



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**MODELO SEDIMENTARIO DEL KIMMERIDGIANO
MEDIANTE EL ANÁLISIS DE MICROFACIES EN EL
ÁREA DE KU, SONDA DE CAMPECHE**

INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTA:
ENRIQUE VIDAL CÓRDOVA**

AVAL ANTE EL COMITÉ DE TITULACIÓN
M.C. NOÉ SANTILLÁN PIÑA



MÉXICO, D.F. 2014

AGRADECIMIENTOS

Papá, gracias por el apoyo incondicional que me has dado a lo largo de los años y por confiar en mí en todos los aspectos. Nunca olvidaré todo lo que hiciste y diste por mí; siempre me impulsaste a que estudiara y ha sido el regalo más grande. Te quiero padre, siempre serás mi mayor inspiración y héroe.

Te agradezco mamá por tu amor y cariño incondicional, las palabras llenas de optimismo que siempre me has dado en las buenas y en las malas, siempre impulsándome a seguir mis sueños sin importar lo difícil que estos sean y a pesar de no estar muy de acuerdo con ellos. Te quiero y amo mucho.

Valeria, gracias por traer otra sonrisa a la familia y por ser mi hermana, te quiero mucho.

Gracias a toda mi familia por todo el apoyo y cariño que siempre me dieron, los tengo presentes en mi corazón.

A todos mis amigos, ustedes saben quiénes son, siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas. Nunca olvidaré todas las aventuras que compartí con cada uno de ustedes y les agradezco su amistad y la confianza que me dieron en todos estos años. Gracias por hacerme sentir como en casa en ésta ciudad tan grande, nunca los olvidaré y les deseo lo mejor siempre.

Cecilia muchas gracias por el apoyo que me diste en los años que estuvimos en la universidad, sin ti mi trayecto en la facultad hubiera sido más difícil.

A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería, sobre todo a los de la DICT, gracias por el aprendizaje y enseñanzas que me dieron, de vida y académicamente.

Ing. Alfredo Victoria Morales, gracias por el entusiasmo y el apoyo que ha mostrados con nosotros; siempre nos ayudó de buena manera y con todo lo que estuvo a su alcance y eso nunca lo olvidaré. Le agradezco la confianza que tuvo con nosotros y por ser un buen profesor.

Gracias al departamento de Caracterización Estática de Yacimientos del campo Ku-Maloob-Zaap, sobre todo a la Ing. María de Jesús Correa López por aceptarme y recibirme de buena manera. En especial quiero agradecer a la Dra. Noemí Aguilera Franco y al M.C. Marco Antonio Prado Peña por transmitirme sus conocimientos e impulsarme a investigar más. Me siento afortunado por tener a unos mentores con grandes conocimientos y gran corazón.

Gracias a mis avales Noé Santillán Piña, Emiliano Campos Madrigal, Javier Arellano Gil, Joaquín Aguayo Camargo e Iza Canales García por toda la ayuda que me ofrecieron para la realización de este trabajo.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Ingeniería por darme la oportunidad de pertenecer a una gran institución que espero dejar en alto, siempre estaré en deuda con mi *alma máter*.

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	4
II. OBJETIVO	4
III. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
3.1 Geología Regional	6
Basamento.....	6
Calloviano	6
Oxfordiano	6
Kimmeridgiano	7
3.2 Tectónica.....	9
IV. METODOLOGÍA	11
4.1 Análisis de Información.....	12
4.1.1 Descripción macroscópica de núcleos.....	12
4.1.2 Descripción microscópica de núcleos	13
4.1.3 Registros geofísicos de pozos (Rayos Gamma)	14
4.2. Interpretación de Microfacies.....	15
4.3 Partículas Carbonatadas	15
4.4 Sección estratigráfica de Correlación	18
4.5 Mapa de Paleoambientes.....	19
V. RESULTADOS.....	19
5.1 Análisis e Interpretación de Microfacies y Paleoambientes	19
5.1.1 Rampa Interna	19
5.1.2 Rampa Externa	20
5.1.3 Interpretación de Microfacies de Rampa Interna del área de Ku-Maloob-Zaap. 23	
VI. SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE CORRELACIÓN.....	40
VII. MODELO PALEOAMBIENTAL DEL KIMMERIDGIANO	42
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
IX. GLOSARIO.....	44
X. REFERENCIAS	46

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo consistió en la interpretación de microfacies para la obtención de un modelo sedimentario del Kimmeridgiano en el campo Ku de la Zona Marina, con el cual es posible delimitar la geometría de la roca almacén. Con el objetivo de realizar el estudio a detalle, se tomó información de 5 núcleos de 3 pozos y se realizaron análisis petrográficos como de microfacies

El Play “Bancos Oolíticos” es de gran relevancia, ya que concentra la mayoría de la producción petrolera de la Sonda Marina de Campeche. El presente estudio permitirá conocer las diferentes microfacies que existen en la zona y la distribución de las áreas con importancia económica.

El Kimmeridgiano se caracteriza por los bancos oolíticos y las barras de arena carbonatadas, siendo los bancos oolíticos los más importantes para este play por su calidad como roca almacén.

Los bancos oolíticos para el campo Ku se caracterizan por tener un ambiente de rampa interna y condiciones someras. Otra característica importante es el hecho de presentar intercalaciones de bancos esqueléticos con escasos ooides debido al nivel de energía muy bajo. La distribución de los bancos oolíticos como de las barras de arena carbonatadas se encuentra regida por las condiciones tectónicas en las que ocurrió el depósito.

II. OBJETIVO

El objetivo de éste trabajo es interpretar el modelo sedimentario del Kimmeridgiano del campo Ku, mediante el análisis petrográfico de muestras de núcleo y láminas delgadas, utilizando el análisis de microfacies. Las microfacies son clasificaciones biológicas y sedimentológicas en lámina delgada o en una sección pulida, que permite reconocer los ambientes al momento de su depósito.

El complejo de Ku-Maloob-Zaap es de gran importancia debido a que es el yacimiento con mayor producción del país. Generar un modelo sedimentario nos

permitirá conocer las diferentes facies sedimentarias con mayor calidad de roca almacén y así tener un manejo óptimo de la producción. Así mismo, la generación de un modelo sedimentario para el Play “Bancos oolíticos” podrá aplicarse a otros campos con el mismo comportamiento.

III. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Campo Ku se encuentra en la Zona Marina de Campeche en el sureste del Golfo de México, a 110 km al noreste de Ciudad del Carmen y tiene un área de 5 km². Estructuralmente se encuentra en el Pilar de Akal, en el trend de pliegues y cabalgaduras Akal-Ku-Zaap-Maloob, cubriendo una superficie de 350 km² (PEP, 2007) y forma parte de la plataforma continental a profundidades de 100 m hacia mar abierto, frente a los estados de Tabasco y Campeche (Figura 1).

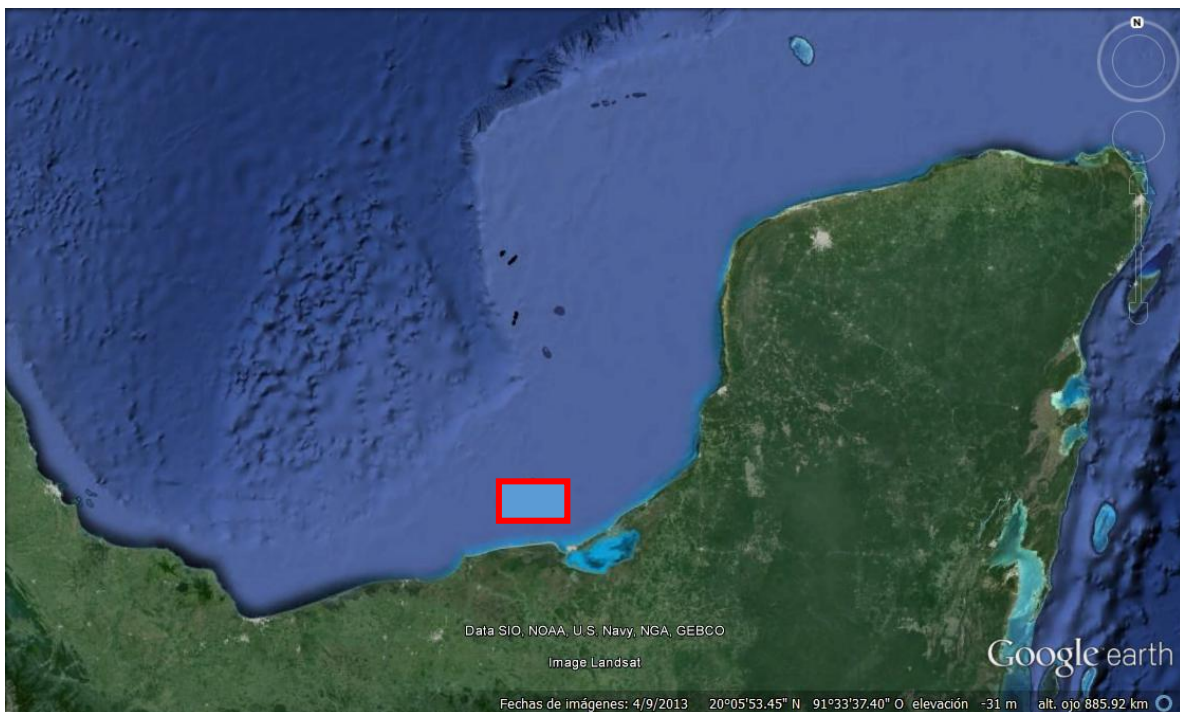


Figura 1. Mapa de ubicación del Campo Ku en la Sonda de Campeche (Google Earth, 2013).

3.1 Geología Regional

De acuerdo con Ángeles (2006), la geología regional que se tiene en la Zona Marina de Campeche está caracterizada desde el Basamento al Terciario, dividiendo las unidades litoestratigráficas en diferentes miembros (Figura 2).

Basamento

El basamento consiste en una corteza transicional delgada, la cual controla el depósito en macro-zonas de diferentes facies sedimentarias; mientras se desarrollaban las cuencas por procesos extensivos para el Jurásico Superior (Ángeles, 2006).

Calloviano

Las rocas sedimentarias más antiguas, corresponden a depósitos salinos identificados como Sal Ístmica por Ángeles *et al.* (1994), la distribución de la sal varía de mayor a menor espesor desde el centro de la cuenca del Golfo de México hasta las márgenes del paleocontinente al este del Campo Ek-Balam (Ríos, 2006).

Oxfordiano

Las rocas de edad Oxfordiano en la Sonda de Campeche, han sido denominadas por Ángeles y Cantú (2001) como Grupo Ek-Balam y se han dividido en tres unidades litoestratigráficas:

- Miembro inferior, constituido por calizas arenosas con peletoides color gris olivo que gradúan hacia la cima a arcillas y lutitas bentoníticas.
- Miembro medio, consiste de una alternancia rítmica de areniscas calcáreas, mudstone y lutitas bentoníticas, y cuerpos de arena que gradúan de arenisca conglomerática a arenisca pobremente consolidada hacia la base.
- Miembro superior, caracterizado por calizas arenosas que gradúan a areniscas calcáreas de anhidrita. La cima de esta unidad contiene capas de anhidrita con espesores de 5 a 200 m.

Kimmeridgiano

El Kimmeridgiano es representado principalmente por secuencias de rocas carbonatadas y terrígenas asociadas a packstone y grainstones de ooides, lutitas y mudstones. Esta secuencia ha sido llamada por Ángeles y Cantú (2001) como Formación Akimpech y la dividen en 4 unidades principales que se describen a continuación.

Miembro terrígeno inferior "B"

Consiste en mudstones y lutitas arenosas con delgadas intercalaciones de areniscas y dolomías con nódulos de anhidrita. El espesor comprende de 75 a 400 m. La edad del miembro es Kimmeridgiano inferior con base en la presencia de amonites y presencia de algas *dasycladáceas*.

Miembro calcáreo inferior "C"

Este miembro se caracteriza por dolomías micro a mesocristalinas, packstones ligeramente dolomitizados, intercalaciones de mudstone y lutitas arenosas, con espesores que van de 35 a 260 m.

Miembro terrígeno superior "D"

Este miembro consiste en lutitas calcáreas, mudstones y lutitas arenosas con intercalación de calizas. Se infieren orígenes continentales por los eventos de transgresión para la porción oriental de la rampa.

La presencia de algas estromatolíticas, indican tirantes de agua muy bajos. Lateralmente el miembro "D" se adelgaza hacia el occidente.

Miembro Calcáreo superior "E"

El miembro está constituido por dolomías micro y meso cristalina con texturas originales de packstone a grainstone de ooides y peloides. Se infiere que este miembro corresponde a la cima del Kimmeridgiano. Este miembro es el más importante económicamente, puesto que la mayoría de la producción proviene de él.

EDAD	ERA	SERIE	PISO	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	YACIMIENTOS KU-MALOOB-ZAAP	EVENTOS TECTÓNICOS
CENOZOICO	PLEISTOCENO	Superior				<p>Evento cascadiano</p> <p>Fallas listricas y normales Mioceno Superior-Reciente</p> <p>Esfuerzos compresivos y de transcurrencia Fallamiento inverso y lateral derecho Migración salina (Oligoceno Superior-Mioceno Medio)</p> <p>Calcarenitas del Eoceno Medio</p> <p>Evento Laramídico</p>
		Inferior				
	PLIOCENO	Medio	Placenziano			
		Inferior	Zanciliano			
	MIOCENO	Superior	Messiniano			
			Tortoniano			
		Medio	Serravalliano			
			Langiniano			
	Inferior	Burdigaliano				
		Aquitano				
	OLIGOCENO	Superior	Chattiano			
		Inferior	Rupeliano			
	EOCENO	Superior	Bartoniano			
		Medio	Luteciano			
Inferior		Ypresiano				
PALIOCENO	Superior	Thanetiano				
	Inferior	Montiano				
			Daniano	F. Abkatún		
MESOZOICO	CRETÁCICO	Superior	Maestrichtiano	Cantarell	Brechas calcáreas	
			Campaniano			
			Santoniano	"KS"		
			Coniaciano			
			Turoniano			
		Cenomaniano				
		Inferior	Albiano			
			Aptiano			
			Barremiano	Akal	Calizas y calizas dolomitizadas	
			Hauteriviano			
	Valanginiano					
	Berriasiano					
	JURÁSICO	Superior	Titoniano	Edzna		
			Kimeridgiano	Akimpech	Calizas oolíticas	
		Oxfordiano	Ek-Balam			
		Medio	Caloviano	Sal ístmica		
						<p>Fallas extensionales, bloques escalonados, subsidencia regional</p> <p>Formación del Golfo de México Rifting (disgregación de Pangea) Fosas y pilares</p>

Figura 2. Columna estratigráfica regional de la Sonda de Campeche, litologías generalizadas de los yacimientos y resumen de los principales eventos tectónicos que afectaron el área de estudio. CEY tomo1.

