EXPLORACION CARBONIFERA EN LA CUENCA DE OJINAGA, CHIHUAHUA.

Fernando Cabrera, Gerardo
Narváez, José Ma. Chávez,
Raúl Hernández, Jorge
Alcantara y Filiberto
Gómez. C.F.E.

R E S U M E N

Se describe la geología y su relación con depósitos de carbón, de los cuales se hace una evaluación preliminar dentro de la Cuenca de Ojinaga, en una superficie de 15 000 Km² al NE del Estado de Chihuahua. Los levantamientos realizados presentan información geológica inédita, principalmente en la porción Sur de la Cuenca.

Las rocas aflorantes son del Jurásico y Cretácico; las sedimentarias jurásicas corresponden a una secuencia evaporítica con afloramientos restringidos a la zona más al NW; las sedimentarias cretácicas constituyen una gruesa columna, siendo las del Cretácico Inferior calcáreas en mayor proporción, en tanto que las del Cretácico Superior son predominantemente clásticas, presentando cambios litológicos a lo largo de la Cuenca, obligando a hacer modificaciones en la nomenclatura estratigráfica al S de ella. Existen rocas ígneas intrusivas del Cretácico y Terciario representadas por sills y diques de composición básica, así como por cuerpos masivos de naturaleza ácida e ígneas extrusivas terciarias -- constituidas por una potente sección volcano-sedimentaria, algunos derrames e ignimbritas.

Los sedimentos del Cretácico Superior se depositaron en ambientes que se relacionan a un sistema deltaico progradante hacia el Sureste. Dentro de ellos los de las formaciones El Picacho y Aguja Continental, equivalentes y correspondientes al ambiente de planicie deltáica, son de interés ya que en éstos es donde se presentan las acumulaciones de carbón.

Dentro de dichas formaciones y a todo lo largo de la Cuenca se reconocieron varias evidencias de carbón de tipo húmico, rango sub-bituminoso y con buenas cualidades para su utilización en plantas carboeléctricas. Su espesor varía de 0.4 m a 1.2 m, de tal manera que pueden estimarse recursos carboníferos del orden de 300 millones de toneladas.

ABSTRACT

The geology and coal occurrences are described and an account of the relationship between them is given; a preliminary assessment of these coal seams within the Ojinaga basin is presented. The studied area covers 15 000 Km² in the northeastern part of Chihuahua; field surveys produced new, unpublished data, specially from the southern part of the basin.

Outcrops are composed mainly of Jurassic and Cretaceous sedimentary units which belong to an evaporite sequence and are exposed in the north western most part of the area; also present is

a thick section of Cretaceous sedimentary rocks, the main bulk of which is of lower Cretaceous age. Upper Cretaceous units are predominantly clastic, with facies changes throughout the basin, the refore, changing the stratigraphic nomenclature of these units. Cretaceous and Tertiary intrusions as sills and dikes of basic -- composition, massive felsic bodies and Tertiary extrusive rocks, -- composed of thick volcaniclastic and pyroclastic units represent the top-most sequences.

Late Cretaceous sediments were deposited under an SE prograding delta regime. Within them, those with greatest interest are the El Picacho and Aguja Continental Formations, since they host the coal seams, both equivalent and belonging to a delta plain environment.

Within these formations, sub-bituminous coal occurrences were frequently observed, with an adequate grade for its utilization in electric power plants. Thicknesses vary from 0.4-1.2 m, -- allowing for an estimate of 300 millions tons. of coal resources.

INTRODUCCION

El programa Carboeléctrico de la Comisión Federal de Electricidad plantea la necesidad de evaluar las regiones carboníferas del país para satisfacer, en parte, la demanda de energía eléctrica.

Considerando que en el Estado de Chihuahua existen diversas manifestaciones de carbón, esta institución juzgó conveniente estudiar las que presentan mayor interés. Así, la exploración se enfocó hacia la Cuenca de Ojinaga que se ubica en la porción NE del Estado y en la cual se tenía conocimiento de existencia de carbón desde el año de 1937, precisamente en el lugar denominado "La Mina", situado a 40 Km al SE de la Ciudad de Ojinaga, donde durante los años 1948-1949, se explotaron de 700 a 800 toneladas de carbón.

En julio de 1982, la C.F.E. evaluó la información obtenida previamente e inició los trabajos de exploración que consistieron principalmente en levantamientos de geología superficial.

Para su estudio, la Cuenca se dividió en dos zonas, la Norte o de Ojinaga y la Sur o de Manuel Benavides, observándose en sus sedimentos del Cretácico Superior cambios de facies.

Una descripción estratigráfica detallada, condujo a la identificación de una serie de ambientes y subambientes en los que se basó la interpretación final de la génesis de los depósitos de carbón y unidades litológicas asociadas.

a) Localización y Acceso.- La Cuenca de Ojinaga se localiza en la porción NE del Estado de Chihuahua, (Fig. 1) comprende una franja fronteriza de 50 Km de anchura promedio, que se extiende desde el paralelo 30°45' de latitud Norte, que corresponde aproximadamente al extremo NW de la Sierra Pilares, y se continúa al SE hasta el Estado de Coahuila. Su superficie es de aproximadamente 15 000 Km². La zona NW está limitada al N por la Sierra mencionada y al S por la Sierra Rica cubriendo una extensión de 12 000 Km²

mientras que el área al SE dentro de la Cuenca se ubica en el Municipio de Manuel Benavides y comprende una superficie de 3 000 Km² localizándose en la esquina NE del Estado de Chihuahua, al SW de la gran flexión que hace el curso del Río Bravo en esta región - (Big Bend), formando los límites entre México y los Estados Unidos de Norte-américa.

El acceso por tierra se realiza por la carretera federal No. 16 Chihuahua-Ojinaga; a partir de esta última ciudad se transita por la carretera estatal Ojinaga-La Perla durante 25 Km hasta el entronque con el camino de terracería que con un desarrollo de 70-Km conduce al poblado Manuel Benavides.

