, FM3A y FM3B), presenta estratificación cruzada, laminación ondulada, paralela y de escamas de pescado o *herringbone*, rizaduras asimétricas, en algunos estratos se observa gradación grano creciente y en otros múltiple

inversa; se llegan a observar intraclastos; la bioturbación es de niveles 5 y 4 (Tucker, 2003), con icnofósiles correspondientes a los icnogéneros de *skolithos* y *thalassionoides* (Figura 8), además de materia orgánica diseminada.

Tabla 1. Caracterización de campo y microscópica de las litofacies identificadas en la formación Magdalena en su estratotipo en la localidad de estudio.

Facies	Descripción	Estructuras primarias	Proceso de depósito
A	Conglomerado monomítico con matriz de arena media con clastos de cuarzo; los clastos son de subredondeados a subangulosos, de 0.5 a 16 cm, de forma entre tabular y discoidal.	Gradación granocreciente, laminación paralela en la base y estratificación ondulada en la parte superior.	Régimen de flujo superior.
B	Cuarzoarenita con gránulos de cuarzo, entre equidimensional y discoidal, anguloso a subredondeado, micas deformadas, fragmentos de roca ígnea y esquistos, feldespatos de forma equidimensional, subredondeados, con alta esfericidad	Laminación ondulada, paralela y de espina de pescado (<i>herringbone</i>); estratificación cruzada, rizaduras asimétricas, intraclastos, en algunos estratos gradación grano creciente o decreciente.	Régimen de flujo inferior.
C	Sublitarenita, gránulos de cuarzo monocristalinos, de forma equidimensional y discoidal, micas deformadas, fragmentos de roca volcánicos y esquistos.	Laminación ondulada en la base y paralela en medio y la cima, estratificación cruzada, gradación múltiple normal.	Régimen de flujo inferior.

Al microscopio se observa bien clasificada, con granos de forma tabular y equidimensional, redondeamiento de anguloso a subredondeado, baja esfericidad, su contacto es longitudinal y suturado, su fábrica anisotrópica, además de un estado maduro y presenta disolución por presión, su composición es predominantemente de cuarzo monocristalino (80%) con una extinción ondulante, los granos de cuarzo se presentan alineados y rodeados por micas, las cuales representan un 10% de la composición de la muestra además se presentan deformadas y alargadas, el restante 10% lo componen fragmentos de roca volcánica que se encuentran de manera aislada.



Figura 7. Facies B. Cuarzo arenita estratificada. Formación Magdalena.



Figura 8. Presencia de icnofósiles en cuarzo arenitas de facies B. En la muestra se observan varios puntos oscuros, se resalta uno rodeado por una línea negra.

Interpretación.

Por sus características, la facies B se subdivide en dos partes, primero se empezó a acumular bajo un régimen de flujo bajo-bajo indicado por la laminación ondulada y las rizaduras, las cuales solo se presentan en este régimen, estas condiciones de relativa calma favorecieron la bioturbación, la cual se presenta en sus niveles más altos (Ver figura 5), además al observar los minerales al

microscopio se observan micas deformadas probablemente debido a la presión litostática;

en la segunda parte al encontrar laminación *herringbone*, decremento en la bioturbación, laminación paralela y paleocorrientes polimodales, podemos hablar de una zona con un régimen de flujo bajo-alto, y de una dirección de flujo combinada resultado de los cambios en el nivel eustático del mar a corto plazo todo esto provocado por eventos de tormenta o aumento en el oleaje o mareas.

Facies C.

Arenita lítica color de meteorización café rojizo moderado 10 R 4/6, al fresco gris claro N7, (Muestra FM2, Apéndice I). Presenta laminación ondulada en la base, y paralela en medio, y hacia la cima estratificación cruzada plana e intraclastos (Figura 9), además de tamaño de grano de arena de fino a grueso, al microscopio se observa bien clasificada, con forma equidimensional y discoidal, presenta redondeamiento muy anguloso y redondeado además de baja esfericidad y contacto suturado. Compuesta en su mayoría por cuarzo monocristalino (70%) que está muy fracturado, presenta inclusiones minerales y extinción ondulada, en algunas partes se puede observar alineación entre clastos, 15% de la muestra presenta micas (biotitas) deformadas que en algunas zonas se observa rodeando los cuarzos, el 15% restante está compuesto por fragmentos de rocas metamórficas (esquistos) y volcánicas



Figura 9. Intraclastos en Facies C.

Interpretación.

Esta facies se desarrolló como resultado de una actividad más intensa, esto se observa al cambiar de laminación ondulada en la base a paralela en la cima lo cual nos habla de un aumento en el régimen de flujo, el arrastre de detritos fue más accidentado, posiblemente por oleaje de gran intensidad que se observa en el tamaño de arenas gruesas y la ausencia de bioturbación, se observa en la base una zona con intraclastos. El que la muestra esté soportada por granos nos habla de un fuerte retrabajo debido a corrientes.

Análisis de paleocorrientes.

Se realizó un análisis de paleocorrientes en los diferentes niveles en los que se observa estratificación cruzada, con el objeto de definir las direcciones principales de flujo y la variabilidad de las mismas y determinar la dirección original de las corrientes durante su depósito.

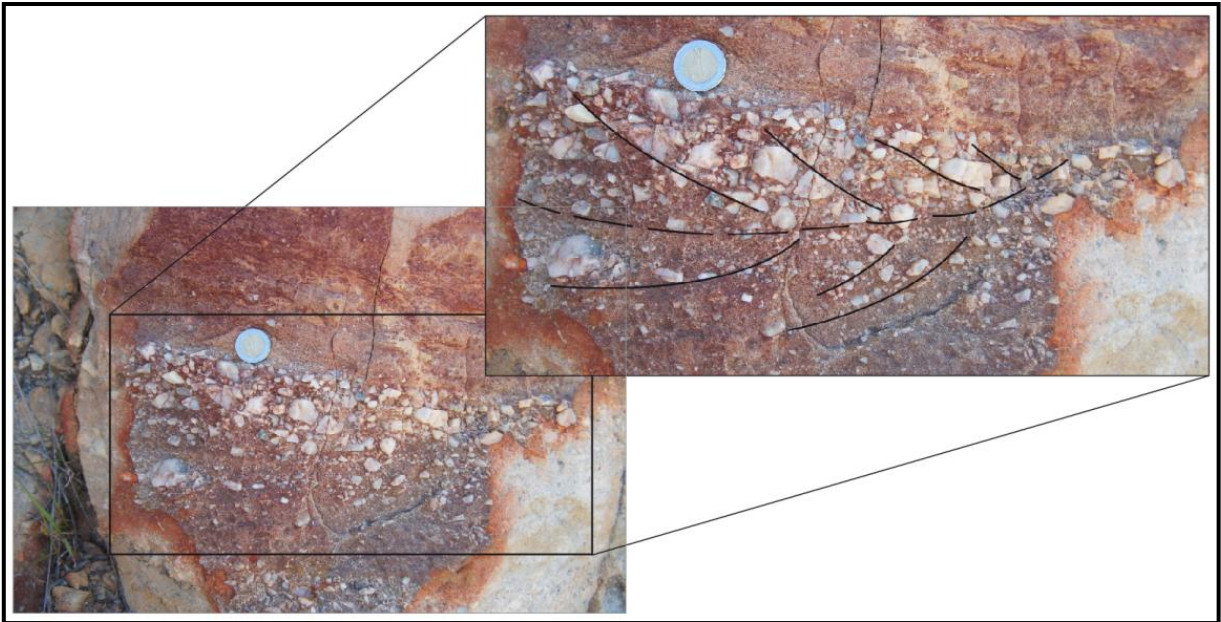


Figura 10. Afloramiento correspondiente a la facies B, en la figura se puede apreciar la laminación tipo espina de pescado (herringbone) definida por las gravas alineadas en dos direcciones opuestas que nos indican el cambio en la dirección de corriente.

Los resultados (Ver Figuras 5(h) y 10) indican un patrón polimodal en la base de la formación, lo cual podemos interpretar como un ambiente de depósito de plataforma marina somera resultado de la combinación del oleaje y probablemente un evento de tormenta. En las cuatro siguientes estaciones se observa un patrón unimodal con rumbo NE que nos indica un ambiente de plataforma marina somera donde resalta el predominio de una corriente de marea.

Del análisis de las paleocorrientes se concluye una orientación principal de la línea de costa de N-NW y la dirección principal de la corriente es al NE, lo cual coincide con datos de otras zonas donde aflora la formación Magdalena.

Modelo de facies.

Con base en el análisis de facies realizado se interpreta que la formación Magdalena se acumuló en una zona de playa, formada por el arrastre de material proveniente de zonas más altas y por los depósitos costeros. Al examinar la columna estratigráfica se observa una sucesión de arena y grava, la combinación de estructuras sedimentarias y litología nos permite proponer un modelo de facies desarrollado en la zona de costa, más específicamente se trata de una costa de inmersión debido al aumento y disminución del nivel del mar. Al inicio del depósito se observa un conglomerado basal de clastos de cuarzo (facies A), que representa el inicio de la sedimentación litoral. Este conglomerado se encuentra cubierto por una intercalación de facies de arenisca de grano fino y medio (Facies B y C). (Figura 5 (d) y figura 18 d).