3.2 Tectónica

La región petrolera marina conocida como Sonda de Campeche, se localiza en lo que se denomina el cinturón calcáreo plegado Reforma-Akal, el cual está integrado por una porción continental y otra marina. Se ubica en la Cuenca del Sureste, y está flanqueado por las cuencas de Macuspana y la de Comalcalco dicho por Meneses de Gyves, (1980) (Figura 3).

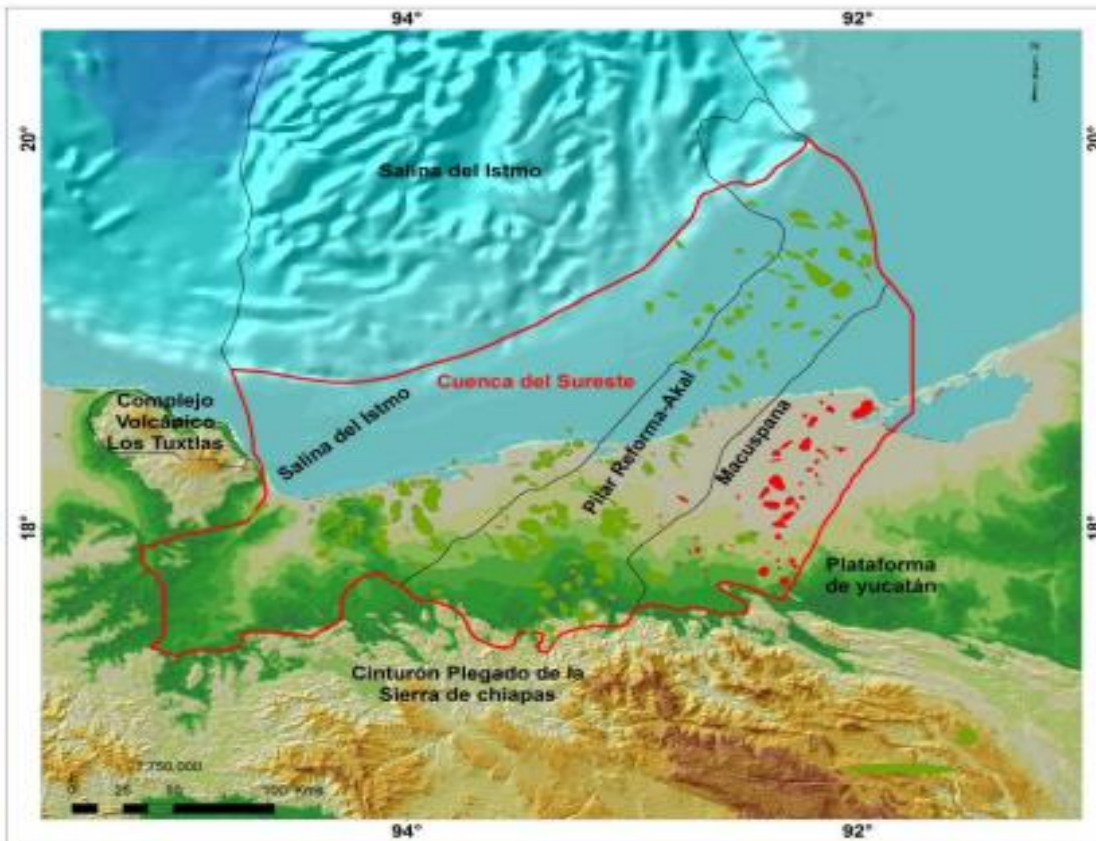


Figura 3. Provincias tectónicas de la Provincia petrolera del Sureste. El Pilar Plataforma-Akal es el rasgo tectónico con mayor importancia para la Sonda Marina de Campeche (PEP, 2013).

El cinturón plegado Reforma-Akal colinda con la Plataforma de Yucatán, considerado un elemento cratónico estable desde finales del Paleozoico, cuyos márgenes han sido modificados desde el aislamiento en el Jurásico Temprano considerado como microplaca. A partir del Jurásico Tardío este elemento ha sido cubierto por un espesor considerable de carbonatos y de evaporitas; actualmente

presenta un relieve prácticamente plano con numerosas evidencias de erosión kárstica (Rosenfeld, 2002).

Existen cuatro eventos tectónicos formacionales que tienen mayor influencia en la región: el evento de rifting (apertura del golfo), desde el Triásico Tardío hasta el Jurásico Medio; la colisión del bloque de Chortis en el Cretácico Tardío; el impacto de un asteroide en el límite Cretácico-Terciario; y el basculamiento del Bloque de Yucatán hacia el occidente desde el Cretácico hasta el Neógeno (Rosenfeld, 2002).

IV. METODOLOGÍA

El presente estudio caracteriza de manera sedimentológica el campo KU para el Kimmeridgiano (JSK), describiendo e interpretando las microfacies observadas en 3 pozos. En la Figura 4 se plantea la serie de procesos que se llevaron a cabo para la obtención de los resultados y su posterior interpretación:

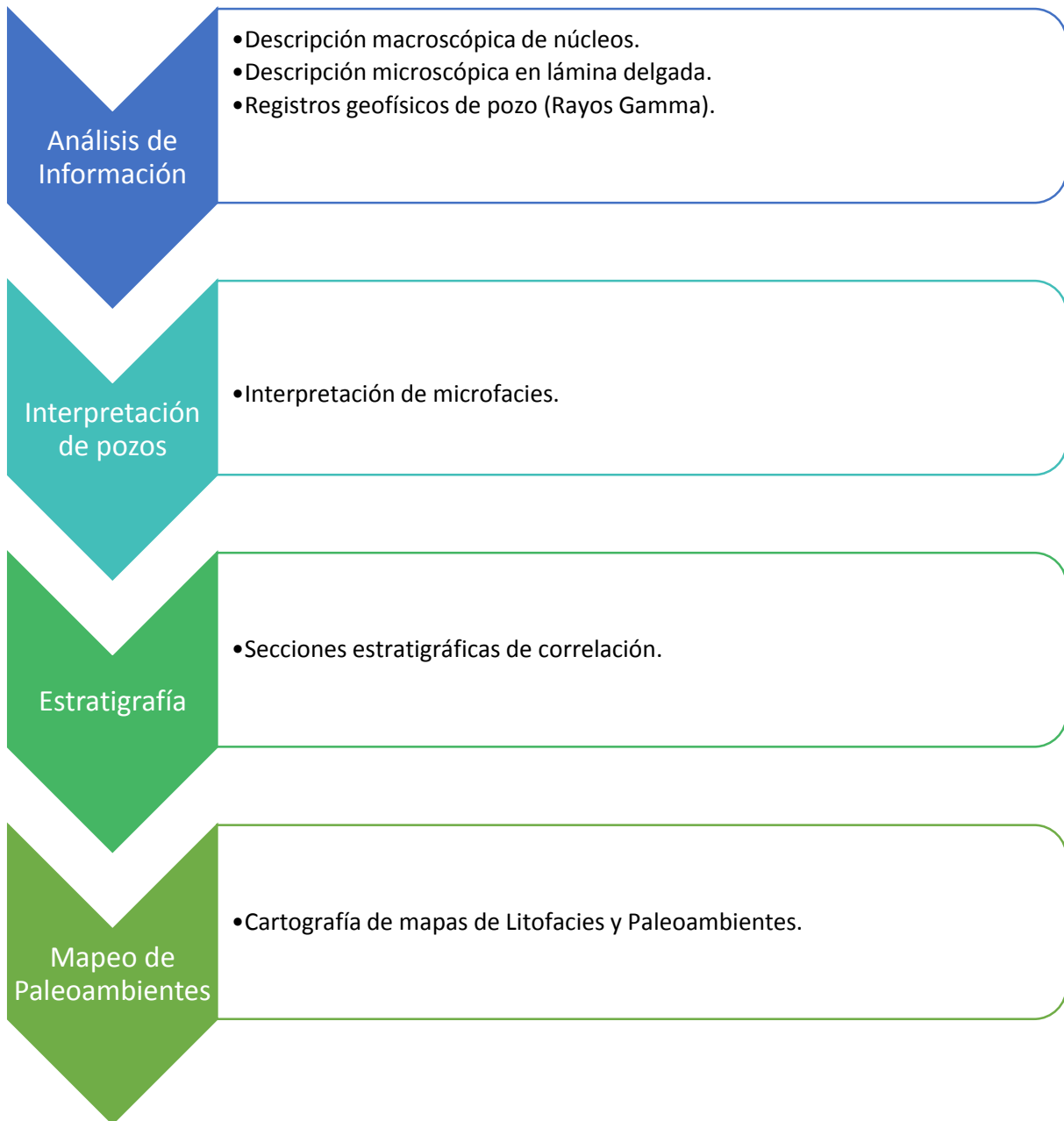


Figura 4. Diagrama de Flujo de trabajo para la obtención del Modelo Sedimentario (Vidal, 2014).

4.1 Análisis de Información

El análisis de información se desarrolló mediante las descripciones de fragmentos de núcleos, láminas delgadas y muestras de canal de los 3 pozos, corroborando la información con registros geofísicos de pozos (Rayos Gamma) para cada uno de ellos (Figura 5).

4.1.1 Descripción macroscópica de núcleos

Para los 5 núcleos, se describieron macroscópicamente, las texturas, el color, los componentes aloquímicos y ortoquímicos, y estructuras sedimentarias. De igual manera se tomaron fotografías de fragmentos de los núcleos para así contar con una base de datos de los pozos estudiados, y poderlos consultar en el futuro, principalmente en los cambios notorios de textura.

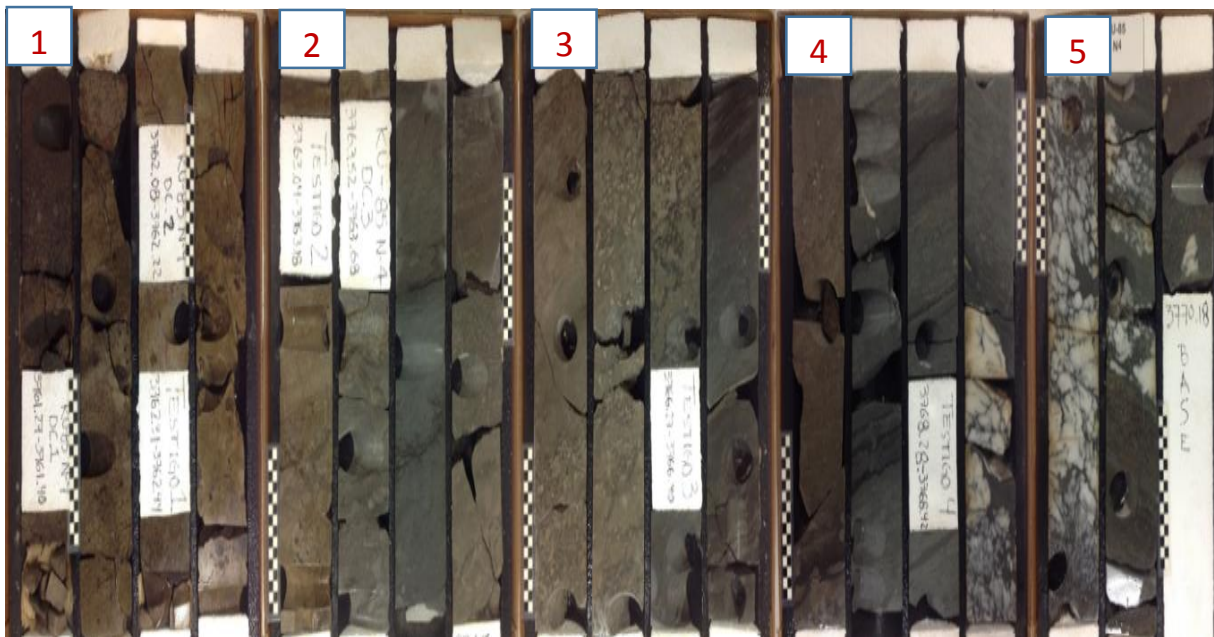


Figura 5. Imagen de fragmentos de núcleos del pozo “C”. Hacia la cima (Derecha) encontramos un Dolograinstone de peloides, ooides y bioclastos indicando ambientes de relativa alta energía (1). Bajando estratigráficamente encontramos texturas de Bounstone de algas (2), Floatstone de esponjas y bioclastos (3) que indican ambientes someros y en la base encontramos un Bindstone de carpeta de algas (4), con nódulos de anhidrita (5) que indican ambientes someros.

4.1.2 Descripción microscópica de núcleos

Para el presente estudio se describieron láminas delgadas (muestras de canal y de núcleos) de los 3 pozos. Las láminas delgadas han sido descritas mediante microscopio petrográfico, identificando texturas originales, el grado de dolomitización, tipos de partículas e impregnación de hidrocarburos (Figura 6).

