

Estado actual del conocimiento sobre la Geología de la provin- cia de Arauco (1)

POR ING. JORGE MUÑOZ CRISTI

INTRODUCCIÓN

Casi con el nacimiento de la industria carbolífera, a fines del siglo pasado, comenzaron los estudios geológicos de la Provincia de Arauco, los cuales se han continuado con períodos de interrupción hasta nuestros días, especialmente por las entidades oficiales. Pero el estudio sistemático se puede decir que comienza el año 1912 con las investigaciones de Brüggén, geólogo en ese entonces del Ministerio de Industria y Obras Públicas. Sus investigaciones continuaron hasta el año 1914 y están consignadas en los siguientes informes:

Informe sobre las exploraciones geológicas de la región carbonífera del Sur de Chile. Estadística Minera, Tomo 5 p. 391-466.

Los Carbones del Valle Longitudinal y la Zona Carbonífera al Sur de Curanilahue en la provincia de Arauco—Bol. Soc. Nac. Minería 1913, p. 459-512.

Informe sobre el carbón submarino en la costa de la Provincia de Arauco. Bol. Soc. Min. 1915, p. 261-86.

Las regiones carboníferas de Los Alamos y del Norte de la Provincia de Arauco. Bol. Soc. Min. 1915, p. 261-86.

La segunda campaña fué la realizada por la Caja de Fomento Carbonero en colaboración con el Departamento de Minas y Petróleo. Los resultados de sus investigaciones, que modifican algo los puntos de Brüggén, están consignados en una Memoria presentada a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas por el Ing. Osvaldo Wenzel, memoria que desgraciadamente no ha sido publicada. Un extracto de ella

(1) Publicado con autorización del Director del Departamento de Minas y Petróleos.

fué presentada por los Ings. Wenzel y Fearnor al 1er. Congreso Panamericano de Ingeniería de Minas y Geología, celebrado en Santiago en 1942, bajo el título «El Terciario Carbonífero de Arauco» y publicada en los Anales de dicho Congreso. Este trabajo, fuera de los antecedentes reunidos en la memoria del señor Wenzel agrega algunos de los obtenidos en las exploraciones posteriores, especialmente las listas paleontológicas completas.

La tercera etapa de estudios es la que viene realizando el Dpto. de Minas y Petróleo desde el año 1939. Estos estudios tuvieron en vista el levantamiento geológico de toda la zona carbonífera en escala 1 : 50,000 y las partes más interesantes en escala 1 : 10,000, con el fin de desarrollar un plan de perforaciones que viniera a fijar en definitiva las reservas posibles de carbón en esta zona. Los resultados obtenidos hasta el año 1942 están consignados en los siguientes informes:

Carlos Sangreza—El Terciario Carbonífero en la Provincia de Arauco—Memoria presentada a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, U. de Ch.

Ruiz y Tavera—Informe sobre Levantamiento Geológico de la región de Colico Norte a Ramadilla, en la Provincia de Arauco—1943, Inédito.

Ruiz y Tavera—Informe Geológico sobre la Región comprendida entre Ramadilla y Lota, en las provincias de Arauco y Concepción—1945, Inédito.

Juan Tavera—Contribución al estudio de la Estratigrafía y Paleontología del Terciario de Arauco—1942—Anales del Primer Congreso Panamericano de Ingeniería de Minas y Geología, Tomo II.

Además se han confeccionado los siguientes planos geológicos:

Provincia de Arauco y Concepción entre los meridianos 73° y 74° y paralelos 38° y 39° escala 1 : 50,000 (inconcluso).

Región de Pilpico escala 1 : 10,000.

Región de Cuyinco escala 1 : 10,000.

Región de Lebu escala 1 : 10,000.

Estos planos se han levantado con curvas de nivel cada 10 mts.

Para completar los antecedentes geológicos se han perforado los siguientes sondeos:

En el río Pilpico P-1 con 356 mts. y P-2 con 600 mts.

En Cuyinco Cy-1 con 504,80 + C-2 con 253 mts.

En Huacho con 669 mts.

Además la Caja de Crédito Minero comenzó a perforar el año 1939 un sondeo en Boca Lebu, que llegó a la profundidad de 680 mts. y la Compañía Colico Sur el C-3 con 441 mts. fuera de otros de menor importancia.

La descripción de los perfiles de sondeos P-1, P-2 Boca Lebu (hasta 644 mts.) y C-3 aparece en la Memoria del señor Sangreza.

Con todos estos antecedentes ya tenemos bastantes elementos de juicio para dar una idea bastante aproximada de la geología de la Provincia de Arauco, especialmente en lo que se refiere a sus posibilidades carboníferas.

Como la finalidad de todas estas exploraciones era fijar los sectores donde pudieran encontrarse reservas carboníferas de importancia, no se estudiaron los detalles de las minas individuales, sino en la medida que pudieran suministrar antecedentes para el problema general.

No nos referiremos aquí a la paleontología estratigráfica que ha sido tratada muy detenidamente por Tavera en la publicación ya mencionada.

Para descifrar la estratigrafía hemos aprovechado principalmente los datos proporcionados por los sondajes, que son los más seguros, puesto que los perfiles superficiales pueden adolecer de errores debido a la tectónica de fallas.

Para la confección del presente trabajo hemos utilizado especialmente los estudios del Departamento de Minas y Petróleo, en los cuales participó durante varios años el suscrito. Agradezco al Director de dicho Departamento la autorización para publicarlos.

EL BASAMENTO CRISTALINO

En las provincias de Concepción y Arauco las formaciones sedimentarias ya sean del Terciario o del Senoniano descansan sobre un zócalo cristalino constituido por dos unidades: a) una formación metamórfica compuesta por micacitas y filitas, y b) un macizo de diorita andina.