La facies B, muestra una costa dominada por mareas, con un régimen de flujo variable, en la base encontramos simetría inversa en la gradación y estratificación paralela que nos habla de un régimen de flujo superior que va disminuyendo conforme vamos encontrando estratificación ondulada y cruzada donde el sedimento fue transportado como carga de fondo en un régimen de flujo bajo-bajo, arrastrado por los movimientos circulares del oleaje, el cual influyó ligeramente en el registro sedimentario de la base de la unidad durante los eventos de tormenta indicados en el análisis de paleocorrientes (Figura 5 (h)) que es polimodal y que propician un aumento en el nivel del mar, todo esto nos habla de una zona de *shoreface* inferior, que pasa a *shoreface* superior cuando se observa estratificación paralela y un aumento en el régimen de flujo a alto el cual disminuye inmediatamente al encontrar estratificación de espinas de pescado, encontramos un de un régimen de flujo bajo-alto, donde la dirección de flujo es combinada, y las paleocorrientes cambian a unimodales las cuales nos indican el dominio de una corriente de marea, todo esto propició un aumento en la bioturbación mostrada en los icnofósiles encontrados (*skolithos* y *thalassinoides*) (Figura 8), que se desarrollan principalmente en costas arenosas, por debajo del nivel base de oleaje y nos hablan de eventos de relativa quietud.

En la facies C encontramos el predominio de laminación paralela en la base que indica un régimen de flujo alto, y ondulada en la cima. Nos encontramos dentro del *foreshore*, al principio del cual la velocidad va aumentando conforme avanza el flujo debido a la deformación de los movimientos circulares a elípticos de las olas, causados por la mezcla de estas con el flujo que regresa y la disminución de distancia al sedimento que se encuentra en la base, distancia que al hacerse nula provoca el levantamiento y ruptura de las olas que se estrellan contra la playa, todo este proceso no permiten el desarrollo de bioturbación y se borra cualquier estructura sedimentaria existente.

ANÁLISIS DE PROCEDENCIA

Con el objeto de conocer la fuente del sedimento desde el punto de vista tectónico se procedió a realizar un análisis de procedencia de los conglomerados y areniscas que afloran en el área de estudio. Ya que en trabajos anteriores se ha mencionado la existencia de la formación, mas no su origen y proceso de formación, en este trabajo se pretende dar una explicación al proceso de sedimentación de la formación Magdalena utilizando los conteos de puntos tanto en conglomerados como en areniscas de los cuales se hace un porcentaje de composición de clastos y se grafican en diagramas de composición Q-F-L y de procedencia Qt-F-L para identificar precisamente su tipo de roca y su origen.

Conteo de clastos en conglomerados.

De cada uno de los conglomerados encontrados en la columna estratigráfica medida (cuatro en total), se realizó un conteo de clastos, con el fin de conocer tamaño, forma, redondez y composición de estos, y elaborar un análisis estadístico y determinar su procedencia.

Para el análisis de los conglomerados se recurrió a la metodología "conteo de clastos" (Howard, 1993), utilizando el método por área, que consiste en utilizar una retícula con espaciamiento proporcional al tamaño de clastos, en este caso se utilizó una malla impresa en acetato con 5 cm de separación, la cual se colocó sobre cada conglomerado y en los nodos que coinciden con clastos se hace el conteo, en estos 4 conglomerados se contaron entre 407 y 617 puntos y se describieron las características de 100 clastos de cada uno, se obtuvieron los siguientes resultados:

En los cuatro conglomerados encontrados y descritos en la columna estratigráfica sus componentes son cuarzo de origen metamórfico en mayor porcentaje y matriz de arena fina en menor porcentaje, la matriz del primer conglomerado es rojiza y conforme ascendemos estratigráficamente va perdiendo esa coloración llegando a grisácea. En los 4 niveles (Columna en la Figura 5) encontramos conglomerado monomítico, soportado por clastos (ortoconglomerado). De base a cima descubrimos que el primer conglomerado está moderadamente clasificado, hay más variedad en el tamaño de grano y presenta los clastos de tamaño más grande (35 mm) lo que nos dice que este fue depositado durante un régimen de flujo alto; en los cuatro conglomerados encontramos una tendencia de tamaño de entre 25 y 35 mm, la redondez tiene una tendencia a 0.3 y 0.5, y la esfericidad varía entre 0.5 y 0.7 (Waddell, 1932).

Se aprecia en la Figura 11 que el porcentaje de matriz disminuye del 40% (Muestra Cg1) al 20% (Muestra Cg4) conforme ascendemos estratigráficamente, de lo cual puede

interpretarse que se va dando una pérdida de material oxidante al darse el cambio de color de rojizo a grisáceo, que los conglomerados de la cima sufrieron más retrabajo o un proceso de transporte más largo además de un posible cambio de ambiente o cambio tectónico, observados en la Figura 5 (h), en la última roseta, donde la tendencia cambió a SE, en la columna de la misma figura se observa una capa de caliche cubriendo el tercer conglomerado lo que se puede interpretar como un cambio ambiental de transicional a continental.

Tabla 2. Conteo de clastos y porcentaje en conglomerados.

formación Magdalena								
Clastos/Conglomerado	Cg1		Cg2		Cg3		Cg4	
	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%
Cuarzo metamórfico	279	64	391	64	301	74	405	82
Matriz	158	36	226	36	106	26	84	17
Total de clastos	279	64	391	64	301	74	405	82
Total de puntos	437		617		407		489	
Malla (cm)	5cm		5cm		5cm		5cm	

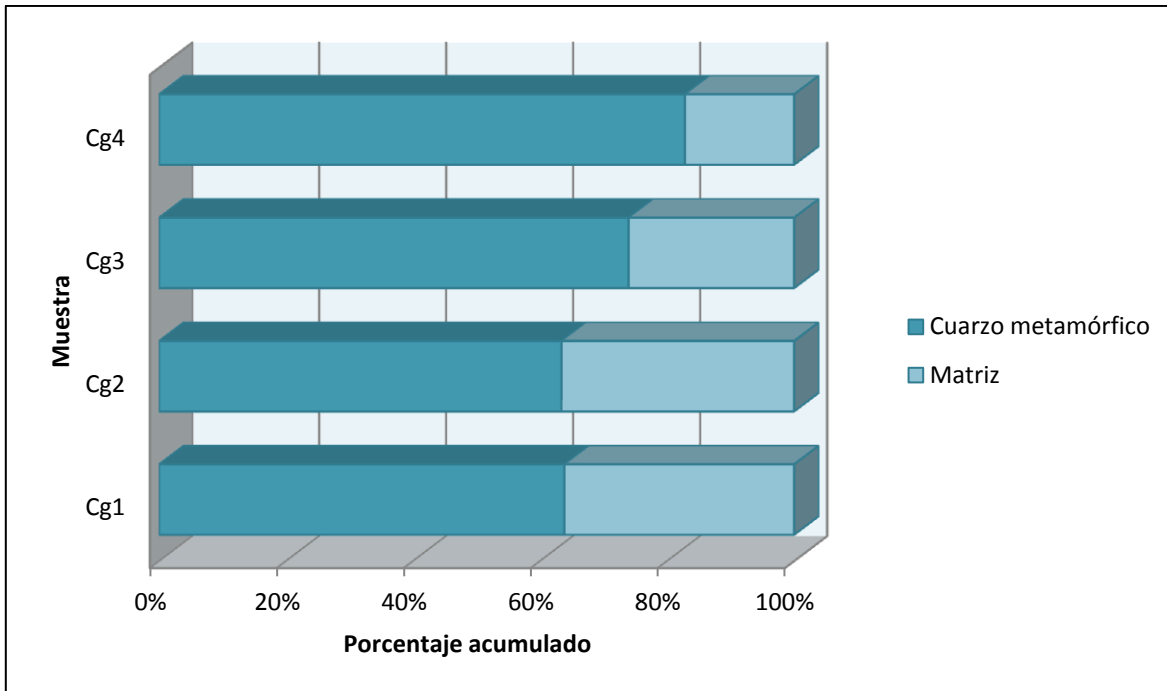


Figura 11. Porcentaje de cuarzo y matriz totales que constituyen cada conglomerado.

Conteo de puntos en areniscas

El conteo de puntos sirve para conocer el porcentaje de componentes minerales o de clastos de una muestra y así definir más precisamente el tipo de roca que tenemos y su procedencia. El método consiste en utilizar un contador mecánico constituido por un soporte que puede desplazarse horizontal o verticalmente y se coloca en la platina giratoria del microscopio petrográfico y a su vez se conecta a una máquina o contador que se programa para que salte cada ciertas micras y en donde crucen los hilos del ocular se registre el número de punto y manualmente se le designa si es un mineral o



Figura 12. Clasificación de muestras de areniscas en el diagrama ternario Q-F-L. (con base en Dott, 1964, y Pettijohn et al., 1972).

clasto y tipos de estos.

En este trabajo se contaron 500 puntos para disminuir el rango de error (entre el 4.4 y el 3.1%, Van der Plas y Tobi, 1965), de ese conteo se discriminaron puntos donde los hilos cayeron en poros o en químicos pertenecientes al bálsamo que se utiliza en la realización de las láminas delgadas (Tabla 3) con los clastos contados se graficaron los resultados en el diagrama ternario Q-F-L (Dott, 1964 y Pettijohn *et al.*, 1972) (Figura 12) para poder clasificar las muestras en un tipo de roca específico. Posteriormente se sumaron los líticos metamórficos e ígneos en un vértice, el total de cuarzos en otro y en el último se tomaron en cuenta el total de feldespatos y se utilizaron los diagramas Qt-F-L y Qm-F-Lt (Dickinson, 1986) para conocer el ambiente tectónico de procedencia de las muestras.

Tabla 3. Composición, conteo de puntos y su porcentaje en muestras de areniscas.

