

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA,
MINERA Y METALURGICA**

SECCION DE POST-GRADO



**"Estudio Geológico de Rocas del Basamento
Paleozoico como Roca Reservorio en la Cuenca
Sedimentaria del Nor-Oeste del Perú**

T E S I S

**PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER EN CIENCIAS MENCION GEOLOGIA**

Luis Velásquez Villegas

LIMA - PERU

1 9 9 4

ESTUDIO GEOLOGICO DE LAS ROCAS DEL BASAMENTO PALEOZOICO
COMO ROCA RESERVORIO EN LA CUENCA SEDIMENTARIA DEL NOR-
OESTE DEL PERU

I) INTRODUCCION

1. Abstracto
2. Ubicación geográfica del área de estudio
3. Clima y vegetación
4. Trabajos previos

II) GEOMORFOLOGIA DEL SECTOR NOR-OESTE DEL PERU

1. Generalidades
2. Zonas de los tablazos
3. Cordilleras de los Amotapes

III) GEOLOGIA REGIONAL

1. Generalidades
2. Provincia tectónica del nor-oeste
3. Pliegues y lineamientos estructurales
4. Fallas y levantamientos verticales

IV) ESTRATIGRAFIA

1. Generalidades
2. Basamento: Paleozoico
3. Cretaceo : Formaciones cretácicas
4. Terciario: Formaciones terciarias
5. Correlación estratigrafica entre las cuencas: Sechura - Talara - Progreso

V) SECCIONES ESTRUCTURALES

1. Gravimetria de carácter regional de la Cuenca Terciaria del Nor-oeste
2. Mapas estructurales del Nor-oeste
3. Geología de superficie del sector Nor-oeste
4. Secciones gravimetrico-estructural

VI) EVOLUCION PALEOGEOGRAFICA

1. Historia de la cuenca del Nor-oeste desde el Carbonífero al Terciario

VII) EVALUACION Y POSIBILIDADES DE PROSPECCION DE PETROLEO EN EL BASAMENTO

1. El basamento en la Cuenca sedimentaria
2. Objetivos - Porosidad secundaria
3. Facies ideales para la fracturación
4. Contexto ideal para la generación, migración y acumulación de petróleo

VIII) CONCLUSIONES

IX) ANEXOS

X) OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

XI) BIBLIOGRAFIA

I. INTRODUCCION

1. ABSTRACTO

Las rocas del paleozoico en el Nor-Oeste del Perú se encuentran bastante distribuidas en superficie y constituyen el basamento de la repiza Cretáceo-Terciario, principales rocas productoras de los yacimientos petroleros del Nor-Oeste.

Gran parte de los afloramientos están localizados en una cadena de cerros denominada Cordillera de Amotape, principal accidente geológico de la región, que se encuentra un poco alejado de la costa con una dirección NE-SW.

En la restauración estratigráfica del Paleozoico se ha diferenciado cuatro formaciones(M.Martinez), para toda la secuencia que se encuentran distribuidas en el área de estudio desde el fondo a superficie de la siguiente forma:

- 1.- Formación Cerro Negro
- 2.- Formación Chaleco de Paño
- 3.- Formación Cerro Prieto
- 4.- Formación Palaus

El conjunto superior corresponde a una facie marina totalmente detrítica, con fauna del Pensilvaniano medio (Piso Atokano), su sección típica se encuentra en la formación Cerro Prieto, con un espesor de 1511 metros.

El conjunto inferior se presenta en los afloramientos de mas al Norte, principalmente en las secciones de las quebradas transversales, como la quebrada Mogollón, se le encuentra con indicios de mayor grado de metamorfismo. Alterado por intrusivos del Mesozoico(Jurásico), en un análisis paleontológico se experimentó plantas y fauna mal conservadas, que pueden corresponder al Misisipiano. Aproximadamente se estima un espesor de 2000 metros en muchas localidades se le encuentra convertido como Cerro Prieto, con evidencias de haber sufrido mas de una pertur-

bación tectónica.

Actualmente la zona, estructuralmente representa una acción epirogénica, que está levantando la costa norte, alternadamente con emersiones que han motivado la deposición del terciario. Los niveles escalonados de erosión marina son la mejor prueba de este comportamiento.

2. UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO Y GEOGRAFIA

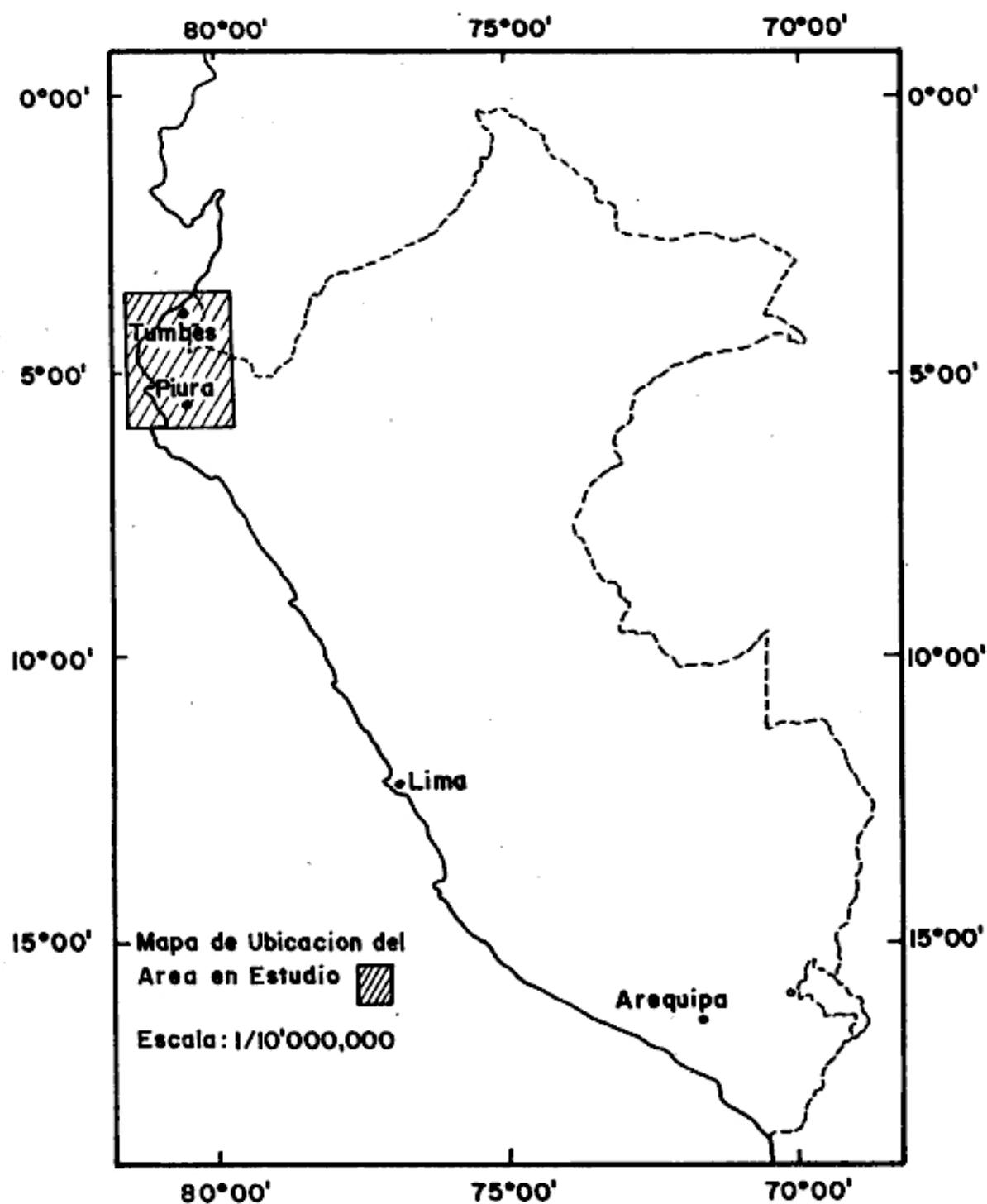
Las áreas de estudio están situadas en la costa Norte del Perú, Región Grau. Específicamente todas las investigaciones en superficie se restringieron a la cadena de cerros Amotape. El extremo norte esta localizado por la coordenada :latitud $4^{\circ} 15'$; hasta la latitud de cerro Prieto en el extremo sur, coordenada : $4^{\circ} 45'$. (Fig. 1).

Las interpretaciones estructurales fueron regionales y en el estudio hemos considerado a lo que denominamos repiza Cretáceo-Terciario.

Los cerros Amotape representan el afloramiento más septentrional del paleozoico en la costa peruana. Siguen una dirección NE-SW un poco alejados de la costa y constituyen la continuación de la Cordillera Occidental Ecuatoriana.

Tienen un ancho promedio de 25 Km. y elevaciones moderadas, con un máximo de 1,140 m. sobre el nivel del mar (Cerro Guineo). Entre la costa y el flanco occidental de la cadena existe un promedio de 20 Km. y su extremo meridional termina a la latitud del cerro Prieto, al este de Punta Pariñas cerca de La Breíta (coordenada $4^{\circ} 45'$). Esta cadena de cerros constituye el accidente más importante de la región.

La faja de terrenos entre los cerros Amotape y la costa esta constituida por terrazas de origen marino, conocidas en la región con el nombre de Tablazos, los cuales se extienden por toda la costa norte del país, básicamente en tres niveles. Estas planicies se encuentran



CAP. III Fig. 1

cortadas por quebradas de paredes verticales que generalmente corren en la dirección Oeste y se encuentran cubiertas por abanicos aluviales al pie de los cerros Amotapes. Algunas quebradas se prolongan y alcanzan a cortar completamente la cadena de cerros de los Amotapes, como la quebrada Mogollón en la que se puede apreciar parte de las secciones estructurales. (Fig. 2).

3. CLIMA Y VEGETACION

El clima es caluroso y seco que corresponde a una zona desértica. Las lluvias son esporádicas y se presentan en los meses de Enero, Febrero y Marzo. El verano es caluroso con regímenes de vientos que transportan arena, característica de zonas desérticas, invierno típico de zonas cálidas con precipitaciones intensas que causan inundaciones los que originan la morfología de la región.

La vegetación consiste principalmente de algarrobo, hualtaco, cactus y otros arbustos que generalmente se desarrollan a lo largo de las quebradas. Las actividades agrícolas son escasas, éstas se reducen a irrigaciones sobre las márgenes de los ríos, como del río Chira donde predomina el cultivo del algodón y la ganadería caprina. El desarrollo industrial de la costa Nor-Oeste esta relacionada principalmente con la Exploración, Perforación, Producción y Petroquímica de los hidrocarburos y en pequeña escala con la Industria pesquera.

4. TRABAJOS PREVIOS

A pesar de las intensas y sistemáticas investigaciones geológicas efectuadas por diversas compañías, tal como la International Petroleum Company (IPC), Empresa Petrolera Fiscal (EPF) compañías directamente interesadas en las áreas de estudio, los trabajos publicados hasta la fecha son relativamente pocos, con breves referencias a las rocas del paleozoico.

MAPA GEOLOGICO DEL NOROESTE DEL PERU

L. VELASQUEZ V.

1992

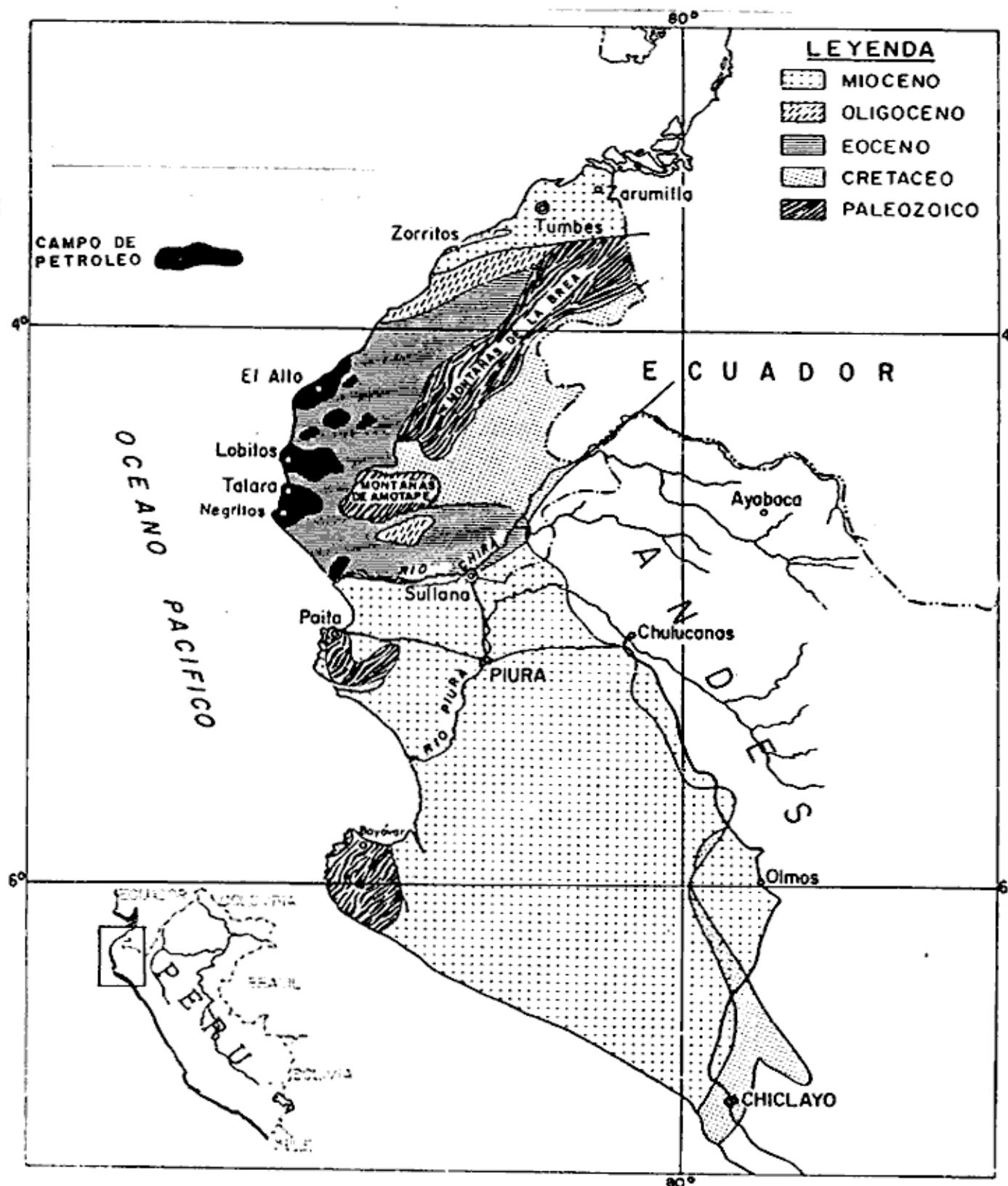


FIG. 2

Grzybowski en 1899 realizó el primer trabajo y mapeo geológico de la región entre Paita y Tumbes.

En 1922, T. O. Bosworth publicó su libro sobre el Terciario y Cuaternario del Nor-Oeste del Perú, posteriormente A. A. Olsson efectuó el levantamiento geológico de la Brea y Pariñas y áreas vecinas.

En 1928 Idding y Olsson basados en los trabajos de campo anterior publicaron un informe sobre la Geología de la Región, donde establecieron bases de la estratigrafía del Nor-Oeste del Perú.

Entre 1936-1949 se publicó el trabajo de Petersen, además el trabajo conjunto de Newell, Chronic & Roberth: Paleozoico Superior del Perú.

En 1954 los trabajos de Chalco y O. Zevallos publicados por la E.P.F. y en 1956 se publicó el trabajo de Fisher, constituyen publicaciones importantes sobre Geología del Nor-Oeste del Perú.

En 1966 J. Paredes publica su trabajo, donde considera formación Amotape a las rocas del Paleozoico, divididas en dos miembros Inferior y Superior.

En 1969 T. Huerta en su estudio Fotogeológico de la región Amotape describe los principales rasgos geomorfológicos y estructurales.

En 1970 M. Martínez en su estudio geológico del basamento Paleozoico en las montañas de Amotape, en la que considera cuatro formaciones Cerro Negro, Cerro Prieto, Chaleco de Paño y Palaus.

II. GEOMORFOLOGIA DEL SECTOR NOR-OESTE DEL PERÚ

1. GENERALIDADES

Geográficamente en la región petrolífera se distinguen dos zonas. La primera, limita en su parte occidental con el Océano Pacífico y comprende una faja de terreno plano denominada zona de los Tablazos; y la segunda, viene a ser su adyacente oriental de topografía abrupta y de montañas denominada Cordillera de Amotape o zona de los Amotapes. La línea de costa es también un accidente de interés que revela el comportamiento estructural del área.