El macizo de diorita andina constituye el núcleo de la Cordillera de Nabuelcura y se extiende por el oriente en algunos sectores, como en Nacimiento y Angol hasta el borde occidental del Valle Longitudinal. Solamente en la región situada al N. de Penco llega a la costa. Este batolito queda limitado hacia el sur, en la latitud de Los Sauces por las rocas metamórficas y hacia el N. se puede seguir de un modo casi continuo hasta Pisagua, salvo pequeñas interrupciones locales. En cambio, hacia el sur ya no vuelve a aparecer en la Cordillera de la Costa hasta el Golfo de Penas, pasando en este tramo a la Cordillera de Los Andes. Esto se debe probablemente al hundimiento paulatino del eje de la Cordillera de la Costa en dirección al sur, motivo por el cual las formaciones superpuestas han escapado a la denudación impidiendo el afloramiento del núcleo plutónico.

No se han hecho estudios detallados acerca de la constitución petrográfica de este batolito. Sin embargo, la primera impresión visual es que tiene las mismas características que en la zona central y norte del país donde ha sido estudiado detenidamente, motivo por el cual lo incluimos dentro de las «Dioritas Andinas».

La formación cobertiza del batolito está constituida por una serie sedimentaria, en partes altamente metamorfoseada y que consiste casi exclusivamente en filitas, micacitas y escasas cuarcitas. En realidad el grado de metamorfismo es muy variable. Así por ejemplo, en los alrededores de Tomé tiene las características de una filita con escaso metamorfismo, mientras que en la costa de Arauco y en el trazado del ferrocarril de Lebu a Purén estas rocas muestran un plegamiento muy intenso y mucho desarrollo de mica, de modo que merecen el nombre de micacitas. A veces puede observarse en capas más arenosas, como al sur de Laraquete algo de ripple marks que demuestran el carácter marino costanero de sus sedimentos. En algunas regiones las micacitas llevan un enjambre de guías de cuarzo dispuestas desordenadamente, las cuales provienen seguramente de la lixiviación de la sílice en los procesos metamórficos y redeposición posterior.

En las cercanías del batolito las filitas han experimentado cierto metamorfismo termal señalado por la producción de estaurilita andalusita, cuastolita y posiblemente turmalina, ya que este mineral aparece entre los sedimentos terciarios. La es-

tauroлита está indicando que no se trata sólo de acciones termales sino también dinámicas.

En la región de Arauco y Concepción no se encuentran antecedentes que permitan asignar una edad definida a este conjunto de rocas metamórficas. Pero podemos obtener algunas informaciones de la región costanera de la Provincia de Coquimbo. En efecto, allí conocemos las formaciones del Carbonífero Superior y posiblemente también del Inferior que vienen a ponerse en contacto tectónico con micacitas muy análogas a las de Arauco y Concepción. A pesar de no existir el contacto normal entre ambas formaciones el hecho que las micacitas muestren un metamorfismo regional muy avanzado, lo que no ocurre con las formaciones carboníferas adyacentes, está indicando que ellas son mucho más antiguas que el Carbonífero. Además en la región situada al E. de la desembocadura del Choapa se presentan areniscas más antiguas que el Carbonífero Superior, muy análogas a las grauvacas devonianas de las provincias de San Juan y Mendoza que llevan abundantes granos de micacitas, cuarzcitas y gran cantidad de hojitas de biotita, lo cual indica que ellas se han formado por la denudación de las micacitas metamórficas.

Bruggen (1934) aunque no se pronuncia sobre la edad de las micacitas y filitas de Arauco las supone silúricas por analogía con ciertas rocas de Bolivia. Pero en contra de esta suposición está el hecho que en la Provincia de San Juan, en la República Argentina el silúrico descansa sobre una serie de cuarzcitas que según las descripciones es análoga a las micacitas de la Cordillera de Nahuelbuta.

Es cierto que en la Cordillera de la Costa Chilena se pueden observar todas las gradaciones entre filitas y micacitas enteramente recrystalizadas, sin que hasta ahora se pueda explicar de un modo satisfactorio tales cambios; pero no se ha hecho un estudio detallado al respecto.

También nos parece poco probable la edad silúrica para esta formación si consideramos que las formaciones paleozoicas se desarrollaron en un geosinclinal que bordeaba por el oriente la antigua masa continental de Patagonia, creciendo tal vez la Precordillera Argentina con las islas Malvinas.

Una suposición que es tal vez más probable es la de considerar a lo menos parte de las filitas, es decir aquellas que tienen un carácter arcilloso muy marcado, como sedimentos triásicos, ya que sabemos con seguridad que existen algunos sectores con dichos sedimentos en la región de Comero-Quilacoya; pero hasta ahora no se ha establecido la relación que ellos guardan con las filitas más arcillosas como las de Tomé. Es cierto que por la abundancia de los rodados de cuarzo hay bastantes fundamentos para suponer que ellos se han depositado discordantemente sobre las micacitas con guías de cuarzo. Pero queda en pie el problema de si las filitas arcillosas mencionadas son equivalentes con las micacitas. Una suposición que podríamos hacer, aunque algo aventurada es que el mayor metamorfismo de las micacitas esté relacionado con algunas intrusiones graníticas prepaleozoicas, de las cuales, aunque no tenemos una comprobación directa, hay bastantes pruebas indirectas, como ser la existencia de rodados en sedimentos clásticos carboníferos. Este problema se podrá aclarar mediante el estudio de algunos perfiles típicos en la Cordillera de la Costa de Chile Central.

Si en realidad las filitas arcillosas fueran sedimentos triásicos llama la atención que se pase insensiblemente de ellas a las micacitas, sin que aparezca en el inter-

medio las formaciones continentales tan características de Carbonífero y Pérmico. Por los razonamientos que hemos considerado por ahora las micacitas y filitas como una unidad precámbrica cuyo metamorfismo ha sido provocado por los plegamientos hurónicos, los cuales afectaron a los sedimentos que rodeaban la antigua masa de Brasilia.