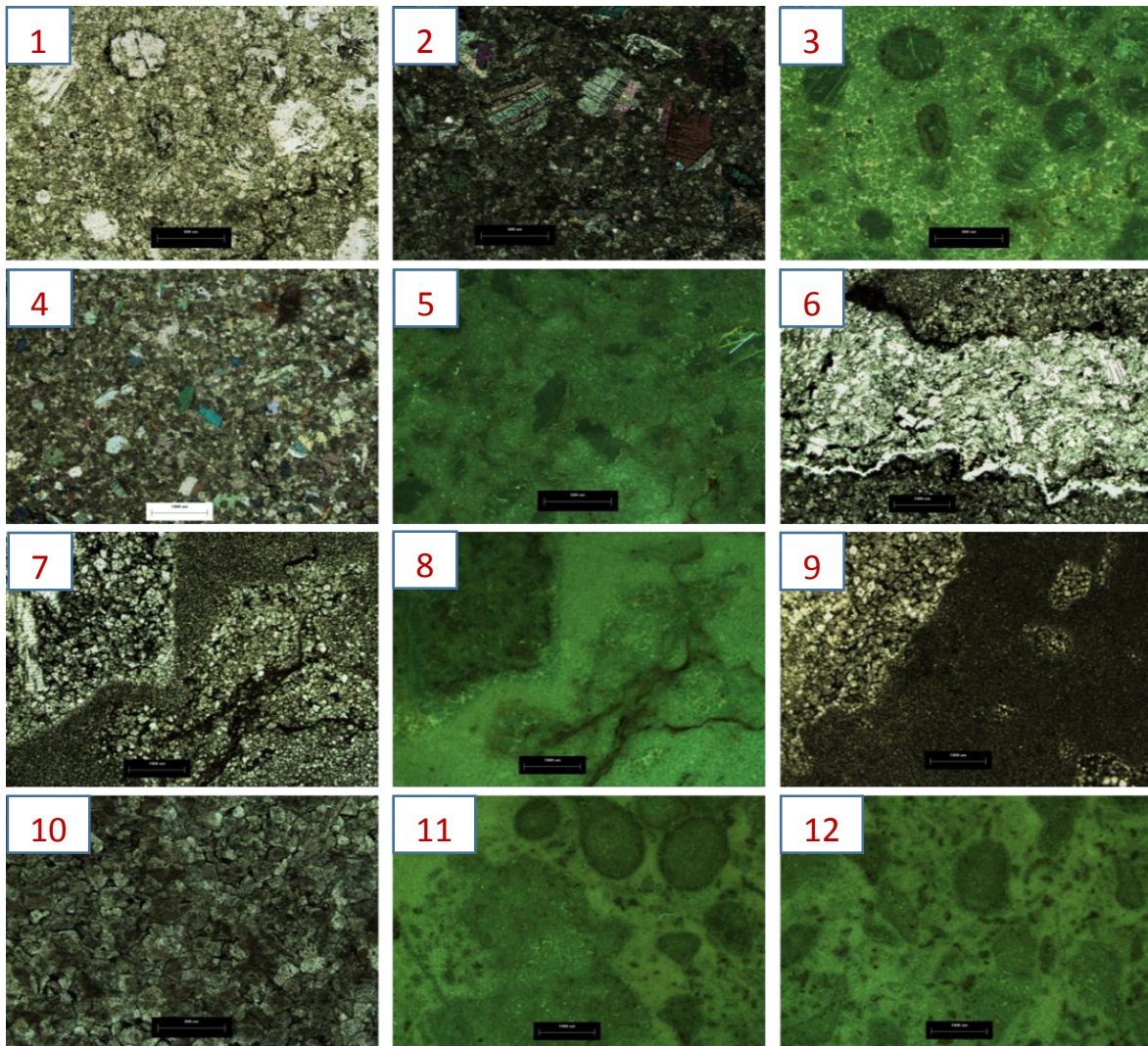


Figura 6. Fotografías en lámina delgada del pozo B.1. Dolobindstone con nódulos de anhídrita y presión solución, 2. Dolobindstone con nódulos de anhídrita y escaso microfracturamiento, 3. Dolobindstone de posibles esponjas con escasos ooides y peloides, 4. Dolomía arenosa con cuarzo detrítico y fantasmas de ooides, 5. Dolobindstone con escasos ooides y peloides, escasa impregnación de hidrocarburos, 6. Dolobindstone con nódulos de anhídrita y pirita, con porosidad interpartícula, 7-8 Dolobindstone arcilloso con escasos ooides, presión solución con microfracturamiento y

escasa impregnación de hidrocarburos, 9. Dolobinstone con porosidad móldica que pasa a dolowackestone de ooides, 10. Dolobinstone de posibles esponjas, escasos ooides y/o peloides con porosidad interpartícula, 11-12 Dolobinstone de esponjas con porosidad móldica.

4.1.3 Registros geofísicos de pozos (Rayos Gamma)

Con la interpretación litológica mediante el análisis petrográfico de los 3 pozos, se calibró con los registros de rayos gamma. Se ha interpretado en los registros de rayos gamma que las rocas con alto compactamiento y/o dolomitizadas corresponden con valores bajos de grados API, mientras que las rocas arcillosas y de textura fina, son las que corresponden a bajos valores de grados API (Figura 7).

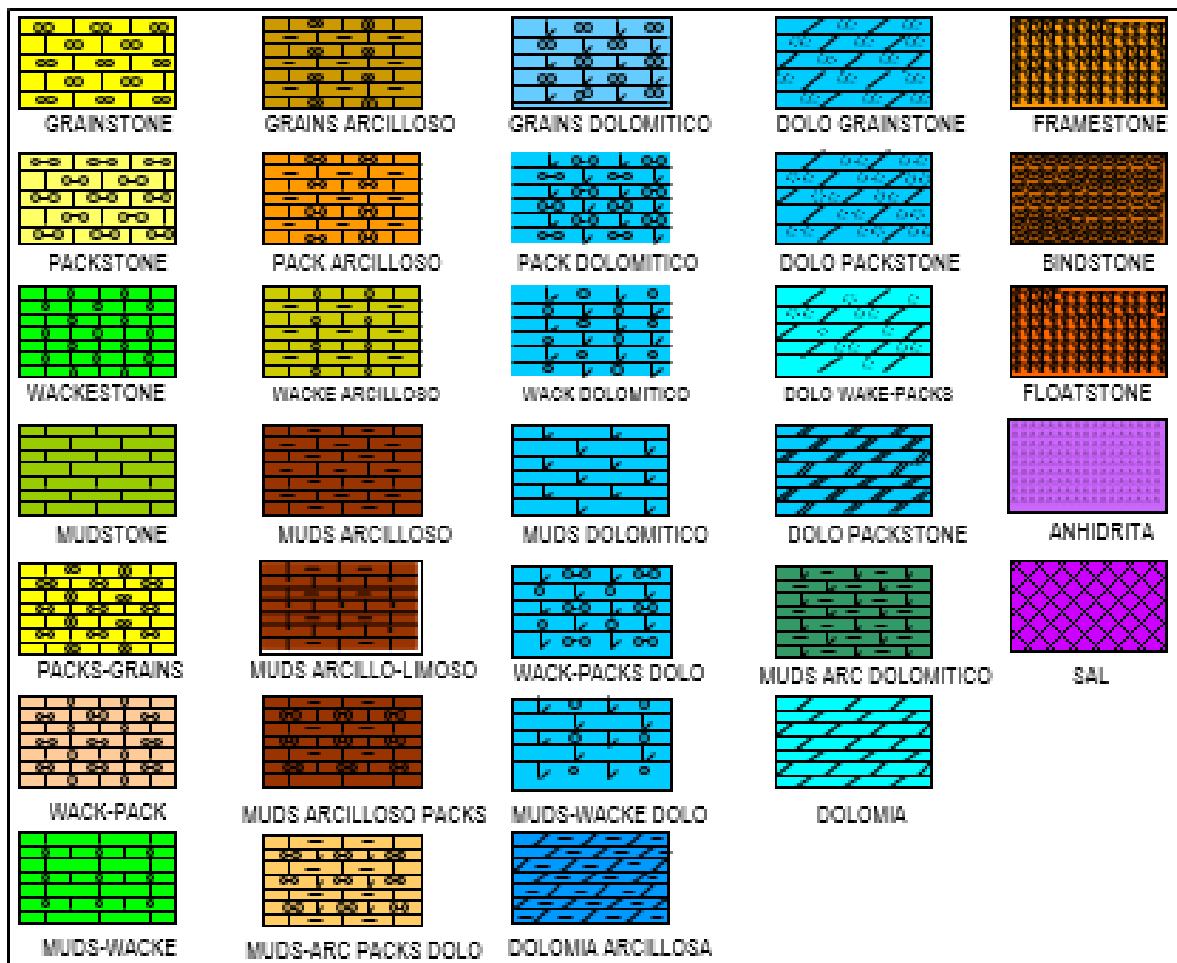


Figura 7. Simbología completa para la clasificación de texturas (Robles *et al.*, 2011)

4.2. Interpretación de microfacies

Para los 3 pozos se realizaron los análisis e interpretación de las microfacies. Los tipos de partículas encontradas fueron oóides, intraclastos, micrita, bioclastos, contenido terrígeno y minerales accesorios; además se cuantificó el grado de dolomitización y las estructuras sedimentarias presentes. Las microfacies se introdujeron en un perfil batimétrico para tener una idea más clara de los ambientes y de las secuencias sedimentarias de manera que nos permita identificar los cambios relativos del nivel del mar para el Kimmeridgiano (Figura 8).

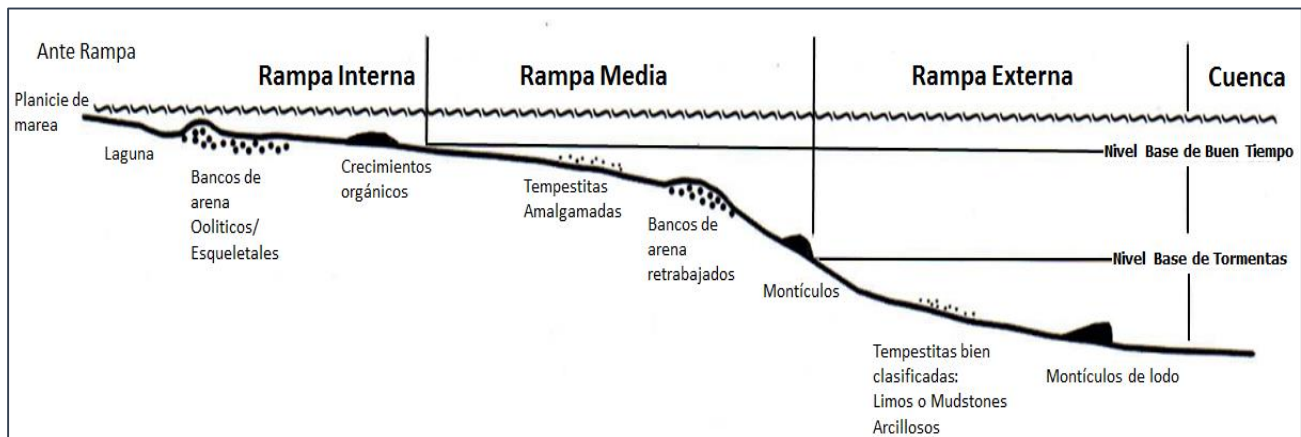


Figura 8. Principales subambientes para una Rampa Distalmente Pronunciada (Burchette & Wright, 1992).

4.3 Partículas Carbonatadas

A continuación se describen los diferentes tipos de partículas (Aloquímicos y Ortoquímicos) que suelen encontrarse en las rocas carbonatadas:

Bioclastos.- Son partículas esqueléticas importantes dentro de las rocas carbonatadas, ya que no solo actúan como uniones entre crecimientos continuos de algas, sino también como agentes de depositación y entrapamiento de lodo carbonatado. Los principales son: algas, foraminíferos, ostrácodos, espículas de esponjas, corales, briozoarios, trilobites, equinodermos, moluscos y braquiópodos (Ver Figura 9).

Pellets.- Son estructuras pequeñas esféricas o elípticas sin estructura interna. Son agregados homogéneos de calcita microcristalina, los cuales pueden presentarse equidimensionalmente dentro de la roca. Su tamaño varía de 0.03 a 0.15

milímetros. Se considera que representan productos fecales de organismos acuáticos. Los términos peloides, pseudopeloides o peletoides se utilizan cuando se tienen estructuras del tipo de granos redondeados micríticos o de microesparita de origen incierto. Cuando son de origen algáceo se les llama peloides algáceos (Ver Figura 9).

Ooides, pisoides y oncoides.- Los ooides son partículas carbonatadas casi esféricas que presentan una estructura concéntrica interna, con diámetros que varían entre 0.25 a 2 mm. Estas estructuras se originan por la acción del oleaje y corrientes continuas en lugares donde se presenta una depositación rápida de calcita, a partir de un núcleo que puede ser un fragmento fósil, un pellet o un grano detrítico. Un ooide puede formarse a través de diferentes ciclos de abrasión alternando con crecimiento en el mismo lugar del depósito. El crecimiento probablemente ocurre por precipitación a partir de soluciones como en el caso de las estalactitas. En las Bahamas, las ooides se desarrollan en canales de marea y corrientes o en dunas submarinas cerca de la costa donde se presenta una alta energía (Ver Figura 9).

Los pisoides son estructuras semejantes a las oolitas en estructura interna; sin embargo, son de forma más irregular y con diámetros mayores a los 2 mm. Aunque la diferencia entre los pisoides y los ooides es el tamaño y la forma irregular, el origen de los primeros es controvertido. Dunham (1969) considera que los pisolitos son parte de la corteza de caliche en la zona vadosa de un suelo; mientras que Pray y Esteban (1977) sugieren que se forman también por precipitación inorgánica de salmueras; sin embargo, estos constituyentes no se han observado en ambientes carbonatados recientes ya sea en caliches o cuerpos de agua hipersalinos.

Los oncolitos son esencialmente idénticos a los pisoides en muestra de mano; sin embargo, en lámina delgada los oncolitos muestran una estructura filamentosa característica de incrustaciones algáceas, por lo que se considera que éstas presentan un origen orgánico desarrollado en un ambiente marino de salinidad normal. Estos constituyentes son muy comunes dentro de ambientes carbonatados recientes.