FISIOGRAFIA

El área estudiada está considerada dentro de la Provincia Fisiográfica de Sierras y Valles, (Raisz, 1964), caracterizada por prominencias orográficas de rumbo NNW-SSE que se elevan sobre extensos valles aluviales, que en conjunto corresponden a la expresión de bloques fallados. Sin embargo, en algunos lugares las sierras son anticlinales erosionadas y los valles son sinclinales cubiertos por depósitos recientes.

a).- Geomorfología.- La cuenca presenta dos zonas geomorfológicas bien definidas; una corresponde a la porción NW o de Ojinaga, y la otra a la porción SE o de Manuel Benavides.

La primera está constituida hacia el oeste por una larga cadena montañosa denominada Sierra Grande, con orientación NW-SE, -- compuesta por rocas sedimentarias con predominancia de calizas y una altura promedio de 1 800 metros sobre el nivel del mar. Estas montañas son cortadas por el Río Conchos entre las sierras del Peguis y Matasaguas, formando un impresionante cañón con paredes verticales, que localmente se conoce como La Boquilla de Conchos.

Desde las estribaciones de la sierra hasta el Río Bravo, se tiene un extenso valle formado por la erosión de rocas arcillosas -- menos resistentes.

Hacia el sur se observa una topografía abrupta e irregular, -- que es el resultado de la erosión sobre rocas volcánicas que cubren las sedimentarias, así como de intrusivos que afectan a toda la secuencia, dando lugar a varias sierras sin orientación preferencial.

En la segunda zona geomorfológica o porción SE de la Cuenca, las elevaciones más notables corresponden a Sierra Azul, El Mulato Matadero, Hechiceros, y Santa Elena con altitudes que oscilan entre 1-200 m y 2 000 m sobre el nivel del mar. La altura de ellas varía entre 400 y 900 m sobre las planicies de los valles adyacentes. El relieve es un claro reflejo de las condiciones estructurales, tratándose en general de bloques fallados escalonados y basculados hacia el SW, cuyas fallas limitantes tienen una orientación NNW-SSE. Sin embargo, la Sierra Azul constituye un rasgo fisiográfico y estructural distinto a los citados, ya que presenta un frente oriental casi vertical de unos 200 m de altura y de traza semicircular donde se desarrolla un valle estrecho de 25 Km de longi --

tud y una anchura de 1 a 2 Km en cuyas inmediaciones se asienta la población de Manuel Benavides.

Esta área comprende dos valles muy amplios separados por la Sierra Santa Elena: El Valle Manuel Benavides-Providencia al SW y el Valle Santa Elena al NE. Este último tiene una altitud inferior al primero, con un "salto" o diferencia de nivel de 250 m. En este caso el Valle Santa Elena representa un bloque fallado hundido.

b).- Hidrografía.- El drenaje en general corresponde a la vertiente del Golfo y particularmente a la red hidrográfica del Río Bravo, con su principal afluente en el Estado, el Río Conchos; además hay pequeños arroyos que llevan agua sólo en época de lluvias y desembocan en los ríos mencionados.

En la porción NW de la Cuenca los arroyos forman un sistema paralelo que al continuar hacia el Río Bravo se conjugan con los que corren en el valle para traducirse en un sistema rectangular.

Hacia el SE en general el drenaje es de tipo dendrítico; sin embargo, localmente se presentan patrones radiales y rectangulares; el primer caso ocurre principalmente en la Sierra Azul y Cerro La-Americana, en tanto que el segundo se desarrolla sobre todo en rocas volcánicas de la Sierra Matadero y Sierra Hechiceros.

No obstante las dos corrientes importantes en el área, es relativamente pequeña la superficie irrigada.

GEOLOGIA GENERAL

En la Cuenca de Ojinaga aflora una gran variedad de rocas; sedimentarias, ígneas extrusivas e intrusivas y metamórficas de contacto. Los dos primeros tipos constituyen la mayor parte de la región (Fig. 2 y 6).

1.- Rocas Sedimentarias.- Se presentan en una potente sección calcárea-clástica que comprende casi todo el Cretácico y que sobreyace a una secuencia evaporítica posiblemente del Jurásico cuyos afloramientos están restringidos hacia la porción más al noroeste.

Las rocas del Cretácico Inferior son principalmente calizas y en menor proporción lutitas y areniscas; sus afloramientos forman las sierras altas. Las del Cretácico Superior son de naturaleza clástica con predominio de lutitas y limolitas y en menor cantidad, areniscas y conglomerados. Estas afloran en las partes bajas y en lomeríos de escasa elevación.

En la columna estratigráfica (Fig. 3), se mencionan para la porción NW de la Cuenca las formaciones del Cretácico Superior: Ojinaga, San Carlos y El Picacho que presentan cambios litológicos hacia el SE, en la porción de la Cuenca correspondiente a Manuel Benavides, y que cambian de nombre a Boquillas y Pen, Aguja Marina y Aguja Continental, respectivamente; éstas últimas son más afines con las unidades de la región del "Big Bend", representando la continuidad de sus formaciones hacia el Sur.

Las formaciones Ojinaga, San Carlos y El Picacho en el NW y Boquillas, Pen y Aguja en el SE se consideran como elementos de un

Fig. 2 GEOLOGIA GENERAL DE LA CUENCA DE OJINAGA, CHIHUAHUA.

TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA

C R E T A C I O	I N F E R I O R	COAHUILA	COMANCHE	GOLFO	S E R I E	PERIODO						
						EPOCA	SUPERIOR					
C R E T A C I O	I N F E R I O R <td rowspan="17">COAHUILA<td rowspan="17">COMANCHE<td rowspan="17">GOLFO<td rowspan="17">S E R I E<td>PISOS EUROPEOS</td><td>NORTE DE MEXICO Y TEXAS</td><td>GENERAL DE CHIHUAHUA</td><td>REGION DE OJINAGA</td><td>BIG BEND TEXAS (1965)</td><td>MANUEL BENAVIDES-PROVIDENCIA</td><td>CUENCA FUENTES RIO ESCONDIDO</td></td></td></td></td>	COAHUILA <td rowspan="17">COMANCHE<td rowspan="17">GOLFO<td rowspan="17">S E R I E<td>PISOS EUROPEOS</td><td>NORTE DE MEXICO Y TEXAS</td><td>GENERAL DE CHIHUAHUA</td><td>REGION DE OJINAGA</td><td>BIG BEND TEXAS (1965)</td><td>MANUEL BENAVIDES-PROVIDENCIA</td><td>CUENCA FUENTES RIO ESCONDIDO</td></td></td></td>	COMANCHE <td rowspan="17">GOLFO<td rowspan="17">S E R I E<td>PISOS EUROPEOS</td><td>NORTE DE MEXICO Y TEXAS</td><td>GENERAL DE CHIHUAHUA</td><td>REGION DE OJINAGA</td><td>BIG BEND TEXAS (1965)</td><td>MANUEL BENAVIDES-PROVIDENCIA</td><td>CUENCA FUENTES RIO ESCONDIDO</td></td></td>	GOLFO <td rowspan="17">S E R I E<td>PISOS EUROPEOS</td><td>NORTE DE MEXICO Y TEXAS</td><td>GENERAL DE CHIHUAHUA</td><td>REGION DE OJINAGA</td><td>BIG BEND TEXAS (1965)</td><td>MANUEL BENAVIDES-PROVIDENCIA</td><td>CUENCA FUENTES RIO ESCONDIDO</td></td>	S E R I E <td>PISOS EUROPEOS</td> <td>NORTE DE MEXICO Y TEXAS</td> <td>GENERAL DE CHIHUAHUA</td> <td>REGION DE OJINAGA</td> <td>BIG BEND TEXAS (1965)</td> <td>MANUEL BENAVIDES-PROVIDENCIA</td> <td>CUENCA FUENTES RIO ESCONDIDO</td>	PISOS EUROPEOS	NORTE DE MEXICO Y TEXAS	GENERAL DE CHIHUAHUA	REGION DE OJINAGA	BIG BEND TEXAS (1965)	MANUEL BENAVIDES-PROVIDENCIA	CUENCA FUENTES RIO ESCONDIDO
						MAESTRICITIANO	GRUPO NAVARRO	CONGLOMERADO CONSOLACION	CONGLOMERADO CONSOLACION	JAVELINA	JAVELINA	ESCONDIDO
						CAMPARIANO	GRUPO TAYLOR	EL PICACHO	EL PICACHO	ABOJA	ABOJA	SAN MIGUEL
						SANTONIANO	GRUPO AUSTIN	SAN CARLOS	SAN CARLOS	PEN	PEN	UPSON
						CONIACIANO						
						TURONIANO	GRUPO EAGLE FORD	OJINAGA	OJINAGA	SAN VICENTE ERNST	BOQUILLAS	BOQUILLAS
						CENOMANIANO						
						SUPERIOR	GRUPO WASHITA	BUDA	BUDA	BUDA	BUDA	NO AFLORA
						MEDIO	GRUPO FREDERICKSBURG	DEL RIO	DEL RIO	DEL RIO	DEL RIO	
						INFERIOR	GRUPO TRINITY	LOMA DE PLATA	LOMA DE PLATA	SANTA ELENA	SANTA ELENA	
						GARGASIANO		BENEVIDES	BENEVIDES	SUE PEAKS	SUE PEAKS	
						BEDOULIANO	GRUPO NUEVO LEON	FINLAY	FINLAY	DEL CARMEN	DEL CARMEN	
						BARREMIANO		COX / LAS GRINA	COX / LAS GRINA	WALNUT	WALNUT	
						NAUTERIVIANO	GRUPO DURANGO	ADONRA	BENIGNO	GLEN ROSE	BENIGNO	
						VALANGIMIANO		CUCHILLO	CUCHILLO	CUCHILLO	CUCHILLO	
						BERRIASIANO		LAS VIGAS	LAS VIGAS	EMERGIDO	LAS VIGAS	
								NAVARRETE	NAVARRETE	EMERGIDO	EMERGIDO	

FIGURA Nº 3

sistema deltaico progradante hacia el sureste, correspondiendo a facies de plataforma la Ojinaga o Boquillas y a prodelta la Pen, o parte superior de la Ojinaga en tanto que la San Carlos o Aguja Marina comprende el frente deltaico, estando representada la planicie deltaica por la Formación El Picacho o Aguja Continen - tal. (Fig. 4).

Considerando que el objetivo geológico de exploración esta ba orientado hacia las unidades litológicas de fines del Cretáci co Superior, por ser éstas las que contienen los indicios de car bón, las unidades subyacentes y la gruesa cubierta volcánica se estudiaron a nivel de reconocimiento.

Por lo anterior, solamente se hará la descripción de las - unidades litoestratigráficas del Cretácico Superior, de la más - antigua a la más reciente.

a).- Formación Ojinaga.-* (Burrows, 1909; Vivar, 1925; Wollleben, 1965) Es una secuencia sedimentaria formada en la parte basal - por calizas de estratificación delgada, de color gris claro, in - terestratificadas con lutitas y limolitas calcáreas. En la parte media predominan limolitas de color gris amarillento, intercala - das con lutitas gris oscuro a negras con estratificación lenticu - lar y algunos horizontes delgados de arenisca de grano fino. Ha - cia la cima se encuentra una alternancia de lutitas negras con - limolitas; los horizontes de arena aumentan de espesor y granu - metría observándose, en varios lugares, abundantes concreciones - calcáreas con intercalaciones de coquinas. Se observan sus mejo - res afloramientos al Sur de Ojinaga, entre los kilómetros 15 y - 26 de la carretera Ojinaga-La Perla.