EL CRETÁCEO SUPERIOR

Esta formación aparece en una angosta faja discontinua que se puede seguir por el pie de la Cordillera de Nahuelbuta desde Carapungue hasta Antihuala y siempre descansando sobre las micacitas. Hay algunos sectores donde no existe como p. ej. en Curanilahue; allí el Terciario se apoya directamente sobre las micacitas y al N. de Carapungue desaparece para volver a encontrarse en los alrededores de Concepción. Es interesante el hecho de que ella desaparezca frente a las minas de mayor importancia como son las de Coronel, Lota y Curanilahue. Por el sur se pierde en Antihuala pero seguramente continúa más allá pues al sur de esta mina todo el terreno está cubierto por formaciones más recientes pliocenas y cuaternarias.

Esta falta de continuidad de los afloramientos cretáceos surge seguramente para la parte central de Aratuco, donde debe existir de un modo continuo bajo las formaciones terciarias a juzgar por los datos proporcionados por los sondajes.

La superficie sobre la cual transgredió el Cretáceo parece que había sido bastante nivelada por los procesos erosivos que siguieron a la primera fase de la formación de la Cordillera Andina, acción durante el Mesocretáceo, pero son muy escasas las ventanas de formaciones más antiguas que interrumpen la continuidad. En realidad la única que hemos visto es la que se encuentra en el valle del Río Pilpilco cerca de la Casa González, que es un islote de sólo pocos metros de filitas que sobresale de los sedimentos cretáceos.

Describiremos a continuación algunos perfiles típicos del Cretáceo:

En el Río Pilpilco la base del Cretáceo está constituida por un conglomerado grueso con cantos de micacitas, feldespatos, muscovita y biotita, y cuarzo con un cemento de areniscas. El tamaño de los cantos es de más o menos 10 cm. y por sus características es preciso considerarlo como originado en una roca.

Sobre este conglomerado descansan areniscas que se van afinando hacia arriba, pero hay recurrencias de arenitas más gruesas, predominan las de grano medio (0.2 mm.).

Las areniscas están formadas por granos de cuarzo, feldespatos, biotita y muscovita, en una masa arcillosa y ferruginosa. Los feldespatos, al mismo que la biotita aparecen fuertemente alterados, lo cual permite suponer que en la época en que formaron tales areniscas reinaba en el continente un clima benigno e intermedio. Es frecuente la presencia de glaucofana originada por la glaucofilización de feldespatos y biotita.

Pero las condiciones de sedimentación de las capas superiores no son idénticas en toda la Provincia de Arica a juzgar por los datos suministrados por los pocos afloramientos existentes. Así en el Río Trongol el conglomerado basal es mucho menos potente (1.00 m.) y los cantos pequeños.

Otro dato interesante respecto a las condiciones de sedimentación del Cretáceo lo suministra el sondaje Cy-1 perforado en una quebrada afluente del estero Cuyinco. Aquí se encontró más o menos a los 110 m. el contacto del Terciario con el Cretáceo por falla. Como puede verse en el perfil detallado del sondaje, desde 110 mts. hasta 477 mts. predominan areniscas finas arcillosas que entre los 340 y 380 mts. llevan a guijos fríasiles como *Cucullaea* e *Indoceramus*, los cuales se pueden seguir hasta los 472 mts., donde comienzan areniscas cenicientas con capitas lenticulares de materias vegetales carbonizadas para volver la arenisca gris oscura a los 486 mts. hasta 494 ft. Aquí aparece un conglomerado constituido por rodados en forma de lajas, de micacitas hasta de 50×5 mm. y otros redondeados de cuarzo. Por debajo de este conglomerado siguen areniscas gruesas muy feldespáticas en partes conglomerádicas hasta los 506 mts. Esta serie de areniscas conglomerádicas descansa sobre una alternación de arcillas arenosas muy ricas en mica y guicillas y rodados de carbón, con capas de areniscas blancas gruesas y conglomerados finos, la que se puede seguir hasta los 532 mts. donde empiezan nuevamente conglomerados. En este sondaje no se pudo llegar al límite inferior de la formación cretácea, lo cual sería de interés bajo el punto de vista carbonífero.

Si comparamos los datos del sondaje mencionado con los que suministran los afloramientos, podemos ver que existe una diferencia esencial entre unos y otros la cual reside en que los datos suministrados por los afloramientos indican que la transgresión se produjo en una costa abierta, es decir que, los cerros llegaban hasta la misma línea costanera. En cambio, en la región del sondaje la transgresión se produce sobre una superficie seguramente bien nivelada correspondiente a una cuenca de sedimentación subaérea donde se depositaban areniscas y arcillas con guicillas de carbón, o sea una cuenca con un drenaje pobre, en la cual pudieron originarse carboníferos. Este es el único punto donde aparece el Cretáceo con estas características.

Se conoce también el Cretáceo en la región comprendida entre los ríos Carampangue y Nahuelan, donde está representado por un espesor de más o menos 40 mts. en los cuales se incluye un conglomerado basal con 20 m. de potencia, que lleva abundantes rodados de micacitas hasta de 10 cm. Sobre este conglomerado siguen areniscas muy gruesas que se afinan hacia arriba y contienen bancos intercalados de *Cardium crucicostatum* y *Trigonia Haneyana* es decir los fósiles más característicos del Piso Quiriquina.

Las mismas condiciones parece que prevalecen en los afloramientos senoniaros de la Provincia de Concepción y aun en los afloramientos esporádicos que se presentan más al norte, como ser en Constitución y Algarrobo (cerca de Valparaíso).

Las relaciones faunísticas del Cretáceo de Arauco se pueden referir a la zona circunpáctica, pues tiene ciertas similitudes con la de Nueva Zelanda y Antártica. Sin embargo la existencia de Trigonias hablaría más bien de una relación con Sud África (Según Gerth 1935).