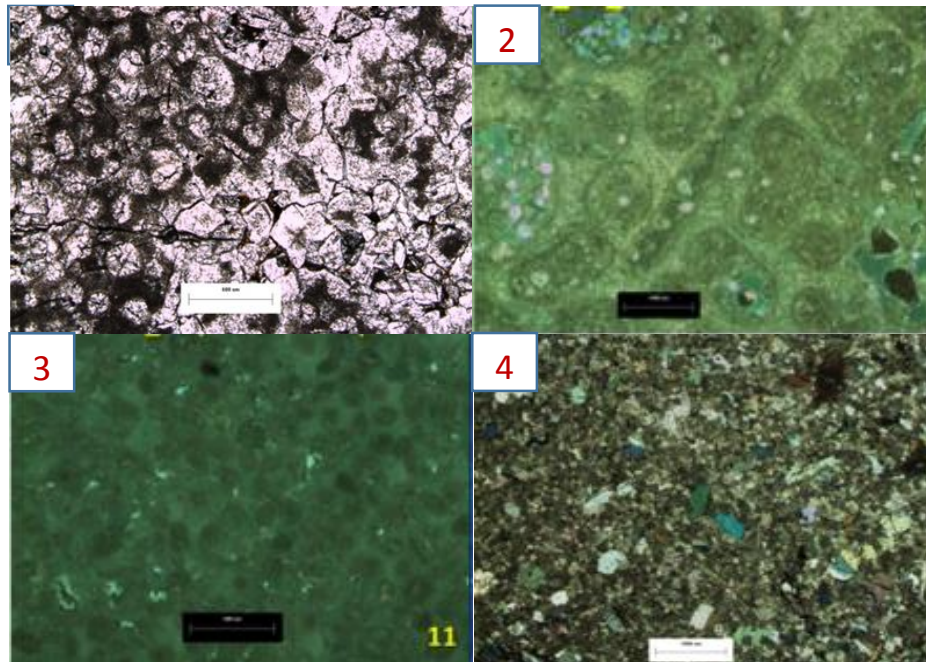


Figura 9. Diferentes tipos de partículas. (1) Grainstone dolomitizado de foraminíferos bentónicos, (2) Packstone de ooides, (3) Packstone-grainstone de peloides, (4) Wackestone detrítico (Scholle, 2003).

Litoclastos.- Éstos representan fragmentos penecontemporáneos de calizas litificadas que han sido destruidas, retrabajadas y redepositadas por corrientes. Cuando esto ocurre dentro de la cuenca de depósito se les conoce como intraclastos; cuando los fragmentos de caliza provienen de fuera de la cuenca de depósito se le llama exoclastos.

Los intraclastos consisten de cualquier tipo de caliza (micrita, biomicrita, intraesparita, etc.) y varían en tamaño, desde una arena de grano fino hasta grandes bloques, lo que da lugar a conglomerados y brechas de calizas según hayan sido retrabajadas por corrientes, tormentas o por la inestabilidad tectónica del depósito.

Calcita microcristalina (micrita).- Se presenta en cristales del tamaño de la arcilla (1–5 micras de diámetro), afanítica y oscura en muestra de mano y ligeramente opaca en sección delgada. El color puede variar de blanco a pardo oscuro dependiendo de la cantidad de impurezas, principalmente de materia orgánica.

La micrita (Figura 10) se considera un precipitado químico normal, ésta puede formarse inorgánicamente por calentamiento, evaporación o ligera turbulencia, pero principalmente por precipitación de algas, bacterias u otro tipo de organismos.

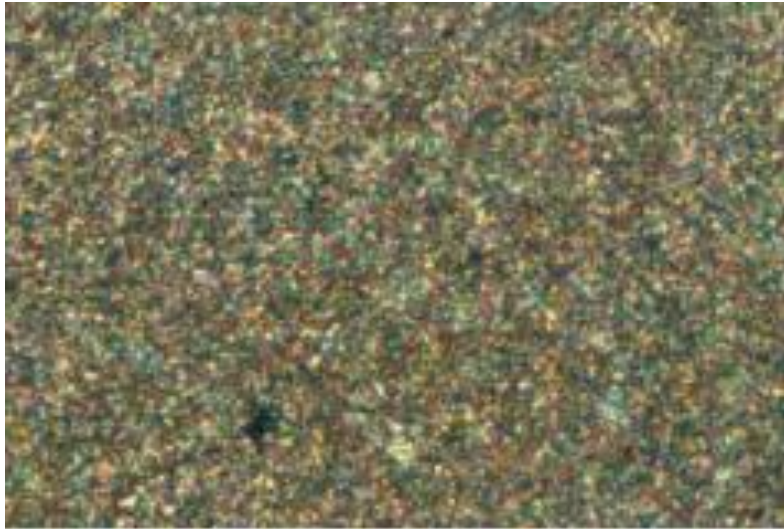


Figura 10. Micrita del Jurásico (Scholle, 2003)

Cemento de calcita espática (esparita).- Se presenta como granos o cristales de 10 micras o más de diámetro y se distingue de la micrita, además por su tamaño, por su transparencia en muestra de mano, ya que se tiene como si se observaran cristales claros de cuarzo.

La esparita generalmente se presenta rellenando poros como cementante precipitado “in situ”; algunas veces la esparita se precipita en cuestión de años. En algunas áreas en la zona de intermarea las arenas carbonatadas son cementadas como roca; sin embargo, la esparita también se origina mucho después del enterramiento o por recristalización a partir de los cristales más finos de calcita.

4.4 Sección Estratigráfica de Correlación

Una vez obtenidos los datos petrográficos y la interpretación de microfacies, se realizó una sección de correlación estratigráfica para poder establecer los cambios laterales, inferiores y superiores de facies en los 3 pozos. En ocasiones la correlación se hace sin tener una secuencia completa en cada una de las

unidades estratigráficas comparadas, pero al realizarla se tiene información más completa del registro sedimentario.

La correcta correlación de las unidades geológicas en los pozos es necesaria para construir la sección estratigráfica y un mapa de alta confiabilidad, así como para efectuar análisis regional de facies.

4.5 Mapa de Paleoambientes

Se realizó el mapa de paleoambientes con los datos obtenidos anteriormente, permitiendo establecer la distribución paleobatimétrica con los grupos de fósiles y las partículas no esqueléticas para el Kimmeridgiense. Con base en el mapeo se puede determinar tanto la calidad de la roca almacén como la distribución de las facies con mejor calidad, permitiendo hacer un modelo sedimentario óptimo para análisis posteriores.

V. RESULTADOS

El presente trabajo se enfocó en el análisis de microfacies para la generación del modelo sedimentario.

5.1 Análisis e Interpretación de Microfacies y Paleoambientes

El modelo sedimentario propuesto para el Jurásico Superior corresponde a un modelo de Rampa, Flügel (2004) propone dos tipos de rampas; las Rampas Homoclinales y las Rampas Distalmente Pronunciadas.

Para el área del campo Ku se ha propuesto el modelo de Rampa Distalmente Pronunciada (Flügel, 2004). Las rampas pronunciadas se caracterizan por presentar un incremento en la pendiente hacia la región de la rampa externa, en este tipo de rampa son comunes los depósitos de flujos de gravedad (Figura 11).

5.1.1 Rampa Interna

La rampa interna comprende la zona eufótica entre la costa o la línea de costa lagunar y el nivel base de las olas. El piso oceánico está siendo afectado por el

oleaje constantemente. La zona está dominada por barras de arenas, barreras esqueléticas y depósitos costeros.

Los sedimentos están constituidos por cuerpos de arena carbonatados formados en las partes someras por la energía de las mareas. Los cuerpos de arena carbonatados consisten de ooides y/o partículas esqueléticas, comprendiendo desde foraminíferos, algas calcáreas y/o moluscos. Las tormentas contribuyen a la formación de cuerpos de arena con grandes extensiones que apoyan a la formación de dunas eólicas. Las tormentas alejadas de la costa contribuyen al transporte de sedimentos hacia la rampa externa. Crecimientos orgánicos en los ambientes de rampa interna se caracterizan por biostromas y pequeños parches arrecifales caracterizados por una baja biodiversidad (corales, rudistas, ostrácodos). La textura de los carbonatos para la rampa interna es de grainstones y packstones.

Los sedimentos de la anterampa se originan en ambientes de perimarea, similares a aquellos sedimentos de ambiente de plataforma interna y el área de laguna restringida.

5.1.2 Rampa Externa

La rampa media es la zona entre el nivel del buen tiempo y el nivel base de marea de tormenta. La profundidad del mar alcanza algunas decenas de metros. El sedimento depositado al fondo es retrabajado frecuentemente por la influencia del nivel de energía de las mareas provocadas por tormentas. Los sedimentos reflejan variaciones en la influencia de las tormentas dependiendo de la profundidad y de la topografía del fondo marino. Estratos de intraclastos y brechas son muy comunes en este ambiente al igual que los bancos oolíticos y de bioclastos.

Las características relacionadas con los depósitos de tormenta son packstone gradados, grainstone, estratificación cruzada hummocky y la mayoría de las veces se presentan como tempestitas amalgamadas. Granos esqueléticos exhiben signos de transporte.

Las fases de buen tiempo están representadas por sedimentos dominados por mudstones limosos. La mayor parte de los sedimentos de grano fino, fueron

causados por transportes laterales en áreas del “offshore” y/o por transporte que va desde la línea de costa hasta áreas de rampa media y externa. Los depósitos de rampa media son frecuentemente más delgados que los depósitos de rampa. Los crecimientos orgánicos están representados por arrecifes de pináculo y acumulaciones lodosas.

La rampa externa es la zona que se encuentra por el nivel base de las olas. La profundidad del mar varía entre decenas a centenas de metros. La zona está caracterizada por carbonatos autóctonos y alóctonos de baja energía. Existen pequeñas evidencias directas de retrabajo por tormenta. Las litofacies más comunes son de calizas de grano fino asociadas con margas y lutitas. La biota comprende organismos bentónicos, asociados con plankton y nekton. Los organismos bentónicos incluyen foraminíferos, esponjas, briozoarios, braquiópodos, moluscos y equinodermos. Las algas están constituidas por algas rojas. En áreas de rampa externa con más profundidad se desarrollan condiciones restrictivas.

El corte de talud de las rampas distalmente pronunciadas se encuentra localizada entre los límites de la rampa media y la rampa externa. La deposición de material derivada del talud se encuentra cercana.

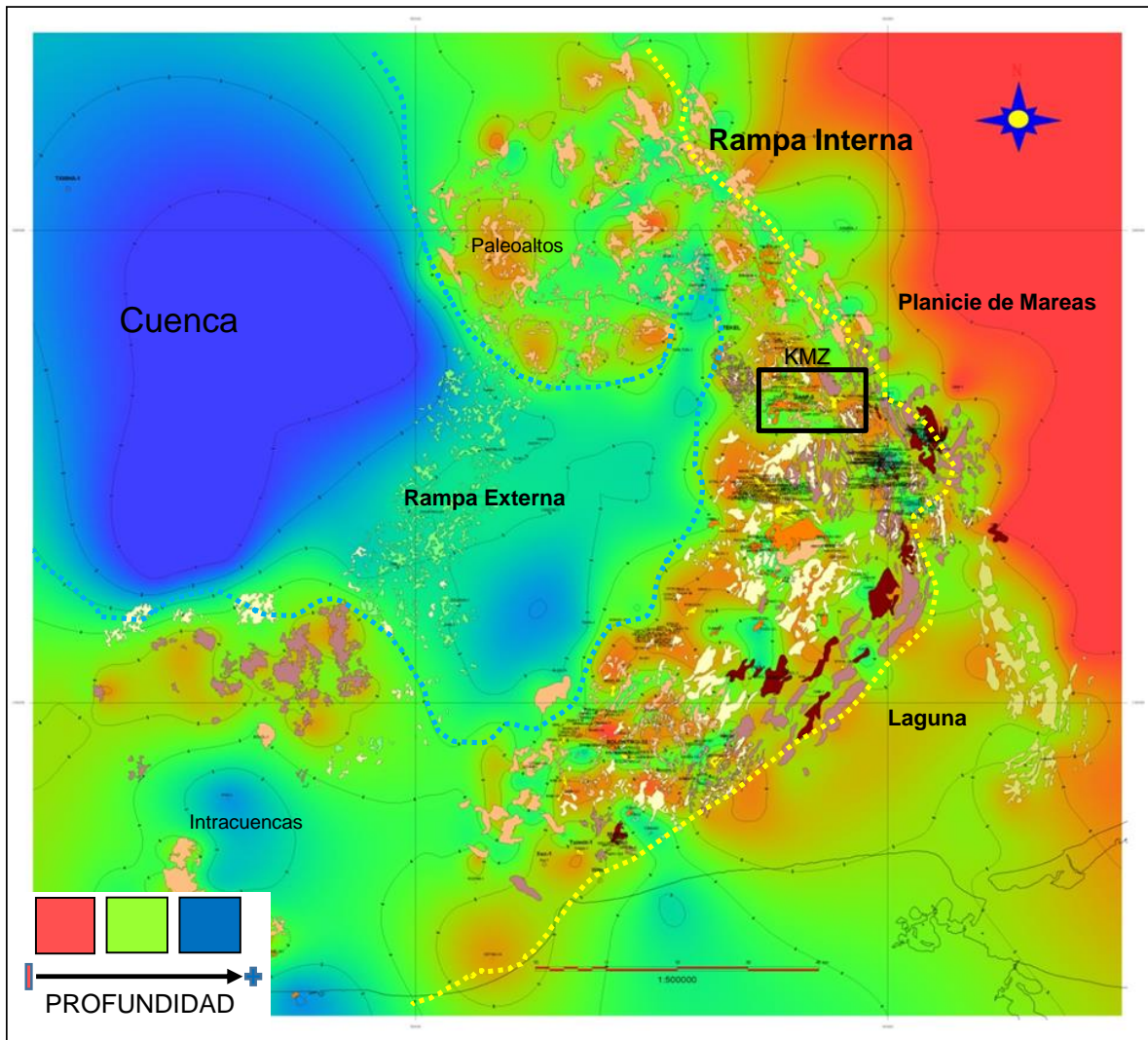


Figura 11. Mapa regional de paleoambientes de la Sonda de Campeche para el Jurásico Superior (Aguilera y Prado, 2014).