Estos niveles geomorfológico representan antiguas superficies de abrasión marina levantadas escalonadamente y se conservan sin mayores cambios en su morfología. Luego la topografía que actualmente describen los Tablazos es resultado de un trabajo de erosión y relleno marino de los terrenos terciarios sumergidos y que se han preservado por la moderada acción meteórica continental de clima desértico que predomina en la región. Sin embargo encontramos perturbaciones locales de drenaje e intemperismo recientes, quebradas, conos aluviales y suelos que representan una acción moderada, que no ha modificado mayormente la geografía. La edad de las terrazas fue asignada por Bosworth (1922) como Plio-Pleistocénicas.

Geomorfológicamente tomaremos en cuenta cada uno de estos rasgos geográficos como indicios del desarrollo estructural Cuaternario, principalmente controlado por fallas.

2. ZONA DE LOS TABLAZOS

Durante el Pleistoceno se depositaron los denominados Tablazos y comprende la faja de terreno entre la costa y los Amotapes. Es una zona de relieve plano formado por terrazas de origen marino, conocidas en la región como Tablazos, los cuales se encuentran distribuidos en toda la

costa norte del país. En la región de estudio podemos describir tres niveles importantes, en orden de antigüedad se les denominan: Tablazo Máncora, Talara y Lobitos.

2.1 TABLAZO MANCORA

La terraza más antigua ha sido descrita con el nombre de Tablazo Máncora. Se encuentra a una altitud de 260 metros con un suave buzamiento al suroeste. Tiene gran desarrollo en el valle de Máncora y también al sur del río Chira.

2.2. TABLAZO TALARA

En la terraza de mayor desarrollo en el área de estudio, corresponde al segundo nivel ó nivel intermedio del grupo de los tablazos. Se encuentra a 200 metros de altitud en la parte Nor-este, disminuyendo hacia el Suroeste hasta llegar a pocos metros sobre el nivel del mar.

2.3. TABLAZO LOBITOS

Es el nivel más moderno, con una altitud de 20 metros y de muy escasa extensión. Su nombre deriva de Punta Lobitos donde se le encuentra bien representado.

3. CORDILLERAS DE LOS AMOTAPES

Este accidente geográfico es el principal modelador de la fisiografía del Nor-Oeste del Perú. Comprende una cadena de cerros de poca elevación; pero que sobresalen notablemente en el paisaje en contraste con la regular horizontalidad de los tablazos adyacentes. Esta cadena sigue una dirección NE-SW, con sus límites laterales bien definidos por fallas longitudinales. Esta cordillera representa una zona levantada y localmente nos pone al descubierto rocas del paleozoico e intrusivos mesozoicos principalmente, rocas que se encuentran en el subsuelo como basamento de la repiza marina occidental. La presencia de

intrusivos y rocas metamórficas le dan a la zona un modelo morfológico complejo que constituyen los afloramientos del Paleozoico como elementos estructurales principales en la región que delimitan la cuenca en su parte Este, constituidos por la cadena de cerros de Amotape-La Brea.

Se entiende que la zona ha estado sumergida preferentemente desde los comienzos del Terciario, lo cual justifica su relieve maduro, actualmente rejuvenecido, por un ciclo de erosión antiguo, contemporáneo al levantamiento general de la zona. El drenaje es complejo ya que sigue tres o más alineamientos, zonas de debilidad controlada por la estratificación, esquistocidad y fallamientos recientes y las zonas duras por las series de cuarcitas e intrusivos. El aspecto general de la cadena es uniforme con cerros de igual altura y quebradas seniles rejuvenecidas por las trincheras de aluvión recientes.

También podemos agregar que las lluvias son escasas; pero violentas, produciendo zanjas en los depósitos cuaternarios de las quebradas o en los tablazos, que muchas veces destruyen las vías de comunicación. (carreteras, caminos, etc).

Consideramos el término cadena por tener los Amotapes un alineamiento morfológico, resultado de un alineamiento tectónico, controlado por fallas longitudinales de orden regional. Se considera que la región esta afectada por una tectónica característica de bloques fallados y los Amotapes representan una zona levantada o Horst, limitado en su parte occidental por la falla Amotape, por el flanco oriental se infieren varias fallas paralelas a ésta. El extremo sur de este Horst queda truncado por la falla transversal Pananga y otras inferidas que nos dan zonas bajas o pasos como Pazul y Sullana. A la cadena de los cerros Amotapes se les considera como la prolongación de la cadena Occidental Ecuatoriana. (Fig. 3).

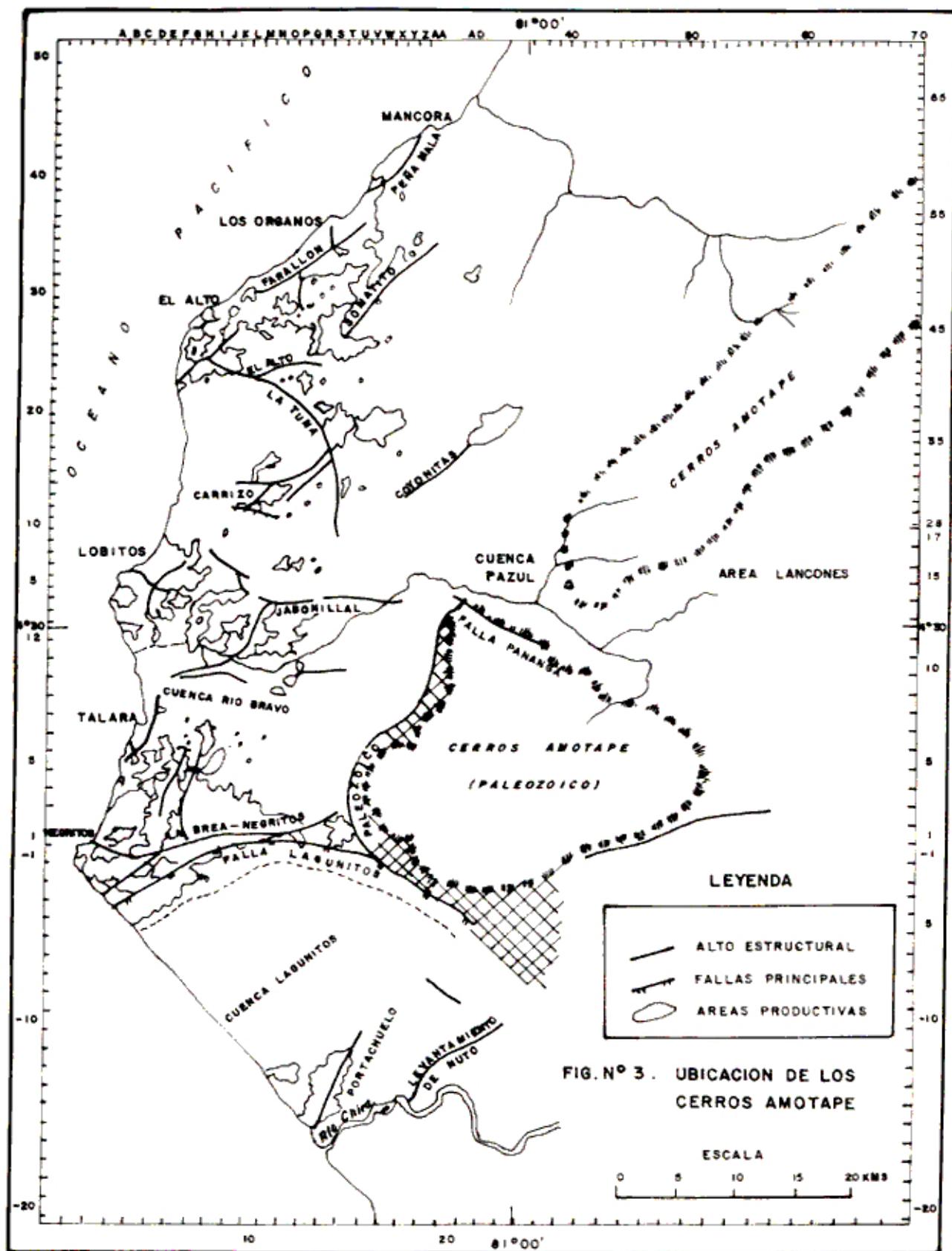


FIG. N° 3. UBICACION DE LOS CERROS AMOTAPE

III. GEOLOGÍA REGIONAL

1. GENERALIDADES

La importancia económica y el carácter excepcional de los campos de petróleo del Nor-Oeste del Perú, ofrecen al geólogo, la oportunidad de estudio e investigación de los problemas geológicos regionales. A su vez orientamos nuestro trabajo principalmente al estudio de las rocas del Paleozoico como las rocas mas antiguas y menos conocidas de la secuencia estratigráfica de la región.

Las rocas del Paleozoico en el Nor-Oeste ocupan casi el 30 % de los afloramientos y en subsuelo representan el complejo metamórfico-ígneo que se encuentra como basamento de la repiza Cretáceo-Terciario. Con este estudio tratamos de diferenciar la edad, naturaleza y origen de estas rocas, prestando particular atención a la interpretación estratigráfica y estructural.

La deformación de las rocas del Paleozoico en el cinturón del Basamento del Nor-oeste del Perú, se caracteriza por su estilo tectónico, distintivo que merece consideración aparte del resto de las regiones estructurales de nuestro territorio. En el presente trabajo se denomina provincia tectónica del Nor-oeste del Perú, dividida en tres Sub-provincias (ver Fig. 4), que son: Sub-provincia del Norte comprendida al Norte del levantamiento de Lobitos y hacia el Este incluyendo las cadenas de los Amotapes; Sub-provincia Central, que abarca desde el levantamiento de Lobitos al levantamiento de Negritos e incluso parte de los afloramientos de las montañas Amotape; Sub-provincia del Sur, comprende el área situada al Sur del levantamiento de Negritos e involucra Lagunitos y Portachuelo (O. Zevallos).

2. PROVINCIA TECTONICA DEL NOR-OESTE

Las deformaciones de la corteza terrestre evidenciada

ELEMENTOS ESTRUCTURALES MAYORES DE LA PROVINCIA TECTONICA DEL NOROESTE DEL PERU

L. VELASQUEZ V.

1992

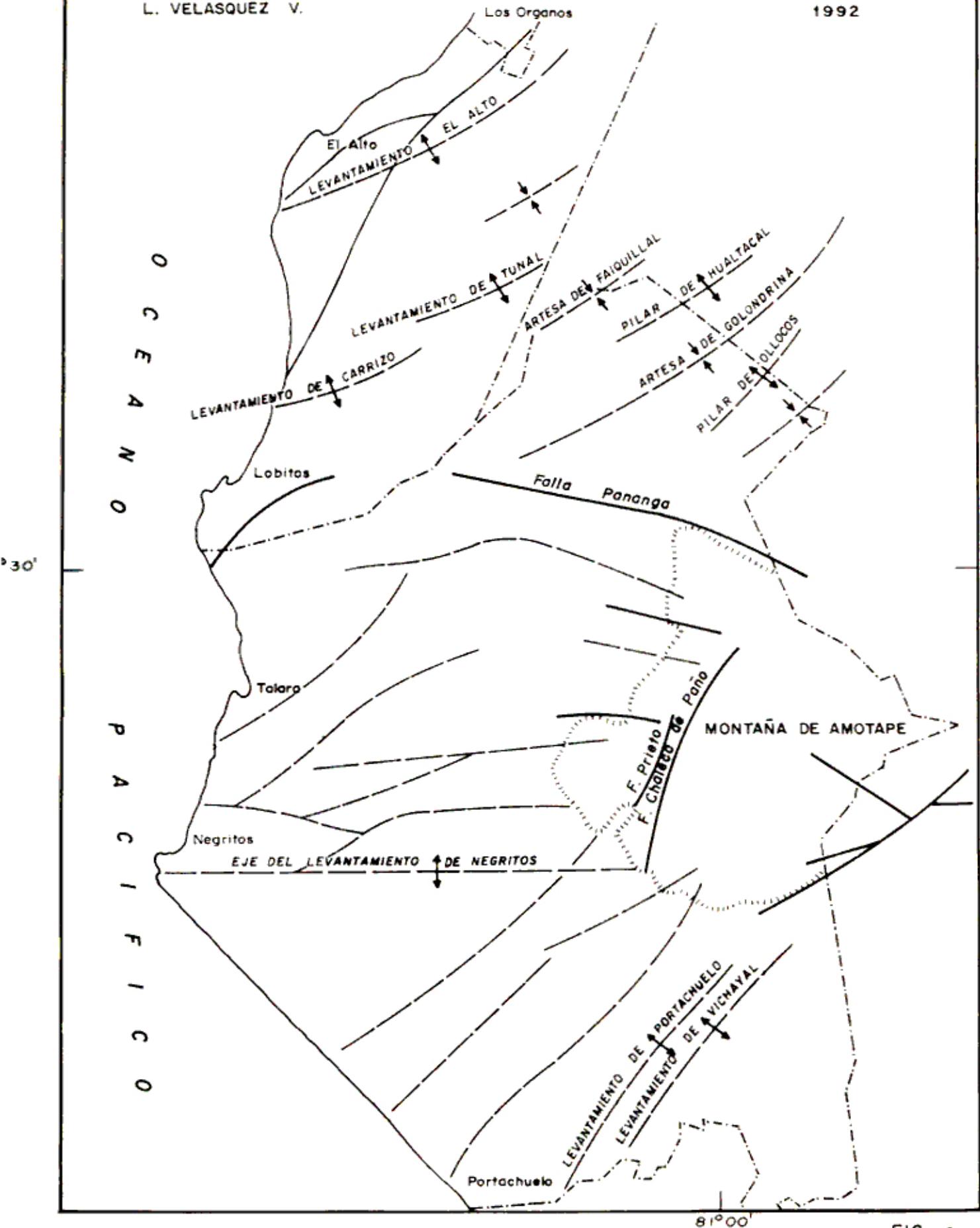


FIG. 4

a través del tiempo geológico se sucedieron en forma ininterrumpida a lo largo del territorio peruano y ecuatoriano. Estas deformaciones concuerdan con los lineamientos generales de las estructuras. Una orogenia producida durante el Pérmico sería la responsable para dar origen a la Provincia Tectónica del Noroeste y sus respectivas subprovincias.

La causa de la diversidad de rumbos estructurales en la Provincia Tectónica del Noroeste, sería el hecho de estar justamente en el eje de la deflexión de Huancabamba; por lo tanto la Provincia Tectónica fue la zona crítica de estas deformaciones. Estas características se pueden observar en el arqueamiento hacia el oeste, que sufren las rocas Pre-Cámbricas aflorantes en el oriente peruano. Además el curso de las fallas principales, especialmente en la Sub-provincia Central, son mas o menos paralelos E-W y N 70° W a la deflexión de Huancabamba.

Las subprovincias tectónicas muestran características muy particulares que las hacen diferenciables una de otra. La subprovincia del norte es clara mostrando un curso de estructuras con una dirección NNE-SSW. En algunos lugares se pueden observar ciertos pliegues como los de la quebrada Gramadal, donde las fallas principales son paralelas a los ejes de los pliegues.

La subprovincia Tectónica Central, se caracteriza por ser compleja debido a su ubicación crítica de estar en la parte media de las mayores deformaciones estructurales del basamento. No se observan direcciones estructurales definidas como en la subprovincia del norte. El mayor reflejo de los disturbamientos está dado por el intenso fallamiento del tipo inverso, de alto y bajo ángulo. Sin embargo pequeñas estructuras anticlinales y sinclinales se han controlado en el campo; pero no pueden ser consideradas de primer orden. En el presente caso la dirección predominante de las secuencias Paleozoicas así como de las rocas

suprayacentes tienen un rumbo N-S y las fallas mayores un rumbo E-W. y casi N 70° W.

Finalmente la subprovincia tectónica del sur al igual que la del norte, muestra una clara relación en el rumbo de estructuras regionales. Si bien es cierto que no se observan pliegues de importancia, si están atravesadas por fallas de magnitud considerable, y que ha sido controlados en superficie. El rumbo general de las estructuras mayores es NNE-SSW. Esta subprovincia en sus afloramientos del Paleozoico, así como sus correspondientes en subsuelo, con los que mejor se correlacionan, los cuales han sido evidenciados por una serie de factores como: la dirección de producción petrolífera en las rocas del Paleozoico en Portachuelo; acondicionamiento para la deposición de las diferentes formaciones del Cretáceo y Terciario y el control de las fracturas tanto en los afloramientos como en el subsuelo.