Por lo tanto en el Senoniano se nos presenta por primera vez la penetración franca de Océano Pacífico en el Territorio Chileno.

En la región petrolífera del norte del Perú existen también sedimentos del Senoniano seguramente sinérgicos con los de la costa chilena, pues ambas pertenecen al Maestrichiano. Pero según Gerth, hay una diferencia esencial en los parentescos faunísticos de ambos sedimentos, pues la fauna del Perú tiene relaciones estre-

chas con las de Centro América, en cambio la transgresión chilena tiene el carácter del Pacífico Austral, de modo que es preciso suponer una separación continental entre ambas provincias paleontológicas, la que seguramente se hundió a consecuencia de los movimientos acaecidos en el intervalo entre el Senoniano y Paleoceno, pues, como veremos al tratar del Eoceno, parece que ya estaban establecidas las conexiones continentales en esa época.

Aquí nos encontramos nuevamente con el problema de que las grandes profundidades del Pacífico que se cree hoy día que están ocupadas exclusivamente por rocas simáticas, en épocas no muy remotas correspondieron a masas continentales sílicas.

EL TERCIARIO

Según nuestros conocimientos actuales, el Terciario de la Provincia de Arauco se puede dividir en las siguientes secciones:

- Plioceno:
 - Discordancia Tectónica
- Mioceno: Piso de Navidad.
 - Discordancia Tectónica.
- Eoceno: Piso de Millongue.
 - Piso de Trihueco.
 - Piso de Boca Lebu.
 - Piso de Curanilahue.

A. — El Eoceno.

Los diversos pisos que integran el Eoceno de la Provincia de Arauco están constituidos por sedimentos depositados en medios diferentes, ya sean marinos, continentales o una mezcla de ambos, de modo que sus características las podríamos resumir del modo siguiente

- Piso de Curanilahue.* — Se alternan sedimentos marinos y continentales carboníferos.
- Piso de Boca Lebu.* — Es totalmente marino.
- Piso de Trihueco.* — Es una alternación de sedimentos continentales carboníferos y marinos, predominando los primeros.
- Piso de Millongue.* — Es totalmente marino.

a) Base del Terciario

La base sobre la cual se apoya el Terciario está constituida a veces por las micacitas y filitas precámbricas y otras por las formaciones de areniscas cretácicas, lo cual está demostrando palpablemente la existencia de una discordancia entre ambas formaciones, fuera del argumento estratigráfico de que las partes más altas del Cretáceo son senonianas.

En realidad cuando se estudian los perfiles que pasan de formaciones cretácicas a las terciarias es muy difícil establecer el límite entre ambas porque no siempre aparece un conglomerado basal como ocurre en la Isla Quiriquías, y en Algarrobo, fuera de que no es posible observar discordancias angulares. Además, debido a lo

restringido del área donde se presentan los afloramientos cretáceos no es posible hacer comparaciones del estilo tectónico adoptado por una u otra formación lo cual pudiera dar algún criterio para decidir si existe o no discordancia tectónica entre las formaciones de ambas épocas.

Sin embargo, hay tres hechos muy sugestivos que hacen pensar en la existencia de una discordancia tectónica apreciable entre el Terciario y el Cretáceo, y son los siguientes:

a) Como lo mencionamos más arriba la fauna senoniana de Arauco-Concepción tiene afinidades indio-pacíficas, en cambio la fauna senoniana de la costa peruana tiene afinidades mediterráneas. Como, según lo han establecido Bruggen (1934), Fuenzalida (1938) y Tavera (1942), en el Terciario hay mucha similitud entre ambas regiones, esto permite suponer cambios profundos en las conexiones continentales y distribución de los mares para las dos épocas, los cuales naturalmente deben haber originado discordancias considerables entre las formaciones cretáceas y terciarias. Pero como tales discordancias se habrían originado por movimientos verticales se explica que sea muy difícil constatar las discordancias angulares.

b) El hecho que las capas terciarias descansen en algunas regiones directamente sobre las cretáceas y en otras sobre las micaeítas precámbricas sugiere indudablemente la existencia de una discordancia de erosión, pues los sedimentos cretáceos debieron haber llegado a formar parte de una masa continental a fin de que a través subaérea preparara una superficie bastante erosionada sobre la cual se depositarían los estratos terciarios.

c) Las capas más superiores del Cretáceo contienen una fauna de amonites, lo cual indica que no se depositaron las capas del Daniano, o sea que existe un hiato entre la parte superior del Cretáceo y la inferior del Terciario.

El contacto entre el Cretáceo y el Terciario en la provincia de Arauco se conoce en puntos aislados mediante observaciones superficiales y por algunos sondeos. Las características de estos contactos han sido analizadas detenidamente en el informe de Sangüeza (1942) del cual extractamos los siguientes datos:

a) En Antihuala, el Terciario descansa sobre el Cretáceo con areniscas gruesas conglomerádicas que hacia arriba pasan a areniscas de grano medio y grueso con algunos bancos de areniscas conglomerádicas. Este conjunto podría ser estuario o lago fluvial.

b) En la Q. Gaspar, cerca de las casas del fundo Pilpilco, existe un conglomerado fino con rodados de cuarzo cuya potencia es de 20 a 30 cms.

c) En el sondeo P-1 en el valle del Río Pilpilco la base del Terciario está constituida por areniscas de grano medio con fajas de rodados, posiblemente de origen marino.

d) En el sondeo P-2 también en el valle del Río Pilpilco existe en el contacto un conglomerado de 50 cms. de espesor con rodados pequeños de cuarzo y rocas que pasa hacia arriba a areniscas conglomerádicas con fajas de rodados.

e) En el valle del Río Trongol lo mismo que en el del Pilpilco, no es posible observar el contacto, pero en las cercanías de su posición probable aparecen las areniscas gruesas lo mismo que se mencionó para Antihuala.

f) En el sondeo N.º 3 de Colico Sur hay en la base del Terciario una capa co-

65 cms. de espesor de areniscas de grano grueso que hacia arriba pasan a areniscas de grano medio.