5.1.3 Interpretación de Microfacies de Rampa Interna del área de Ku-Maloob-Zaap

Para el área comprendida por los campos Ku, Maloob y Zaap, se han interpretado 8 microfacies en total. Denominadas FRDP (Facies de Rampa Distalmente Pronunciada) que se encuentran en un ambiente de rampa interna; abarcando ambientes marinos abiertos y de circulación restringida. La Figura 12 muestra las 8 microfacies identificadas para el Kimmeridgiano en el presente trabajo.

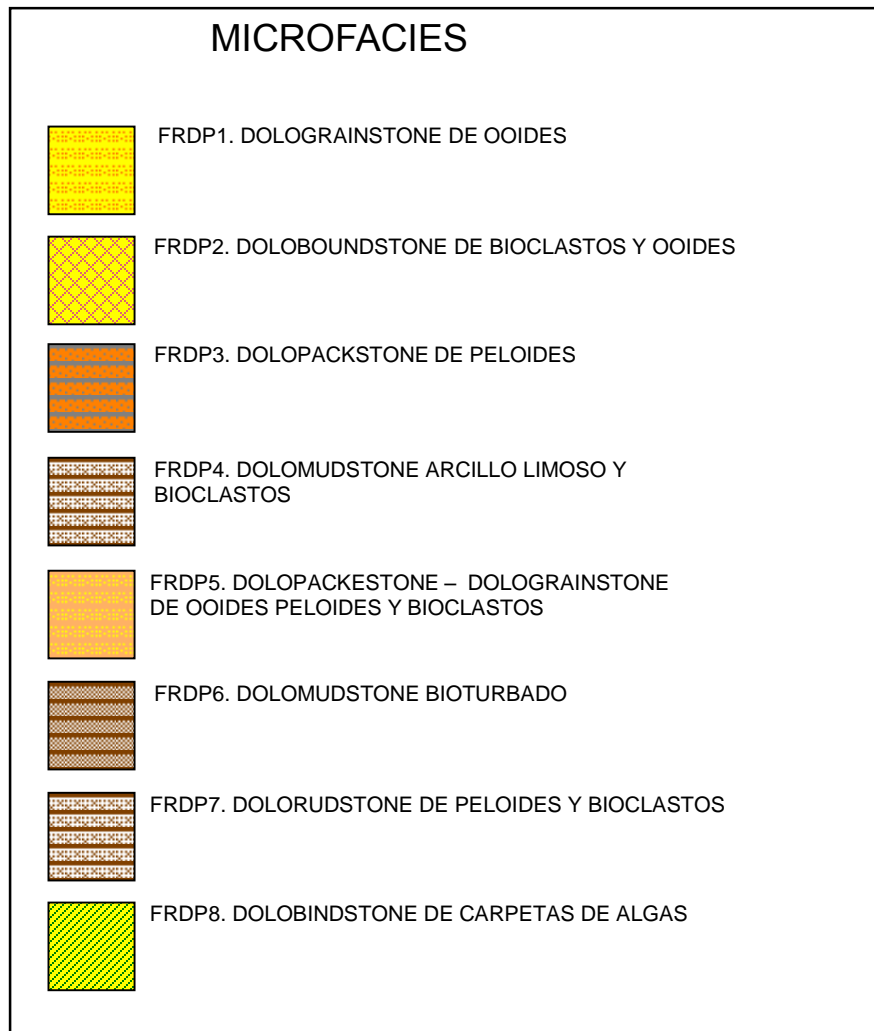
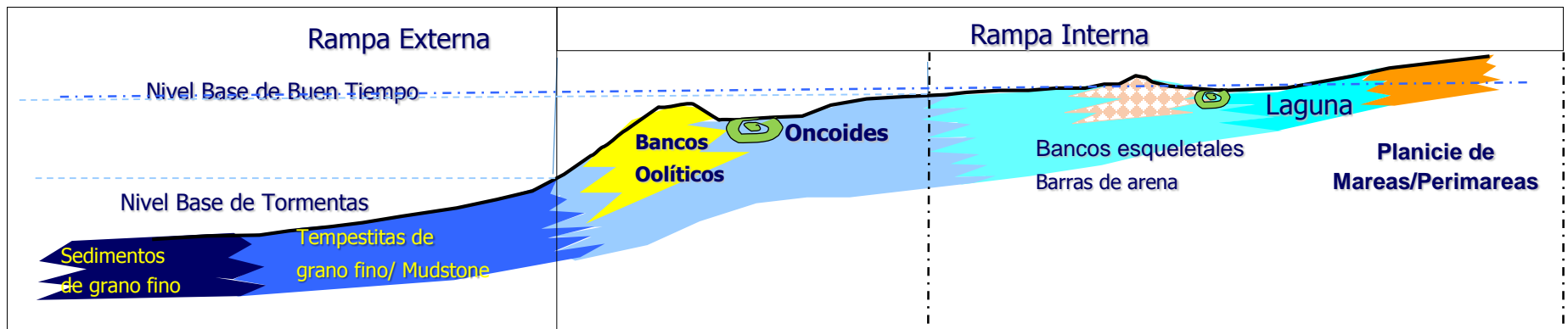
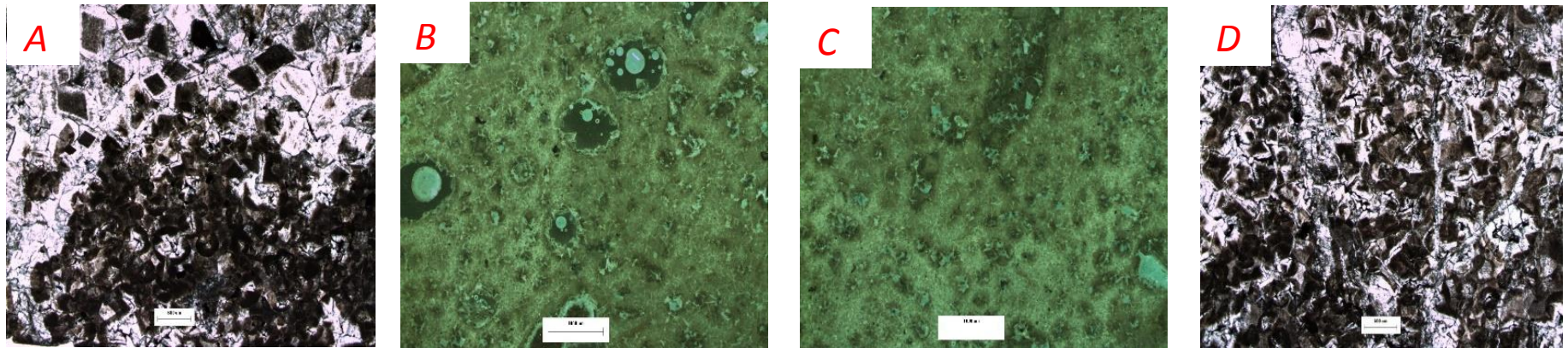


Figura 12. Tabla de las 8 Microfacies interpretadas para el Kimmeridgiano (Aguilera y Prado, 2014).

FRDP1. DOLOGRAINSTONE DE OOIDES

Descripción.- Dolomía con sombras de ooides, peloides y bioclastos. La textura original está constituida por grainstone de ooides, peloides y escasos bioclastos con moderada clasificación. Los bioclastos están representados por fragmentos de moluscos y algas dasicladáceas (*Acicularia elongata*). Se observa laminación paralela y laminación cruzada. Con fracturas parcialmente abiertas y otras rellenas de calcita. Esta microfacies presenta porosidad intercrystalina, oomóldica, vugular y escasa porosidad móldica de bioclastos, con impregnación de hidrocarburos (Figura 13).

Interpretación. Corresponde a un ambiente de rampa interna de submarea-intermarea somera. Las partículas de ooides y peloides, junto con la estratificación cruzada y paralela, muestran que las acumulaciones de arenas carbonatadas se desplazaron a causa de las corrientes unidireccionales y bidireccionales ocasionadas por los cambios del nivel del mar y las mareas.



Adaptado de Burchette y Wright, 1992 y Flugel, 2004

Figura 13. **FRDP1** Dolomía con textura de grainstone con sombras de ooides, peloides y bioclastos, con moderada impregnación de hidrocarburos, corresponde a un ambiente de rampa interna, submarea-intermarea somera. A. Cristales de dolomita euhedrales, B. Fantasmas de ooides, peloides y bioclastos con porosidad oomóldica, C. Fantasmas de ooides, peloides y bioclastos con escasa impregnación de hidrocarburos y porosidad vugular, D. Cristales de dolomita euhedrales con porosidad intercrystalina.

FRDP2. DOLOBOUNDSTONE DE BIOCLASTOS Y OOIDES

Descripción.- Dolomía de color gris claro con textura original de boundstone de esponjas, algas, posibles corales y foraminíferos incrustantes (*Tubiphytes* sp) con matriz de packstone de bioclastos, ooides y escasos peloides. Se observan nódulos de anhidrita en la matriz. En partes se observa laminación paralela, con presión solución y fracturas parcialmente abiertas con impregnación de hidrocarburos. El tipo de porosidad que se presenta es móldica y en ocasiones porosidad vugular y por fracturas (Figura 14).

Interpretación.- El ambiente de depósito corresponde a una facies de rampa interna, lagunar de baja energía, en donde los crecimientos orgánicos y los montículos orgánicos dependen de la luz, mientras que su geometría depende del acomodamiento así como de la topografía y las condiciones de sedimentación del ambiente.

Esta microfacies contienen abundancia de foraminíferos incrustantes, los cuales se desarrollan y adaptan a diferentes condiciones ambientales en los parches arrecifales y de esponjas gracias a su capacidad de formar una simbiosis con otros organismos (Reinhold *et al*, 1996). El desarrollo de los crecimientos orgánicos fueron influenciados mayormente por la tectónica más que por la sedimentación.

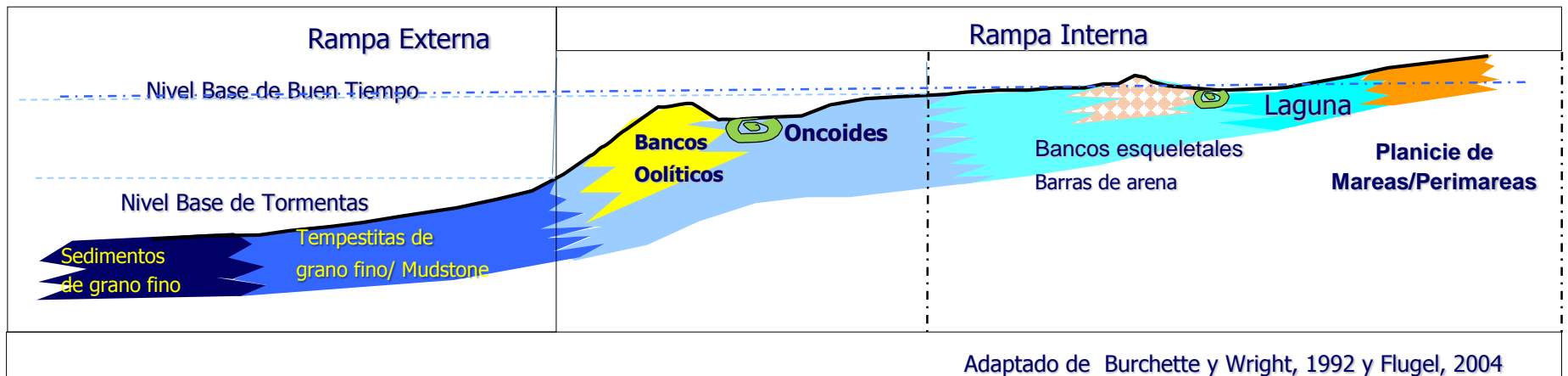
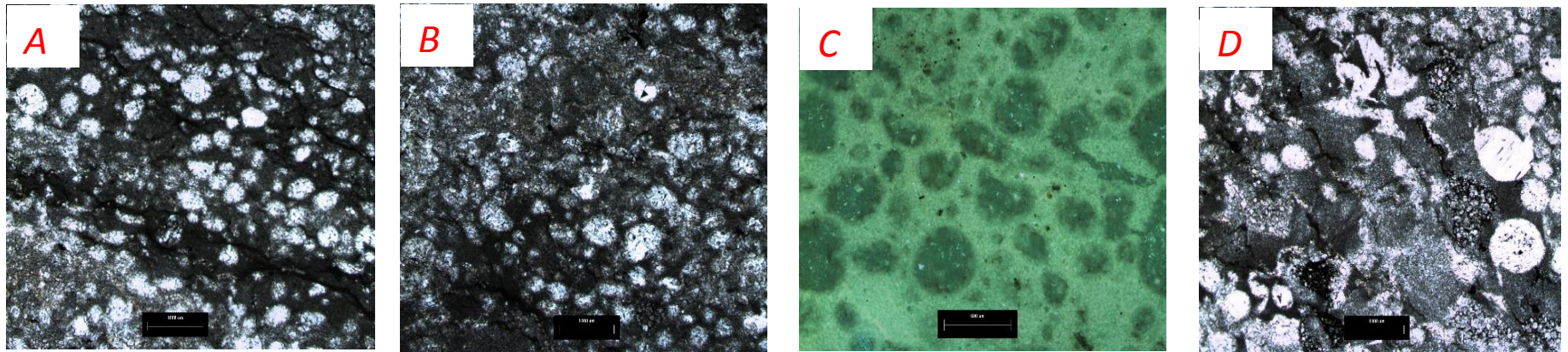


Figura 14. **FRDP2**. Dolomía con textura original de boundstone de esponjas, algas, corales y foraminíferos incrustantes con matriz de packstone de bioclastos, ooides y escasos pelooides. El ambiente de depósito corresponde a una facies de rampa interna, lagunar de baja energía. A. Nódulos de anhidrita presentes en la matriz y porosidad por microfracturamiento, B. Matriz de packstone con nódulos de anhidrita, C. Boundstone de esponjas y corales. D. Matriz de packstone y nódulos de anhidrita con porosidad tipo vugular.