3. PLIEGUES Y LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES

Como se ha descrito al referirnos individualmente a cada subprovincia, los pliegues originados durante la deformación de la corteza terrestre en el basamento y debido a los posteriores plegamientos fueron desplazados, fallados e interrumpidos en su dirección general. De este modo se puede decir que el gran arqueamiento producido desde el Ecuador hasta el sur de Chiclayo, tuvo como eje de deflexión la línea de Huancabamba. Este gran arco fue separado en bloques independientes cuya restauración se nos hubiera mostrado como en la Fig.5. Por tanto las estructuras que venían del norte con un rumbo NNE-SSE, sufrieron un desplazamiento ligeramente hacia el Oeste, comprendiendo la subprovincia del norte. Las subprovincias central y sur, falladas y en parte sensiblemente trasladadas hacia el sureste es bloques de extensión considerable, interrumpieron de este modo el curso general del arqueamiento de la

FALLAS REGIONALES

L. VELASQUES V.

1992

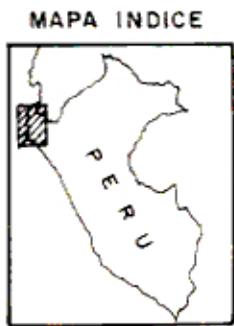
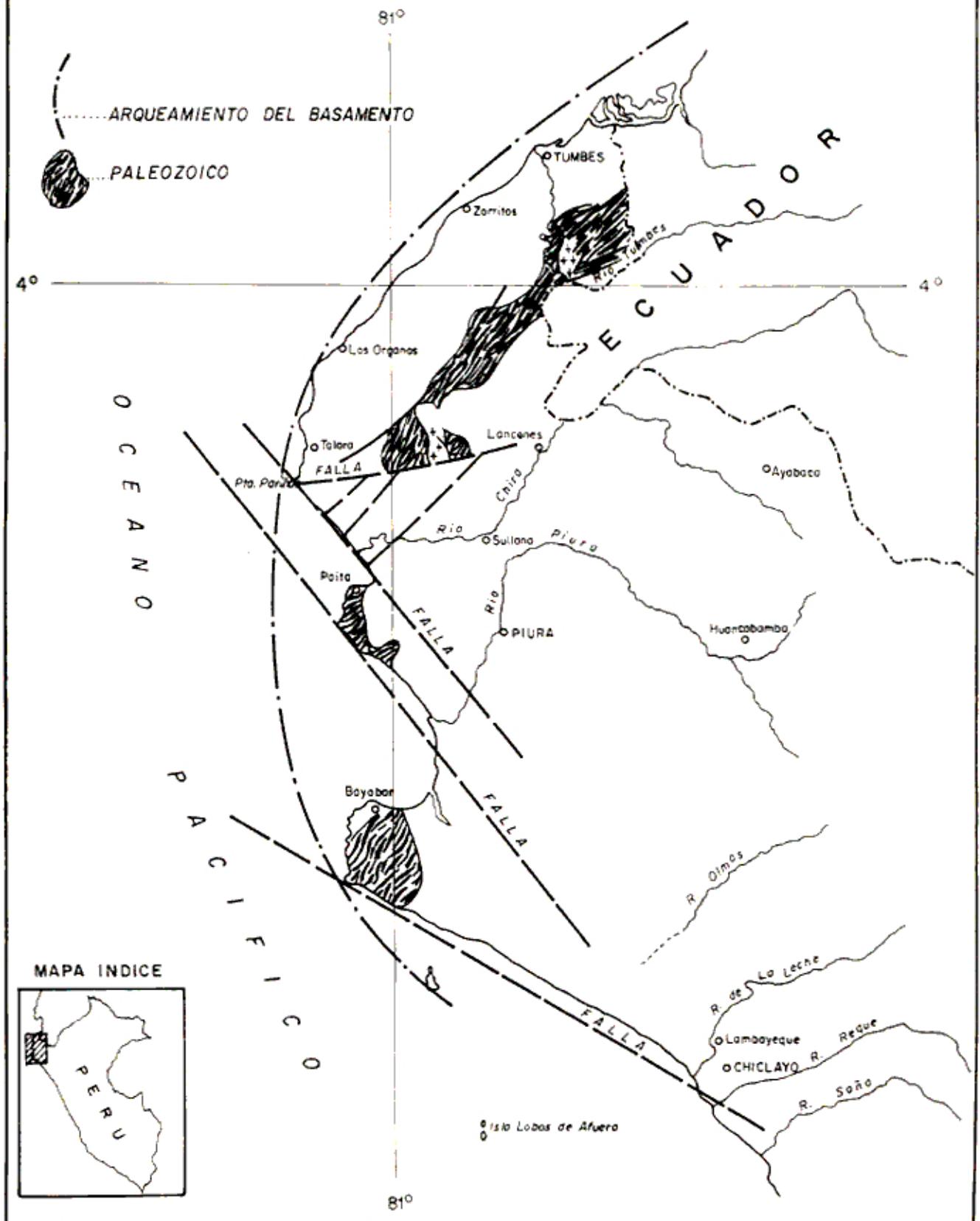


FIG. 5

Provincia Tectónica.

4. FALLAS Y LEVANTAMIENTOS VERTICALES

La importancia del fallamiento en el basamento y la lineación de las estructuras regionales, así como el acondicionamiento de los bloques para el carácter de la distribución de las cuencas deposicionales del Cretáceo y Terciario, están íntimamente ligadas.

Los mayores levantamientos están por lo menos parcialmente bordeados y segmentados por fallas. Estas fallas se han originado netamente en el basamento, y posteriormente se reactivaron para afectar a los sedimentos que la suprayacen.

Las fallas que bordean estos levantamientos individuales dentro de la Provincia Tectónica del Noroeste, muestran que por lo menos, originalmente fueron fallas inversas de alto y bajo ángulo, fallas normales y fallas transcurrentes; algunas de éstas se pueden observar en actual erosión, como la falla Cerro Prieto y sus similares, a lo largo de los afloramientos de las rocas del Paleozoico. Entre las fallas mayores que posiblemente se produjeron durante el Paleozoico están las fallas Amotape, Huaypirá, Pananga y falla Prieto. Los desplazamientos actuales de las fallas muestran unos cuantos cientos de pies; pero inicialmente fueron varios de miles.

La distribución y sentido de las fallas en la Provincia Tectónica del Noroeste se puede apreciar de la siguiente forma: En la subprovincia del norte las fallas principales del basamento tienen un rumbo paralelo a las estructuras. En este caso NE-SW, originalmente fueron fallas inversas de alto y bajo ángulo y posteriormente reactivadas durante el Cretáceo y Terciario como fallas normales con un basamento hacia el noroeste. Entre las principales podemos mencionar a la falla Tronco Mocho, Carpitas, Máncora, Carrizal, Papayal, Siches y Amotape. Las

fallas de la subprovincia Central, que están relacionadas directamente con las deformaciones del basamento tienen un rumbo E-W o también N 70° W o a N 80° W. Las fallas que resaltan la subprovincia del sur tienen un rumbo NE-SW, incluyendo la falla transcurrente Cerro Prieto. Estas fallas en profundidad fueron de tipo inverso de alto ángulo; hacia la superficie se tornaron de bajo ángulo. Estas fallas son las que acondicionaron a los sedimentos suprayacentes; posteriormente rejuvenecieron durante el Terciario como fallas normales.

IV. ESTRATIGRAFIA

1. GENERALIDADES

Las rocas que se encuentran en las áreas de estudio varían en edad desde el Paleozoico al más reciente (Fig. 6). Las rocas del Paleozoico objetivo principal de nuestro estudio, constituye el complejo del basamento de la Cuenca Talara. La estratigrafía del Nor-Oeste del Perú es tan compleja que hace posible subdivisiones dentro de la misma, generado por cambio de facies, estructuras en general, grado de metamorfismo así como también por el rol de las rocas intrusivas que afectan al basamento que se encuentran constituidos por sedimentos marinos perturbados por una o más fases tectónicas de piso intermedio, con metamorfismo de bajo rango. Afloran en los cerros de Amotape y constituyen el basamento sobre la cual se genera la deposición de las rocas del Cretáceo y Terciario y sus deformaciones íntimamente relacionadas con las rocas del Paleozoico.

2. BASAMENTO : PALEOZOICO

Las rocas que constituyen el complejo del basamento del Nor-Oeste del Perú, los podemos ubicar en subsuelo y en superficie por afloramientos a lo largo del borde del N.W. de los Andes Peruanos y en la cadena paralela denominada Cerros Amotape, que incluye las Montañas de la Brea, Paita e Illescas. Las rocas que afloran en las montañas Amotape han sufrido diferente grado de metamorfismo, en cuanto a su origen ligado con intrusivos tenemos el metamorfismo de contacto, y las no relacionadas con estos cuerpos el metamorfismo regional. Las primeras son las del grupo Amotape constituidas por rocas metamórficas como pizarras, esquistos manchados y cuarcitas. Las rocas no relacionadas con la intrusión son las formaciones Palaus y Cerro Prieto las que han sufrido metamorfismo regional, esta constituido por rocas de edad Paleozoico, las cuales han sido intrusa-

COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA NOROESTE - PERU

L. VELASQUEZ V.

1992

SISTEMA		SERIE	EDAD	GRUPO	SUR			NORTE						
					FORMACION	% ARENA	LITOLOGIA	ESPOSOR PIES	FORMACION					
T E R C I A R I O	CUAT PLEIS	OZMNO-O	OZMNO-O	OZMNO-O	TABLAZO				TABLAZO					
								7000	MAL PELO					
								1700	TUMBES					
								2900	CARDALITOS					
								1800 2400	ZORRITOS					
								3000 7000	HEATH					
								2100 3000	MANCORA					
					E O C E N O	SUPERIOR	OZMNO-O	OZMNO-O	OZMNO-O	CONE HILL			3600	CARPITAS
										MIRADOR			2300	MIRADOR
										CHIRA			2000	CHIRA
										VERDUN			2030	VERDUN
										POZO			1000	MEDIA
										ARS. TALARA			950	YAPATO
										LUT. TALARA			4800	LUT. MONTE AR. HELICO
										CONG. LOMITOS				LUT. LOBITOS TEREBRATULA
										CHACRA			3500	ECHINO CYAMUS Clavell Cerro Viejo Cerro Viejo Cabo Blanco
										CLAVEL				
					E O C E N O	MEDIO	OZMNO-O	OZMNO-O	OZMNO-O	PARIÑAS SUP.			1200	
										PARIÑAS INF.				
										PALE GRED			2800	OSTREA Ostrea C Ostrea D Ostrea E
										CERRO TANQUE				
										CERRO PARDO				
										MOGOLLON			2200	MOG. MOB. SUP. MOB. MED. MOB. INF.
SAN CRISTOBAL			1500	SAN CRISTOBAL										
AR. SALINA BASAL			158	AR. SALINA BASAL										
BALCONES			3500	BALCONES										
MESA			1500	?										
C R E T A C I O	SUB-RECENTE	MARS	MARS	MARS	PETACAS			1400	PETACAS					
					ANCHA			800	ANCHA					
					MONTE GRANDE			1000	MONTE GRANDE					
					REDONDO			3000	REDONDO					
					SANDINO									
PENN	MED	ALVIN	ALVIN	ALVIN	MUERTO PANANGA			500	?					
					AMOTAPE			4575 +	AMOTAPE					

FIG. 6

das por granito. La sección Paleozoica, está severamente plegada y regionalmente metamorfizada y está constituida por cuarcitas, pizarras y argilitas. En diversos lugares de la cadena de los Amotapes se han medido secciones; pero se considera como sección tipo, la que se ha medido en Cerro Prieto. Aunque esta sección está invertida e incompleta, sin embargo ha sido posible diferenciar cuatro formaciones, por medio de un análisis paleontológico de macrofósiles.

PALEOZOICO

Las rocas del Paleozoico están bien compactadas y diversamente metamorfizadas. Estas muestran metamorfismo tanto de contacto como por deformación estructural. Hacia el Este del área influye un metamorfismo hidrotermal por la actividad ígnea. Este metamorfismo tiene como resultado la recristalización local de las rocas adyacentes al intrusivo como pizarras y esquistos. Sin embargo las rocas de la parte occidental demuestran principalmente deformación estructural.

La secuencia estratigráfica expuesta en las áreas de estudio comprende aproximadamente 15000 pies de espesor. Incluye rocas marinas depositadas en el Geosinclinal Andino. Esta secuencia ha sido afectada en parte por la intrusión granítica de edad Post-Misisipiana y Pre-Pensilvaniana. La edad de las rocas varían desde el Devónico hasta rocas del Pérmico. (Fig. 7).

En el presente trabajo las rocas del Paleozoico se han dividido en Grupo Amotape con las formaciones Cerro Negro de edad Devónico y Chaleco de Paño de edad Misisipiana, intrusadas por el granito; la formación Cerro Prieto de Edad Pensilvaniana caracterizado por un débil metamorfismo y finalmente la formación Palaus posiblemente de edad Pérmico. Para la designación de edad para cada formación se ha basado en los resultados de un análisis paleontológico.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA PALEOZOICA EN LAS MONTAÑAS AMOTAPE

FIG. N° 7

ERA	SISTEMA	SERIE	GRUPO	FORMACION	L I T O L O G I A	ESPESOR EN PIES
P A L E O Z O I C O	PERMICO			P A L A U S	Lutitas gris verdosas, areniscas cuarcíticas silstone, conglomerados, caliza gris.	+ 2333'
	PENSILVANIANO		T A R M A	CERRO PRIETO	Metalutitas gris verdosas, areniscas, silstone, areniscas cuarcíticas con lentes de conglomerados, caliza azulada.	+ 5550'
	MISIPIANO		A M B O	CHALECO DE PAÑO	Cuarcitas gris verdosas, areniscas cuarcíticas, silstone gris verdoso, pizarras arcílicas verde olivo, silstone con gran contenido de brachiópodos y restos de plantas.	+ 4000'
	DEVONICO		C A B A N I L L A S	CERRO NEGRO	Esquistos micáceos, cornubianitas, esquistos manchados, cuarcitas oscuras, pizarras negras, afectados directamente por la intrusión granítica.	+ 4000'

GRUPO AMOTAPE

Este nombre fue introducido por Bosworth (1922) para denominar como tal a todas las rocas del Paleozoico y rocas intrusivas. Desde entonces se han tomado algunos nombres locales, tal como Cerro Prieto.

FORMACION CERRO NEGRO (Devónico)

Las rocas de la formación Cerro Negro podemos catalogarlas como las más antiguas expuestas en el área de estudio. Ellas están confinadas a grandes afloramientos y cuya mayor distribución se localiza en la parte Este del área. Buenas secciones estratigráficas aunque bastante distorsionadas y desplazadas por fallas se pueden observar a lo largo de la quebrada Mogollón y en la quebrada que conduce al Cerro Huaynaso. El buzamiento de las capas es variable; pero arealmente tienen un rumbo predominante NE-SW, similar al rumbo del intrusivo granítico.

Esta formación podemos identificarlo en las fotografías aéreas por sus rasgos geomorfológicos, por sistemas de drenaje y textura.

La potencia de la secuencia litológica que puede pasar de 4000 pies de espesor, consiste básicamente de rocas sedimentarias metamorfizadas, como esquistos micáceos, cornubianitas, escasos esquistos manchados, cuarcitas oscuras, pizarras negras.

FORMACION CHALECO DE PAÑO (Misisipiano)

Esta formación es de menor distribución areal que la formación Cerro Negro, está localizado en la parte central y Occidental del área, entre la formación Cerro Negro al Este y los afloramientos de la formación Cerro Prieto y la falla Chaleco de Paño al Oeste.

Al igual que la Formación Cerro Negro, secciones incompletas de esta secuencia se observan a lo largo de la quebrada Mogollón, Palaus, donde se aprecian argilitas y

cuarcitas en una posición intermedia y solo argilitas en la parte superior.

El rumbo y buzamiento de esta formación es similar al anterior, además es identificable en fotografías aéreas, por su drenaje y por el sistema de fracturas.

La potencia de la secuencia litológica puede pasar también los 4000 pies y consiste de rocas metamórficas, como cuarcitas color gris verdosa a oscura, areniscas cuarcíticas, siltstone gris verdoso, pizarras argiláceas color verde olivo a gris, en las que se han encontrado brachiópodos, restos de plantas como hojuelas y cortezas.

FORMACION CERRO PRIETO (Pensilvaniano)

Formación con características muy particulares, tiene una amplia distribución entre las quebradas Mogollón, Ancha, Palaus y Cerro El Muerto, a su vez reposa sobre la formación Chaleco de Paño del Grupo Amotape. El rumbo de las capas en general es variable, así en la parte Sur es NE-SW y en la parte Norte es NW-SE.

También el buzamiento de las capas es variable desde ángulos muy bajos, intermedios y verticales. Formación fácil de identificarla por su topografía abrupta, el drenaje es mayormente rectangular controlado por fallas y fracturas, ocasionalmente radial como se observa al Norte de la quebrada Mogollón.

La formación Cerro Prieto posee un espesor promedio de 5550 pies, presenta en su base generalmente calizas fosilíferas, areniscas cuarcíticas, areniscas y conglomerados con gran contenido de fósiles en buen estado de conservación, en la parte intermedia predomina areniscas cuarcíticas y en el tope se hace más lutáceo.

Generalmente la formación Cerro Prieto esta constituida por areniscas cuarcíticas y calizas fracturadas rellenadas por calcitas, cuarzos, esto se debe a un proceso largo y lento de diagénesis, presenta un clivaje pizarroso

y astilloso, debido al efecto de esfuerzos de cizalla. También se observa que la formación Cerro Prieto ha sufrido intenso metamorfismo (metamorfismo de contacto).