En todos estos perfiles tendríamos entonces que la super posición del Terciario sobre el Cretáceo se ha producido con sedimentos marinos, o sea que no se conservan rastros de las formaciones continentales que debieron formarse sobre el relieve terrestre producido como resultado de la exondación de las capas senonianas.

Por lo general el Terciario se apoya sobre el cretáceo en toda la región situada al sur de Ramadilla, salvo en zonas aisladas, como Curanilahue donde no existe esta formación. Hacia el N. de dicho lugar las formaciones marinas basales del Terciario descansan sobre micacitas. En este último caso puede observarse el comienzo del Terciario con características continentales y bastante heterogéneas. A veces se presenta sobre la micacita una brecha que contiene cantos de cuarzo y micacitas de 15 a 20 cm. de diámetro cementados por material micáceo y arcilla. Sobre la brecha vienen arcillas y en seguida areniscas, las que vuelven a ser cubiertas por arcillas con pizarras carbonosas. Indudablemente esta brecha se ha originado por el corrimiento de los materiales del subsuelo en las laderas de pendientes suaves, las que posteriormente fueron inundadas con aguas bajas para que se produjeran las areniscas y arcillas límnicas.

En algunos casos la brecha está reemplazada por una arenisca angulosa que suele llevar granos mayores de cuarzo y encima van arcillas con restos vegetales y mantitos insignificantes de carbón. En los perfiles más completos se puede observar una alternación de areniscas y arcillas límnicas. En otros lugares se puede ver la micacita transformada en arcilla; pero conservando la foliación, cubiertas por arcillas carbonosas.

Sobre estos sedimentos de carácter exclusivamente continental y que tienen a veces espesores del orden de los 15 mts. se colocan areniscas marinas, las cuales no comienzan con areniscas gruesas como ocurría donde el Terciario se depositaba sobre el Cretáceo, sino que la arcilla límnic se va haciendo arenosa hasta tomar su carácter francamente marino con rodados de cuarzo y queratófiros, sobre ellas siguen areniscas más gruesas. El carácter marino de estas areniscas queda fuera de dudas por la presencia de algunos fósiles como *Lutraria cf. araucana*, *Mactra carbonaria* y *Tellina carbonaria*. (Ruiz y Tavera 1945).

Un perfil generalizado para la región de Laraquete sería, según Ruiz y Tavera (1945), el siguiente de arriba hacia abajo:

- 14 m. — Areniscas gruesas, arcillosas, en su parte inferior conglomerádicas con rodados en la parte superior. Hacia arriba pasan a pizarras carbonosas.
- 6.00. — Conglomerado con rodados de 5 a 10 cm. en arenisca gruesa.
- 10.00 m. — Arenisca gruesa a media arcillosa.
- 2.00 m. — Arcilla blanca, en la base fosilífera.
- 0.40 m. — Arcilla carbonosa achocolatada.
- 49.00. — Areniscas marinas de grano medio y grueso en la parte central.
- 1.50 m. — Arcillas límnicas.
- 2.00 m. — Areniscas finas.
- 1.50 m. — Arcilla límnic.
- 1.00 m. — Arcilla arenosa.
- 3.00 m. — Areniscas feldespáticas muy gruesas.

2.00 m. — Arcillas limnias.

2.00 m. — Areniscas gruesas.

0.50 m. — Pizarra carbonosa.

0.50 m. — Arcilla hojosa limnica.

5.00 m. — Conglomerado brecha.

Como puede deducirse de este perfil se depositaron 19 mts. de capas de carácter limnico, seguramente lagunares, antes que la transgresión eocena llegara a esta región y cuando esto ocurrió el avance fué intermitente, es decir, hubo épocas de retroceso.

El hecho que se conservaran estas formaciones continentales anteriores a la transgresión en algunas regiones y no en otras, podría atribuirse a que la primera etapa del movimiento transgresivo fué muy rápida debido en parte al escaso suministro de sedimentos provenientes de una región fuertemente peniplenizada y por otra al movimiento epirogénico lento del fondo del mar.

También podría atribuirse este fenómeno a la permanencia muy prolongada de una línea costanera al oeste de Laraquete ocasionada por una fuerte pendiente que no permitió el relleno de la cuenca con los sedimentos arrastrados desde el continente.

Esta fuerte pendiente habría sido ocasionada por los movimientos diastróficos que siguieron a la ruptura de la masa continental que persistió durante el Senoniano.

De todos modos queda bien en claro el hecho de una transgresión rápida que labra una plataforma costanera sobre los sedimentos senonianos y las formaciones metamórficas precámbricas, llegando a fijarse una línea costanera que persiste durante un tiempo prolongado, la cual coincide aproximadamente con el borde oriental de la cuenca carbonífera de Arauco. Hacia el oriente de esta línea costanera regían condiciones continentales con un drenaje relativamente pobre como lo demuestra la existencia de sedimentos lagunares vecinos a la costa y de pantanos; pero ella no ha dado origen a mantos de carbón importantes.

Debido a la tectónica de fallas que se desarrolla en diferentes épocas del Terciario, los sedimentos continentales de esta época han desaparecido en gran parte y fuera de los que hemos mencionado para la región de Ramadilla-Lota podrían citarse los de Las Quemadas. Al E. de Curanilahue, a 350 m. sobre el nivel del mar. El perfil de esta formación publicado por Fenner y Wenzel (1942) consiste en una alternación de areniscas, arcillas y mantos de carbón, descansando sobre sedimentos antiguos y podrían corresponder a las facies continentales de Laraquete-Lota.

Brüggen (1927) menciona también un afloramiento de capas continentales con mantos de carbón en la región de Capitán Pastene, es decir, al otro lado de la Cordillera de Nahuelbuta.