FRPD3. DOLOPACKSTONE DE PELOIDES

Descripción.- Dolomía con textura original de packstone de peloides y escasos ooides, granos envueltos y bioclastos con porosidad intercrystalina e impregnación de hidrocarburos. Mal clasificado, de baja energía. Porosidad Intercristalina. Los bioclastos están constituidos principalmente por algas y fragmentos de foraminíferos bentónicos (Figura 15).

Interpretación.- La facies corresponde a la rampa interna, de ambientes de submarea profunda y/o lagunar, posiblemente se presenta en partes protegidas de cúmulos de arenas carbonatadas. La gran cantidad de peloides evidencia condiciones de baja energía. Aunque estas rocas presentan impregnación de hidrocarburos, su calidad como roca almacén es de baja a moderada.

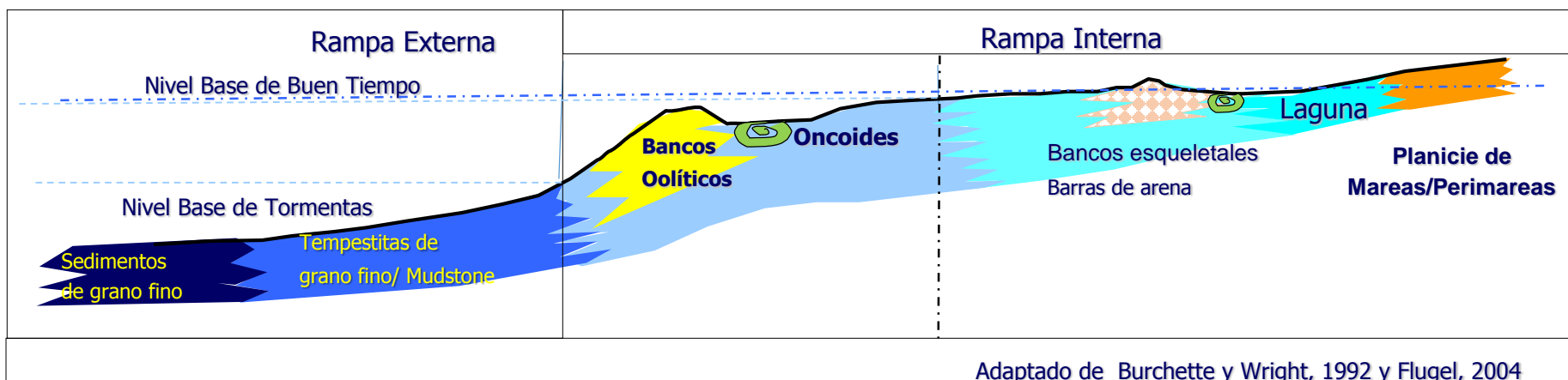
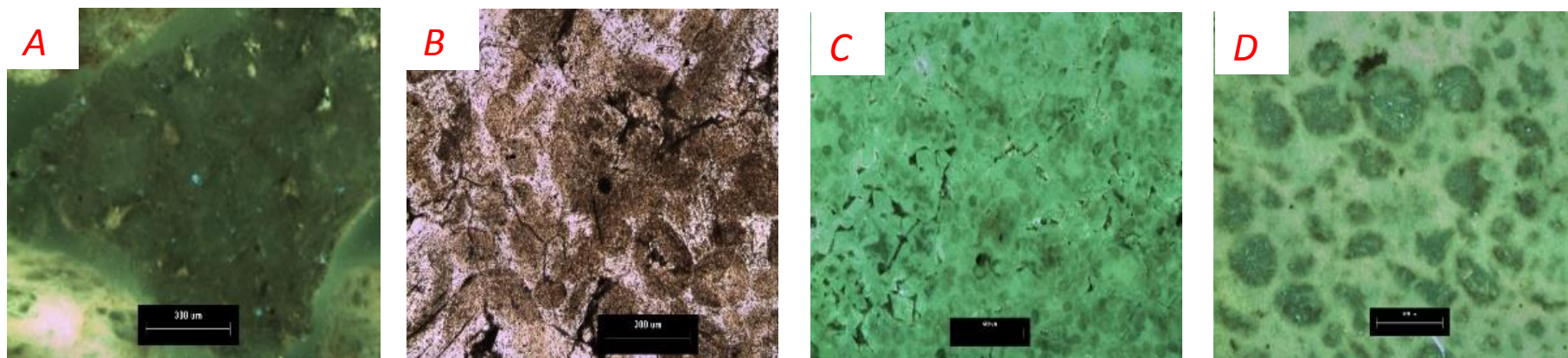
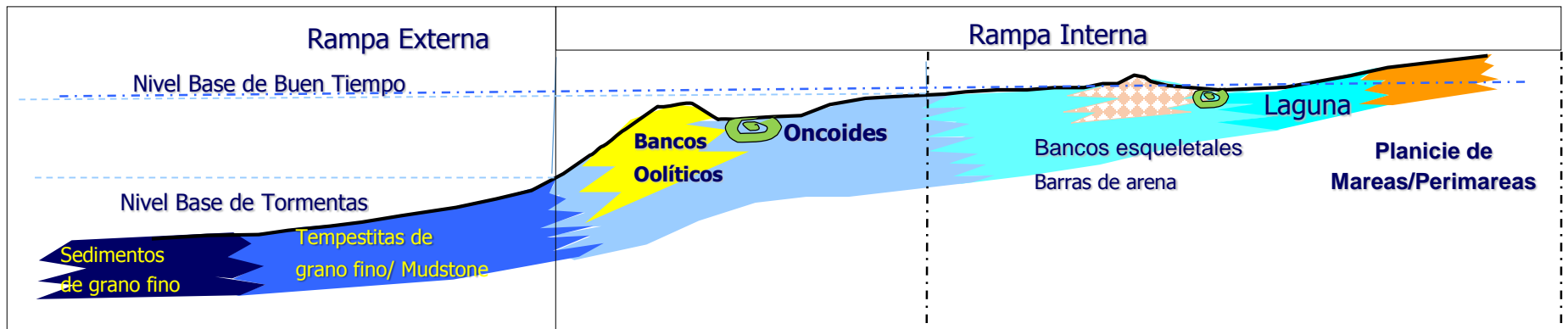
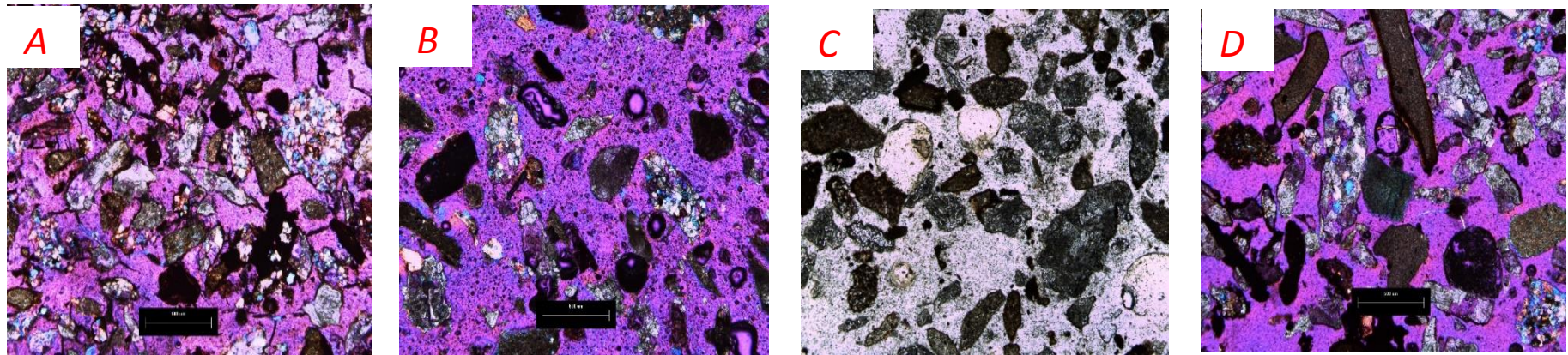


Figura 15. **FRDP3**. Dolomía con textura original de packstone de peloides y escasos ooides. La facies corresponde a la rampa interna, de ambientes de submarea profunda y/o lagunar. A. Granos envueltos con porosidad intercrystalina e impregnación de hidrocarburos, B. Textura de packstone de peloides y ooides, C. Escasos fantasmás de ooides y bioclastos con porosidad intercrystalina, D. Bioclastos compuestos por algas y foraminíferos bentónicos.

FRDP4. DOLOMUDSTONE ARCILLO LIMOSO Y BIOCLASTOS

Descripción.- Limolita calcárea ligeramente arcillosa y parcialmente dolomitizada sin bioclastos y areniscas calcáreo-arcillosas y/o dolomudstone con cuarzo detrítico, escasa pirita y cristales de anhidrita. La variedad y abundancia de bioclastos, así como de otras partículas carbonatadas es escasa y solo está caracterizada por algunas formas bentónicas de ostrácodos (Figura 16).

Interpretación.- Este tipo de microfacies son características de zonas someras, en donde los granos se generan en condiciones restringidas tanto en zonas marginales como en zonas de submarea. La abundancia de cuarzo indica una proximidad con la línea de costa y son característicos de ambientes de submarea somera-supramarea.



Adaptado de Burchette y Wright, 1992 y Flugel, 2004

Figura 16. **FRDP4.-** Limolita calcárea ligeramente arcillosa y parcialmente dolomitizada. El ambiente se desarrolló en condiciones restringidas tanto en zonas marginales como en zonas de submarea. A. Muestra de canal con cristales de anhidrita y escasos cristales de pirita, B. Muestra de canal con cristales de anhidrita y fragmentos de cuarzo detrítico, C. Muestra de canal con fragmentos de limolitas parcialmente dolomitizadas y fragmentos de anhidrita, D. Muestra de canal con fragmentos de cristales de anhidrita, cuarzo detrítico y de pirita.

FRDP5. DOLOPACKSTONE- DOLOGRAINSTONE DE OOIDES, PELOIDES Y BIOCLASTOS

Interpretación.- Caliza dolomitizada de color gris verdoso con textura original de packstone a grainstone de bioclastos, peloides y escasos ooides, con fracturamiento moderado a abundante, fracturas parcialmente abiertas y otras selladas de calcita. Escasa pirita diseminada y nódulos de anhidrita. Los bioclastos están representados por fragmentos de moluscos, corales y foraminíferos bentónicos. Se observa laminación paralela y escasa bioturbación. En partes se observan abundantes fracturas, parcialmente abiertas y otras selladas de calcita. Existe porosidad móldica, intrapartícula y en fracturas; la impregnación de hidrocarburos es escasa (Figura 17).

Interpretación.- El ambiente corresponde a una rampa interna y se encuentra en la parte protegida de la laguna y/o en la parte protegida de los crecimientos orgánicos, en donde a la abundancia de los peloides, al igual que los nódulos de anhidrita indican condiciones restringidas. En esta microfacies no se observaron buenas porosidades, por lo que, no es buena roca almacén.

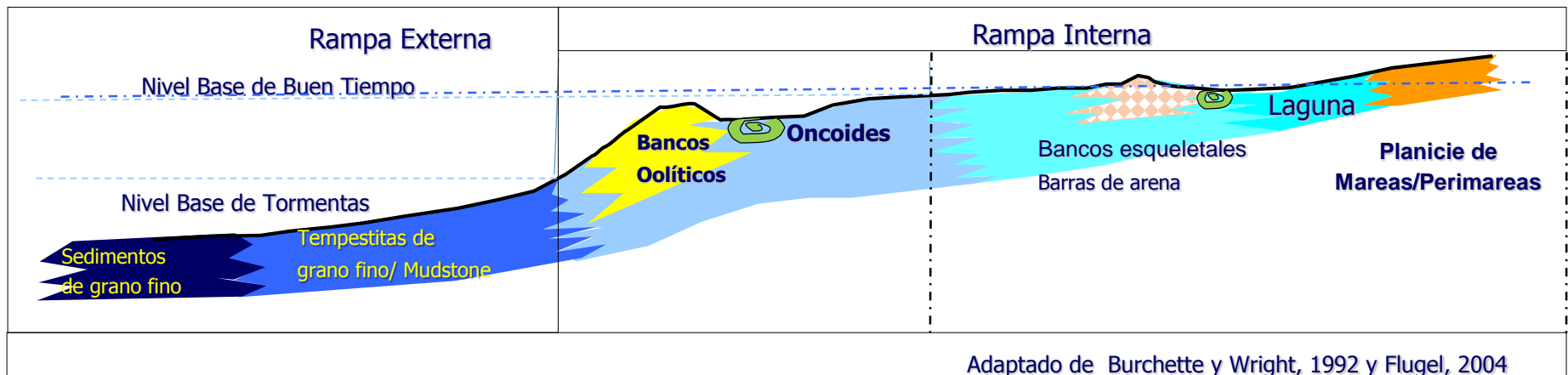


Figura 17. **FRDP5**. Caliza dolomitizada de color gris verdoso con textura original de packstone a grainstone de bioclastos, peloides y escasos ooides, fracturas parcialmente abiertas y otras rellenas de calcita. El ambiente corresponde a una rampa interna y se encuentra en la parte protegida de la laguna. A. Grainstone de bioclastos con fracturas rellenas de calcita, B. Packstone de bioclastos con bioturbación, C. Packstone de bioclastos con laminación paralela moderadamente fracturada.

FRDP6. DOLOMUDSTONE BIOTURBADO

Descripción.- Dolomía gris verdosa con textura de mudstone, pirita diseminada, intensamente bioturbado. Generalmente el color de esta microfacies es café obscura a gris verdosa de apariencia moteada, probablemente debida a la intensa bioturbación Sin microfósiles aparentes. Las fracturas son selladas y otras parcialmente abiertas con impregnación de hidrocarburos (Figura 18).

Interpretación.- La microfacies se interpretó en un ambiente de rampa interna de intermarea a submarea somera. La facies indica una zona de baja energía dentro de la rampa interna y generalmente se encuentra en la parte superior de los ciclos sedimentarios. En algunos intervalos se observa laminación paralela lo que indica que se depositaron en la zona de perimareas de moderada a alta energía.