Yace concordantemente sobre la Formación Buda, en forma - transicional y subyace de igual manera a la Formación San Carlos. Es correlacionable en su parte media e inferior con la Formación Boquillas del área de Manuel Benavides. De acuerdo a su gran co - tenido fosilífero, principalmente amonoideos: Mammites nodosides, Collignomiceras chispaense, Prionocycloceras gabrielensis, Texa nites stangeri densicostus y Submortonicerias Tequesquitense; y - el pelecípodo Inoceramus undulaticus; Young (1969), le de - signa una edad que va desde el Cenomaniano hasta el Santoniano.

Su espesor promedio se estima en 800 m para el NW de la - Cuenca.

b).- Formación Boquillas.- (Maxwell y Dietrich, 1965) Es una se - cuencia de calizas, calizas margosas y margas de color gris blan - co, intercaladas con lutitas laminares, que está expuesta en el - área del Big Bend, Texas y en la de Manuel Benavides. Sus rasgos - más notorios son su color prácticamente blanco y su típica estra - tificación delgada.

*NOTA Entre paréntesis se mencionarán los autores que dieron la - localidad tipo y el nombre de cada formación, continuándose con - su descripción en las áreas estudiadas por los geólogos de la C. - F.E.

Esta Formación está afectada por numerosos sills básicos de gran extensión con espesor promedio de 20 m. En sus contactos lá- encajonante se encuentra metamorfizada.

Descansa concordantemente sobre la Formación Buda; se corre- laciona con la Formación Ojinaga (facies de cuenca) en la re- gión de Ojinaga y con la Eagle Ford y Creta Austin, en la Cuenca- Fuentes-Río Escondido, Coahuila. Los fósiles son frecuentes, sien- do el índice el pelecípodo Inoceramus undulaticus, aunque - también se encuentran amonitas (Texanites, Gollopoceras), que le- otorgan una edad del Cenomaniano Superior al Coniaciano.

Estos sedimentos tienen un espesor aproximado de 200 m; - fueron depositados en aguas poco profundas (facies de plataforma) e incluso probablemente de intermarea en algunos lugares; así lo- indican sus estructuras primarias y la presencia de fauna de aguas someras.

c).- Formación Pen.- (Maxwell y Dietrich, 1965). Aflora princi- palmente en la porción central de la Sierra Santa Elena de la re- gión de Manuel Benavides y en el Big Bend, consistiendo de un - fuerte espesor de arcillas gris amarillento con lechos arenosos - hacia la cima y grandes concreciones calcáreas, casi todas de for- ma discoidal. Tanto en éstas como en los sedimentos hay fósiles - tales como Exogyra ponderosa, Texanites, Trigonia, Turritella, etc. que le dan una edad Coniaciano-Santoniano haciéndola correlaciona- ble con la porción superior de la Formación Ojinaga en Ojinaga y- con la parte superior de la Creta Austin y Upson, en la Cuenca -- Fuentes-Río Escondido.

Su espesor es de 200 m de sedimentos subyacentes en forma - gradacional a la Formación Aguja. Las relaciones de arcilla-arena, siendo más abundante esta última, indican un aumento en la granu- lometría y sugieren un cambio gradual de un ambiente de prodelta- (F. Pen) a un frente deltáico (F. Aguja, porción marina).

d).- Formación San Carlos.- (Vaughan, 1900). Su litología con- siste de 6 a 50 m de arenisca calcárea de grano medio a fino, con estratificación cruzada en estratos medios a gruesos, color gris- claro cremoso; en la base hay interestratificaciones de lutitas - negras y hacia la cima se presentan estratos gruesos de areniscas laminares limpias.

En algunos estratos de arenisca, se pueden reconocer peque- ños horizontes de carbón o materia carbonosa diseminada, probable- mente alóctonos.

Sus contactos, inferior con la Formación Ojinaga y superior con la Formación El Picacho, son concordantes. Aflora al Oriente- de Sierra Vieja, Condado de Presidio, Texas y en la porción NW de la Cuenca; se le asigna al Campaniano Inferior por encontrarse - los amonoideos: Sub mortoniceras tequesquitense y Delawarella de- lawarenensis (Young, op. cit).

e).- Formación El Picacho.- (Vivar, 1925). Está constituida por delgadas capas de carbón en su base, seguidas por lutitas con ma- teria carbonosa y areniscas con estratificación cruzada de varios

tipos, presenta estructuras sedimentarias tales como las de bolas, almohadas, estratificación convoluta y estructuras de icnofósiles como ophiomorfas y fucoides; contiene madera petrificada y huesos de dinosaurios. Hacia la base se presentan coloraciones violáceas y en la parte superior rojas y amarillas fuertes en algunas areniscas de grano grueso y conglomerados, que contienen incluso árboles petrificados de 5 m de longitud.

El contacto inferior con la F. San Carlos es concordante y el superior con el Conglomerado Consolación es discordante o ausente por erosión. Su espesor estimado es de 600 m y por su posición estratigráfica se le asigna al Campaniano Superior.

f).- Formación Aguja.-(Adkins, 1932; Udden in Maxwell y Dietrich, 1965). Esta Formación se divide en dos para la zona SE de la Cuenca o de Manuel Benavides: la Aguja Marina que se correlaciona con la Formación San Carlos de Ojinaga y la Aguja Continental equivalente a parte media e inferior de la Formación El Pícaro de la misma área.

Sus afloramientos se alinean en una franja NW-SE, de unos 75 Km de largo y 8 Km de ancho a partir del Ejido Nuevo Lajitas - en su límite Norte, hasta los afloramientos de carbón conocidos como Providencia y La Saladita, al sur, pasando por los del Cerro La Americana.