A la formación mencionada Iddings y Olson (1928) le designaron una edad Pensilvaniana, basados en estudios de brachiópodos, lamelibranchios y algunos cefalópodos.

FORMACION PALAUS (Pérmico)

La formación Palaus comprende la secuencia sedimentaria más joven entre las rocas del basamento Paleozoico, su nombre deriva del nombre del lugar ubicado a 2 1/2 kms. del NNW del Cerro Prieto.

Esta formación posee un espesor promedio de 2350 pies, constituidas básicamente por una secuencia de calizas, areniscas, conglomerados, etc. Toda la formación tiene fósiles en buen estado de conservación, como brachiódos y gasteropodos, que nos muestran que el ambiente de deposición es de origen marino, de aguas no profundas. (Ver Fig. 7).

3. CRETACEO : FORMACIONES CRETACICAS

La secuencia sedimentaria del Cretáceo está constituida principalmente por lutitas, areniscas conglomeráticas y calizas que han sido depositadas en un ambiente preponderantemente marino con un espesor promedio de 8000 pies.

Tres ciclos deposicionales o facies se han detectado, a los cuales el primer ciclo corresponde al Cretáceo Medio, caracterizado por la deposición de calizas litorales a marino profundo que identifican a las formaciones Pananga y Muerto. En general la distribución del Cretáceo Medio en el subsuelo, es conocido localmente en el área de La Brea y Pariñas.

Los dos ciclos superiores que corresponden al Cretáceo Superior son de mayor persistencia y se caracterizan por presentar sedimentos marinos de lutitas, con desarrollos

poco potentes de arenas y conglomerados de medios ambientes, que varían del marino al fluvial que identifican a las formaciones Sandino, Redondo, Monte Grande, Ancha y Petacas. Las rocas madres del Cretáceo Superior son potencialmente atractivas para la exploración por petróleo.

FORMACIONES CRETACICAS

En el Cretáceo Medio tenemos las formaciones Pananga y Muerto. La formación Muerto se caracteriza por la presencia de calizas bituminosas, por medio de pruebas de formación en un pozo, se determinó pequeñas cantidades de petróleo, siendo un objetivo potencial en el área de La Brea y Pariñas. (Fig. 6).

La distribución de las formaciones del Cretáceo Superior está regido por los posibles potenciales de hidrocarburos e identificándose a las formaciones Sandino, Redondo, Monte Grande, Ancha y Petacas.

Las formaciones que destacan en el grupo son: Redondo y Ancha, particularmente se caracterizan por presentar una potente secuencia de lutitas marinas, contener rocas reservorio en su sección y haberse detectado presencia de petróleo. (Fig. 6).

4. Terciario : FORMACIONES TERCIARIAS

La sección sedimentaria del Terciario en la Cuenca Talara está representada principalmente por depósitos del Eoceno, Paleoceno y el Mio-Oligoceno que están constituidos por facies de lutitas, arenas y conglomerados que fueron depositados en un ambiente marino, fluvio deltaico a continental con un espesor promedio de 30000 pies.

La deposición del Terciario se inicia con una transgresión marina como respuesta a la subsidencia de la cuenca debido al profundo fallamiento en bloques del borde costero de la cuenca que tuvo lugar al final del Cretáceo.

PALEOCENO

El ciclo deposicional que identifica al Paleoceno está caracterizado por la deposición de una secuencia potente de lutitas con intercalaciones de areniscas que fueron depositadas en un ambiente marino al piedemonte que identifica a las formaciones Mesa y Balcones en un espesor total de 4000 pies.

Las rocas reservorio de las formaciones Mesa y Balcones están constituidas por areniscas de grano fino, arcillosas con bajos valores de porosidad y permeabilidad. En las Areas de Negritos y Portachuelo se ha obtenido pequeñas cantidades de petróleo, siendo objetivos potenciales para la exploración por petróleo en el continente y en el zócalo.

EOCENO

Durante el Eoceno más de 25000 pies de sedimentos marinos, fluviales deltaicos y continentales que fueron afectados por varias etapas de fallamiento durante la deposición hacia el Oeste que profundizó la cuenca. Este fallamiento tuvo su culminación al final de la deposición de la formación Chacra, del Eoceno Inferior.

EOCENO INFERIOR

GRUPO SALINA.- Está constituido por las formaciones Basal Salina, San Cristóbal, Mogollón, Cerro Pardo y Cerro Tanque, con un espesor promedio de 6150 pies, caracterizado por conglomerados, arenas y lutitas depositadas en un ambiente complejo deltaico a continental, donde las arenas y conglomerados son excelentes reservorios, de los que se han obtenido el 25 % del total de la producción acumulada de la cuenca y posiblemente contribuye con el 50 % de la producción diaria de petróleo.

FORMACION BASAL SALINA.- Está constituida por conglomerados y arenas porosas y permeables depositadas en

un ambiente complejo de canales deltaicos submarinos con dirección NE-SW. Es un depósito del tipo longitudinal que presenta una graduación del tamaño de grano, siendo predominantemente conglomerádico hacia la parte Norte de la cuenca, decreciendo el tamaño de grano de la parte Sur, en la parte Norte de la cuenca se le detectó en el reservorio Reventones en El Alto, al Este tiende adelgazar y desaparecer.

La formación Basal Salina por presentar buenas propiedades petrofísicas de rocas reservorio es un excelente productor, de donde se obtienen cantidades comerciales de las áreas de Negritos, Talara, Lobitos y El Alto, siendo un objetivo importante para la exploración por petróleo hacia el Norte de El Alto y en el zócalo frente a las áreas productivas en el continente. (Fig. 6).

FORMACION SAN CRISTOBAL.- Tiene su mayor desarrollo en el Area de Negritos, constituida principalmente de lutitas marinas, con cuerpos de arenas porosas y permeables depositadas en un ambiente de canales submarinos, cambiando a facies mas arenosas hacia el Norte, con buenos desarrollos de porosidad y permeabilidad, de donde se obtiene producciones comerciales de petróleo en el Area de Negritos, Talara, Lobitos y El Alto.

La formación San Cristóbal, es un objetivo secundario en la exploración por petróleo en la parte Norte de El Alto y en el zócalo.

FORMACION MOGOLLON.- Está constituida predominantemente por una secuencia potente de conglomerados con intercalaciones de lutitas de color marrón rojizo al verde grisáceo, depositados en un ambiente fluvio deltaico al continental.

Esta formación es del tipo de relleno longitudinal, presentando cambios de facies de Norte a Sur, con un cambio graduacional del grano en esa dirección y de Este-Oeste, las corrientes deposicionales tienen una dirección NE-SW,

que concuerdan con desarrollos de buena permeabilidad y porosidad. La formación Mogollón, aumenta considerablemente su potencia hacia el Norte de la Cuenca Talara, desarrollando los miembros de Mogollón Superior y Mogollón Inferior, no identificándose las formaciones Cerro Tanque y Cerro Pardo. (Fig. 6).

La formación Mogollón es un buen reservorio con porosidad intergranular y de fracturas de donde se obtienen producciones comerciales en el área de La Brea y Pariñas, Lobitos, El Alto y Organos y en las partes que corresponden al zócalo.

Se le encuentra ampliamente distribuida en la cuenca, teniendo como Límite Sur el Norte del Area de Talara, hacia el Este tiende adelgazar, en la parte Norte se ha identificado en la Quebrada Máncora, constituyendo un objetivo de prioritaria importancia en la parte Norte de la cuenca y el zócalo.

FORMACION PALEGREDA.- Está constituida principalmente de lutitas de origen marino, la formación Palegredda hacia la parte Norte y en su parte superior cambia a facies más arenosas que identifican a la formación Ostra.

La formación Ostra en el Area de El Alto, desarrolla el miembro Peña Negra de donde se obtiene una buena producción de petróleo.

Se le ha detectado al Norte de la Quebrada Máncora y es una buena formación en la parte Norte de la cuenca y en el Area del zócalo. (Fig. 6).

FORMACION PARIÑAS.- Constituida por arenas y areniscas, porosas y permeables con un espesor promedio de 1200 pies. Es un relleno del tipo transversal, depositado en un ambiente fluvio deltaico, en donde el flujo de las corrientes deposicionales fue de Este a Oeste.

La formación Pariñas tiende a adelgazar hacia el Norte de Lobitos y hacia el Sur en el área de Lagunitos y hacia el Este de la cuenca.

La formación Pariñas, por sus excelentes características petro-físicas de roca reservorio, la distinguen de las otras formaciones de la cuenca, habiendo obtenido a la fecha el 55 % de la producción total de petróleo obtenido de la cuenca. En la parte Norte en el área de El Alto, el equivalente a la formación Pariñas es el miembro Cabo Blanco de la formación Echinocyamus.

La formación Pariñas es importante para la exploración por petróleo en las áreas de Lagunitos y Malacas en la parte Sur de la cuenca por su equivalente el miembro Cabo Blanco y la parte correspondiente en zócalo.

FORMACION CHACRA.- En el área de la Brea y Pariñas esta constituido de lutitas fosilíferas con un espesor aproximado de 1500 pies, hacia el Norte cambia a facies más arenosas que identifican a la formación Echinoyamus que se caracteriza por presentar una secuencia de arenas y areniscas conglomerádicas intercaladas con lutitas que han sido depositadas en facies de ambiente marino. Sus características como roca reservorio son buenas y es una de las principales productoras de petróleo en el Area de Carrizo, La Tuna, El Alto y Organos.

La formación Echinoyamus es un objetivo potencial para la exploración por petróleo en el área al Norte de la cuenca, y en la parte correspondiente al zócalo. (Fig. 6).

FORMACION LUTITA TALARA.- El Eoceno Medio de la Cuenca Talara está representado por la formación Lutita Talara constituida principalmente de lutitas marinas folisíferas, presentando desarrollos locales de cuerpos de arenas y conglomerados que reciben los nombres de Basal Talara, Terebrátula y Hélico.

Las arenas conglomerádicas de Hélico es una de las principales productoras de petróleo en la cuenca al Norte de La Brea y Pariñas, corresponde a un ambiente deposicional de canales asociados con turbiditas y está relacionado en su origen con las áreas de Lagunitos, Siches y La Cruz.

Es un depósito del tipo de relleno transversal, donde las corrientes deposicionales tuvieron una dirección Este-Oeste. Las arenas de Basal Talara y Terebrátula corresponden al inicio del ciclo transgresivo del mar de Talara sobre los altos estructurales de La Brea, Negritos y Lobitos.

Las arenas de Talara Basal, Terebrátula y Hélico son buenas rocas reservorio, de donde se obtienen producción de petróleo en las áreas de Negritos, Lobitos, Carrizo, La Tuna, Central, Coyonitas y El Alto.

La formación Lutitas Talara, por presentar desarrollos de arenas importantes en su sección es un objetivo potencial para la exploración por petróleo en la parte Norte de la cuenca y del zócalo.

EOCENO SUPERIOR

El ciclo deposicional del Eoceno Superior, corresponde al grupo Lagunitos y consiste de una secuencia de arenas conglomerádicas y lutitas de origen marino con un espesor aproximado de 9000 pies y está constituido por las formaciones Verdún, Chira, Mirador y Cone Hill.

De las cuatro formaciones contenidas en el Eoceno Superior, solo se obtiene producción de la formación Verdún, ésta consiste de una secuencia de arenas y conglomerados interestratificados por lutitas que representa la facie transgresiva del Grupo Lagunitos.

La formación Verdún, es una buena roca reservorio de donde se obtiene producciones comerciales de petróleo en las áreas de Lagunitos, Ancha, El Alto, Calamar y Carpitas. Es un objetivo potencial en el área de Lagunitos y en el zócalo.

OLIGOCENO

Está representado en la parte Norte de la Cuenca Talara por las formaciones Máncora y Heath.

Un ciclo transgresivo marino marca el inicio del Oligoceno, caracterizado por la deposición de una secuencia de arenas y conglomerados potentes que identifican a la formación Máncora que fueron depositados en un ambiente de facies litorales. La parte superior de la formación Máncora es transicional con la formación Heath, favoreciendo la posibilidad del entrampe estratigráfico.

MIOCENO

Está representado en la cuenca por las formaciones Zorritos y Cardalitos.

La formación Zorritos está constituido por una secuencia de arenas y conglomerados con intercalaciones de lutitas depositados en un ambiente deltaico complejo.

La formación Cardalitos está constituido principalmente por Lutitas marinas depositadas en un ambiente de facies sublitorales a marino.

5. CORRELACION ESTRATIGRAFICA ENTRE LAS CUENCAS:

SECHURA - TALARA - PROGRESO

Las fases sedimentarias de la Cuenca presenta varios ciclos deposicionales que están relacionados con períodos de transgresión y regresión marina así como también con los factores climatológicos. Estas secuencias sedimentarias fueron interrumpidas por fallamientos y erosión intensa ó moderada que son identificados por discordancias en la columna estratigráfica de las Cuencas.

En base a estudios Paleontológicos y Litológicos de los pozos perforados en las Cuencas podemos notar la relación de la formación Mogollón con las formaciones Chanduy por el Norte y Salina por el Sur. La formación _Mogollón y la Cuenca Talara está constituida predominantemente por una secuencia potente de conglomerados con intercalaciones de lutitas; además presenta cambio de facies de Norte a Sur, con cambio graduacional del grano en

esa dirección.

Para esta correlación estamos tomando como base la formación Mogollón de la Cuenca Talara que se depositó en el Eoceno inferior (grupo Salina), por el Norte tenemos la formación Chanduy que constituye la Cuenca Progreso y por el Sur la formación Basal Salina que conforma la Cuenca Sechura, formaciones con ligeras variaciones en el aspecto petrográfico, litológico debido básicamente al efecto estructural que redundo por el fallamiento en bloques de la región que afecta en el origen, acumulación y producción de hidrocarburos; pero para el análisis de estas correlaciones estratigráficas también podemos tomar características de eventos orogénicos regionales presentados por las discordancias en el tope del Devónico, Pérmico, Jurásico, Cretáceo y Terciario (Lam.1).

En efecto el caso de las diferentes discordancias en las secuencias Paleozoico, Cretáceo y Terciaria producidas por la Orogénia Andina entre las siguientes etapas:

- . Pérmico superior - Cretáceo Medio
- . Paleoceno - Eoceno Inferior
- . Eoceno Inferior - Eoceno Medio
- . Eoceno Medio - Eoceno Superior.

CUENCA TALARA

La Cuenca Talara, situada en el Nor-Oeste del Perú, constituye una de las cuencas terciarias que se encuentra a lo largo de la Costa Pacífica entre las Cuencas Sechura y Progreso. La secuencia sedimentaria de la cuenca del Nor-Oeste del Perú está constituida básicamente por rocas cretácicas y terciarias de origen marino y deltaico, con un espesor conjunto aproximado de 35000 pies que descansan sobre el paleozoico, objetivo del proyecto en estudio y que constituye el basamento de la región con intrusiones ígneas locales.

Información de superficie y subsuelo, revelan que la secuencia sedimentaria esta constituida por lutitas,

arenas, conglomerados y calizas depositadas en medios ambientes que varían del marino al fluvio-deltaico y continentales. El origen de los sedimentos provienen principalmente de la parte Este de la cuenca de los macizos de la Cordillera de los Andes, Cadena Paleozoica y rocas ígneas graníticas y volcánicas.

Una de las características más importantes de los sedimentos cretácicos y terciarios es su incremento de potencia hacia el Oeste de la cuenca, decreciendo su espesor hacia el Este frente a los Cerros de Amotape con cambios de facies de Norte a Sur y de Este a Oeste.

Sedimentos de edad Cretácea se depositaron sobre una topografía compleja del basamento, cuyo espesor varía de cero pies a más de 6000 pies. La sección Cretácea esta compuesta principalmente de lutitas con intercalaciones de delgadas capas de areniscas, calizas y conglomerados, de los cuales hasta ahora solo se ha obtenido producción no comercial de petróleo. Al término de la deposición del Cretáceo, toda la región emergió, sufriendo un intenso período de disectación erosional, ligero plegamiento, seguido de un severo fallamiento, todo lo cual sumado generó una compleja topografía. Sobre esta superficie se depositó la potente secuencia Terciaria; que en conjunto excede los 30000 pies de espesor. Consiste principalmente de una secuencia de clásticos marinos de edad Paleoceno-Eoceno con buenos desarrollos de porosidad y permeabilidad de los cuales proviene el 95 % de la producción total del Nor-Oeste del Perú.

Durante la deposición de la secuencia Mio-Oligocénica, gran parte de la cuenca Talara estuvo emergida, mientras que las cuencas Progreso y Sechura recibieron una potente secuencia de sedimentos marinos y epicontinentales. Finalmente durante el Pleistoceno se depositaron los denominados Tablazos, que cubren una buena parte de la Cuenca Talara.