Formación Magdalena								
Clastos/muestra	FM1		FM2		FM3(A)		FM3(B)	
	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%
Cuarzo	452	90.4	279	55.8	435	87	443	88.6
Plagioclasa	0	0	0	0	0	0	1	0.2
Micas	45	9	48	9.6	49	9.8	34	6.8
Líticos ígneos	3	0.6	8	1.6	0	0	0	0
Líticos metamórficos	0	0	100	20	16	3.2	22	4.4
Matriz	0	0	49	9.8	0	0	0	0
Poros	0	0	16	3.2	0	0	0	0
Total de puntos	500	100	500	100	500	100	500	100
Aumento	10x		10x		10x		10x	

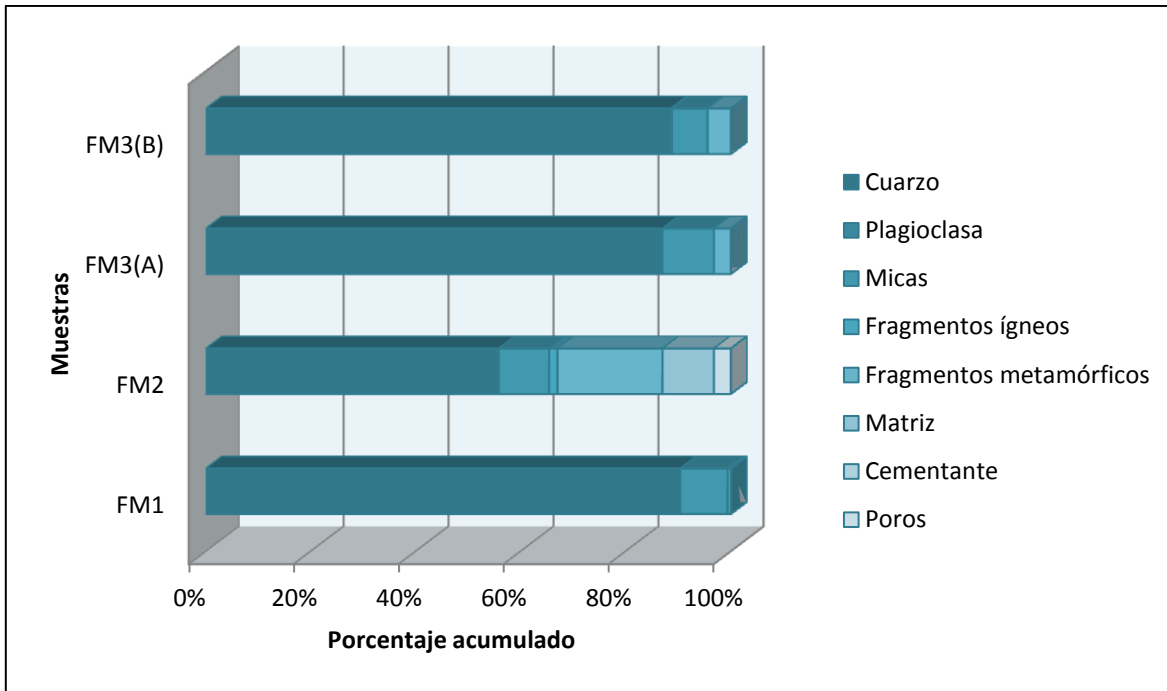


Figura 13. Porcentaje total de componentes de cada muestra de areniscas

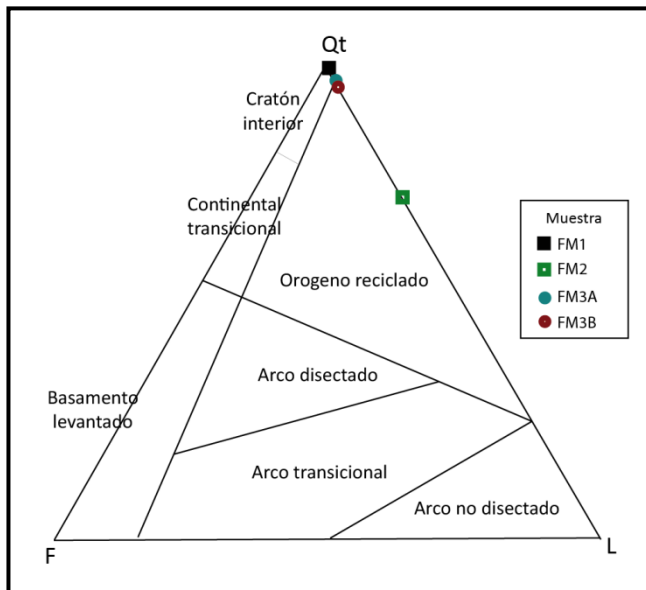


Figura 14. Clasificación de muestras de areniscas en el diagrama Qt-F-L. (Con base en Dickinson 1985).

Por lo que podemos mencionar que la formación Magdalena proviene de un orógeno reciclado o de una zona de cratón interior, de acuerdo a la gráfica basada en Dickinson (1986), en el diagrama Qt-F-L la muestra FM1 indica una procedencia de cratón interior, la muestra FM3A se encuentra en el límite entre cratón interior y orógeno reciclado y las muestras FM2 y FM3B indican una procedencia de orógeno reciclado.

En el diagrama Qm-F-Lt la muestra que cae dentro del cratón interior nos habla de una zona relativamente tranquila, poca o nula actividad tectónica como deformaciones, fragmentaciones, vulcanismo etc, los sedimentos provienen de zonas aledañas que han sufrido transporte. Las muestras graficadas en el campo de orógeno reciclado cuarzoso nos habla de un aporte metamórfico, en este caso

serían los esquistos provenientes del complejo Acatlán, con intensa actividad debido al retrabajo, la intensidad de oleaje y el transporte de sedimento; eventos por los cuales se va perdiendo el contenido de micas, esto también nos habla de una mayor madurez en comparación con las otras muestras.

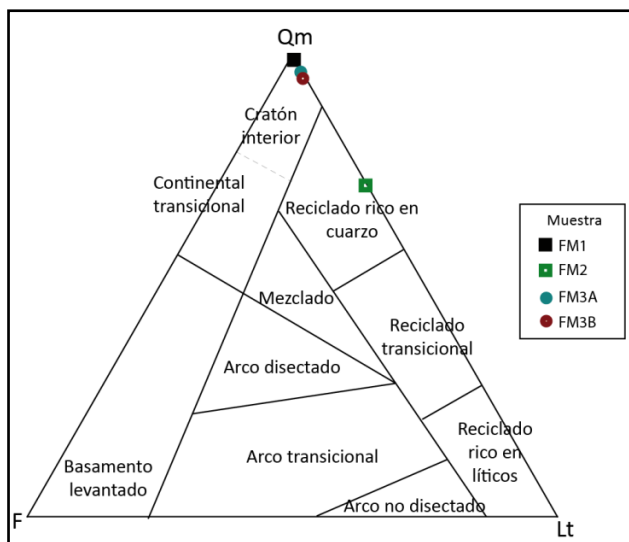


Figura 15. Clasificación de muestras de areniscas en el diagrama Qm-F-Lt (Con base en Dickinson 1985).

DISCUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos del análisis de facies y de paleocorrientes se puede proponer un modelo de facies correspondiente a un ambiente de sedimentación transicional dentro de a una línea de costa con una componente principal de sedimentación por mareas, con influencia estacional de tormentas (Figuras 16 y 17).

La columna estratigráfica nos representa una sucesión sedimentaria, resultado de una oscilación de pequeña amplitud y corto plazo en el balance entre suministro de sedimentos y cuenca de depósito (Coe, 2003), la sucesión resulta ser retrogradacional, lo que nos dice que durante un plazo relativamente corto, el espacio de acomodo de sedimentos que se iba formando era mayor que los sedimentos que se aportaban a la zona lo que provocó que las aguas oceánicas fueran inundando cada vez más el área continental y la línea de costa se desplazara hacia esta, este evento construye una superficie de transgresión. Cuando la línea de costa se desplazó hacia el mar se dice que se da un evento regresivo y tenemos sucesiones progradacionales que se producen debido a que el suministro de sedimentos es mayor al espacio de acomodo de estos. El conjunto de estos eventos retrogradacionales y progradacionales nos muestran un ciclo transgresivo-regresivo, que reflejado en la columna estratigráfica se puede apreciar en la repetición cíclica de facies.

Este evento transgresivo-regresivo es reportado a nivel global por Haq (2013) quien menciona para la primera mitad del Cretácico un pequeño aumento en el nivel del mar ocasionado por el aumento anómalo en la corteza oceánica, específicamente a principios del Barremiano, cuando se da un evento de inundación y a finales del cual se da un descenso del nivel del mar. Además durante este mismo período se presenta un evento de efecto invernadero debido a las altas temperaturas que se daban resultado del clima cálido y húmedo, este efecto provocó también inundaciones y tempestades y por lo tanto un aumento en el nivel del mar, (Coe, 2003).

Del análisis de procedencia se puede concluir que la formación Magdalena se desarrolló asociada a una zona de basamento levantado que en la región está representado por las rocas del Complejo Acatlán, que constituye la fuente principal del sedimento encontrado en la unidad con un mayor porcentaje en contenido de cuarzo metamórfico (de entre 63 y 82%) procedente de este (Tabla 3). Adicionalmente se reconoció una fuente volcánica que no se encuentra expuesta en las cercanías, pero que podría corresponder con las rocas de la Unidad San Vicente que Morán-Zenteno et al. (1993) describen que aflora al oeste del pueblo de San Vicente del Palmar.

La formación Magdalena se acumuló en una cuenca tectónica producto de fallas tanto normales como laterales; en la zona se identifica una falla lateral pero no fue posible

identificar su sentido. Ortega-Guerrero (1989) también identifica un fallamiento lateral en el sector norte, en el área de Ixcaquixtla.

Ortega-Guerrero (1989) y Moran-Zenteno *et al.* (1993) describen que la formación Magdalena sobreyace discordantemente a las rocas del Complejo Acatlán en el área de Ixcaquixtla, relación que se confirma en el área de estudio y que nos permite interpretar que la formación Magdalena es producto de la erosión de los esquistos del Complejo Acatlán y que se acumuló directamente sobre el basamento.