Litológicamente consiste de areniscas intercaladas con arcillas. Las areniscas predominan en la porción inferior de la formación, son de color café claro-amarillento, incluso blancas, presentando estructuras primarias y fósiles como los pelecípodos que en ocasiones constituyen verdaderos bancos. Es común observar laminillas de siderita y yeso. Las arcillas son blancas a gris verdoso, algunas son orgánicas y piritosas conteniendo horizontes de carbón. Hacia la parte superior de la columna es frecuente encontrar madera petrificada y ocasionalmente huesos de dinosaurios.

En el Cerro La Americana, las areniscas predominan sobre las arcillas; encontrándose hacia la base lutitas negras, arcillas grises con raíces y carbón. Las areniscas se clasifican como arcosas y subarcosas; son fosilíferas en ocasiones, presentando abundantes estructuras primarias. Los fósiles son indicativos de ambientes marinos y lagunares.

En Providencia y en La Saladita las características de esta formación son similares.

Estos sedimentos son de edad Campaniano; con un espesor variable de 250 a 400 m; sus variaciones litológicas y fosilíferas, implican en su porción inferior un cambio gradacional de un ambiente prodeltaico a una llanura deltaica inferior (frente deltaico). La porción superior, refleja un ambiente de planicie deltaica, progradante, sugiriendo que la intercalación de lechos fosilíferos marinos puede representar fases destructivas intermitentes durante la progradación.

g) - Formación Javelina.-(Maxwell, et al, 1965). Aflora en el área vecina del Big Bend; dentro de la zona de Benavides, en el valle situado al oriente de la Sierra Santa Elena y en el faldeo oriental inferior de la Sierra Hechiceros. Está constituida por 60 m de arcillas bentónicas intercaladas con areniscas de estrati-

ficación cruzada. Contiene madera petrificada y huesos de dinosaurio.

El contacto inferior con la Formación Aguja es gradual, mientras que el superior es discordante con el material volcánico del Terciario.

Esta Formación es de edad Maestrichtiano; se correlaciona con el Conglomerado Consolación del área de Ojinaga.

Su litología sugiere un ambiente de llanura de inundación, representada por las areniscas y porciones conglomeráticas. La carencia de estructuras y el gran espesor de las arcillas reflejan facies lacustres.

2).- Rocas Igneas.- Dentro de la Cuenca de Ojinaga se encuentra un fuerte espesor (500 m) de rocas volcánico-sedimentarias intercaladas frecuentemente con corrientes lávicas de naturaleza andesítica-traquiandesítica e ignímbritas de composición riolítica; cubren aproximadamente el 30% del Área Manuel Benavides y constituyen el cuerpo de las sierras: Matadero, La Mora, Angeles y Hechiceros; están más restringidas en la región de Ojinaga, aflorando principalmente en la porción SE, constituyendo las partes topográficas más altas y escarpadas. Este material se considera como -- "Terciario volcánico-sedimentario indiferenciado" de probable edad Eoceno-Mioceno.

Las rocas ígneas intrusivas se encuentran en la mitad sur del área de Ojinaga en forma de diques, dique-estratos ("sills") y cuerpos irregulares de composición básica que afloran a manera de enjambres sin orientación preferencial. En la zona de Manuel Benavides se encuentran ampliamente distribuidas, expresándose en diversas formas: diques, sills, lacolitos y stocks de naturaleza ácida a básica.

Uno de los rasgos notables de la Sierra Azúl, es la presencia de un cuerpo intrusivo granítico (stock), responsable del plegamiento dómico de las rocas sedimentarias adyacentes.

Numerosos sills doleríticos se aprecian diseminados prácticamente en toda el área; los más notables y extensos son los de: Cerro La Americana, Cerro Victoria, Casas Grandes-Cerro Prieto, Boquilla del Tecolote, La Saladita, etc. Estos cuerpos han sido plegados concordantemente con las rocas sedimentarias durante los movimientos laramídicos; su edad por el método K-Ar varía de 68.5 a 49.5 millones de años (Maxwell y Dietrich, 1965), es decir, se consideran del Cretácico Superior-Paleoceno Inferior.

El emplazamiento de los sills provocó una intensa alteración en la roca encajonante, a la cual fue asimilando en sus bordes, quedando los xenolitos y ramificaciones como testigos de su avance. En ocasiones se observa que cuando los sills se emplazan sobre o cerca de algún manto de carbón, éste presenta una mejor evolución.

GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La Cuenca de Ojinaga se ubica en lo que algunos autores han denominado " La Faja Tectónica de Chihuahua ", que a su vez, se encuentra en la parte NE de la llamada "Cuenca de Chihuahua", la cual es tuvo limitada al Este y al Norte por la Plataforma del Diablo y al Oeste por la Plataforma Villa Ahumada-Villa Aldama, en la que se acumularon sedimentos durante el Jurásico Superior y el Cretácico.

En la faja mencionada, se presentan deformaciones muy complejas, reconociéndose eventos Pre-Laramídicos, Laramídicos y Post-Laramídicos.

La actividad sub-volcánica pre-laramídica está representada por una serie de sills que afectan significativamente a las unidades del Cretácico Superior, especialmente a las Formaciones Boquillas, Pen y Aguja en el sur de la Cuenca y por fallas reactivadas durante la deformación Laramide en el Norte de ella.

Durante los esfuerzos tectónicos laramídicos, el potente espesor de rocas sedimentarias cretácicas fue plegado suavemente, provocando estructuras anticlinales y sinclinales de orientación general NW-SE, destacando en la región de Ojinaga el Anticlinal Sierra Grande, que incluye a las Sierras: Blanca, Pilares, La Pinos y La Mula; los sinclinales están cubiertos o parcialmente expuestos, como es el caso del Chapo y Arroyo Jasso. En el área de Manuel Benavides ocasionalmente se encuentran pliegues como los de Cachanillas, Casas Grandes, Providencia y La Saladita, donde se pueden apreciar una serie de estructuras asimétricas en las Formaciones Boquillas, Pen y Aguja.