Todos los datos conocidos hasta ahora parecen indicar condiciones continentales en el territorio chileno durante las primeras etapas del Terciario, es decir en la época que existía la línea costanera de Laraquete, que como ya lo hemos indicado fué la resultante de los movimientos acaecidos en la época transcurrida entre el Senoniano y el Eoceno inferior.

Hacia el sur de la Provincia de Arauco no volvemos a encontrar las formaciones basales del Terciario hasta Parga en la desembocadura del Río Maullín, formaciones que han sido descritas someramente por Brüggen (1934) y consisten en una alternación de conglomerados areniscas y arcillas con mantos de carbón. Por falta de ca-

pas marinas es imposible fijar su posición estratigráfica y el único dato que hay al respecto es la vecindad de sedimentos fosilíferos de Navidad.

Aunque más al sur no hay estudios de detalle; los diversos datos coinciden en que la única formación terciaria que aparece en la Isla de Chiloé, Huafo, Ipún, Melchor, etc., corresponden al Terciario de Navidad, o sea a pisos mucho más altos, y estarían descansando sobre las micacitas.

Para el Valle Longitudinal y estribaciones de la Cordillera de Los Andes menciona Bruggen (1934) algunos afloramientos de sedimentos terciarios, como ser en Esperanza, Chillán, Pucono, en el valle del río Valdivia, Traiguén, Mulpún, Catamutun, etc., pero su posición estratigráfica es enteramente incierta y puede corresponder a pisos bastante altos dentro el Terciario. En sondajes perforados recientemente en Pupunahue se han encontrado sedimentos marinos del Piso de Navidad.

También en Algarrobo existe el Terciario descansando discordantemente sobre el Senoniano. Pero aunque no se ha hecho una correlación faunística, parece que se trata de pisos bastante altos del Eoceno los que vendrían a ponerse en contacto con el Senoniano.

De todos estos antecedentes parece deducirse que la línea costanera del Pacífico en la época que el mar llegó a la región de Lota y Arauco fué bastante diferente de la actual y tomó contacto con la costa chilena únicamente en la región mencionada.

b) *El piso de Curanilahue*

Ese piso lo dividiremos en las siguientes secciones, de abajo hacia arriba:

- a) Horizonte de Pilpilco—marino.
- b) Horizonte de Lota—continental.
- c) Horizonte de Intercalación—marino.
- d) Horizonte de Colico—continental.

Pero antes de entrar a generalizar las condiciones de sedimentación de cada uno de estos horizontes describiremos brevemente los perfiles que nos servirán de base para llegar a deducirlas.

1.—*Región de Lota*

Al tratar de la Base del Terciario vimos que después de la sedimentación de algunos depósitos límnicos avanza el mar recubriéndolos y se mantiene la sedimentación marina hasta que se produce un retroceso y vuelven las condiciones continentales. El conjunto de sedimentos depositados en esta época constituye el Horizonte de Pilpilco.

En las estocadas de los piques nuevos de la Mina de Lota pueden estudiarse los detalles de la sedimentación de este horizonte. Según Ruiz y Tavera (1945) allí descansan sobre las micacitas una pequeña faja de conglomerados finos, la cual es seguida hacia arriba por areniscas de grano medio a fino gris verdosas que después engruesan y toman color gris. El espesor de esta sección es de 29 mts. En seguida aparecen 44 mts. de sedimentos continentales constituidos por arcillas, areniscas y conglomerados y sobre este tramo 75 mts. de areniscas finas verdosas con intercalaciones de banquitos de conglomerados. Este es el único perfil de los que describiremos en el

cual aparece una intercalación franca de sedimentos continentales dentro del Horizonte de Pilpilco.

Con el avance de la línea costanera hacia el oriente y la regresión subsiguiente; debida a movimientos tectónicos o a relleno con sedimentos se establece una amplia cuenca parálisis donde se depositan los materiales provenientes de la destrucción del continente, formándose lagunas costaneras en las cuales se depositan arcillas que a veces llevan guías de carbón provenientes de la vegetación acumulada en ellas, y se cubren con areniscas gruesas y conglomerados. El complejo continental correspondiente al Horizonte de Lota tiene un espesor de 170 mts. dentro de los cuales la distribución de las capas es muy irregular en los diversos puntos, lo que es muy comprensible porque debió tratarse de una región en la que se desarrolló un sistema fluvial que depositó [conos de rodados muy tendidos y arcillas en las partes intermedias, a veces con mantos de carbón. Pero cuando estos materiales emparejaron la superficie comienza el desarrollo de una época en que se forma un gran pantano en el cual se deposita el manto principal de la región, la *Veta Alta* que tiene un espesor de 1.60 mts. cuyo piso a veces está formado por arcillas y otras por areniscas, lo cual se explica por el proceso de sedimentación anteriormente descrito. Parece que después de la formación de la *Veta Alta* hay un cambio en las condiciones de la sedimentación, que origina la depositación de areniscas y arcillas con distribuciones locales hasta que se produce una nueva nivelación del terreno y la formación del pantano en que se depositó la *Veta Chica*. Como la distribución de las areniscas y arcillas en este tramo de separación varía de un punto a otro, no es extraño que la distancia vertical entre estos dos mantos sea también variable debido a que las areniscas prácticamente no disminuyen de volumen por la compresión, en cambio las arcillas experimentan un encogimiento de hasta 50%. Como distancia normal entre ambos mantos se puede considerar la que aparece en los piques nuevos, donde hay un espesor de 21.50 mts.

Por encima del nivel de la *Veta Alta* sigue un complejo de areniscas, arcillas y mantos de carbón con variaciones entre los diversos elementos petrográficos aun en cortas distancias, lo cual hace que la separación entre los mantos sea muy variable.

Al mismo tiempo que se producía la sedimentación mencionada debió ocurrir un movimiento lento de descenso. Este episodio continental termina con la transgresión marina que denominamos Horizonte Intercalación.