Ramos-Leal (1989) describe a la formación Magdalena como parte de la formación Otlaltepec por lo que le asigna una edad jurásica; mientras que Ortega-Guerrero (1989), Moran-Zenteno *et al.* (1993) y Cruz-Cruz (2012) la asignan al Aptiano-Albiano por su posición estratigráfica. En este trabajo se sugiere una edad de Cretácico Inferior, probablemente del Barremiano con base en sus relaciones estratigráficas. Con referencia a su límite superior, tanto Ortega-Guerrero (1989) como Ramos Leal (1989) mencionan un contacto transicional con la Caliza Coyotepec, relación que también se observa en el área de estudio.

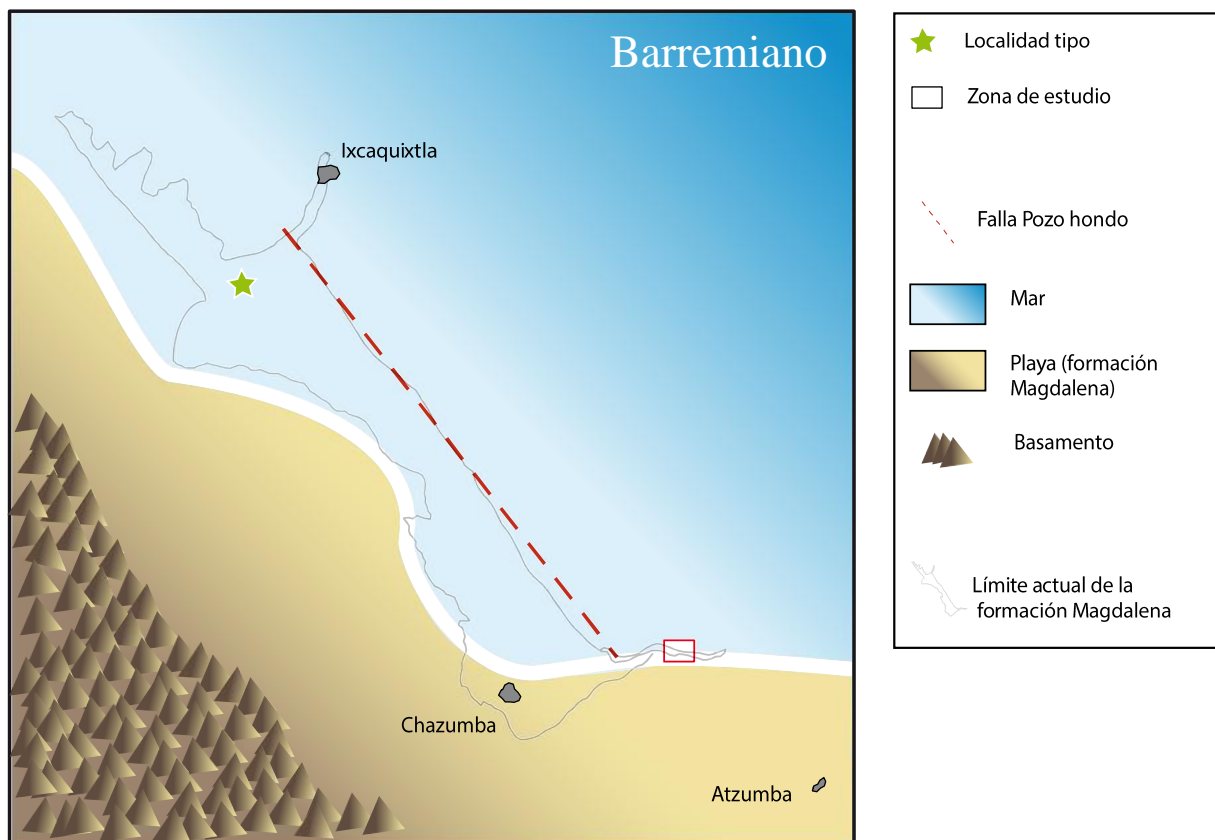


Figura 16. Mapa paleogeográfico de la formación Magdalena

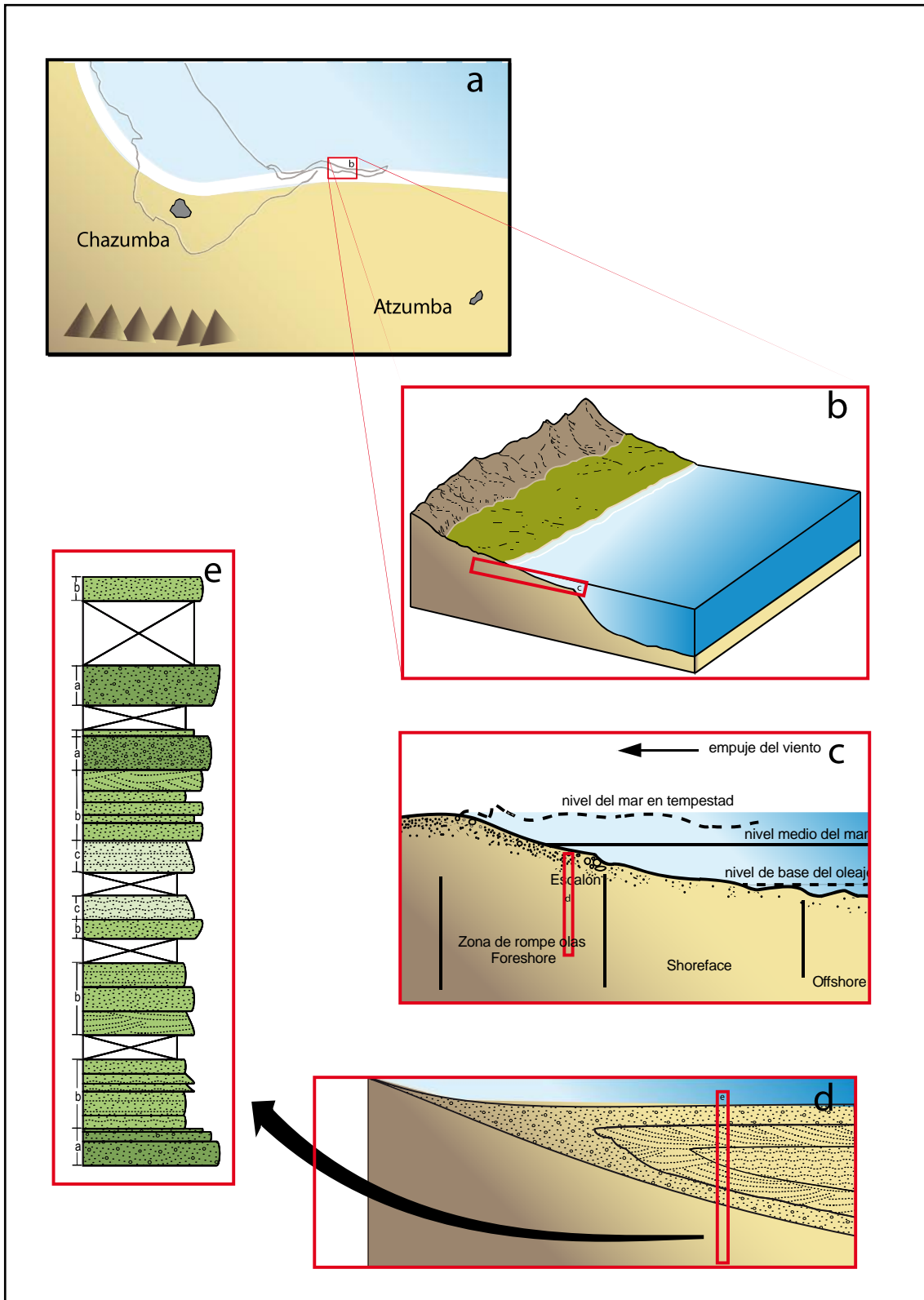


Figura 17. Resumen gráfico de la tesis.

CONCLUSIONES

En los límites de los estados de Oaxaca y Puebla, entre las coordenadas 97°38'50.65"N, 18°12'45.25"W y 97°37'24.42"N, 18°11'50.28"W aflora con una orientación norte-sur la formación Magdalena, de un espesor aproximado de 60 m, está compuesta por conglomerados y arenicas resultado de diferentes eventos de sedimentación de clastos provenientes del complejo Acatlán, que al sufrir transporte y erosión derivaron en conglomerados monomícticos además de cuarzo arenitas y arenitas líticas, cuyo contenido mineral es de cuarzo en mayor porcentaje y micas deformadas, además de escasos clastos de rocas ígneas y de rocas metamórficas principalmente de esquistos.

El ambiente de sedimentación es transicional, al acumularse en la zona de costa o playa, en la cual se presentó un ciclo transgresivo-regresivo provocado por diversos factores como la desproporción respecto al menor aporte de sedimentos comparado con el mayor espacio de acomodo que se estaba creando, debido al efecto invernadero que se estaba dando que provocaba tormentas y al aumento anómalo de corteza oceánica además de la influencia de mareas, dieron como resultado el avance del mar tierra adentro o retrogradación, después de la cual la línea de costa vuelve a desplazarse hacia el mar por disminuciones en la temperatura, por eventos tectónicos debido a fallas o por eventos volcánicos que provocaron un mayor aporte de sedimento respecto al espacio de acomodo de estos.

Con base en el análisis de las paleocorrientes mismas que tienen una dirección preferencial al noreste, se infiere que la línea de costa tuvo una orientación sureste-noreste durante la acumulación de la formación Magdalena.

Con base en sus relaciones estratigráficas la formación Magdalena tiene posiblemente una edad de Cretácico inferior, muy probablemente del Barremiano.