El espesor de las rocas terciarias es muy variable

debido al complejo fallamiento que afectó el área en diversas épocas, y a varias discordancias y adelgazamientos sobre los altos estructurales; especialmente los de Negritos, Talara, Lobitos, El Alto, Carpitás, Hualtaca, Tunal y Zorritos; y aunque el espesor conjunto de las rocas Post Paleozoico, exceden de 40000 pies, el tope del basamento (Paleozoico o granito) en las partes más profundas de la Cuenca no exceden de 20000 pies (Lagunitos).

Todos los reservorios de la secuencia sedimentaria de los antiguos campos del Nor-Oeste del Perú han sido intensamente explotados, con la sola excepción del Paleozoico. Como resultado de tan larga explotación, las reservas están en una fase de declinación muy crítica y para dar solución a esta situación será necesario, intensificar la búsqueda de nuevas áreas, y lo que nos queda en esta zona es la exploración en profundidad, buscando reservorios en rocas del basamento, cuyo potencial de reservas, es ya una promisión cierta y debe hacerse sistemáticamente, donde la producción inicial de los pozos, generalmente están por encima de los 3000 B/D; la cual proviene de cuarcitas fracturadas del basamento Paleozoico.

CUENCA PROGRESO

Que se extiende desde el Golfo de Guayaquil, Ecuador por el Norte, Cuenca que alcanza su mejor desarrollo en el Golfo de Guayaquil. Borde Sur se extiende en Perú hasta las inmediaciones del Pilar Tectónico de Zorritos. Límite Este está determinado por la prolongación de los Cerros de La Brea hacia el Ecuador.

La columna estratigráfica nos presenta una potencia agregada de 7,170 metros, donde el Terciario descansa directamente sobre el Basamento ígneo, entonces el Paleozoico y Cretáceo no existen en la zona; pero sí afloran a 35 y 45 km. respectivamente hacia el Sur-Este del pueblo de Zorritos es decir fuera de los límites de la

Cuenca, estimándose que no se depositaron o que fueron erosionados en una extensa región que comprendería a las áreas de Plateritos, Cardalitos, Zorritos, Tumbes, Zarumilla y Zócalo Continental (O. Zevallos).

En el Zócalo, la información estratigráfica proviene de 20 pozos (7 de los cuales son Ecuatorianos). Se estima que la columna Sedimentaria completa debe aproximarse a los 9,000 metros.

La característica estructural de la Cuenca Progreso es similar a todo el Nor-Oeste Peruano, es decir intenso fallamiento en bloques, con sistemas de fallas de carácter tensional.

El análisis estratigráfico-estructural del área nos muestra que su evolución Sedimentaria estuvo gobernada de bloques positivos y negativos del Basamento ígneo. Aquella topografía impidió la acumulación y favoreció la erosión total de Sedimentos Paleozoicos, Cretácicos también Eoceno y Paleoceno.

La Cuenca tuvo un período de cierta estabilidad hasta comienzos del Mioceno inferior en que sobrevino un corto período de inestabilidad tectónica (final del miembro Zorritos Inferior y comienzos del Zorritos medio), el cual produjo reactivación de antiguas fallas de crecimiento que impidieron o limitaron la deposición del Zorritos medio. A lo anterior siguió un nuevo período de relativa inestabilidad tectónica caracterizado por una discordancia que precedió la deposición Deltaica del miembro Zorritos Superior y de la formación Cardalitos. Posteriormente se produce una nueva superficie de erosión sobre la cual se depositaron los Sedimentos del Plioceno-Pleistoceno (formaciones Malpelo y La Cruz), con la cual culmina la secuencia Sedimentaria del área.

V. SECCIONES ESTRUCTURALES

1. GRAVIMETRIA DE CARACTER REGIONAL DE LA CUENCA TERCIARIA DEL NOR-OESTE

Con la gravimetría de carácter regional detectamos los principales elementos estructurales de la Cuenca Sedimentaria del Nor-Oeste del Perú, cuyos valores de las isoanomalías con variaciones de 0.5 miligal, que van en aumento de Oeste a Este, fiel reflejo estructural del buzamiento del Basamento Paleozoico de Este hacia Oeste, que nos representa por un lado los afloramientos con altos valores de la gravedad y por otro lado la profundidad del Basamento Paleozoico bajo superficie con bajos valores de la gravedad relativamente.

El gran arqueamiento producido desde el Ecuador hacia el Sur de Chiclayo que tuvo como eje de deflexión la línea de Huancabamba (ver Fig. 5) que refleja el arqueamiento de los afloramientos del Basamento Paleozoico, hacia el Este de la Región representado por la cadena de montañas Amotape, La Brea en el Norte y Paita e Illescas en el Sur.

Todas estas características de las anomalías residuales hacen que la Provincia Tectónica del Nor-Oeste del Perú lo dividamos en tres áreas.

Area Norte.- Por lo general las estructuras que venían del Norte con rumbo NE-SW sufrieron un desplazamiento ligeramente hacia el Oeste.

Areas Centro y Sur.- Con características del complejo fallamiento y en parte sensiblemente trasladados hacia el Sur-Este en bloques de extensión considerable, interrumpieron de este modo el curso general del arqueamiento de la Provincia Tectónica

2. MAPAS ESTRUCTURALES DEL NOROESTE

La deformación de las rocas del basamento Paleozoico del noroeste del Perú se caracterizan por su estilo

tectónico, que se diferencian de las demás regiones estructurales del país, eventos geológicos que afectaron a la secuencia Paleozoica son poco conocidos; sin embargo los sucesos principales han marcado un buen registro, especialmente a través de las diversas discordancias.

Siendo el relieve estructural del basamento el elemento más importante para la migración, acumulación y preservación de hidrocarburos en las rocas fracturadas de aquel complejo, donde la configuración de la Cuenca interesa fundamentalmente durante la deposición de los sedimentos de la edad Terciaria.

En general los movimientos tectónicos sean orogénicos o epirogénicos intervienen en la deformación de las rocas. En la superficie o cerca de ella, las rocas sean sedimentarias, metamórficas o ígneas, se comportan como sólidos frágiles y se fracturan cuando son sometidas a esfuerzos compresionales o tensionales. Mas las rocas que se encuentran profundas, están sometidas a diferentes condiciones de presión y temperatura, éstas permiten a las rocas comportarse como sólidos plásticos que al ser sometidos a esfuerzos tienden a plegarse.

El plegamiento amplio que ocurrió primero fue casi completamente obliterado por el intenso fallamiento en bloques y se originan una serie compleja de pilares tectónicos y fosas estructurales, algunas de las cuales siguieron la dirección de los pliegues más antiguos. Los pilares tectónicos son áreas levantadas respecto de las áreas negativas que los flanquean, y que tienen la importancia de ser las zonas donde se desarrollan la mayor parte de reservorios ya explotados y los de actual explotación, importancia que se destaca por que éstas son las áreas óptimas para la ocurrencia de petróleo en rocas del basamento (ver Lam. 5 y 6).

La Lam. 2 muestra el mapa estructural generalizado del Nor-Oeste del Perú y contorno estructural del tope del

Basamento. El mapa registra las fallas principales de las Cuencas del Nor-Oeste, catalogadas como fallas normales, notablemente orientadas del NE-SW, esto se comprueba por el alineamiento de los altos estructurales.

La geología estructural del Nor-Oeste del Perú en general es bastante compleja particularmente los eventos geológicos que afectaron la secuencia Paleozoica. Como principales rasgos estructurales del área podemos mencionar a:

- Los Pilares Tectónicos
- La deflexión de Huancabamba
- El relieve estructural en el tope del Basamento

Siendo el relieve estructural del Basamento el elemento mas importante para la migración, acumulación y preservación del petróleo en rocas fracturadas; interesa fundamentalmente la configuración de la Cuenca durante la deposición de los Sedimentos de Edad Terciaria. Al respecto el mapa estructural y el mapa gravimétrico residual son de gran ayuda.

Cabe mencionar que la mejor forma de conocer la geología estructural de la zona es perforando, obteniéndose de esta forma un mayor conocimiento sobre las características estructurales de la región.

La característica geológica del área es el fallamiento en bloques, que es similar en todo el Noroeste del Perú, debido a esfuerzos tensionales que fueron originados por el movimiento diferencial de la Cadena Andina y la Cuenca Oceánica que ha dado como resultado un complejo fallamiento, sin presentar plegamientos de importancia. El área estructural está conformada de levantamientos y hundimientos, debido al fallamiento que ha sido ampliamente evidenciado mediante perforaciones de pozos y prospección geofísica; para posteriormente analizarlas a través de secciones estructurales.

3. GEOLOGÍA DE SUPERFICIE DEL SECTOR NOR-OESTE

La Cuenca Talara es una depresión estructural Terciaria en donde los sedimentos han sido depositados con dirección regional NE-SW, presentando los estratos un buzamiento de 25° al Sur-Este. La geología de superficie revela un estilo estructural de complicado fallamiento en bloques que han sido confirmados en el subsuelo, mediante perforaciones efectuadas en el continente y en el Zócalo de la Cuenca, e indirectamente por levantamientos geofísicos.

La geología de superficie en detalle del sector Nor-Oeste del Perú trata de la distribución areal de las formaciones, conformadas por columnas y valles de topografía de bajo relieve, sin embargo los afloramientos de las diversas formaciones permiten medición de secciones estratigráficas en detalle. Algunas áreas del Nor-Oeste del Perú presentan planicies desérticas constituidas por terrazas de origen marino denominado Tablazos, de relieve suave, de drenaje dendrítico con dirección hacia las quebradas que nacen de los Cerros Amotape, su desembocadura es hacia el Océano Pacífico.

El desarrollo sedimentario del Nor-Oeste del Perú es el resultado de las transgresiones y regresiones; en el que la distribución areal de las formaciones indican también que el mecanismo sedimentario es el que corresponde a cuencas abiertas, donde la alternancia de transgresiones y regresiones han condicionado el espesor de la sedimentación litológica de los mismos y su extensión areal.

La transgresión y regresión permiten que el mar ingrese del Sur-Oeste hacia el Nor-Este (transgresión).

4. SECCIONES GRAVIMETRICO-ESTRUCTURAL

Desde el punto de vista paleogeográfico y estructural las Cuencas del Nor-Oeste presentan una compleja configuración geológica-tectónica que es el resultado de sucesivas transgresiones y regresiones asociados a movimientos

orogénicos.

El substratum de la serie Terciaria es la serie Cretácea superior (Campano-Maestrichiano) en algunos sectores y en otros es el Basamento Paleozoico de los Amotapes y La Brea (Macizos Occidentales). El contacto de los sedimentos terciarios con el Basamento Paleozoico ó Mesozoico es discordante. La serie está cubierta discordantemente por una capa de grava marina bioclástica y terrígena (Tablazos) de edad Pleistoceno inferior (A. Ochoa 1983).

El substratum Pre-Paleozoico sobre la cual descansa los terrenos del Grupo Amotape, fue afectado por la Orogénia Brasilida (600 M.A.) producto de la colisión de los cratones Guayanes y Macizos Occidentales.

Los efectos de una Orogénia Brasilida produjeron intensos plegamientos acompañados de magmatismo y de sucesivos períodos de erosión que concluyen al final del Precámbrico donde el Substratum es emergido y peneplanizado sobre el cual posteriormente se depositaron los terrenos Paleozoicos.

En el Cámbrico-Ordovícico se depositaron los sedimentos pelíticos en el Norte del Perú, extendiéndose hasta Venezuela, que han sido afectados por la Orogénia Caledoniana, en la Cuenca Talara probablemente se depositaron estos terrenos.

Solo se han encontrado evidencias del Ordovícico Medio a Superior en el afloramiento de la carretera Morropón-Huancambamba constituida por pizarras intercaladas con cuarcitas (formación Salas) (J. Baldock, 1980).

A inicios del Silúrico los Macizos Occidentales permanecieron emergidos hasta fines del mismo, probablemente no se depositaron en la Cuenca Talara. Posteriormente a inicios del Devónico Inferior se produjo una nueva transgresión marina que recubre toda la Costa Norte, depositándose la Fm. Cerro Negro con series lutáceas e

intercalaciones de areniscas sobre la inmersión de los Macizos Occidentales.

A fines del Devónico Superior se produce la gran Orogénia Eohercínica que duró hasta el Misisipiano inferior, que trajo como consecuencia el intenso plegamiento de los terrenos Devónicos que ocasionó el retiro del mar posterior a la Orogénia, es sometida a un fuerte proceso erosivo produciéndose en consecuencia una peneplanización de los terrenos Devónicos, depositándose hasta fines del Misisipiano inferior la Fm. Chaleco de Paño, que culmina con un período regresivo.

A partir del Pensilvaniano Medio se produce una transgresión marina en que se depositó la Fm. Cerro Prieto cubriendo todo el Nor-Oeste sobre la inmersión de los Macizos Occidentales.

A inicios del Pérmico inferior se deposita la Fm. Palaus con sedimentos generalmente carbonatados por un mar de aguas calientes.

Hacia fines del Pérmico inferior se produce en todo el territorio una Orogénia Tardihercínica de fase compresiva que produjo la emersión y fragmentación de los Macizos Occidentales y así como el Arco Paleozoico Los Organos-Zorro en el subsuelo originándose la subcuenca Pazul-Coyonitas, dicha Orogénia finaliza a fines del Triásico Inferior.

A inicios del Triásico Superior hasta fines del Cretáceo Superior se inicia la Tectónica Andina, juntamente se depositan los volcánicos Triásico-Jurásico de la Fm. Traposa en la Cuenca Sechura, que posteriormente fue emergida y erosionada en la Cuenca Talara; no se encontraron evidencias de esta formación.

A comienzos del Cretáceo inferior se origina la gran transgresión marina en todo el Perú que alcanza su máxima subsidencia en el Albiano Medio. En el Nor-Oeste se depositaron las formaciones Muerto y Pananga, que son

equivalentes a la Fm. Pareatambo de la Faja Andina por su contenido de rocas carbonatadas. (A. Fischer. 1956).

Para confirmar con la configuración estructural del terreno Paleozoico fue reactivada por eventos tectónicos posteriores, correspondientes a la Orogénia Andina que duró desde el Triásico superior hasta el Plioceno, originando la formación de las Cuencas Cretácicas y Terciarias.

4.1 SECCIONES GRAVIMETRICO-ESTRUCTURAL

PLATERITOS - ALTO CABEZA DE VACA

Para este caso particular de esta sección ubicamos las discordancias mayores, una al final del Pérmico y otra en el Eoceno Superior que se encuentra dentro de los límites de la Orogenia Andina que contribuyó a la generación de importantes fallas normales que constituyen los altos estructurales, tales como las fallas Carpitás, Cabeza de Vaca, Papayal, Amotape, Orogenia Andina que duró desde el Triásico Superior hasta el Plioceno, originando la formación de las Cuencas Cretácicas y Terciarias.

La transgresión del Cretáceo se produjo en la dirección SW-NE, por el poco tiempo que duró fue erosionada.

La transgresión del Terciario se realizó en dirección Este, cubriendo parcialmente el Paleozoico y el propio Basamento respectivamente.

	Relación de los Pozos Perforados		
	PLX1	PLX2	PLX3
Prof. Perf.	6,371'	6,154'	5,289'
Tope granito	6,170'	5,860'	5,250'

Esta sección se encuentra ubicada en la parte Norte de la Cuenca Talara, atraviesa los altos estructurales de Plateritos y Cabeza de Vaca en forma casi perpendicular a la línea de Costa, con dirección NW-SE. En la sección gravimétrica con las anomalías positivas se puede correla-

cionar las fallas Carpitás, Cabeza de Vaca, Papayal y Amotape que determinan los altos gravimétricos (Lam. 3).

Los pozos perforados en esta zona fueron calificados como pozos secos abandonados, relativamente superficiales y se ubicaron en los altos estructurales de acuerdo al mapa gravimétrico; a pesar de esto no se obtuvo resultados favorables tal vez por los siguientes aspectos estructurales:

- Migración de los Hidrocarburos por efecto de la deformación de la corteza terrestre en la zona.

- Por efecto de preservación de los Hidrocarburos, el Basamento al estar levantado y cubierto por el Cretáceo y Terciario. Como el área del Cretáceo y Terciario están erosionados entonces los Hidrocarburos acumulados pudieron destruirse parcial o totalmente de las rocas del Paleozoico, ya que estas hacen de roca madre y sello a la vez.

- Existe la posibilidad de migración y entrampamiento hacia el Este, por cuanto en el tiempo de la migración la parte Sur-Este del perfil fue un alto estructural, más no así el Nor-Oeste.

- Los levantamientos de la corteza terrestre originados por movimientos tectónicos, que a su vez generan el complejo fallamiento de la zona, dando como resultado el afloramiento del Basamento Paleozoico hacia el Este en los cerros Amotape y haciéndose más profundo hacia el Oeste en el Océano Pacífico por el buzamiento del mismo de Este a Oeste.

- Tal vez no existió una buena completación de los pozos por su relativa antigüedad.

4.2 SECCIONES GRAVIMETRICO-ESTRUCTURAL

PUNTA BRAVO - CARPITAS - ALTO CATALINA

La Orogenia Andina producida a fines del Pérmico y comienzos del Eoceno sería la responsable de dar origen a la provincia Tectónica del Nor-Oeste y sus sub-provincias así como también los importantes fallamientos tal como las fallas: Carpitás, Cabeza de Vaca y Papayal (Lam. 4).