Otras estructuras laramídicas notables son las fallas normales en las inmediaciones de las crestas de los anticlinales, como las de El Porvenir, Gaytán y el Murciélago en Ojinaga; y la Falla Terlingua que cruza el Río Bravo en el Cañón de Santa Elena con una orientación NW-SE y conforma el escarpe oriental de la Sierra del mismo nombre; así como las fallas inversas El Banquete y El Comedor en el Norte de la Cuenca y la de San Carlos en Benavides; y los pliegues recostados de San Antonio El Bravo y Los Infantes, cuyo origen ha sido asociado a un basamento evaporítico sobre el cual se desplazarían las rocas sobreyacentes.

El Valle Manuel Benavides-Providencia constituye un bloque caído (graben) limitado al oriente por la Sierra Santa Elena y al Oeste por las Sierras Azúl-Angeles-Hechiceros. A lo largo de este valle es donde se encuentran la mayor parte de los afloramientos de la Formación Aguja.

Posteriormente a la deformación Laramide, se desarrollaron eventos tectónicos por gravedad, caracterizados por fallas de tensión, fallamiento en bloques con fallas de tipo normal de magnitud y desplazamiento variable, con tendencias paralelas o transversales a los ejes estructurales y estructuras dómicas por diapirismo causado ya sea por evaporitas o por emplazamiento de intrusivos, -- estos últimos en ocasiones originaron fallas de tipo radial.

GEOLOGIA HISTORICA.

La sedimentación marina en la Cuenca de Chihuahua empezó en el Jurásico Medio con una secuencia de arenisca, limolitas, lutitas y evaporitas, representando varios ambientes, desde someros a profundos. Estas evaporitas tuvieron gran influencia durante la deposición laramílica. Posteriormente durante el Cretácico, en la Cuenca de Ojinaga se depositó discordantemente sobre los sedimentos jurásicos, un paquete de mas de 3 000 m de espesor, que estuvo influenciado al Este y Norte por la Plataforma del Diablo y al Oeste por La Península Palomas-Villa Ahumada-Aldama, ambos elementos paleogeográficos del Jurásico.

Durante el Cretácico Inferior se depositaron sedimentos de planicie costera de las Formaciones Navarrete y Las Vigas; comienza una transgresión y sobre ellos ocurren las facies arenosas de la Formación Cuchillo que cambian transicionalmente a calizas, lutitas y evaporitas; a éstos les sobreyacen los sedimentos carbonatados de las Formaciones Benigno, Walnut, Del Carmen, Sue Peaks y Loma de Plata, representantes de ambientes neríticos con facies arrecifales; como consecuencia del levantamiento de las regiones al N y NW del área una regresión deposita calizas arcillosas de las Formaciones Del Río y Buda en condiciones marinas neríticas.

En el Cretácico Superior la regresión continúa, ocasionada por el aumento en el levantamiento, provocando que grandes volúmenes de detritos fueran transportados y depositados en un sistema deltaico que progradaba hacia el SE (Fig. 5), presentando en la mitad Norte de la Cuenca de Ojinaga, secuencias terrígenas que dieron lugar a las formaciones: Ojinaga en su parte superior que corresponde a una facies de prodelta, San Carlos que se depositó en el frente deltaico y El Picacho que refleja un ambiente de planicie deltaica.

En las áreas del Big Bend, Manuel Benavides y Norte de Coahuila, se depositaron calizas arcillosas de facies de plataforma, de la Formación Boquillas que descansa concordantemente sobre la Buda. El cambio de plataforma a cuenca (región de Ojinaga) se refleja claramente, ya que el espesor de la F. Boquillas en esta zona es pequeño (150 m), mientras que en el área al NW aumenta rápidamente (800 m), graduando a facies arcillosas no carbonatadas de cuenca (Formación Ojinaga).

La progradación deltaica acumuló un espesor considerable de sedimentos en esta región, dando lugar a las Formaciones Boquillas plataforma; la Peña que corresponde a facies de prodelta; Aguja, depositada en un ambiente de frente deltaico en su porción inferior y de planicie deltaica en la superior, y Javelina que representa condiciones netamente continentales.

A fines del Cretácico Superior, como resultado de la orogénesis Laramide, el potente paquete sedimentario fue plegado y a fallado, quedando sujeto a los procesos erosivos y depósitos fluviales continentales y a una intensa actividad volcánica y emplazamiento de cuerpos intrusivos durante el Terciario.

MIGRACION HACIA EL MAR DE LOS AMBIENTES DEPOSICIONALES DE UN DELTA TIPICO MOSTRANDO LAS FORMACIONES EQUIVALENTES EN LA CUENCA DE OJINAGA (Modificado de Mc Bride, 1979.)

PALEOGEOGRAFIA DEL NEOCOMIANO (IMLAY 1936) Y DEL CAMPANIANO-MAESTRICHTIANO (WIDIE, WOLLEBEN Y MC BRIDE, 1972)

FIG. 5

RESULTADOS OBTENIDOS.

Los trabajos realizados permitieron delimitar la Cuenca de Ojinaga, especialmente los afloramientos de la Formación El Picacho y Aguja Continental del Cretácico Superior, en cuyas bases ocurren los horizontes de carbón. En la mitad Norte de la Cuenca, estos sedimentos son escasos, mientras que existen en mayor cantidad hacia la porción SE o de Manuel Benavides (Figura 2).