Bibliografía

- ALENCASTER, G. 1956. Pelecípodos y Gasterópodos de la región de San Juan Raya, estado de Puebla: *Paleontología Mexicana*, 2, Instituto de Geología, UNAM, 47 p.
- ARCHE, Alfredo. 2010. "Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria". Consejo superior de investigaciones científicas. Madrid, España. 1287 p.
- BARCELÓ D., J. 1978. Estratigrafía y petrografía detallada del área de Tehuacán - San Juan Raya, Estado de Puebla, México: UNAM, Facultad de Ingeniería. Tesis licenciatura, 143 p.
- BARRAGÁN, R., CAMPOS-MADRIGAL, E., FERRUSQUILLA-VILAFRANCIA, I., LÓPEZ-PALOMINO, I., TOLSON, G., traductores, 2010. Código estratigráfico norteamericano: UNAM, Instituto de Geología, Boletín 117, 48 p.
- BOGGS, Sam Jr. 2012. *Petrology of sedimentary rocks*. Second edition. University Press, Cambridge. New York, United States of America. 600 p.
- BUITRÓN - SÁNCHEZ, B. E., 1970. Equinoides del Cretácico Inferior de la región de San Juan Raya - Zapotitlán, estado de Puebla, México: *Paleontología Mexicana*, Instituto de Geología, UNAM, 30, 69 p.
- CALDERÓN G., A. 1956. Bosquejo geológico de la región de San Juan Raya, Puebla. Congreso Geológico Internacional, XX Sesión, México, Libreto-guía, Exursión, A-11:9-27.
- CENTENO-GARCIA, E., MENDOZA-ROSALES, C.C., SILVA-ROMO, G. 2009. Sedimentología de la formación Matzitzi (Paleozoico superior) y significado de sus componentes volcánicos, región de Los Reyes Metzontla-San Luis Atlotitlán, Estado de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26(1): 18-36.
- COE, A.L., BOSENCE DAN W.J., CHURCH K.D., FLINT S., HOWELL J.A., WILSON R.C. 2003. *The Sedimentary Record of Sea-Level Change*. Cambridge university press. 288 p.
- CRUZ-CRUZ, M.A. 2012. Análisis estratigráfico de la secuencia jurásica de la región de Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca-Santa Cruz Nuevo. UNAM. Facultad de Ingeniería. Tesis de licenciatura. 109 p.
- DICKINSON, W. R., 1985, *Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones* en Zuffa, G.G., *Provenance of Arenites*: Ed. Dordrecht, Holland, 331 -361.
- DOTT, R. H., 1964, *Wacke, greywacke and matrix what approach to immature sandstone classification*: *Journal of Sedimentary Petrology* 34, 625-632.

- ELIAS-HERRERA, M., ORTEGA-GUTIERREZ, F., SÁNCHEZ-ZAVALA, J.L., MACIAS-ROMO, C., ORTEGA-RIVERA, A., IRIONDO, A., 2005. La Falla de Caltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre continentes del sur de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, Grandes Fronteras Tectónicas de México, 42 (1): 83-109.
- HAQ, B.U., 2013. Cretaceous Eustasy Revisited: Global and Planetary Change (2013), doi: 10.1016/j.gloplacha.2013.12.007
- HOWARD, J.L. 1993. The statistics of counting clasts in rudites: as review, with examples from the Paleogene of southern California: *Sedimentology*, 40, 157-174.
- INGERSOLL, R. V., BULLARD, T. F., FORD, R. I., GRIMM, J. P., PICKLE, J.D., SARES, S. W., 1984, *The effect of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point-counting method*: *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 103-116.
- MORÁN-ZENTENO, D.J., CABALLERO-MIRANDA, C.I., SILVA-ROMO, G., ORTEGA-GUERRERO, B., GONZÁLEZ-TORRES, E., 1993. Jurassic-Cretaceous paleogeographic evolution of the northern Mixteca terrane, souther Mexico. *Geofísica Internacional*, 32(3): 453-470.
- ORTEGA-GUERRERO, B., 1989. Paleomagnetismo y geología de las unidades clásticas mesozoicas del área Totoltepec-Ixcaquixtla, estados de Puebla y Oaxaca. Tesis de maestría en ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. 154 p.
- ORTEGA-GUTIÉRREZ, F. 1970. Geología del cuadrángulo suroccidental de la hoja Tehuacán, estados de Puebla y Oaxaca. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Tesis de licenciatura, 130 p.
- ORTEGA-GUTIÉRREZ, F., 1978. Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca baja, estados de Puebla y Oaxaca: UNAM. México, Instituto de Geología, revista v.2, no. 2.
- PETTIJOHN, F. J., Potter, P. E., Siever, R., 1972, *Sand and sandstone*: Springer, Berlin, 618 p.
- POCHÉ, David J.; FICHTER, Lynn S. 1993. Ancient environments and the interpretation of geologic history. Second edition. Macmillan Publishing Company. New York, United States of America. 269 p.
- RAMOS-LEAL, J.A., 1989. Estratigrafía y evolución paleoambiental del área de San Juan Ixcaquixtla, Puebla, México. Tesis de licenciatura. UNAM. 70 p.

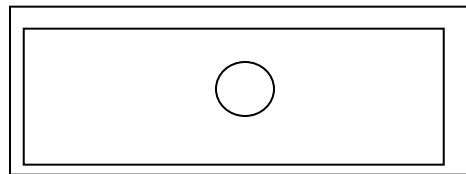
- SEDLOCK, R.L., ORTEGA-GUTIÉRREZ, F., SPEED, R.C. 1993. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. Geological Society of America, Special Paper 278. 153 p.
- SERRANO-BRAÑAS, C.I., CENTENO-GARCÍA, E. 2014. Paleoenvironmental interpretation using fossil record: San Juan Raya Formation, Zapotitlán basin, Puebla, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*. 31(1): 1-13.
- SILVA- ROMO, G., MENDOZA-ROSALES, C.C. 2011. Manual para el trabajo geológico de campo. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, México, D.F. 374 p.
- TALAVERA-MENDOZA, O., RUIZ, J., GEHRELS, G.E., MEZA-FIGUEROA, D.M., VEGA-GRANILLO, R., CAMPA-URANGA, M.F., 2005, U-Pb geochronology of the Acatlán Complex and implications for the Paleozoic paleogeography and tectonic evolution of southern Mexico: *Earth and Planetary Science Letters*, 235.
- COE, A.L., BOSENCE DAN W.J., CHURCH K.D., FLINT S., HOWELL J.A., WILSON R.C. 2003. *The Sedimentary Record of Sea-Level Change*. Cambridge university press. 288 p.
- TUCKER, Maurice E. 2003. *Sedimentary rocks in the field. The geological field guide series. Third edition*. John Wiley & Sons Ltd. England. 234 p.
- VAN DER PLAS, L. TOBI, A.C. 1965. A chart for judging the reability of point counting results. *In. j Sci.*, 253 p.
- WADELL, H., 1932. Volume, shape and roundness of rock particles: *J. Geol.*
- ZUFFA, G.G. 1985. *Provenance of Arenites. First edition*. D.Reidel Publishing Company. The Netherlands. 408 p.

APÉNDICE PETROGRAFÍA Y TABLAS

De las muestras colectadas, cuatro de ellas (areniscas) pertenecientes a la formación Magdalena y la última (caliza dolomitizada) perteneciente a la Caliza Coyotepec, se describen las correspondientes láminas delgadas, su composición mineralógica, textura y clasificación.

Los rectángulos representan la posición de la lámina delgada sobre la platina giratoria del microscopio petrográfico para su observación, el círculo se localiza en el lugar donde se tomó la fotomicrografía y se realizó la correspondiente descripción.

Para la descripción se utilizó luz polarizada (**LP**) y nicoles cruzados (**NC**).



Muestra FM1

Clasificación:

Cuarzoarenita.

Textura:

Tamaño de grano fino

Bien clasificada

Forma tabular y equidimensional, redondeamiento de angulosa a subredondeada y baja esfericidad.

Contacto longitudinal y suturado, fábrica anisotrópica.

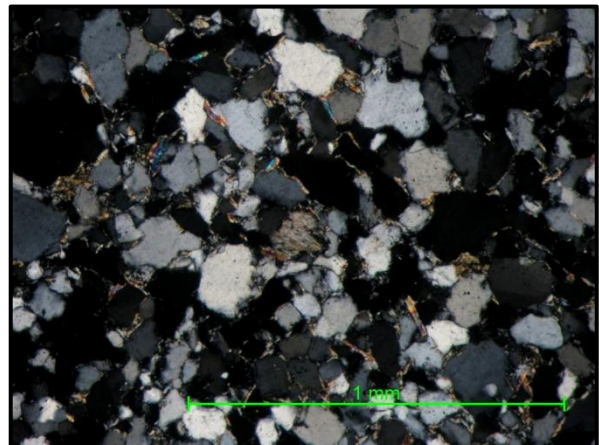
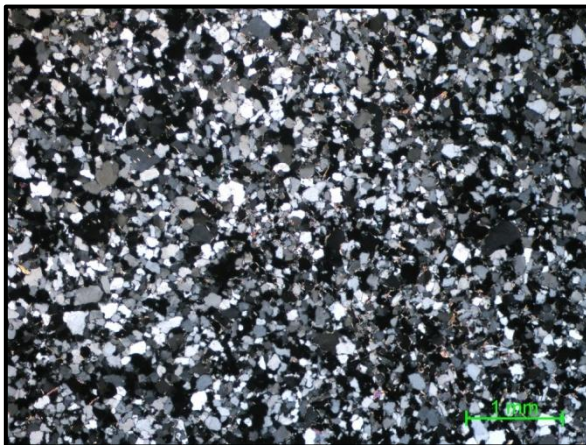
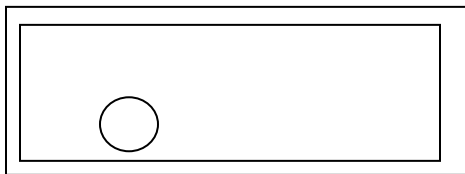
Presenta un estado maduro, disolución por presión.