El ciclo transgresivo Máncora-Heath comenzó cuando el mar avanzó de Oeste a Este sobre la superficie erosionada y fallada en bloques del Basamento ígneo. Al final del ciclo Máncora-Heath se produjo un levantamiento general y peneplanización del área.

El segundo ciclo sedimentario, también transgresivo lo constituyó la depositación de hasta 2,450 pies de lutitas, con delgadas intercalaciones de arenas de grano fino del Zorritos Inferior, en la que el mar transgresivo avanzó en una dirección general de NW-SE sobre la superficie peneplanizado de la formación Heath. Al finalizar el segundo ciclo sedimentario, el área sufrió los efectos de un segundo período de fallamiento en bloques y que tuvo como característica principal la formación de una falla de crecimiento de rumbo aproximado Este-Oeste y el Buzamiento hacia el Norte.

La transgresión del Cretáceo se produjo en esta parte de la Cuenca en forma muy intensa, erosionándola totalmente a las formaciones del Cretáceo, simultáneamente los Sedimentos del Terciario se depositaron sobre el Paleozoico.

La transgresión del Terciario fue un efecto de proceso muy variable, haciendo que los espesores de los sedimentos depositados tengan profundidades diferentes y cubran totalmente al Paleozoico (Lam. 2).

Así mismo podemos mencionar al Pilar Tectónico de Carpitás, también al Graven del mismo nombre como elementos estructurales importantes.

Relación de los Pozos Perforados

	PB-46	AM-115	BA-X2
Prof. Perf.	7,872'	5,057'	2,287'
Tope Paleozoico	7,101'	-----	1,920'

Las secciones respectivas están ubicadas en la parte Norte de la Cuenca Talara y al Sur de Plateritos con tendencia transversal a la línea de Costa en la dirección NW-SE, atraviesa el Pilar Tectónico y Graven de Carpitás, Cerro Hualtacal, Alto Catalina, falla Papayal, etc.

Las anomalías positivas nos reflejan los Altos Gravimétricos Carpitás y Catalina e indirectamente también determinan las fallas Carpitás, Cabeza de Vaca, Papayal.

De los pozos perforados en los Altos Estructurales, sólo uno resultó productivo (AM-115), los otros dos fueron catalogados como pozos secos abandonados, por los siguientes aspectos:

- Sin penetración mínima necesaria en rocas del Basamento.
- Sin la completación correspondiente y los que se completaron sin la técnica adecuada para la zona.
- Sin las pruebas de formación y/o de producción.

El Basamento Paleozoico, su mayor profundidad lo alcanza en el Graven Carpitás, quedando casi superficial en el Alto Catalina, luego por la ubicación geológica de los mismos hace que el Basamento Paleozoico tenga buzamiento de Este a Oeste en el Océano Pacífico.

Por lo tanto no todo está perdido, una buena correlación de la Tectónica con la geofísica nos conduciría por buen camino hacia una correcta interpretación, por supuesto que los resultados no pueden tomarse como concluyentes respecto a las reales posibilidades del Basamento como reservorio comercial de petróleo en las áreas correspondientes.

4.3 SECCIONES GRAVIMETRICO-ESTRUCTURAL

LOS ORGANOS - LAGUNA

Durante la Orogenia Andina (Triásico Superior-Plioceno) que ocasionó emersión, erosión y peneplanización del Triásico Superior-Jurásico y depositación del Cretáceo Medio y Superior, en el caso de la sección C-C' se observa hacia el Este una parte levantada que representa el Alto Estructural y hacia el Oeste la estratigrafía del Terciario constituida por estratos de suave pendiente, en las que los Echinós Repetido I y II se truncan en el contacto con el Echino insitu.

La parte estructural está constituida por el relieve del Basamento de baja pendiente y la falla Somatito que cumple la función de cierre estructural, quedando entrampado el petróleo en el Alto Estructural, después de un proceso de migración desde las secuencias Terciarias (Roca madre).

La transgresión del Cretáceo, por las características que presenta la sección estructural (Lam. 5) la transgresión se produce de Oeste a Este, haciendo que la secuencia Cretácica parte Oeste fuera erosionado totalmente, en consecuencia el Terciario está en contacto con el Basamento Paleozoico, en cambio en la parte Este de la sección la depositación de sedimentos Cretácicos va en aumento.

La transgresión del Terciario se realizó de Oeste a Este en dos ciclos deposicionales (Lam. 5).

- El primer ciclo deposicional que se originó a inicios del Eoceno, que se verifica por el contacto discordante Paleozoico-Basal Salinas.

- El segundo ciclo deposicional al finalizar el Eoceno Inferior.

En conclusión la parte Oeste de la sección es cubierta por las fases deposicionales del Terciario.

Los yacimientos Los Organos-Laguna se encuentran ubicados en los altos gravimétricos de El Alto, en la que

se ha hecho los análisis de correlación entre ambas secciones a través de los pozos: PB-220, PB-275, PB-280, 2306, 2276, 2109 y que nos muestra dos altos gravimétricos uno de carácter estructural y el otro por alta densidad de las rocas.

Las anomalías positivas detectan altos estructurales que están constituidos por fallamientos determinando indirectamente las fallas normales en su mayoría y demás características tal como la falla Somatito que es de tendencia regional.

La falla Somatito juega un importante papel la de ser una trampa estructural, en otras palabras acumular y preservar al petróleo, y lo confirmamos con alta producción acumulada de Hidrocarburos desde su inicio hasta la producción final de los pozos 2306, 2276 y 2109 en el área mencionada.

Al parecer encontramos también un mínimo (graven) generado posiblemente por el cambio brusco de densidades de roca, al truncarse la formación Equinocyamus (areniscas) y el consecuente crecimiento en potencia de las formación Talara (lutitas).

Truncamiento de la formación Echino que puede ser de carácter estructural o estratigráfico y que estaría reflejando la anomalía positiva adjunta, producto de su alta densidad respecto a la densidad de la formación Talara. También podríamos justificar la presencia del bajo gravimétrico por el efecto de quiebre de las secciones respectivas así como también del desplazamiento topográfico del área en estudio.

La profundidad del Basamento es muy variable, la parte más profunda hacia el Oeste a 10,963 pies y la parte más alta a 7,680 pies.

4.4 SECCIONES GRAVIMETRICO-ESTRUCTURAL

LOBITOS - NEGRITOS - PORTACHUELO

La Orogenia Andina en la parte Sur de la Cuenca originó levantamientos y hundimientos, desarrollándose importantes fallamientos de tipo normal, dentro de estos tenemos: a los fallamientos en escalón. Esta Orogenia Andina se inició en el Triásico Superior y finalizó en el Plioceno, haciendo que las Cuencas del Cretáceo y Terciario de la zona presenten los actuales sistemas estructurales.

La transgresión marina a base del Cretáceo que cubre totalmente al Paleozoico en dirección Sur-Este a través de la sección estructural en A-B-C (Fig.13). Por la parte Norte de la sección estructural se desarrolló un ciclo deposicional, y por la parte Sur, se desarrollaron dos ciclos deposicionales del Cretáceo que cubren parcialmente al Paleozoico y Basamento Metamórfico.

La transgresión marina a base del Terciario cubre toda la Cuenca depositándose sobre sedimentos Cretácicos e incluso sobre el propio Basamento en la parte Sur-Este de la sección (Paita 1- Paita 3) (Lam. 6), a través de varios ciclos deposicionales entre ellos tenemos al Salina-Palegreda, Chacra, Talara, Chira-Verdún que pertenecen al Eoceno del Nor-Oeste del Perú.

En base a la evaluación de mapas gravimétricos con relación al relieve del Basamento y su configuración en general condicionó las facies y determinó los espesores durante la deposición de sedimentos Terciarios.

En un análisis de las secciones, la gravimetría nos está reflejando los altos y bajos estructurales tales como: Los altos de Lobitos, Negritos y Portachuelo y los bajos de Lobitos y Lagunitos.

En estas áreas la mayoría de pozos se han perforado hasta formaciones del Terciario y Cretáceo a excepción de algunos que han atravesado el Basamento Paleozoico, sería recomendable hacer reacondicionamientos de los pozos y

perforar hasta el Paleozoico en los altos estructurales, previo estudio.

Los pozos que se han perforado en los altos estructurales, algunos de ellos muy antiguos y siguen produciendo, obteniendo acumulados de petróleo que en promedio oscilan cantidades del orden de 130 mil barriles, en contraste con pozos perforados en los Graven, resultando pozos productores de petróleo en cantidades ínfimas, pozos productores de gas y que en la actualidad figuran como pozos seco abandonado. Una vez más mostrando que los hidrocarburos se encuentran acumulados y en completo estado de conservación en los altos estructurales como resultado de la dilatancia de los fluidos y Tectónica de la región.

Por mecánica de flujo de fluidos, el comportamiento de los mismos en los Horts y Graven es indistinto, mientras en uno se ellos (Graven) los espacios porosos entran en reducción, en el otro se incrementa por la generación de sistemas de fracturamiento, resultado de la deformación de la corteza terrestre por esfuerzos de Distensión, originando espacios porosos por fractura, mas aún cuando se trata de rocas cristalinas objetivo de nuestro proyecto.

En esta sección podemos observar que en los graven de Lobitos y Lagunitos los topes del Basamento Paleozoico se encuentran a mayor profundidad relativamente, aflorando en el levantamiento de Paita-Sullana por el Sur. Asimismo la formación Mogollón se encuentra desarrolla hacia la parte Norte de la Cuenca Talara y hacia el Sur desaparece debido al complejo fallamientos en bloques como resultado de la formación de continuos altos gravimétricos que se alinean de Sur a Norte en el área de estudio.

VI. EVOLUCIÓN PALEOGRAFICA

A causa de la compleja configuración geológica-tectónica del Nor-Oeste del Perú, que es el resultado de sucesivas transgresiones y regresiones asociados con movimientos orogénicos y ciclos diastróficos, particularmente con períodos de intenso fallamiento en bloques, causa para que la búsqueda y aún la explotación del petróleo se dificulte grandemente.

Los diversos estudios geológicos existentes, así como la información de subsuelo de los pozos perforados, son las bases utilizadas para configurar las Cuencas del Nor-Oeste.

Las rocas del Basamento Paleozoico en el Nor-Oeste del Perú, corresponden a una secuencia de sedimentos y su mayor parte metamorfozados por efecto de una intrusión granítica. Por el carácter cristalino, las rocas del Basamento desarrollan un complejo sistema de fracturas, cuya densidad por unidad de superficie varía con los tipos de roca, grado de su fragilidad y por la génesis del fracturamiento.

La geología histórica de la Cuenca del Nor-Oeste, es importante para hacer notar la presencia de varias orogenias que erosionaron las formaciones de la columna litostática de la misma. En el caso del Nor-Oeste, el substratum Pre-Paleozoico sobre la cual descansa los terrenos del grupo Amotape, encontrándose evidencias de estas rocas en los afloramientos de los Cerros La Brea, Illescas y las Islas Lobos de Afuera que constituyen un alineamiento de la Cordillera Basal de la Costa (Macizos Occidentales).

Producto de una colisión entre los cratones Guayanés y Macizos Occidentales se produce la orogenia Brasilida (600 M.A.). Los efectos de ésta produjeron intensos plegamientos acompañados de magmatismo y de sucesivos períodos de erosión que concluyen al final del Precámbrico donde el substratum es emergido y peneplanizado, sobre el cual posteriormente se depositaron los terrenos Paleozoicos

(A. Ochoa).

En el Cámbrico-Ordovícico, se depositaron los sedimentos pelíticos en el Norte del Perú extendiéndose hasta el Venezuela, que han sido afectados por la orogenia Caledoniana, en la Cuenca Talara probablemente se depositaron estos terrenos.

A inicios del Silúrico los Macizos Occidentales permanecieron emergidos hasta fines del Silúrico, probablemente no hubo depositación en la Cuenca Talara. Posteriormente a inicios del Devónico Inferior se produjo una nueva transgresión marina que recubre toda la Costa Norte depositándose la formación Cerro Negro con series Lutáceas e intercalaciones arenácias sobre la inmersión de los Macizos Occidentales.

A fines del Devónico Superior se produce la gran orogenia Eohercínica que duró hasta el Misisipiano Inferior, que trajo como consecuencia el intenso plegamiento de los terrenos Devónicos que ocasionó el retiro del mar, posterior a la orogenia es sometido a un fuerte proceso erosivo produciéndose en consecuencia una peneplanización de los terrenos Devónicos, depositándose hasta fines del Misisipiano la Fm. Chaleco de Paño, que culmina con un período regresivo.

A partir del Pensilvaniano Medio se produce una transgresión marina en que se depositó la formación Cerro Prieto cubriéndose todo el Nor-Oeste sobre la inmersión de los Macizos Occidentales.

A inicios del Pérmico Inferior se deposita la Fm. Palaus con sedimentos generalmente Carbonatados por una mar de aguas calientes.

Hacia fines del Pérmico Inferior se produce en todo el territorio una Orogenia Tardihercínica de tipo compresiva que produjo la emersión y fragmentación de los Macizos Occidentales y es así como se generaron los Arcos Paleozoicos como los de Los Organos-Zorro, Los Organos-Laguna, en

el subsuelo, finalizando la orogenia a fines del Triásico Inferior.

A inicios del Triásico Superior hasta fines del Cretáceo Superior se inicia la Tectónica Andina, al mismo tiempo se depositan los volcánicos Triásico-Jurásico de la formación Traposa en la Cuenca Secura, que posteriormente fue emergida y erosionada en la Cuenca Talara; al no encontrarse evidencias de ésta.

Sedimentos de edad Cretácea se depositaron sobre una topografía compleja del Basamento y cuyo espesor de cero a más de 6,000 pies. La sección Cretácea está compuesta principalmente por lutitas intercaladas con capas de areniscas, calizas y conglomerados. Al término de la deposición del Cretáceo todo la región emergió sufriendo un intenso período de disectación erosional, ligero plegamiento, seguido de un severo fallamiento que sumado a lo anterior generó una compleja topografía.

A comienzos del Cretáceo Inferior se origina la gran transgresión marina en todo el Perú, que alcanza su máxima subsidencia en el Albiano Medio. En el Nor-Oeste se depositaron las formaciones Muerto y Pananga que son equivalentes a la formación Pariatambo de la faja Andina por su contenido de rocas carbonatadas (A. Fischer, 1956).

Para confirmar con la configuración estructural del terreno Paleozoico, fue reactivada por eventos tectónicos posteriores, correspondientes a la Orogenia Andina que duró desde el Triásico Superior hasta el Plioceno, originando la formación de las cuencas Cretácicas y Terciarias.

El paleorrelieve del Paleozoico y Cretáceo constituyen un nuevo Basamento para la depositación de las formaciones terciarias pertenecientes a un sistema de ambientes marinos de plataforma de edad Paleoceno-Eoceno, con buenos desarrollos de porosidad y permeabilidad.

Durante la deposición de la secuencia Mio-Oligocénica gran parte de la Cuenca Talara estuvo emergida, mientras

que la Cuenca Progreso recibió una potente secuencia de sedimentos marinos y epicontinentales. Finalmente durante el Pleistoceno se depositaron los denominados Tablazos, que cubren una buena parte de la Cuenca Talara.

VII. EVALUACION Y POSIBILIDADES DE PROSPECCION DE PETRÓLEO EN EL BASAMENTO

1. EL BASAMENTO EN LA CUENCA SEDIMENTARIA

Las rocas del Basamento en el Nor-Oeste del Perú, corresponden a una secuencia de Sedimentos en su mayor parte metamorfizados por efecto de una intrusión granítica.

Hasta hace pocos años casi todos los descubrimientos de petróleo en rocas fracturadas del Basamento lo han sido en forma accidental. Y cuando se ha tratado de realizar la exploración del Basamento, se ha hecho en forma inadecuada que condujo a obtener pozos secos.

Las reservas de petróleo en rocas del Basamento Paleozoico en el Perú y en el Mundo ocupan en el tercer lugar en importancia después del Cenozoico y Mesozoico.

En el caso del Nor-Oeste del Perú existen excelentes posibilidades de que el Basamento Paleozoico por sus características petrofísicas se comporte como una roca reservorio de fluidos, y los preserva por tiempo indefinido, generalmente en los Altos Estructurales generados por la Tectónica.

Comencemos por analizar la porosidad en rocas del Basamento Paleozoico constituida por porosidad primaria más porosidad secundaria básicamente, cuyos valores oscilan entre 5 y 7 %, calculadas por métodos directos e indirectos. Obteniendo como resultado la intercomunicación de estos espacios vacíos o permeabilidad que es característica de este tipo de roca en el que las fracturas por su amplitud son supercapilares.

Aunque la porosidad por fractura o porosidad secundaria inclusive la de más alto valor es inferior a la mínima alcanzada por roca reservorio constituida por areniscas y carbonatos, aún así cumplen la función de roca reservorio de hidrocarburos en cantidades comerciales, como prueban una serie de reservorios en el Perú y en el Mundo.