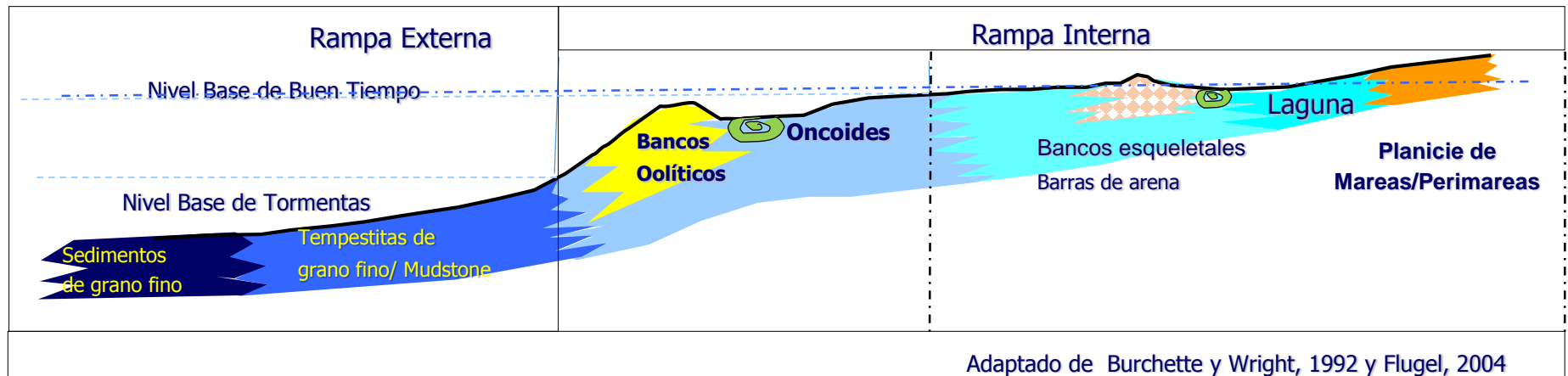
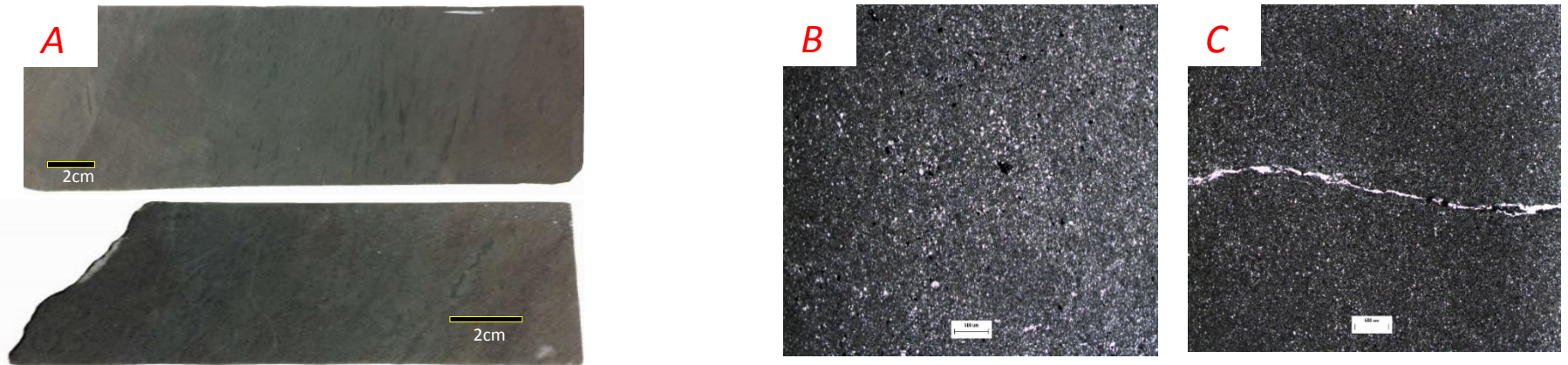


Figura 18. **FRDP6.-** Dolomía gris verdosa con textura de mudstone, pirita diseminada. Sin microfósiles aparentes. Corresponde a un ambiente de rampa interna, submarea-intermarea somera. A. Dolomudstone con intensa bioturbación, B. Dolomudstone con escasos microfósiles aparentes y pirita diseminada, C. Dolomudstone con fracturamiento relleno de calcita.

FRDP7. DOLORUDSTONE DE PELOIDES Y BIOCLASTOS

Descripción.- Dolomía con textura de rudstone de fragmentos de bioclastos, con matriz de packstone de bioclastos con nódulos de anhidrita y escasas fracturas parcialmente rellenas de dolomita, porosidad móldica. Los bioclastos están representados por esponjas, posibles corales, algas, ostrácodos, moluscos y espinas de equinodermos. Presenta fracturas parcialmente abiertas y presión solución. Se observó porosidad móldica e impregnación de hidrocarburos. Las estructuras sedimentarias identificadas fueron laminación paralela y bioturbación (Figura 19).

Interpretación.- La microfacies corresponde a una rampa interna. Los fragmentos de bioclastos analizados se encuentran mal conservados, infiriéndose condiciones corresponden de alta energía de intermarea a submarea somera. La impregnación de hidrocarburos es escasa, por lo que su calidad como roca almacén es baja.

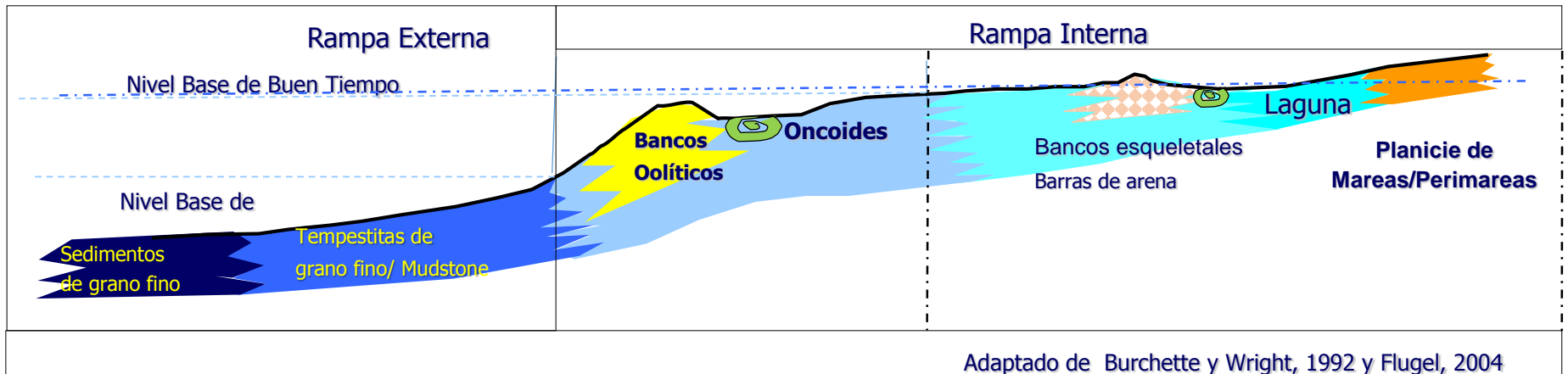


Figura 19. **FRDP7**.- Dolomía con textura de rudstone de fragmentos de bioclastos, con matriz de packstone de bioclastos. Las condiciones corresponden a una relativa alta energía de intermarea a submarea somera. A. Rudstone con esponjas y ostrácodos, se observa presión solución rellenas de materia orgánica y nódulos de anhidrita, B. Rudstone de posibles algas y corales con nódulos de anhidrita.

FRDP8. DOLOBINDSTONE DE CARPETAS DE ALGAS

Descripción.- Dolomía con textura de bindstone de carpetas de algas y posibles esponjas; con escasos peloides y ooides, en ocasiones cuarzo detrítico del tamaño de limo. Con presión solución. Algunos bioclastos se observan reemplazados por anhidrita, se presentan también nódulos de anhidrita que en ocasiones simulan “enrejado de gallinero”. Se observan escasas fracturas algunas parcialmente abiertas y otras rellenas de calcita, con porosidad intercrystalina (Figura 20).

Interpretación.- Esta microfacies se interpretó en la rampa interna; la presencia de carpetas de cianobacterias y algas incrustantes sugiere un ambiente restringido de perimarea, posiblemente de intermarea a submarea somera.

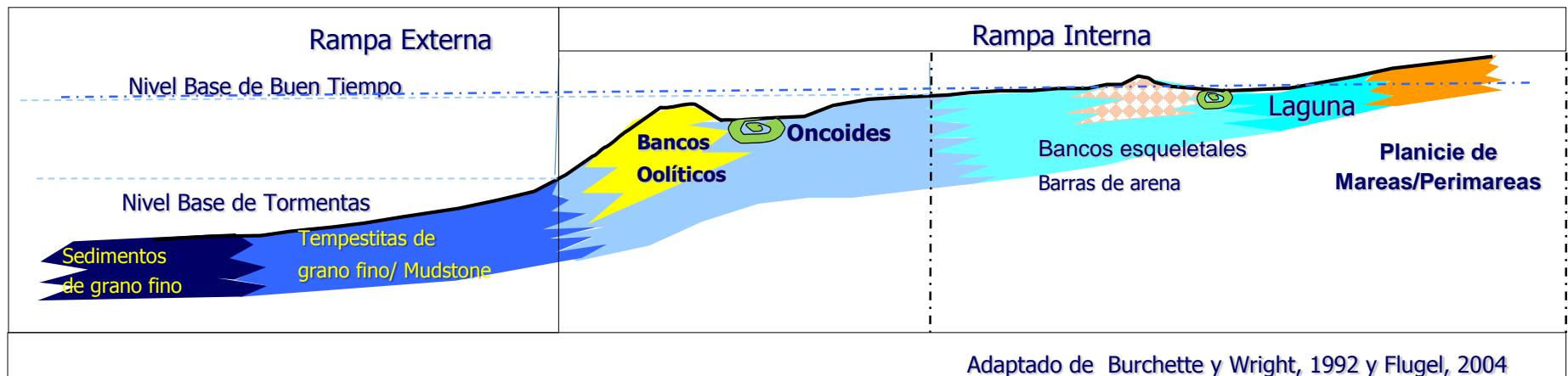


Figura 20. **FRDP8.**- Dolomía con textura de bindstone de carpetas de algas y posibles esponjas, algunos bioclastos se observan reemplazados por anhidrita. La presencia de carpetas de cianobacterias y algas incrustantes sugiere ambientes restringidos de perimareas, posiblemente de intermarea a submarea. A. Bindstone de carpeta de algas con bioclastos reemplazados por anhidrita, B. Posibles esponjas y algas con reemplazo de bioclastos por anhidrita y presión solución.

VI. SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE CORRELACIÓN

Para poder interpretar la distribución de las facies reconocidas, se realizó una sección de correlación, tanto estratigráfica como paleoambiental, para así establecer las variaciones laterales y verticales de las facies y obtener el modelo sedimentario. La sección comprende los pozos estudiados A, B y C, (Figura 21), y tiene rumbo NW-SE. En la parte basal del Pozo “A” se encuentran los bancos orgánicos que comprenden texturas de boundstone arrecifales y packstone de ooides, peloides y bioclastos. En la parte media del pozo se encuentran los depósitos de montículos orgánicos de texturas intercaladas de mudstone de bioclastos y peloides, con packstone de ooides. Mientras que en la parte superior comprenden texturas de packstone- grainstone de ooides y peloides interpretadas como posibles bancos oolíticos de ambientes de relativa alta energía.

En la parte basal del pozo “B” la textura corresponde a un mudstone-wackestone de bioclastos y peloides de ambientes de planicie de mareas. Para la parte superior del pozo encontramos dolomías con texturas de packstone-grainstone de peloides y ooides, que corresponden a ambientes de rampa interna y que transicionalmente gradúan a mudstones arcillosos de ambientes restringidos.

Para el pozo “C” en la parte inferior, las texturas van de mudstone a wackestone de bioclastos y peloides de ambientes de planicie de marea y de baja energía. Supra yaciendo a las texturas de mudstone-wackestone, se encuentran intercalaciones de packstone de ooides, peloides y bioclastos con limolitas de ambiente de planicie de mareas. Finalmente en la parte superior del pozo, se encuentran dolomías con textura de packstone-grainstone de peloides y ooides que gradúan lateralmente a mudstone arcillosos de ambientes lagunares.