El manto más constante dentro del Horizonte de Lota es la *Veta Alta*, que corresponde al manto N.º 5 en la mina Schwager. También la *Veta Chica* tiene una distribución amplia, no así la *Veta Arriba* que parece faltar en la zona de los piques nuevos. En las minas de Schwager el manto N.º 3 parece corresponder a la *Veta Arriba*. Fuera de éstos aparecen en Lota cinco mantitos sin importancia.

El Horizonte Intercalación tiene un espesor de más o menos 42 mts. y consiste en areniscas finas verdosas fosilíferas, siendo los fósiles más importantes *Turritella Angusta*, *Mastra Carbonaria* y *Tellina subfalcata*. En la base se encuentran a veces capas de conglomerado. En Schwager que está más al poniente, el espesor del Horizonte Intercalación es 56 mts. y los sedimentos son más finos.

El Horizonte de Colico está constituido por sedimentos continentales cuyo espesor varía entre 64 y 95 mts. y lleva 5 mantitos de carbón insignificantes. Los elementos petrográficos que integran este horizonte son arcillas y areniscas gruesas.

Los perfiles levantados por Ruiz y Tavera (1945) en Lota no pasan al Piso de Boca Lebu.

2.—Región de Colico-Peumo

Aquí las condiciones de sedimentación de la parte basal del Terciario tiene muchas analogías con lo que se observa en los piques nuevos de Lota. En efecto, los ríos Nahuelan y Carampangue indican que el Terciario se apoya directamente sobre el Cretáceo por medio de una arenisca verde, de grano fino, muy dura con un espesor de 60 mts. y encima siguen conglomerados y areniscas conglomerádicas con algunas intercalaciones de arenisca verde y rodados hasta de 5 cm. con un espesor total para el conjunto de más o menos 70 m. Este complejo de 130 mts. es indudablemente marino y corresponde a la sedimentación producida en una época en que la costa estaba mucho más al oriente del punto que nos estamos refiriendo.

Por encima de este grupo marino aparecen arcillas carbonosas que señalan el comienzo de las condiciones continentales correspondientes al piso de Lota.

Más arriba de este tramo lo mismo que en Lota, se presenta una sección continental, el Horizonte de Lota con 110 mts. de espesor, el cual, como puede verse en el perfil generalizado, está constituido por alternaciones de areniscas, arcillas y mantos de carbón. Se han constatado en este sector 4 mantos de carbón, contra 5 que se conocen en la región de Lota.

Pero según las informaciones antiguas sólo dos tienen potencias explotables, los que se conocen con los nombres de Chico y Alto. Este último fué explotado en las antiguas minas de Colico; Quilachanquín, Maquegua y Peumo. Parece que la potencia era de 0.90 m. a 1 m. El manto Chico fué explotado en pequeña escala en Colico con 0.50 m. a 0.60 m. de carbón puro.

En el Sondaje El Huacho, situado 7 km. al O. de Peumo, el Horizonte de Lota tenía un espesor de 19 mts. La facies continental comienza con arcillas carbonosas que llevan guicitas de carbón las cuales deben haberse depositado en una laguna costanera, en cuyo fondo se sedimentaron barros con abundante materia orgánica. La laguna se rellenó con los materiales arenosos llevados por los esteros, de modo que la superficie ocupada por ella vino a quedar agregada a la tierra firme. Por tal motivo los pantanos pudieron avanzar hacia el poniente, formándose el manto de carbón que se encuentra entre los 634.80 y 635.75 mts. Pero el episodio continental fué de corta duración y luego se superpusieron los sedimentos semi continentales de playas bajas hasta que en los 629.70 m. empieza el Horizonte Intercalación francamente marino. Por lo tanto, en los lugares situados al poniente del Sondaje El Huacho, el Horizonte de Lota seguirá disminuyendo en importancia hasta un punto donde desaparecerá enteramente, el cual corresponde al máximo retroceso de la costa ocurrido en la época de regresión, señalada por el Horizonte de Lota. En cambio, hacia el oriente la formación continental debió persistir durante un intervalo más largo, de modo que en esta dirección podrá encontrarse un mayor número de mantos. El perfil del Horizonte de Lota en el sondaje El Huacho es el siguiente:

Profundidad;

629.70—631.40 Arenisca medio blanquizca.

631.40—632.00 Arcilla compacta negra grisácea.

632.20—632.50 Arenisca arcillosa fina que se forma por introducción de material arenoso en la arcilla anterior.

632.50—633.25 Arcilla negra grisácea.

- 633.25—634.80 Arenisca medio blanquizca con granos de cuarzo feldespato y mica. Es igual a la de 629.70. En esta arenisca hay probablemente una intercalación de arcilla de 0.80 m. con guías de carbón.
- 634.80—635.75 Carbón.
- 635.75—640.85 Arenisca gruesa blanquizca.
- 641.50—642.20 Arenisca gris ligeramente verdosa, gruesa con rodados esporádicos. En la parte inferior lleva un conglomerado ralo y fino con rodados de 1 cm.
- 642.20—643.15 Arenisca medio verdosa, engrosando hacia abajo y pasando a arenisca conglomerádica. En seguida se hace más fina en un tramo de 7 cm. hasta convertirse en arenisca fina.
- 643.15—645.05 Guía de pizarra carbonosa de 8 mm. con guicillas de carbón descansando sobre arenisca. Sobre esta guía hay arenisca conglomerádica y conglomerado fino que se alterna en capas de más o menos 10 cm. con areniscas finas silíceas.

En este sondaje el Horizonte de Pilpilco, comienza a los 645 mts. con areniscas marinas y aparecen pequeños episodios semicontinentales originados por oscilaciones de la línea costanera. El de mayor importancia a este respecto está entre los 736 y 739 mts., donde aparecen dos guías de carbón: una con abundante piritita y yeso y otra de 2 cm. Pero ambas carecen totalmente de importancia.