La importancia del Basamento Paleozoico como Paleorre-
lieve y su influencia en la depositación de formaciones
superiores.

Desde el punto de vista estructural el relieve del
basamento juega papel importante para la migración,
acumulación y preservación del petróleo; pero este relieve
ha sido afectado intensamente hasta la última Orogenia
Hercínica con posterior erosión conservando los arcos
Paleozoicos y los Macizos Occidentales en posición
levantada hasta fines del Jurásico.

A comienzos del Cretáceo Medio, el grupo Amotape juega
papel importante como Basamento, comportándose como
plataforma carbonatada en el Cretáceo Inferior controlada
por los altos del Paleorreliieve, que es sepultada por la
transgresión máxima a fines del Cretáceo medio; erosionando
y aportando sedimentos clásticos; culminando con una
regresión y depositación de las lutitas de la formación
Redondo en las Cuencas Talara, Pazu y Lancones, hasta
inicios del Cretáceo Superior.

El relieve del Paleozoico y Cretáceo constituyen un
nuevo basamento para la depositación de formaciones
Terciarias pertenecientes a sistemas de ambientes marinos.

2. OBJETIVOS-POROSIDAD SECUNDARIA

Si hacemos una breve historia de los reservorios
petrolíferos en los antiguos campos del Nor-Oeste del Perú,
la profundidad total de la mayoría de los pozos perforados
han llegado hasta el fondo del Terciario y Cretáceo,
quedando por explorar la formación Amotape del Paleozoico.
Por el carácter cristalino de las rocas del Basamento
Paleozoico, éstas desarrollaron un complejo sistema de
fracturas cuya densidad por unidad de superficie varía con
los tipos de roca, el grado de su fragilidad y por la
génesis del fracturamiento; siendo en general indistinta-
mente fracturado. El estudio de la mecánica de la deforma-

ción y génesis del fracturamiento, es de gran importancia para la búsqueda de petróleo en rocas del Basamento, constituidas por cuarcitas, pizarras y argilitas que son rocas metamórficas que por naturaleza son duras, frágiles y ante cualquier deformación éstas tienden a fracturarse generando la porosidad por fractura; el petróleo se origina en la roca madre (lutitas o calizas) del Cretáceo o Terciario que están en contacto con el Paleozoico, migran desde la roca madre hacia la porosidad secundaria en rocas de Basamento por el principio de gradiente de presión, ya que el petróleo no se queda estático en el lugar que se formó, sino que éste migra distancias del orden de cms., mts., kms., a nivel local, regional respectivamente haciendo que las acumulaciones de petróleo explotable se ubique en los Altos Estructurales, como consecuencia de la deformación de la corteza terrestre, casos típicos que los mostramos en las secciones estructurales de Organos-Laguna y Lobitos-Negritos-Portachuelo (Lam. 5 y 6); el caso de excepción puede ser el pilar tectónico de Barrancos-Catalina (Lam 4) donde el Pozo Ba-X2 probó agua en el Basamento, concluyendo de que los Altos Estructurales deben cumplir ciertas condiciones de carácter estratigráfico y estructural :

- Que el petróleo se origina en los sedimentos que cubre al Basamento.

- El petróleo migra pendiente arriba del buzamiento, debido a inclinación de los estratos o a sobresaturación (Lam. 4).

- El petróleo cruza la discordancia y continua moviéndose hacia las partes altas del Basamento, hasta que encuentre una barrera de impermeabilidad que el caso de Laguna es la falla Somatito (Lam. 12).

Lo más probable es que el petróleo proviene de la secuencia Cretácea y/o Terciaria, dependiendo de las unidades Sedimentarias que cubren el Basamento encima y lateralmente, por ejemplo en el área de El Alto el

Basamento está cubierto por rocas Terciarias, en Portachuelo por rocas Cretáceas y en el área de Zorro por rocas Cretáceas y Terciarias.

La siguiente etapa por analizar sería como localizar los Altos Estructurales en el subsuelo, y lo hacemos con aplicación de la Geofísica, mediante los métodos de prospección especialmente con el método que más se adecua para yacimientos totalmente fallados en bloques y es el gravimétrico.

La aplicación de todas estas Ciencias en la Industria del Petróleo, redundará en el aspecto económico ya que reduce la probabilidad de que el pozo perforado resulte seco.

Los campos petroleros del Nor-Oeste del Perú están en explotación desde hace más de 90 años y de ellos se ha extraído un promedio de 1200 millones de barriles de petróleo. El resultado de la intensa explotación se refleja en la constante declinación de las reservas. Uno de los objetivos de interés económico es propiciar el reacondicionamiento de los antiguos campos petroleros en explotación, teniendo como objetivo primario el Basamento Paleozoico con la exploración en profundidad en las cuales las reservas comerciales de petróleo pueden ser importantes para alcanzar el autoabastecimiento.

Por ejemplo en el reservorio Laguna se hizo reacondicionamiento perforando más de 100 pozos exploratorios, teniendo como objetivo el Basamento Paleozoico distribuido en las siguientes áreas:

- La Brea y Pariñas : 60 pozos perforados
- Conseciones Lima : 16 pozos perforados
- Ex-EPF : 25 pozos perforados

De los cuales ocho (8) pozos no cortaron la secuencia Paleozoica sino granito.

La mayoría de pozos penetraron muy poco en el Basamento y fueron abandonados sin las pruebas mínimas necesarias.

Algunos pozos fueron abandonados por baja producción (160 B/D) que antes fue antieconómico, en la actualidad es económico.

Los pozos que fueron productivos tuvieron como máxima producción 3000 B/D y como mínima 700 B/D, reservorios en el Basamento que tienen la particularidad de producir con altos rates; pero se mantienen muy poco tiempo en producción.

Durante el Mesozoico gran parte del Continente que estaba emergido durante la Orogenia del Jurásico Medio, lo que permitió la acumulación de grandes espesores de sedimentos de edad Cretácea; pero con interrupciones de breves períodos de emersión y erosión, el último de los cuales correspondió al Pre-Paleoceno. Este evento marca el inicio del Terciario.

El espesor de las rocas Terciarias es muy variable debido al complejo fallamiento que afectó el área en diversas épocas y a varias discordancias y adelgazamientos sobre los Altos Estructurales especialmente los de Negritos, Talara, Lobitos, El Alto, Carpitás, Hualtaca, Tunal y Zorritos; y aunque el espesor conjunto de las rocas Pos-Paleozoicas, excede de 40,000 pies, el tope del Basamento (Paleozoico o Granito) en las partes más profundas de la Cuenca no excede de 20,000 pies (Lagunitos).

En el Cámbrico el territorio peruano debió constituir una vasta zona continental penepianizada, cratonizada y emergida sobre la cual localmente debieron instalarse depósitos continentales, volcánicos detríticos y volcánicos y asociados todos ellos a movimientos distensionales a finales del Cámbrico.

En el caso del Nor-Oeste peruano, el aporte de sedimentos parece ser mixto: continental (craton Guayanés y Macizos Occidentales) y Oceánico (Placa Pacífica).

A partir del Ordovícico Inferior (B. Dalmayrac, 1,980)

se produce en Perú una tectónica de distensión que provoca la individualización de una Cuenca Paleozoica subsidente sobre el borde occidental del craton sudamericano.

A la altura del Nor-Oeste Peruano aquel craton probablemente estuvo escindido en dos (2) subcratones, siguiendo el alineamiento de la geofractura del Amazonas: Hacia el Norte el craton Guayanés (F.M. Almeyda, 1973) de donde mayormente provendría el aporte de sedimentos finos sílico-aluminosos.

Asumiendo que el Nor-Oeste fue una zona de colisión entre dos (2) cuerpos rígidos (escudo Guayanés y Macizos Occidentales), es de esperar una participación de material oceánico continental en el alineamiento de la geofractura del Amazonas según indicó B. Faucher (1973).

Para analizar las litofacies del Basamento, podemos realizarlas tomando en consideración los afloramientos metamórficos de las montañas Amotape, de La Brea, Illescas, Islas Lobos de Tierra y Cerro Paita.

En el Cámbrico-Ordovícico, según (Betero-Arango 1963; H. Harrington 1951) la estratigrafía del Paleozoico del Nor-Oeste se compone de una facie esquistosa con débil grado de metamorfismo. Estas facies Cambro-Ordovícicas han sido afectadas antes de la depositación del Devónico Medio por una orogénesis acompañada de metamorfismo, se trata de la fase Caledodiana (M. Julivert, 1973).

Las rocas que constituyen el Basamento del Nor-Oeste del Perú, afloran lo largo del borde del Nor-Oeste de Los Andes Peruanos y es una cadena paralela denominada Cerros Amotape. A pesar de los cientos de pozos perforados que han penetrado el Paleozoico es relativamente poco lo que se conoce de las características litológicas, entre estos estudios tenemos lo de correlación estratigráfica del pozo N° 5237 v.s. Sección medida en el Cerro Prieto (M. Martínez) estudio que hizo posible diferenciar cuatro (4) formaciones y son: Cerro Negro de posible edad Devónico,

Chaleco de Paño (Misisipiano), Cerro Prieto (Pensilvaniano) y La Formación Palaus de posible edad Pérmico.

Formación Cerro Negro (Devónico)

Forma parte del grupo Amotape que fue introducido por Bosworth (1922) para denominar a todas las rocas del Basamento Paleozoico y rocas intrusivas.

La rocas de la Fm. Cerro Negro es la más antigua y está confinada a grandes afloramientos cuya mayor distribución se localiza en la parte ESTE del área. Esta rocas se le puede observar a lo largo de la quebrada Mogollón y en los cerros Huaynoso, Paulino, Espino, Buenos Aires, etc. con las siguientes características según M. Martínez: Sistema de drenaje sub-dentrífico, textura media a gruesa, espesor estimado de 4,000 pies; constituida por esquistos micáceos y sericíticos, cuarcitas oscuras, pizarras carbonosas.

Formación Cerro Negro (nombre que fue dado por M. Martínez en 1970) roca metamórfica consecuencia del metamorfismo de contacto del intrusivo; inicialmente indican que fueron rocas marinas depositadas en mares no muy profundos con la predominancia de un ambiente de turbidez. La ausencia de rocas volcánicas demuestran que estuvo fuera del alcance del medio ambiente de un eugeosinclinal.

Se la correlaciona con el grupo Cabanillas por la similitud de las características litológicas y faunísticas (Dalmayrac y Laubacher 1988).

Formación Chaleco de Paño (Misisipiano)

La mayor distribución areal se localiza en la parte central y occidental del área de los cerros Amotape, entre las formaciones Cerro Negro al Este y los afloramientos de la formación Cerro Prieto y la falla Chaleco de Paño al Oeste. Es una secuencia de más de 4,000 pies de espesor, constituida de cuarcitas, areniscas cuarcíticas, limolitas

y pizarras argiláceas. El ambiente deposicional es nerítica a mixta de sedimentos continentales y marinos por las subsidencias de plataforma ocasionados por los movimientos distensionales. Presenta un aspecto laminar y brillo lustroso característico, posee un gran contenido de braquiópodos y restos de plantas como "lepidodendrum".

Se le puede correlacionar con el grupo Ambo de G. Steinman por las series continentales y marinas, que han sido datadas por la fauna y flora marina (Dalmayrac y Laubacher 1988).

Formación Cerro Prieto (Pensilvaniano)

Los mejores afloramientos están distribuidos entre las fallas Petacas y Chaleco de Paño que comprende la quebrada Mogollón, Ancha, Palaus y Cerro el Muerto, la sección alcanza los 5,550 pies de espesor y no están presentes el tope y la base por productos de los fallamientos.

Litológicamente consiste de areniscas cuarcíticas predominantes, limolitas, lutitas y conglomerados. De ambiente marino intermedio a somero originando depósitos de plataforma con dominio de turbidez. La megafauna encontrada en la quebrada Muerto, consiste de grandes braquiópodos, crinoideos y gasterópodos; que fue recolectada por R.W. Stainforth (1954).

La formación Cerro Prieto se le correlaciona con el grupo Tarma de N.D. Newell por su similitud litológica (Dalmayrac y Laubacher 1988).

Formación Palaus (Pérmico)

Se encuentra distribuido principalmente al Sur-Oeste de las montañas Amotape. La sección medida en el campo (M. Martínez, 1970) alcanza 2,333 pies y consiste de calizas lenticulares en la base, areniscas, limolitas, lodolitas y conglomerados lenticulares en la parte media y principalmente lutitas en el tope. La formación es abundantemente

fosilífera, en buen estado de conservación : braquiopodos, crinoideos, fusulinas y gasterópodos; corresponden a un ambiente nerítico de plataforma estable durante su depositación.

Se le correlaciona con el grupo Copacabana por su similitud de la serie Calcárea (Newell, 1933).

3. FACIES IDEALES PARA LA FRACTURACION

Una facie ideal para el fracturamiento y por ende para la acumulación de petróleo en el basamento Paleozoico del Nor-Oeste del Perú serían las rocas cristalinas que se caracterizan por :

- Grado de Metamorfismo.
- Composición Mineralógica.
- Orden textural.

En general podemos decir que el metamorfismo varia con la profundidad y distancia al emplazamiento de la intrusión granítica. Interesa el grado de metamorfismo por que de él depende el carácter cristalino de las rocas y mientras más cristalina es la roca, mayor es su potencialidad para generar fracturas.

Además rocas con estas características deben estar localizadas en zonas propensas a la deformación en nuestro caso son los Altos Estructurales de Laguna, El Alto, Lobitos, Negritos y Portachuelo que se muestran en la Lam. 2.

Las rocas que constituyen el Basamento Paleozoico del Nor-Oeste del Perú, tanto las que afloran como las que se encuentran en subsuelos son rocas metamórficas principalmente como las cuarcitas, pizarras, argilitas y filitas, en orden secundario los esquistos, arenas cuarcíticas, pizarras carbonosas, etc. Por lo tanto las facies ideales para el fracturamiento de acuerdo a las características mencionadas están bien representadas en los Amotapes como

la formación Cerro Negro con 4,000 pies de rocas metamórficas; cuyo material original fueron series lutáceas correspondientes a una transgresión marina que cubrió casi todo el territorio Peruano (A. Ochoa 1,980) durante el Devónico.

La litología de la Fm. Cerro Negro se caracteriza por el contenido de rocas de alto grado de metamorfismo que depende de la presión y temperatura y éstos a su vez de la profundidad: Cuarcitas oscuras, esquistos micáceos, pizarras carbonosas.

A partir del Misisipiano se tiene una sedimentación esencialmente nerítica que forma parte de la Fm. Cerro Negro que se acumula en una zona de subsidencia producida por una tectónica de distensión, produciendo graben y horts; lo que nos conduce a concluir que la facie ideal para el fracturamiento se encontraría en una fase de transición Devónica-Carbonífera. Estas facies están ubicadas en todas las áreas productivas del Nor-Oeste, principalmente en las de Los Organos, Laguna y Portachuelo en la que la producción proviene especialmente de cuarcitas fracturadas, pero también se obtienen producción de argilitas fracturadas.

4. CONTEXTO IDEAL PARA LA GENERACIÓN, MIGRACION Y ACUMULACIÓN DE PETRÓLEO

En general un reservorio de petróleo consiste de una roca madre, roca reservorio, roca sello, trampas estructurales-estratigráficas y saturación de fluidos.

Para especificar el mecanismo de origen, migración y acumulación de hidrocarburos en el Basamento del Nor-Oeste del Perú, se han formulado hasta tres explicaciones diferentes:

- a) Que el petróleo se originó en el Paleozoico
- b) Que migró desde la secuencia Cretácea y/o Terciaria

- c) Que el petróleo se originó en rocas más antiguas que la secuencia Paleozoica

Primeramente sería muy improbable que el petróleo sea indígeno, pues no habría sido posible su preservación, y por la misma razón es menos probable que el petróleo provenga de rocas más antiguas que el Paleozoico.

En cuanto a que el petróleo proviene de la secuencia Cretáceo y/o Terciaria, esto es lo más probable y el mecanismo de migración fácil de explicar; sin embargo se objeta que debería variar regionalmente, de acuerdo con las unidades sedimentarias que cubren el Basamento encima y lateralmente. Así por ejemplo en el área de El Alto el Basamento está cubierto por rocas Terciarias, en Portachuelo por rocas Cretáceas y en el área de Laguna por rocas Cretáceas y Terciarias. En los tres casos el crudo es de diferente API

Considerar que el petróleo proviene de secuencias sedimentarias suprayacentes obliga a analizar los mecanismos de migración y acumulación del petróleo en las rocas del Basamento, ilustrado en la Lam. 5, donde el petróleo se origina en sedimentos del Terciario y/o Cretáceo, el petróleo cruza la discordancia y migra pendiente arriba, hacia las partes altas del Basamento (alto estructural, hasta que encuentre una barrera de impermeabilidad que es la falla Somatito).