Composición:

80% de cuarzo monocristalino, contacto suturado y longitudinal, extinción ondulante, alineados, rodeados por micas.

10% de micas deformadas, rodean los cuarzos.

10% fragmentos de roca volcánica



Muestra FM2

Clasificación:

Arenita lítica

Textura:

Tamaño de grano medio

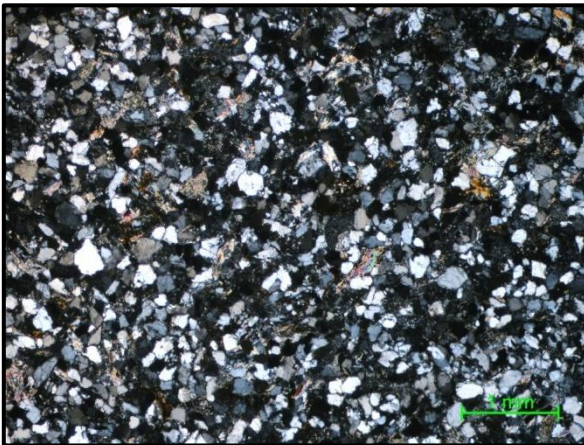
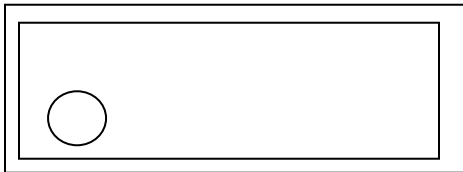
Bien clasificada

Forma equidimensional y discoidal, redondeamiento muy anguloso y redondeado y baja esfericidad.

Contacto suturado.

Composición:

70% de cuarzo monocristalino, muy fracturado, contacto suturado, extinción ondulada, inclusiones minerales, en partes se observan alineados. 15% de micas deformadas, algunas rodean los cuarzos, se aprecian biotitas. 15% fragmentos de roca metamórfica y volcánica, los metamórficos parecen ser esquistos.



Muestra FM3A

Clasificación:

Cuarzoarenita.

Textura:

Tamaño de grano fino

Bien clasificada

Forma discoidal y tabular, redondeamiento de subangulosa a subredondeada y baja esfericidad.

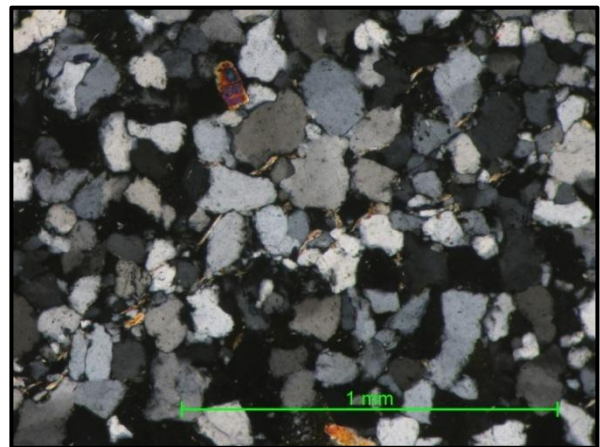
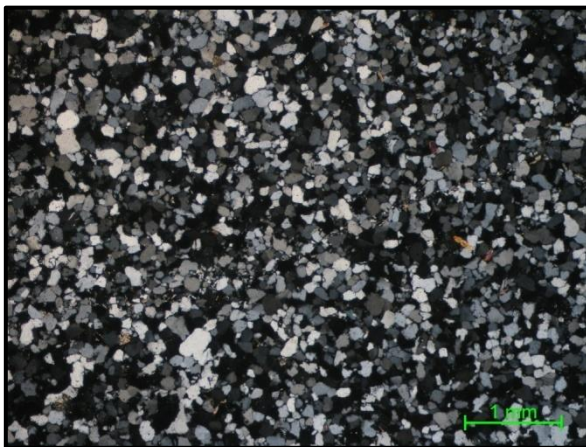
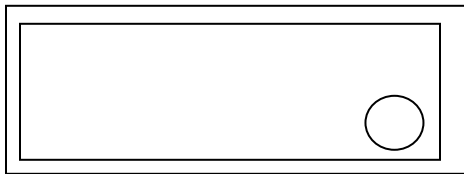
Contacto cóncavo-convexo y longitudinales.

Composición:

85% de cuarzo monocristalino, contacto longitudinal, extinción a 30° con inclusiones, orientados.

4% de micas, se encuentra biotita en tamaños mayores a la muscovita.

6% fragmentos de esquistos.



Muestra FM3B

Clasificación:

Cuarzoarenita.

Textura:

Tamaño de grano fino

Bien clasificada

Forma discoidal y tabular, redondeamiento de subangulos a subredondeado y baja esfericidad.

Contacto cóncavo-convexo y en partes suturado, fábrica anisotrópica.

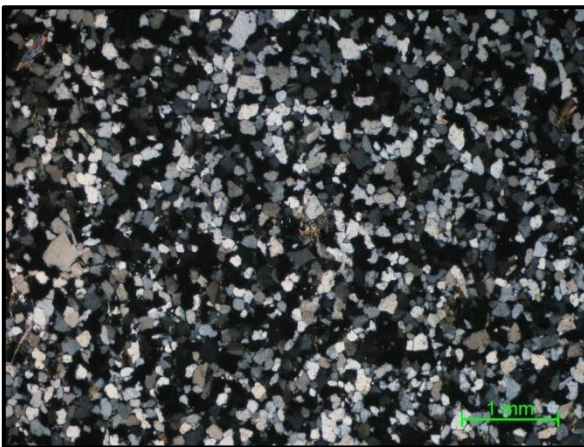
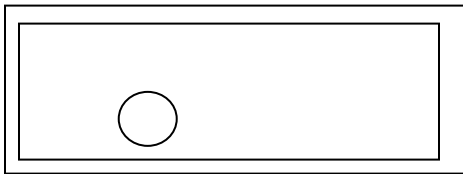
Composición:

90% de cuarzo monocristalino, contacto suturado y cóncavo-convexo, extinción ondulante, inclusiones minerales, orientados.

1% de feldespatos, forma equidimensional, subredondeado y de alta esfericidad, maclado de enrejado.

3% de micas orientadas.

6% de fragmentos de roca metamórfica, esquistos.



Muestra FM4

Clasificación:

Caliza dolomitizada

Textura:

Tamaño de grano medio

Bien clasificada

Forma equidimensional, redondeamiento anguloso, baja esfericidad.

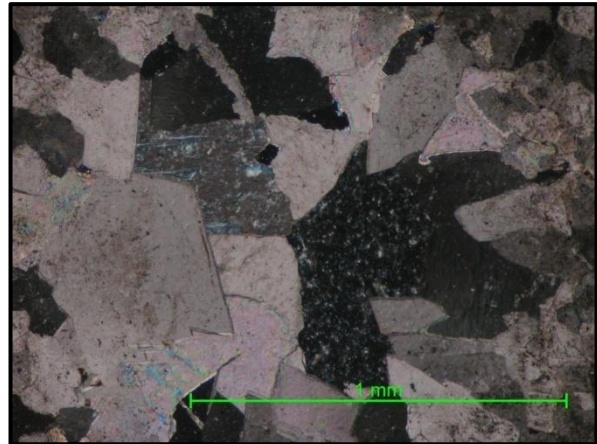
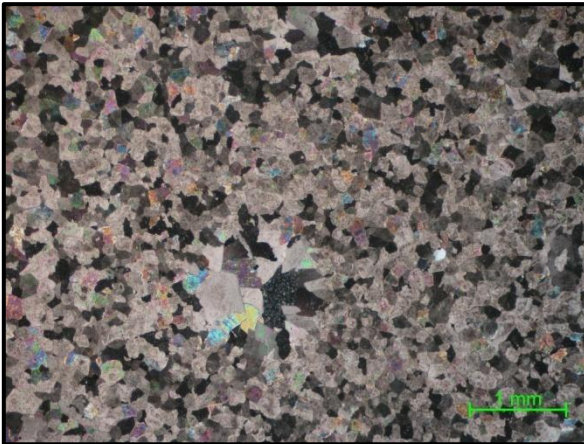
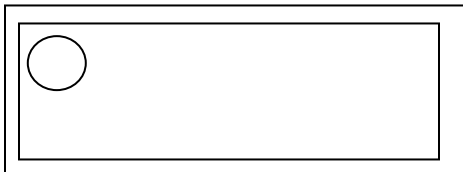
Contacto longitudinal y cóncavo-convexo.

Se observan círculos o zonas de dolomita planar-subhedral.

Composición:

80% de caliza

20% de dolomía.



APÉNDICE 2. TABLAS.

Características de puntos en conglomerados.

Conglomerado 1.