Además de las localidades carboníferas conocidas anteriormente (La Mina, El Cariño y Palo Blanco), se descubrieron otras en el Arroyo de Jaso, en el Sinclinal Tres Hermanos y en el área de La Mina en la Formación El Picacho; mientras que en la Formación Aguja Continental se localizaron en el Valle Manuel Benavides-Providencia las del Cerro La Americana, La Providencia y La Saladita y en el Valle de Santa Elena la de La Gloria.

El Arroyo de Jaso situado a 20 Km al NW de la Ciudad de Ojinaga, se encuentra en un sinclinal afallado de 10 Km de largo por 2 Km de ancho. El horizonte de turba con laminillas de carbón vítreo tiene un espesor que varía de unos centímetros a 5 m. Los echados de las capas no sobrepasan los 10° y los lentes se pueden seguir a todo lo largo de la estructura.

El Sinclinal Tres hermanos tiene una orientación NW-SE, longitud de 25 Km y anchura variable de 2 a 4.5 Km, con echados no mayores de 20° en los flancos; su extremo NW está limitado por la Presa-Terahumara y el SE por el poblado Alamo-Chapo. En la base de la Formación El Picacho hay afloramientos de turba con espesores de hasta 3 m con carácter lenticular y con longitudes de 2.5 Km.

El área de La Mina se ubica a 40 Km al SE de Ojinaga; incluye afloramientos de carbón en El Sabinito, Palo Blanco, El Tule y El Madroño. En "La Mina" el horizonte carbonífero es de 70 cm de espesor y 3 Km de longitud, con echados de 45° a 50°, limitándolo al Norte y Sur grandes fallas normales. En El Sabinito y Palo Blanco el manto se encuentra dentro de una estructura sinclinal ubicada a 10-Km al NW de "La Mina", el lente principal tiene un grosor promedio de 60 centímetros con una longitud de 50 m. El manto El Madroño aflora a 5 Km al SE de "La Mina" con una potencia variable de 0.6 m a 1.5 m que se puede seguir por más de 2 Km y es interrumpido bruscamente por una falla normal en su extremo oriental.

En el área de Manuel Benavides se delimitó una zona de 75 Km. de longitud por 10 Km de ancho que se extiende desde el poblado de Manuel Benavides al Norte hasta la rancharía La Providencia al Sur. Dentro de este valle, la porción sur-oriental es la que presenta mayor interés y comprende desde el Cerro La Americana hasta la localidad de La Saladita, pasando por La Providencia.

En el Cerro La Americana, que se ubica a 33 Km al SE de Manuel Benavides, se encuentran manifestaciones de carbón en su ladera norte, en la base de la Formación Aguja Continental; el horizonte tiene un espesor de 0.6 m y longitud de 5 Km, está confinado por arcillas dentro de un paquete de areniscas con suave buzamiento al sur. También se encuentran mantos de carbón en la porción central del Cerro, que se distribuyen a lo largo de un escarpe por una dis-

tancia de 500 m y potencia de 0.40 m a 0.60 m; están confinados por lutitas negras y areniscas lenticulares que caracterizan una subfacies de pantano. Un intrusivo lacolítico de composición básica y sus sills correspondientes afectaron a las capas de la Formación Aguja, plegándolas en una estructura dónica.

La Providencia se ubica a escasos kilómetros al Norte de la ranchería del mismo nombre, es parte de un anticlinal de flancos muy suaves y de rumbo NW-SE; el manto se localiza hacia su porción SE con un espesor de 50 cm de un carbón formal, duro, compacto y de aspecto vítreo. Las relaciones litológicas y de estructuras primarias en los sedimentos que acompañan a este manto reflejan un sub-ambiente típico de pantano (Fig. 6).

La Saladita se encuentra a unos 8 Km al SE de la localidad anterior; en este lugar el horizonte de carbón presenta un espesor de casi un metro, con abundante materia brillante y aparentemente de buena calidad. A unos 30 m sección arriba del primer manto aflora un delgado lente de carbón de 15 cm de espesor, originado probablemente en cuenca de inundación.

Existen en Manuel Benavides, además de las evidencias de carbón citadas, algunas más como los que constituyen una faja que incluye principalmente al Arroyo del Carbón, cerca del poblado mencionado, y que se manifiestan a lo largo de 6 Km con espesores que varían de 0.2 m a 0.6 m.

En La Gloria, situada a 4 Km al NW de la población de Santa Elena, en el valle del mismo nombre y cerca del Río Bravo se observa un manto de carbón de 1.20 m de espesor, de buena calidad.

En general, tanto en la porción NW como en la SE de la Cuenca, los afloramientos corresponden al mismo horizonte, con una posición estratigráfica bien definida, ubicado hacia la base de la Formación El Picacho o de la Aguja Continental, alojado entre un horizonte inferior de lutitas laminares de color violeta y un estrato superior de areniscas verde olivo. El horizonte de lutitas de aproximadamente un metro de espesor, sobreyace a una arenisca blanca muy característico, que fue utilizado como guía estratigráfica.

Para el área de Ojinaga, que incluye El Sabinito, Palo Blanco; El Tule y El Madroño, al considerar el espesor del manto de carbón, la extensión de los afloramientos y que tienen la misma posición estratigráfica, se ha estimado que existan recursos de 100 millones de toneladas de carbón sub-bituminoso el cual, según los análisis efectuados, es susceptible de utilizarse en plantas carboeléctricas.

En Manuel Benavides se delimitó un área de unos 100 Km² con posibilidades carboníferas; considerando los espesores del horizonte de carbón en las localidades del Cerro La Americana, La Providencia y La Saladita, puede estimarse un potencial interesante que, dentro de la categoría de recursos, puede ser del orden de 200 millones de toneladas.

Fig. No 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

En el área NW de la Cuenca de Ojinaga, los afloramientos del Cretácico Superior están muy restringidos, especialmente los de la Formación El Picacho, en cuya base ocurre el horizonte de carbón; no sucediendo así en la zona de Manuel Benavides, que constituye la continuidad de la Cuenca hacia el SE, y en la cual la Formación Aguja aflora en una franja que va desde esta población hasta las rancherías de Providencia-La Saladita con una longitud de 75 Km. y 8 Km de anchura.