Una explicación alterna es la que postula Mc Naughton, quien sostiene que la migración del petróleo en el Basamento ocurre, porque la génesis de las fracturas produce **expansión ó dilatancia**, la cual reduce la presión hidrostática en las áreas de deformación, estableciéndose entonces gradientes de presión entre la roca reservorio potencial y la roca suprayacente que contiene petróleo, gas y agua; lo que crea una tendencia a **absorber** los fluidos por parte de la roca reservorio potencial.

Estructuralmente el Nor-Oeste del Perú, por el

complejo fallamiento de la Cuenca, predominan los altos estructurales antes que los anticlinales. A principios del Terciario ocurrió un colapso tensional o ruptura tafrogénica del área costera actual, acompañado de un levantamiento incipiente en el borde de Los Andes; pero esta primera orogenia de Los Andes fue relativamente moderada, pues el principal y el más amplio levantamiento tuvo lugar al final del Terciario, fue entonces que se generaron y desarrollaron millares de fallas en el lado Oeste.

El plegamiento que ocurrió primero fue casi completamente obliferado por el intenso fallamiento en bloques y se originaron una serie compleja de pilares tectónicos que son áreas levantadas muy prominentes, respecto a los gravens que flanquean y que tienen la importancia de ser zonas donde se desarrollaron la mayor parte de reservorios por fractura ó áreas óptimas para la ocurrencia de petróleo en rocas del Basamento.

Por lo tanto podemos decir que la acumulación y preservación de petróleo se localiza siempre en los altos estructurales, en otras palabras el mecanismo por el cual estas rocas fracturadas cuando están cubiertas por miles de pies de sedimentos, se conservan su carácter de reservorio potencial y la forma como llega el petróleo a saturar la porosidad por fractura, ha sido y es objeto de intensa investigación; sin embargo, hay un hecho cierto y es que todas las acumulaciones conocidas en rocas del Basamento, ocurren donde éstas están topográficamente altas, respecto a la secuencia sedimentaria, y en nuestro caso se cumple con exactitud en los casos de Laguna y Portachuelo.

El espesor de las rocas Terciarias es muy variable debido al complejo fallamiento que afectó el área en diversas épocas y a varias discordancias y adelgazamientos sobre los altos estructurales, especialmente en los de: Negritos, Talara, Lobitos, El Alto, Carpitás, Hualtaca, Tunal y Zorritos; y aunque el espesor conjunto de las rocas

pos-Paleozoicas excede de 40 mil pies, el tope del Basamento Paleozoico en las partes más profundas de la cuenca no excede de 20 mil pies (Lagunitos) ver Mapa Estructural en el tope del Paleozoico.

Las discordancias del margen Este de la Cuenca son continuas por los bajos espesores de las formaciones, dependiendo del tipo de rocas, estructuras y profundidad. A la que se encuentra representada zonas de entrampamiento o de liberación de fluidos al Este de la Cuenca. En zonas profundas, ante el efecto de Altos Estructurales los espesores de las formaciones se adelgazan y las discordancias muchas veces terminan juntándose mutuamente.

El área de las montañas Amotape se encuentra localizada en la Cordillera Occidental y dentro de la zona denominada inflexión de Huancabamba.

Las secuencias sedimentarias del Basamento Paleozoico son mayormente de origen marino con predominio de un ambiente de turbidez. Las rocas varían en metamorfismo del muy intenso (metamorfismo de contacto), al muy débil (metamorfismo regional). La edad de las rocas han sido determinadas como: Devónicas, Misisipianas, Pensilvanianas y posiblemente Pérmicas.

Las rocas del Basamento Paleozoico han jugado un papel importante en la distribución de las secuencias sedimentarias suprayacentes, así como en sus deformaciones estructurales posteriores, con la que guardan una estrecha relación. Los afloramientos del Basamento denominados montañas Amotape, están bordeados y ocasionalmente cubiertos por rocas del Cretáceo y Terciario. Fuera de la actividad ígnea desarrollada durante el Cretáceo, señalado en el Sinclorium de Lancones (Lam. 11). La principal actividad ígnea se desarrollo en el batolito de dimensiones regionales, posiblemente con anterioridad al Pensilvaniano.

La profundidad ideal para la ocurrencia de campos de petróleo del Nor-Oeste del Perú podría darse en le orden de

menos 6 mil pies a menos 10 mil pies. Profundidad aparente para el origen, migración y preservación de hidrocarburos haciendo que conserven su carácter de reservorio potencial.

Si la profundidad fuese mayor que 10 mil pies, los hidrocarburos sufrirán un proceso de cambio de estado líquido a gaseoso por el principio de la Vitrinita; pero si fuese menor que 6 mil pies (superficial), los hidrocarburos líquidos pasarían al estado sólido, como ejemplo La Brea y Pariñas.

VIII. CONCLUSIONES

1. La existencia de petróleo en rocas del basamento (rocas metamórficas) ya se conocía desde 1,899 y las rocas reservorio en muchos de aquellos campos son metamórficas. El elemento común en todos los casos es la saturación en función de la porosidad y permeabilidad de fractura; así como también la ocurrencia de petróleo está relacionada con el relieve del Basamento, esto evidencia que el petróleo migre desde la secuencia sedimentaria ya sea lateralmente o verticalmente.

2. Las posibilidades de prospección de petróleo en el Basamento Paleozoico podemos encontrar con mucha probabilidad en una zona que abarca de Sur a Norte desde Portachuelo, La Brea y Pariñas, El Alto, Los Organos y a ésta zona se le denomina El Alto Paleozoico Organos-Zorro. La mayoría de pozos que se han perforado en esta faja perforaron Terciario-Paleozoico con ausencia del Cretáceo.

3. Las áreas prospectivas para explorar por petróleo en el Basamento son las áreas estructuralmente levantadas de Portachuelo, La Brea Negritos, Malacas, Lobitos, Ronchudo, El Alto y Laguna Zapotal con sus prolongaciones en el Zócalo.

4. Información de superficie y de subsuelo relevan que la secuencia sedimentaria está constituida por lutitas, arenas, conglomerados y calizas depositadas en medios ambientes que varían del marino asociado con turbiditas al fluvio-deltaico y continental. El origen de los sedimentos provienen de la parte Este de la Cuenca, de Los Macizos de la Cordillera de Los Andes, cadena Paleozoica y rocas igneas graníticas y volcánicas.

5. Una de las características más importantes de los sedimentos cretáceos y Terciarios es su incremento de potencia hacia el Oeste de la cuenca, decreciendo su espesor hacia el Este frente a los Cerros Amotape, con

cambio de facies de Norte a Sur y de Este a Oeste.

6. En el área de Portachuelo, la producción de petróleo proviene principalmente de una sección de cuarcitas fracturadas; pero también se tiene producción de argilitas fracturadas.

7. Desde que los yacimientos petrolíferos que existen en los diferentes lugares del orbe, no se presentan aisladamente en lo que respecta a su origen, acumulación y preservación, siempre existe relación ya sea estratigráfica, tectónica o ambas.

8. Estructuralmente el Nor-Oeste del Perú está constituido por fallas normales, notablemente orientadas NE-SW, esto se comprueba según la alternancia de los altos estructurales.

9. Las rocas del Basamento Paleozoico en el área estudiada presentan diferentes grados de metamorfismo ya sea por contacto o por metamorfismo regional. El Basamento Paleozoico juega papel importante como fuente para la deposición de sedimentos suprayacentes y en la distribución de los mismos.

10. Por estadística el mayor número de pozos perforados han llegado al fondo del Terciario y/o Cretáceo, un porcentaje muy bajo ha llegado al Basamento Paleozoico.

11. Los estudios han puesto de manifiesto que las rocas del Basamento en general son cristalinas y frágiles, características que generan inevitablemente los diferentes sistemas de fracturamiento.

12. Dentro de la estratigrafía regional del Nor-Oeste del Perú, las rocas que constituyen el Basamento afloran a lo largo del borde del Nor-Oeste de los Andes Peruanos y la cadena paralela denominada Cerros Amotape que incluye las montañas de La Brea, Paita e Illescas. Este complejo está constituido por rocas de edad del Paleozoico, las cuales han sido intruzadas por granito. La sección Paleozoica está severamente plegada y regionalmente metamorfizada y está

constituida por argilitas, pizarras y cuarcitas.

13. La extracción de hidrocarburos en el Paleozoico es por sistemas de fracturamiento en cuarcitas y por sistemas de fracturamiento y esquistosidad en pizarras.

14. Los espacios porosos en cuarcitas se encuentran principalmente a lo largo de las fracturas casi verticales, originadas por los esfuerzos tensionales y en las fracturas por esquistosidad abiertas por los mismos esfuerzos.

15. Crecimientos secundarios de cuarzo en cristales pequeños, trigonales, alrededor de los granos de las cuarcitas tapizan las paredes de todas las fracturas.

16. La roca sello encierra hidrocarburos en las roca reservorio porque su permeabilidad es extremadamente baja. Generalmente la roca sello tiene cierta plasticidad, que los permite deformarse, más que fracturarse durante los movimientos tectónicos de la corteza terrestre. La roca sello más importante es la lutita, seguido de las rocas carbonatadas y evaporitas.

17. Haciendo uso de secciones estructurales podemos afirmar que el Basamento Paleozoico del Nor-Oeste buza de Este hacia Oeste encontrándose a mayor profundidad en el mar y aflorando hacia el Este de la región Grau, a través de uno de los principales accidentes geológicos de la zona, tal como los Cerros Amotape.

18. El pilar tectónico de Zorritos lo podemos definir como uno de los principales rasgos estructurales del Nor-Oeste del Perú, además determina el límite de las Cuencas Progreso y Talara.

19. Los valores promedio de la porosidad en rocas fracturadas es 10% y la permeabilidad varía entre 4 y 6 md. La saturación de agua es de 40% y la salinidad de 14,500 ppm de NaCl.

20. Aunque la porosidad de fractura inclusive la de más alto valor, es inferior a la mínima alcanzada por las rocas reservorios de areniscas y carbonatos, la producción

por pozo de este tipo de reservorios es sumamente alto; pero de baja duración relativamente.

21. Se ha encontrado que las areniscas cuarzosas del Paleozoico, han sufrido pérdida de porosidad debido a la disolución de la sílice en los contactos de los granos y la consecuente precipitación de ésta sílice en los espacios porosos, como aumento de tamaño (recristalización) del cuarzo.

22. Por la complejidad estructural y estratigráfica del Nor-Oeste del Perú, las lutitas pueden ser buenos sellos; pero no necesariamente rocas originadoras del petróleo.

23. Desde que el petróleo es un fluido y puede migrar, acumularse, conservarse y ser descubierto en algunas rocas porosas y permeables, sin que necesariamente se haya originado en ella. Como resultado de lo anterior, el petróleo que se obtiene de rocas fracturadas del Paleozoico, es el mismo que se originó en la roca madre del Terciario y/o Cretáceo, posteriormente migró al Paleozoico de acuerdo a la predominancia de fracturamientos lateral o vertical.

24. En la zona de Portachuelo, a lo Oeste de la Cuenca Lancones aflora el Paleozoico, tipo de roca en la que se ha estudiado las características petrofísicas, principalmente la porosidad por fractura, origina por esfuerzos de distensión.

25. Las acumulaciones de petróleo explotado en su mayoría se han encontrado en los Altos Estructurales, por lo tanto para proyectos de investigación de esta naturaleza es necesario la correlación de la tectónica y la mecánica de flujo de fluidos en rocas reservorio.

26. El fracturamiento en rocas cristalinas tiende a seguir un sistema geométrico aunque los sistemas de fracturamiento van a depender de la naturaleza de las fuerzas productoras del fracturamiento, todos los sistemas

tienen una característica común y es que las fracturas están intercomunicadas constituyendo la permeabilidad en fracturas.

X. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

OBSERVACIONES

1) Hace tiempo, casi todos los descubrimientos de petróleo en rocas fracturadas del basamento fueron por accidente, ya que las compañías de ese entonces estuvieron interesadas básicamente por el Terciario, perforando todos los pozos hasta el fondo del Terciario o Cretáceo y si algunos pasaron esa profundidad lo hicieron con una exploración inadecuada del basamento.

2) A principios del Terciario ocurrió un colapso tensional o ruptura tafrogénica del área costera actual, acompañado de levantamientos incipientes en el borde de Los Andes; por una orogenia relativamente moderada, pues los principales y amplios levantamientos tuvieron lugar al final del Terciario, generándose y desarrollándose una serie muy compleja de altos y bajos estructurales, como ejemplo típico tenemos al Pilar Tectónico de Zorritos.

3) La migración de los fluidos (petróleo, gas y agua) se realiza a través de las fracturas, microfracturas de las brechas, espacios intergranulares de las cuarcitas y superficies de exfoliación de las argilitas.

4) Las fracturas abiertas sin rellenar y rellenadas de calcita, cuarzos, cherts son diferentes por área; así como también la amplitud de las mismas es muy variable.

5) En realidad la permeabilidad existe en todas las direcciones incluyendo la permeabilidad vertical; pues los fluidos de la roca reservorio sólo se desplazarán en la dirección de la caída de presión.

6) La importancia del fallamiento en el basamento y la lineación de las estructuras regionales, así como el acondicionamiento de los bloques para el carácter de la distribución de las cuencas deposicionales del Cretáceo y Terciario, están íntimamente ligadas.

7) En la cadena de los cerros Amotape se han realizado mediciones de secciones (cerro Prieto) en la que ha sido posible diferenciar cuatro formaciones, gracias a la presencia de microfósiles más o menos bien conservados, las formaciones son : Cerro Negro, de posible edad Devónico, Chaleco de Paño, Misisipiano, Cerro Prieto, Pensylvaniano y Palaus de posible edad Pérmico (M. Martínez).

8) El grado de metamorfismo interesa, porque de él depende el carácter cristalino de las rocas y mientras más cristalina es la roca, mayor es su potencialidad para generar fracturas.

9) En perforación debemos observar que el bloqueo por el barro de perforación, puede en algunos casos ser muy severo, especialmente porque en las zonas muy fracturadas se produce invasión del barro, independientemente de los valores de filtrado. Cuando esto ocurre, en las pruebas de formación y aún en las pruebas de producción, puede recuperarse altos volúmenes de agua, la cual incluso incrementa la salinidad, por contaminación, lo que puede conducir al abandono del pozo.

10) Algunos nombres de los estratos toman el nombre de la localidad o de personas que las descubren.

RECOMENDACIONES

1) Evaluar nuestros logros vs. métodos y técnicas empleadas y promover el interés en el basamento como roca reservorio, tanto a nivel directivo como profesional y particularmente en este último nivel, promover la coordinación de esfuerzos para la solución de problemas que plantea la exploración y explotación de reservorios fracturados en general.

2) En vista del decrecimiento de reservas y el agotamiento de zonas de exploración sería necesario intensificar la búsqueda de nuevas áreas y entre éstas la exploración en profundidad buscando reservorios en rocas del basamento Paleozoico.

3) Debe aprovecharse la experiencia adquirida, con la perforación de todos los pozos exploratorios que han atravesado el basamento, y especialmente la de los campos Portachuelo y Laguna y más aún de otros campos, donde se explota reservorios de fracturas similares a los del noroeste.

4) Hacer una buena correlación de los resultados geofísicos obtenidos en la parte continental con sus similares en el mar, para establecer posibles tendencias de prolongación del basamento (zonas levantadas en el litoral y zócalo).

5) Dada la determinación de varios sistemas de fracturas en los afloramientos de las rocas del Paleozoico y sus relaciones en subsuelo, se recomienda realizar el baleo orientado en las rocas del basamento.

6) Experimentar la continuidad, así como también el

paralelismo entre sistemas de fracturas en muestras
constituidas por cuarcitas.

XI. BIBLIOGRAFIA

- Oswaldo Zevallos N. (1960) : Petróleo en Rocas del Basamento.
- Lizardo Muñoz Ochoa. (1957-1970) : Problemas Estructurales en el NorOeste del Perú.
- Máximo Martínez. (1970) : Estudio Geológico del Basamento Paleozoico en los Cerros Amotape y La Brea.
- Aurelio Ochoa A. (1983) : Evaluación Geológica del Paleozoico en el NorOeste del Perú.
- Roberto Aguilera. (1980) : Reservorios Naturalmente fracturados.
- Milton B. Dobrin. (1975) : Introducción a la Prospección Geofísica.
- A. I. Levorsen. (1967) : Geología del Petróleo.
- Maurice Mattauer. : Las Deformaciones de los Materiales de la corteza terrestre.
- Sylvain J. Pirson. : Ingeniería de Reservorios de Petróleo.
- Harrison Peter. (1939-1948) : Estudio del Paleozoico en el Perú.
- Robert R. Compton. : Geología de Campo.
- E. WM. Heinrich. : Petrografía Microscópica.
- R. L. Stanton. : Ore Petrology.
- B. C. Craft y M.F. Hawkins. : Ingeniería aplicada de yacimientos petrolíferos.
- Hosmer Henry Liggett. (1959) : Geology and Structural, Development of the Andean System of Peru.