No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad
1	150	0.7	0.5	22	40	0.5	0.7	43	40	0.5	0.7	64	30	0.5	0.7	85	85	0.3	0.5
2	111	0.3	0.7	23	30	0.7	0.7	44	30	0.1	0.3	65	30	0.7	0.5	86	25	0.1	0.7
3	70	0.5	0.7	24	50	0.5	0.3	45	55	0.3	0.5	66	90	0.9	0.5	87	50	0.1	0.7
4	160	0.7	0.7	25	60	0.5	0.5	46	40	0.9	0.7	67	55	0.9	0.7	88	25	0.9	0.7
5	30	0.7	0.7	26	55	0.5	0.7	47	50	0.1	0.5	68	10	0.1	0.7	89	10	0.7	0.7
6	25	0.5	0.5	27	80	0.5	0.5	48	90	0.3	0.7	69	15	0.7	0.7	90	40	0.3	0.9
7	35	0.3	0.5	28	30	0.9	0.9	49	55	0.7	0.7	70	45	0.3	0.7	91	50	0.9	0.5
8	45	0.1	0.7	29	50	0.3	0.5	50	25	0.5	0.3	71	28	0.1	0.5	92	10	0.9	0.3
9	30	0.5	0.5	30	60	0.5	0.5	51	10	0.1	0.3	72	70	0.1	0.9	93	25	0.3	0.5
10	20	0.5	0.3	31	40	0.3	0.3	52	70	0.7	0.3	73	70	0.3	0.9	94	60	0.5	0.9
11	40	0.7	0.5	32	40	0.5	0.7	53	30	0.9	0.5	74	50	0.7	0.9	95	70	0.7	0.9
12	10	0.3	0.5	33	80	0.3	0.1	54	20	0.9	0.3	75	40	0.5	0.9	96	40	0.9	0.7
13	60	0.7	0.5	34	25	0.5	0.7	55	5	0.9	0.3	76	25	0.3	0.7	97	25	0.9	0.5
14	55	0.3	0.3	35	30	0.5	0.5	56	10	0.3	0.5	77	35	0.5	0.3	98	20	0.3	0.9
15	85	0.7	0.5	36	35	0.9	0.9	57	15	0.7	0.3	78	35	0.1	0.3	99	25	0.3	0.5
16	70	0.3	0.5	37	60	0.7	0.7	58	35	0.5	0.5	79	30	0.1	0.7	100	75	0.3	0.5
17	50	0.7	0.5	38	15	0.5	0.3	59	60	0.7	0.3	80	30	0.3	0.5				
18	35	0.5	0.7	39	40	0.3	0.5	60	20	0.9	0.5	81	90	0.7	0.7				
19	75	0.9	0.9	40	25	0.3	0.5	61	50	0.3	0.7	82	35	0.5	0.9				
20	80	0.7	0.7	41	30	0.3	0.7	62	35	0.5	0.3	83	60	0.9	0.5				
21	35	0.5	0.5	42	35	0.3	0.1	63	15	0.7	0.5	84	30	0.5	0.7				

Conglomerado 2.

No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad
1	60	0.7	0.7	26	14	0.1	0.9	51	35	0.5	0.7	76	15	0.3	0.7
2	40	0.5	0.3	27	32	0.3	0.5	52	25	0.7	0.3	77	20	0.7	0.9
3	30	0.9	0.7	28	34	0.3	0.7	53	25	0.3	0.3	78	10	0.5	0.7
4	35	0.1	0.3	29	22	0.3	0.5	54	30	0.3	0.5	79	15	0.5	0.5
5	30	0.5	0.7	30	26	0.5	0.5	55	35	0.7	0.7	80	15	0.3	0.5
6	25	0.5	0.3	31	25	0.3	0.5	56	27	0.5	0.5	81	40	0.3	0.7
7	25	0.3	0.7	32	20	0.9	0.3	57	15	0.3	0.3	82	35	0.9	0.7
8	50	0.5	0.9	33	50	0.7	0.9	58	65	0.7	0.9	83	30	0.3	0.9
9	20	0.3	0.7	34	25	0.5	0.9	59	50	0.5	0.5	84	10	0.5	0.7
10	35	0.3	0.7	35	28	0.5	0.7	60	30	0.7	0.9	85	20	0.3	0.3
11	20	0.3	0.5	36	25	0.5	0.5	61	25	0.3	0.7	86	18	0.5	0.5
12	20	0.3	0.3	37	25	0.7	0.9	62	30	0.9	0.5	87	25	0.7	0.9
13	25	0.3	0.5	38	38	0.5	0.3	63	5	0.7	0.9	88	25	0.3	0.9
14	10	0.3	0.7	39	20	0.5	0.5	64	5	0.9	0.7	89	25	0.3	0.7
15	40	0.7	0.9	40	25	0.5	0.5	65	15	0.7	0.5	90	30	0.5	0.3
16	20	0.3	0.7	41	10	0.3	0.5	66	25	0.3	0.7	91	5	0.7	0.7
17	25	0.1	0.7	42	3	0.3	0.5	67	45	0.5	0.3	92	10	0.3	0.7
18	20	0.1	0.5	43	4	0.3	0.5	68	30	0.3	0.5	93	20	0.3	0.5
19	30	0.7	0.3	44	8	0.3	0.3	69	35	0.1	0.7	94	10	0.1	0.5
20	45	0.7	0.5	45	40	0.1	0.7	70	55	0.9	0.3	95	40	0.5	0.3
21	30	0.3	0.3	46	25	0.5	0.5	71	35	0.7	0.9	96	45	0.3	0.3
22	20	0.3	0.3	47	20	0.3	0.5	72	25	0.3	0.3	97	10	0.7	0.5
23	33	0.3	0.5	48	65	0.9	0.7	73	20	0.1	0.3	98	50	0.3	0.5
24	7	0.1	0.7	49	70	0.5	0.7	74	5	0.7	0.9	99	30	0.1	0.7
25	35	0.5	0.5	50	25	0.5	0.5	75	10	0.5	0.9	100	30	0.3	0.5

Conglomerado 3.

No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad
1	75	0.5	0.7	26	50	0.5	0.7	51	10	0.3	0.3	76	15	0.7	0.5
2	50	0.3	0.5	27	40	0.3	0.7	52	7	0.5	0.5	77	25	0.1	0.7
3	25	0.5	0.3	28	40	0.5	0.5	53	20	0.3	0.5	78	35	0.5	0.3
4	30	0.5	0.9	29	30	0.3	0.7	54	25	0.7	0.9	79	35	0.5	0.3
5	25	0.5	0.5	30	20	0.7	0.9	55	40	0.5	0.9	80	20	0.1	0.3
6	35	0.3	0.7	31	30	0.5	0.3	56	20	0.5	0.9	81	10	0.3	0.3
7	45	0.7	0.9	32	45	0.9	0.3	57	25	0.3	0.7	82	10	0.3	0.7
8	30	0.5	0.3	33	35	0.3	0.7	58	25	0.1	0.7	83	20	0.7	0.3
9	45	0.3	0.9	34	30	0.3	0.5	59	10	0.7	0.9	84	70	0.3	0.7
10	40	0.3	0.3	35	30	0.3	0.5	60	30	0.9	0.5	85	80	0.3	0.5
11	35	0.7	0.5	36	20	0.3	0.7	61	20	0.3	0.7	86	40	0.3	0.7
12	60	0.7	0.9	37	30	0.3	0.5	62	35	0.5	0.7	87	20	0.5	0.9
13	25	0.5	0.7	38	40	0.5	0.7	63	27	0.1	0.7	88	30	0.7	0.3
14	70	0.7	0.7	39	60	0.3	0.7	64	32	0.3	0.3	89	30	0.5	0.3
15	40	0.7	0.9	40	35	0.3	0.5	65	30	0.3	0.5	90	25	0.3	0.5
16	50	0.3	0.5	41	40	0.5	0.7	66	25	0.5	0.5	91	35	0.5	0.3
17	25	0.1	0.7	42	30	0.1	0.5	67	25	0.5	0.3	92	45	0.7	0.7
18	30	0.5	0.5	43	35	0.3	0.5	68	20	0.5	0.7	93	10	0.3	0.5
19	50	0.5	0.7	44	50	0.5	0.9	69	28	0.5	0.5	94	25	0.1	0.3
20	30	0.3	0.5	45	80	0.7	0.9	70	30	0.5	0.5	95	20	0.3	0.7
21	20	0.3	0.3	46	50	0.3	0.7	71	25	0.7	0.3	96	20	0.5	0.3
22	55	0.3	0.5	47	85	0.3	0.5	72	10	0.5	0.7	97	10	0.5	0.5
23	70	0.7	0.9	48	15	0.3	0.5	73	10	0.7	0.5	98	35	0.5	0.7
24	25	0.5	0.5	49	10	0.5	0.5	74	15	0.9	0.3				
25	15	0.5	0.5	50	25	0.3	0.5	75	15	0.3	0.7				

Conglomerado 4.