No obstante lo aislado de los afloramientos de la Formación El Picacho en el área de "La Mina", Ojinaga, se infiere la prolongación hacia el Sur del Sinclinal Tres Hermanos, donde se piensa que la baja calidad del carbón es debida a que, durante la acumulación del mismo, los afloramientos actuales se encontraban en las partes extremas del depocentro, por lo que es de esperarse que éste se continúe hacia el núcleo de la estructura, como lo indica la presencia de carbón de mejor calidad en el extremo de la Presa-Tarahumara. Para el área de Ojinaga se calculan 100 millones de Toneladas de carbón como recursos.

Entre las evidencias de carbón de Benavides destacan las del Cerro La Americana y La Providencia-La Saladita, que constituyen un área de 100 Km² y donde se puede estimar un potencial en recursos del orden de 200 millones de toneladas.

Los análisis efectuados en laboratorio, indican que el carbón de "La Mina", tiene un rango bituminoso, es de tipo húmico y con buenas cualidades para su utilización de plantas carbó-eléctricas.

Según los resultados analíticos para la zona SE de la Cuenca, el carbón en esta área es de buena calidad, principalmente cerca de los sills doleríticos.

Otra región que presenta gran atractivo para la exploración es la que corresponde al bloque hundido al Este de la Falla Terlingua, sobre el que se desarrolla el amplio valle de Santa Elena, que se extiende más allá de los límites con el Estado de Coahuila y donde existen algunas evidencias de carbón como la correspondiente a la localidad La Gloria, donde el espesor de un manto es de 1.2 m. En este lugar existen amplios afloramientos de la Formación Aguja.

Recomendaciones.

En el área de "La Mina", se recomienda efectuar un muestreo sistemático, para que se realicen los estudios de laboratorio correspondientes que permitan la completa caracterización del carbón. Una exploración sísmológica encaminada a definir las estructuras en subsuelo, es necesaria ya que la mayor parte del área está cubierta por aluvión. Con los resultados obtenidos se podrá elaborar un programa de perforación, acompañado de topografía y geofísica.

de pozos, que tendrá por objeto ubicar las reservas actualmente estimadas.

En las áreas de Arroyo de Jaso y Tres Hermanos, es recomendable llevar a cabo levantamientos geofísicos y barrenación con el propósito de delimitar el depocentro de carbón.

En la región de Manuel Benavides se tienen las suficientes bases para desarrollar la perforación, con el objeto de confirmar la estimación de recursos hecha; así mismo es necesario hacer reconocimientos geológicos en el Valle de Santa Elena, con el fin de evaluar su potencial y delimitar zonas de interés donde, posteriormente, se realizarán estudios geológicos más detallados.

BIBLIOGRAFIA.

- Adkins, W.S., 1932, *Mesozoic Systems in Texas*, en Sellards, Adkins, and Plummer: *The Geology of Texas*: Vol. 1, Stratigraphy: Univ. Texas Bull. 3232, p. 240-518, figs. 13-27.
- Burrows, R.H., 1909, *Geology of Northern Mexico*: Sociedad Geológica Mexicana Bol., Tomo 7.p. 85-103.
- C.F.E., 1983, *Informe anual de actividades. Brigada de Exploración Ojinaga*. Residencia de Estudios Carboníferos de Chihuahua. Comisión Federal de Electricidad. Informe interno.
- C.F.E., 1983, *Informe anual de actividades, Brigada de Exploración Manuel Benavides*. Residencia de Estudios Carboníferos de Chihuahua. Comisión Federal de Electricidad. Informe interno.
- Imlay, R.W., 1936, *Evolution of the Coahuila Peninsula, Mexico: Part IV. Geology of the western part of the Sierra de Parras*: Geol. Soc. America Bull., V. 47, p. 1091-1152.
- Maxwell, R.A. and Dietrich, J.W., 1965, *Geology of the Big Bend National Park, Brewster Country, Texas*: The University of Texas, Austin.
- Mc Bride, E.F., and Caffey, K.C., 1979, *Geologic Report on Upper Cretaceous Coal-Bearing Rocks, Rio Escondido Basin, Coahuila, Mexico*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XL, No. 1 y 2, p. 21-47.
- Mc Bride, E.F., 1981, *Estudios Estratigráficos de las rocas del Cretácico Superior y Estudios de Aguas Subterráneas en partes de Coahuila, Nuevo León y Chihuahua*. Estudios Carboníferos, C.F.E.
- Raisz, E., 1964, *Landforms of Mexico*: (Map) 1:3000,000. Cambridge Massachusetts.

- Vaughan, T.W., 1900, Reconnaissance in Rio Grande coal fields of Texas: U.S. Geological Survey Bull. 164 p. 73-88.
- Vivar, G. 1925, Informe preliminar sobre el estudio geológico petrolero de la región de Ojinaga, Estado de Chihuahua: - Desp. de Exploraciones y Estudios Geológicos. Folletos- de Divulgación, núm. 16, p. 3-12.
- Weidie, A.E., Wolleben, J.A. and Mc Bride, E.F., 1972, Late Cretaceous Depositional Systems in Northeastern México. - Trans Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Vol. XXII, p. 323 - 379.
- Wolleben, J.A., 1965, Nomenclatura litoestratigráfica de las Unidades del Cretácico Superior en el Oeste de Texas y el Noroeste de Chihuahua: Bol. de la Soc. Geol. Mexicana, - V. 28, N° 2, P. 65-74.
- Young, K., 1969, Ammonite zones of Northern Chihuahua Guidebook - of The Border Region: New Mexico Geol. Soc., 20 th Field Conference, p. 97-101.