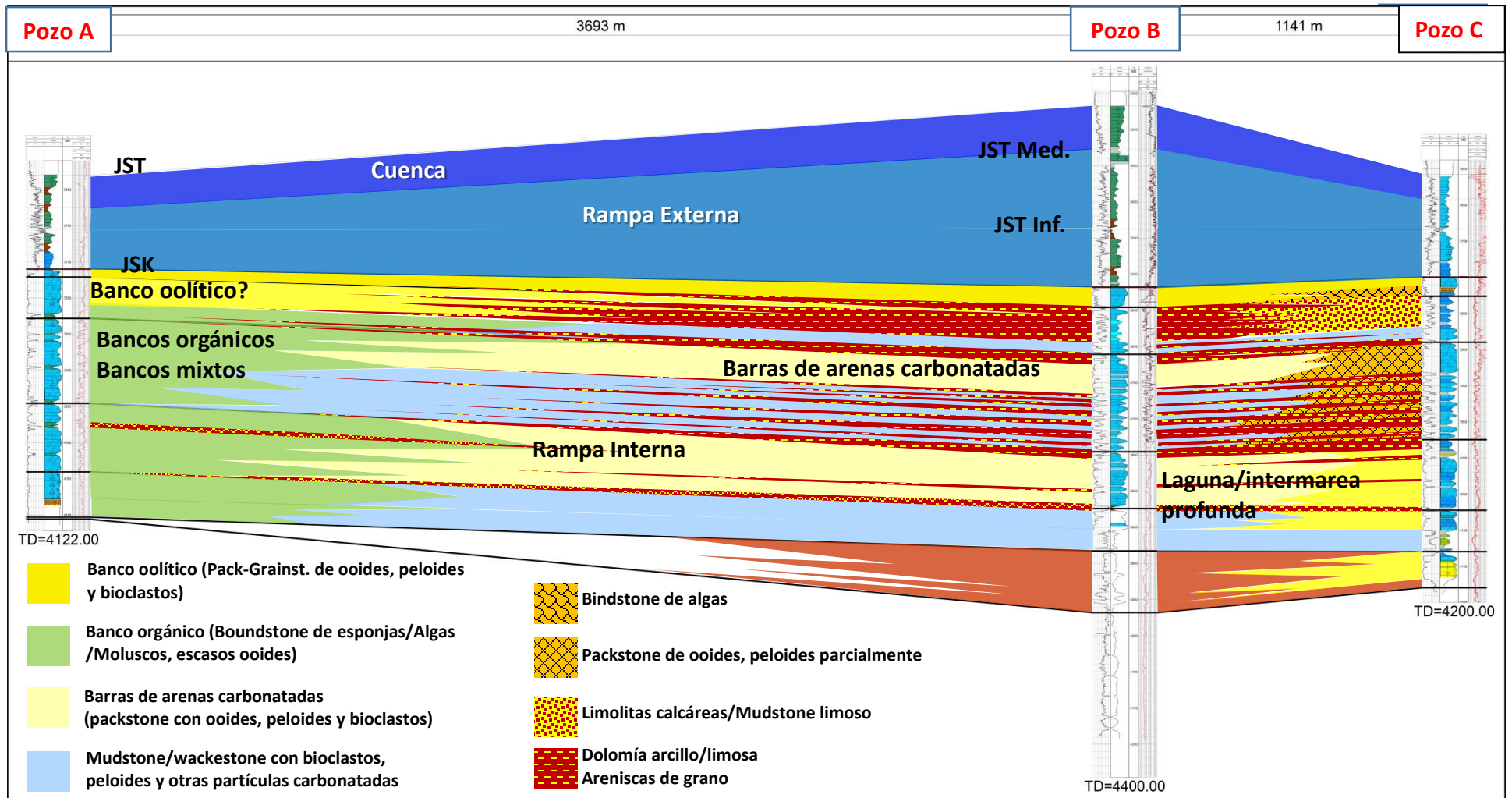


Figura 21. Sección de correlación de los pozos A, B y C del campo Ku. Las microfacies de bancos oolíticos se encuentran en la cima del Kimmeridgiano, sobreyaciendo se encuentran los bancos mixtos, siendo estas dos microfacies las más importantes para el campo Ku por su buena calidad como roca almacén (Aguilera y Prado, 2014).

VII MODELO PALEOAMBIENTAL DEL KIMMERIDGIANO

Los eventos de depósito para el Kimmeridgiano muestran una sedimentación carbonatada de 3.4 M. a. aproximadamente, fuertemente asociada a los cambios relativos del nivel del mar y la paleotopografía, controlado por el tectonismo del golfo de México y los diapiros salinos. En la zona marina se desarrolló una rampa carbonatada distalmente pronunciada con una tendencia de oriente a occidente con el depósito de planicie de mareas y la laguna de la rampa interna, incluyendo el ambiente de sabkha. En el borde de la rampa interna se desarrollan bancos oolíticos de alta energía que es la roca almacén más importante para el campo de Ku-Maloob-Zaap.

Los sedimentos característicos en la rampa interna son de dolomías con cuerpos oolíticos con granos de cuarzo del tamaño del limo formados por ambientes turbulentos de submarea somera. Los cuerpos oolíticos incluyen partículas esqueléticas tales como foraminíferos, algas calcáreas; peloides e intraclastos finos.

Hacia la laguna se tiene el desarrollo de una facies que se le ha denominado como "Bancos Mixtos". Los bancos se constituyen mayormente de boundstones arrecifales y de algas. La facies se encuentra intercalada con grainstones de ooides y peloides. *Mapa de distribución de las microfacies analizadas para el campo Ku.* El desarrollo de los montículos orgánicos y el depósito de arenas de ooides se han ligado con los cambios en la energía del agua. Tomás *et. al.* (2013) establece que los montículos se depositan bajo condiciones combinadas de transgresión general como fábricas de grano fino en la parte de baja energía y con tasas de sedimentación baja. Las secuencias transgresivas crean nuevos espacios de acomodo y desplazan la fábrica de carbonatos hacia el continente, alterando la producción de carbonatos (figura 22).

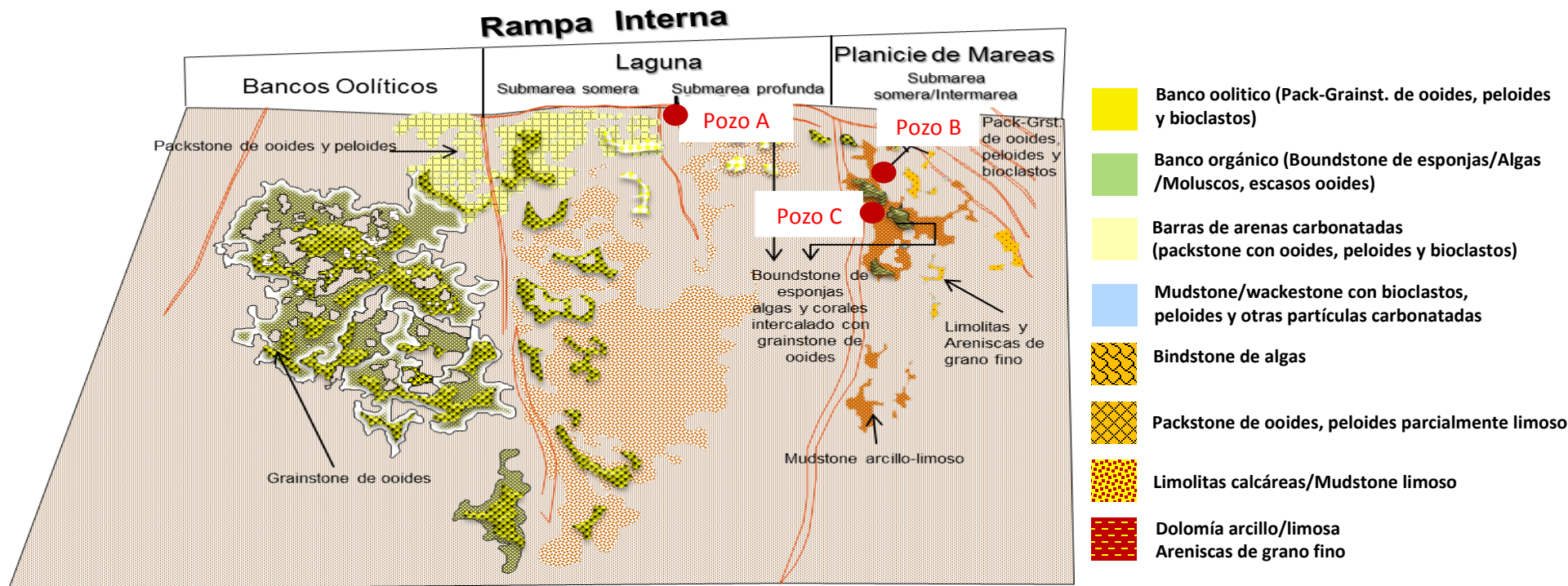


Figura 22. Modelo de depósito en planta para el Campo Ku. Los pozos estudiados corresponden a los subambientes lagunares y de planicie de mareas (Aguilera y Prado, 2014).

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se interpretaron 9 microfacies diferentes tomando en cuenta la composición textural de la roca, las estructuras sedimentarias y los bioclastos descritos tanto macroscópicamente como microscópicamente.

La roca almacén o de mejor calidad tiene una textura de packstone y grainstone de barras de arenas carbonatadas de pequeños espesores, así como los bancos esqueletales; siendo estas localizadas en el área de la rampa interna en facies lagunares y en áreas restringidas.

Cabe resaltar que los bancos esqueletales son una nueva una facies que no había sido reconocida en la sonda marina de Campeche, y que demuestra un buen potencial económico al encontrarse impregnadas con hidrocarburo.

Así mismo, la textura va íntimamente relacionada con los niveles de alta energía ya que formarán rocas con texturas limpias de micrita y permitirá que haya porosidades interpartícula, propiciando el paso de hidrocarburos y ácidos orgánicos que permitirá la disolución y, a su vez, que la calidad de la roca como almacén mejore por los eventos diagenéticos.

Es recomendable aplicar el estudio a otros campos, puesto que el conocer a detalle los ambientes de depósito que propiciaron la generación de hidrocarburos, permite tener localizadas las áreas con potencial económico petrolero.

IX. GLOSARIO

Aloquímico.- Término utilizado para una o diferentes variedades de agregados carbonatados (fragmentos esqueletales, pellets, peloides, intraclastos, ooides, entre otros).

Alóctono.- Se refiere al material formado o producido en otro sitio diferente a su lugar actual; material de origen externo.

Autóctono.- Formado o crecido en el lugar donde se encuentra. Antónimo de alóctono.

Bioclasto.- Característica del material (sedimento, roca, partícula) que alude a su composición de restos de organismos calcáreos.

Diagénesis.- Cualquier cambio físico o químico en sedimentos o rocas sedimentarias, que ocurren después del depósito, excluyendo procesos metamórficos.

Euhedral.- Término aplicado a granos que muestran una forma cristalina completamente desarrollada.

Facies.- Cuerpo de roca caracterizado por una combinación particular de litología, estructuras biológicas y físicas que otorga un aspecto diferente de los cuerpos de roca laterales, sobreyacidos e infrayacidos.

Granos envueltos.- Término general para granos cubiertos o bordeados de carbonato de calcio; incluyen a los ooides y ooides superficiales, pisoides, y granos cubiertos de algas (oncooides).

Litofacies.- Cuerpo de rocas que están ligadas por su composición, por propiedades petrofísicas, o por su origen que son capaces de ser distinguidos entre sí.

Microfacies.- Cuerpo de rocas que pueden ser clasificadas sedimentológicamente y paleontológicamente en sección delgada y secciones pulidas.

Ortoquímico.- Constituyente de roca que es normalmente un precipitado químico, en contraste con los fósiles, ooides, u otros constituyentes depositados mecánica o biológicamente.

Sistema Petrolero.- Área en la cual se encuentra una roca geberadora activa, la red natural de distribución, y los descubrimientos de la ocurrencia de petróleo genéticamente relacionados.

X. REFERENCIAS

Aguilera, F. N., Prado, P. M. A., 2014, Modelo Sedimentario Del Kimmeridgiano Del Campo KU, Activo de Producción Ku-Maloob-Zaap, Coordinación del Grupo Multidisciplinario de Especialistas Técnicos de Diseño de Proyectos, Caracterización de Yacimientos. Pemex exploración y Producción.

Ángeles-Aquino, F.J., 2006 Monografía Petrolera de la Zona Marina: Asociación Mexicana De Geólogos Petroleros, 16 p.

Ángeles-Aquino, F.J., Reyes-Núñez, J., Quezada-Muñetón, J.M. y Meneses-Rocha, J.J., 1994; Tectonic evolution, structural styles, and oil habitat in Campeche Sound, Mexico: GCAGS Transactions, v. 44, p. 53-62.

Ángeles-Aquino, F. y Cantú-Chapa, A., 2001, Subsurface Upper Jurassic stratigraphy in the Campeche Shelf, Gulf of Mexico, in C. Bartolini, R.T. Buffler y A. Cantú-Chapa, eds., The western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, sedimentary basins, and petroleum systems: AAPG Memoir 75, p. 343-352.

Burchette, T.P. and V.P. Wright 1992. Carbonate ramp depositional systems. In, B.W. Sellwood (Ed.), Ramps and Reefs. Sedimentary Geology, p. 3-57.

Flügel, E., 2004, Microfacies of carbonate Rocks: Analysis Interpretation and Application (Springer Verlag), New York, 921 p.

Meneses de Gyves J, (1980). Geología de la Sonda de Campeche. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, V. XXXIX, No. 2, pp. 1-26.

Pemex Exploración y Producción, "Provincia Petrolera Sureste", 2013, 6 p.

Pemex Exploración y Producción, "Actualización del Modelo Sedimentario JSK AIKMZ", Informe Inédito, 2007.

Pemex Emploración y Producción, "Caracterización Estática de los Yacimientos Cretácicos: Ku-Maloob-Zaap y Kutz", Informe Inédito, 2006.

Reinhold R. Leinfelder, Winfried Werner, Martin Nose, Dieter U. Schmid, Manfred Krautter, Ralf Laternser, Martin Takacs. 2006. Paleoecology, Growth Parameters and Dynamics of coral, Sponge and Microbolite Reefs from the Late Jurassic.

Robles, N.J., Aguilera, F.N., Prado, P., M. A., 2001, Modelo Sedimentario del Kimmeridgiano del Área Xux-Tsimin-Kinbe con base en el análisis de microfacies, Activo de Exploración Cuencas del Sureste Marino. Coordinación de Modelado Geológico Regional. Pemex Exploración y Producción, Informe Inédito, 10 p.

Rosenfeld, J.H., 2002, The Economic Potential of The Yucatan Block in México, Guatemala and Belize, P. 30-37.

Scholle A. Peter, Ulmer-Scholle S. Dana. 2003. A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis, P. 83-153.

Tomás, S.A., Homann, M.A., Mutti, M., Amour, F., Christ, N., Immenhauser, A., Agar, S.M., Kabiri, L. 2013. Alternation of microbial mounds and ooid shoals (Middle Jurassic, Morocco): Response to Paleoenvironmental Changes. *Sedimentary Geology* 294, p. 68-82.

Vidal, C., E., 2014, "Modelo Sedimentario del Kimmeridgiano Mediante el Análisis de Microfacies en el Área de KU, Sonda de Campeche", Informe de Trabajo Profesional, Informe Inédito.

Zavala: L., E., Aguilera, F.N., Prado, P., M. A., 2008, Integración y Actualización de Plays Mesozoicos, Activo de Exploración Plataforma Continental Sur. Coordinación de Plays Establecidos. Pemex Exploración y Producción, Informe Inédito, 61 p.