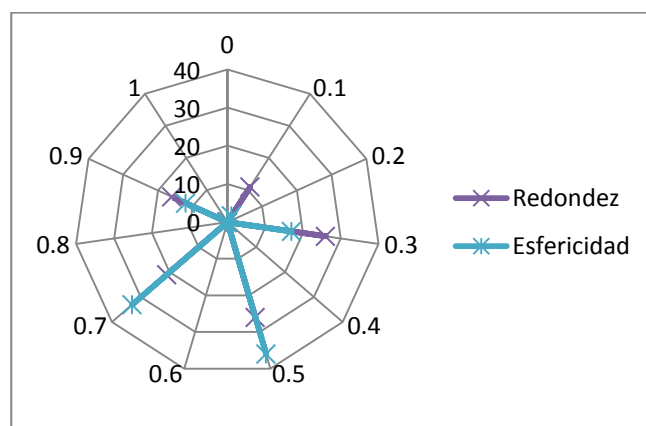
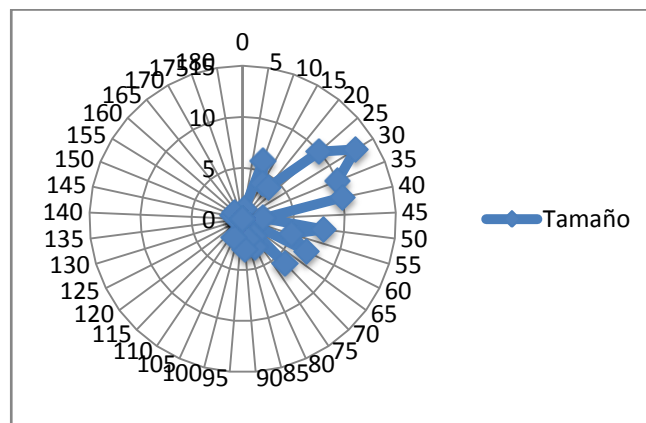
No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad	No.	Tamaño [mm]	Redondez	Esfericidad
1	75	0.3	0.3	26	70	0.5	0.9	51	35	0.5	0.7	76	35	0.3	0.5
2	50	0.7	0.3	27	50	0.5	0.7	52	55	0.3	0.7	77	40	0.3	0.5
3	35	0.3	0.7	28	25	0.3	0.5	53	15	0.1	0.7	78	30	0.7	0.5
4	50	0.3	0.7	29	25	0.3	0.9	54	10	0.3	0.5	79	35	0.5	0.5
5	30	0.7	0.7	30	20	0.7	0.9	55	35	0.3	0.5	80	25	0.3	0.5
6	50	0.5	0.3	31	30	0.5	0.9	56	25	0.7	0.9	81	15	0.7	0.3
7	45	0.5	0.7	32	35	0.3	0.9	57	35	0.7	0.9	82	25	0.3	0.3
8	30	0.7	0.9	33	30	0.5	0.9	58	30	0.3	0.5	83	15	0.7	0.9
9	35	0.5	0.7	34	45	0.3	0.7	59	20	0.5	0.3	84	35	0.5	0.5
10	60	0.3	0.3	35	70	0.5	0.7	60	50	0.7	0.7	85	25	0.5	0.7
11	60	0.3	0.5	36	30	0.7	0.9	61	20	0.5	0.7	86	30	0.1	0.5
12	55	0.3	0.7	37	20	0.5	0.7	62	20	0.3	0.5	87	25	0.7	0.5
13	20	0.1	0.7	38	60	0.7	0.7	63	20	0.5	0.7	88	15	0.9	0.7
14	30	0.5	0.3	39	35	0.5	0.7	64	70	0.3	0.7	89	5	0.7	0.9
15	20	0.5	0.9	40	50	0.5	0.5	65	30	0.3	0.5	90	45	0.5	0.3
16	25	0.3	0.7	41	60	0.3	0.7	66	25	0.5	0.7	91	35	0.1	0.7
17	20	0.7	0.5	42	30	0.5	0.5	67	40	0.1	0.7	92	40	0.3	0.3
18	25	0.5	0.7	43	30	0.9	0.3	68	50	0.5	0.7	93	30	0.3	0.9
19	50	0.3	0.7	44	90	0.5	0.7	69	40	0.5	0.7	94	35	0.5	0.9
20	50	0.3	0.5	45	35	0.7	0.7	70	75	0.9	0.3	95	10	0.7	0.7
21	25	0.1	0.3	46	10	0.7	0.5	71	50	0.3	0.7	96	30	0.3	0.5
22	20	0.7	0.5	47	60	0.7	0.7	72	5	0.7	0.3	97	35	0.5	0.9
23	40	0.5	0.3	48	45	0.3	0.5	73	35	0.5	0.3	98	50	0.7	0.9
24	20	0.3	0.7	49	25	0.7	0.9	74	40	0.3	0.5	99	25	0.3	0.5
25	30	0.5	0.3	50	40	0.5	0.9	75	40	0.5	0.7	100	15	0.5	0.7

Tendencia en tamaño y en redondez y esfericidad del conteo de puntos en conglomerados

Conglomerado 1.

Tamaño [mm]	Puntos
0	0
5	1
10	6
15	4
20	4
25	10
30	13
35	10
40	10
45	2
50	8
55	5
60	7
65	0
70	6
75	2
80	3
85	2
90	3
95	0
100	0
105	2
110	0
115	0
120	0
125	0
130	0
135	0
140	0
145	0
150	1
155	0
160	1
165	0
170	0
175	0
180	0

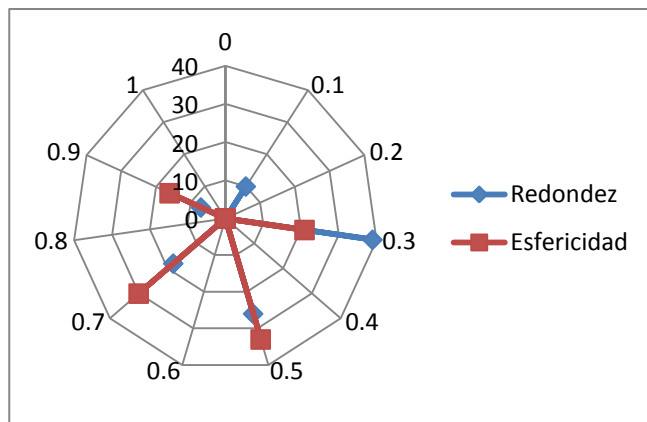
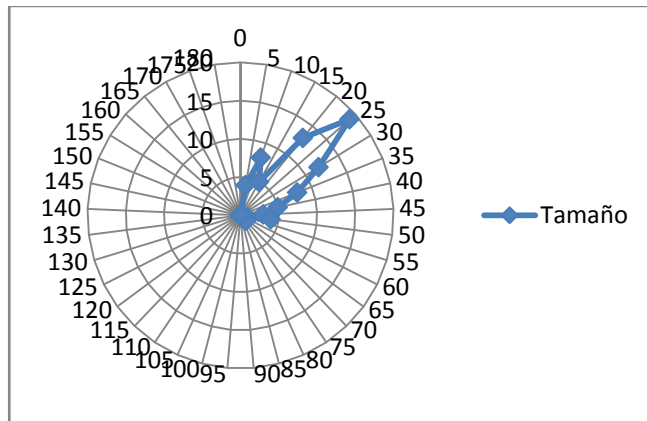
	Cantidad	
	Redondez	Esfericidad
0	0	0
0.1	11	2
0.2	0	0
0.3	26	17
0.4	0	0
0.5	26	36
0.6	0	0
0.7	21	33
0.8	0	0
0.9	16	12
1	0	0



Conglomerado 2.

Tamaño [mm]	Cantidad
0	0
5	4
10	8
15	5
20	13
25	19
30	12
35	8
40	5
45	3
50	4
55	1
60	1
65	1
70	1
75	0
80	0
85	0
90	0
95	0
100	0
105	0
110	0
115	0
120	0
125	0
130	0
135	0
140	0
145	0
150	0
155	0
160	0
165	0
170	0
175	0
180	0

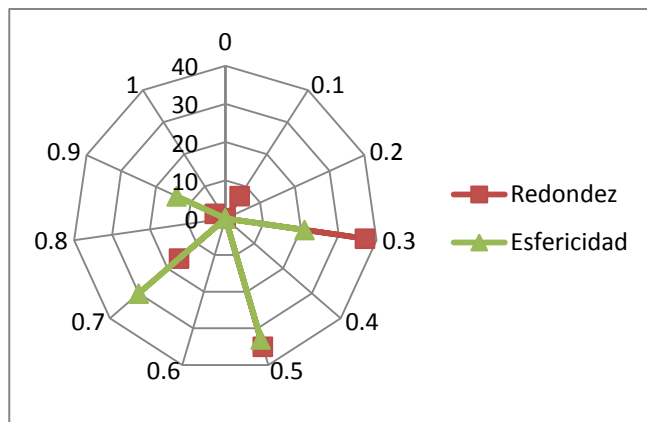
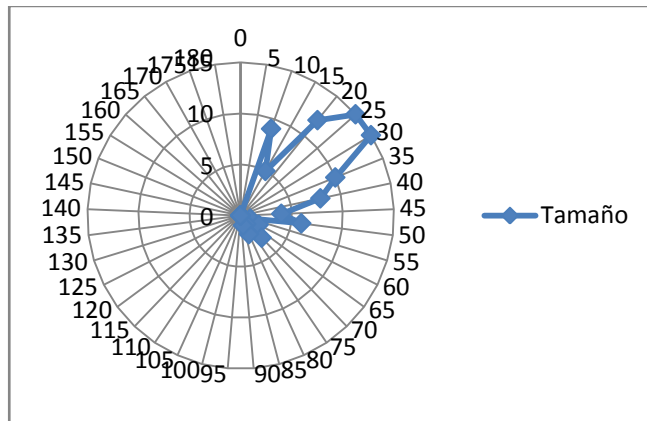
	Cantidad	
	Redondez	Esfericidad
0	0	0
0.1	10	0
0.2	0	0
0.3	39	21
0.4	0	0
0.5	26	33
0.6	0	0
0.7	18	30
0.8	0	0
0.9	7	16
1	0	0



Conglomerado 3.

Tamaño [mm]	Cantidad
0	0
5	0
10	9
15	5
20	12
25	15
30	15
35	10
40	8
45	4
50	6
55	1
60	2
65	0
70	3
75	1
80	2
85	1
90	0
95	0
100	0
105	0
110	0
115	0
120	0
125	0
130	0
135	0
140	0
145	0
150	0
155	0
160	0
165	0
170	0
175	0
180	0

	Cantidad	
	Redondez	Esfericidad
0	0	0
0.1	7	0
0.2	0	0
0.3	37	21
0.4	0	0
0.5	35	33
0.6	0	0
0.7	16	30
0.8	0	0
0.9	3	14
1	0	0



Conglomerado 4.

Tamaño [mm]	Cantidad
0	0
5	2
10	3
15	5
20	11
25	13
30	15
35	15
40	8
45	4
50	11
55	2
60	5
65	0
70	3
75	2
80	0
85	0
90	1
95	0
100	0
105	0
110	0
115	0
120	0
125	0
130	0
135	0
140	0
145	0
150	0
155	0
160	0
165	0
170	0
175	0
180	0

	Cantidad	
	Redondez	Esfericidad
0	0	0
0.1	6	0
0.2	0	0
0.3	33	17
0.4	0	0
0.5	35	25
0.6	0	0
0.7	23	39
0.8	0	0
0.9	3	19
1	0	0