El Horizonte Intercalación en la región de Peumo-Maquegua tiene 20—30 mts. de espesor y está constituido por areniscas verdosas de grano fino con una faja de rodados y un banco fosilífero con *Turritella augusta* y *Tellina subfalcat*. Este mismo horizonte se presenta en el sondaje. El Huacho con un espesor de 58 mts. en forma de areniscas verdosas finas a medias, y glauconíticas.

El Horizonte de Colico en la región de Peumo-Maquegua comienza con areniscas gruesas que llevan intercalaciones de arcillas carbonosas y lentes o nidos de rodados, entre los cuales se encuentran algunos de arcilla. Esta capa tiene 60 mts. de espesor y más arriba aparecen arcillas y areniscas limníticas con 3 mantos de carbón, denominados Mora, Fortuna y Mezcla. Los dos primeros han sido explotados localmente, pero el Mora es mucho más irregular. Este es el manto que se trabaja actualmente en la Concesión San Justo. Casi inmediatamente sobre el manto Mora y separado por un pequeño conglomerado empieza el Piso de Boca Lebu.

En el sondaje El Huacho el Horizonte de Colico tiene el siguiente perfil de arriba hacia abajo:

Profundidad;

505.-505.20 m. —Arenisca conglomerádica con rodados de 1 a 5 mm. dispersos, alternándose las fajas conglomerádicas con otras de arenisca blanquizca normal.

505.20—505.80 m. —Arenisca blanquizca media con rosarios de lenticitos de arcilla (concentración de mica).

505.80—508.50 m. —Conglomerado fino con rodados de 2 a 5 mm.; algunos de arcilla y cantos esporádicos hasta de 4 cm.

508.50—508.80 m. —Arcilla laminada café con restos vegetales.

508.80—511.20 m. —Arenisca blanquizca sucia con intercalaciones de arcilla.

511.20—511.40 m. —Arcilla café con restos vegetales carbonizados.

511.40—512.40 m. —Arenisca blanquizca sucia por las guías irregulares de arcilla.

- 512.40—518.80 m. —Arenisca blanquizca gruesa.
 518.80—519.10 m. —Arcilla carbonosa.
 519.10—519.30 m. —Carbón duro pizarriente.
 519.30—520.75 m. —Arcilla gris plomiza con lentecitos de carbón en distintas orientaciones.
 520.75—572.00 m. —Arenisca media a gruesa.

Como puede deducirse de este perfil falta la mayor parte de la sección arcillosa, ha desaparecido y predominan las areniscas y conglomerados. Existe sólo un mantito de carbón de 20 cm. que parece corresponder al manto Fortuna.

Por encima del Horizonte sigue el Piso de Boca Lebu en transición gradual.

3. —Región de Colico Sur

Es la región situada inmediatamente al N. de Curanilahue. Aquí se conocen las condiciones de sedimentación por el sondaje C-3 perforado por la Cía. Carbonera de Colico Sur y además las labores mineras de dicha Cía. que explota los mantos del Horizonte de Curanilahue.

Sobre el Cretáceo, que se presenta en las mismas condiciones generales para toda la región, empieza el Eoceno con el Horizonte Pilpilco, caracterizado en la base por areniscas gruesas que afinan hacia arriba en un tramo de 10 mts. Más arriba hay una alternación de areniscas de grano fino a medio, areniscas conglomerádicas y algunos bancos de arcillas. A los 170 mts. por encima de la base aparece una capa de areniscas arcillosa fosilífera de 6 mts. de espesor, que lleva algunas intercalaciones de areniscas gruesas. Ella descansa sobre arcillas con intercalaciones de areniscas medias a gruesas y está cubierta por areniscas más gruesas con fajas de rodados. Como no existe diferencia fundamental entre las intercalaciones de areniscas gruesas dentro de la capa fosilífera y las del resto del perfil se justifica atribuir a todo él un carácter marino.

En este perfil, lo mismo que en todos los de la región se puede observar que los fósiles están de preferencia en las fajas de areniscas finas arcillosas, es decir que ellos se desarrollan en condiciones de sedimentación tranquila. Cuando las condiciones del agua eran más turbulentas, lo que se manifiesta por la presencia de areniscas gruesas y fajas de conglomerados los fósiles faltan totalmente.

El Horizonte de Lota comienza con alternaciones de areniscas conglomerádicas, areniscas arcillosas y arcillas sin transición aparente, motivo por el cual se justifica considerarlas de carácter continental. Este tramo tiene un espesor de más o menos 23 mts. y sobre él descansa un complejo de arcillas, con algunas intercalaciones de areniscas y un mantito de 25 cm. de carbón con lentes de arcilla y piritita.

Por encima del complejo continental correspondiente al piso de Lota se coloca el «Horizonte Intercalación» que consiste en areniscas arcillosas de grano fino, fosilíferos, estando marcado el contacto entre ambos por un banco de 0.20 m. de areniscas gruesas conglomerádicas.

Las areniscas del Horizonte Intercalación engruesan gradualmente hacia arriba hasta pasar al Horizonte de Colico que comienza con areniscas gruesas, sobre las cuales descansan arcillas con un mantito insignificante de carbón y en la parte alta de la

serie continental aparecen los dos mantos más importantes de la región, que son el Doble y el Alto.

Por encima del manto Doble está la transición al Piso de Boca Lebu.

4.—Región de Pilpilco

En la Región de Pilpilco se conoce la estratigrafía por los levantamientos geológicos a lo largo del Río Pilpilco y por los sondeos P-1 y P-2, cuya ubicación puede verse en el plano general.

La base del Terciario en ambos sondeos está formada por las capas senonianas sobre las cuales descansa el Piso de Pilpilco con las mismas características descritas para las regiones de más al norte, es decir se alternan zonas de areniscas medias a finas con otras bastante gruesas y arcósicas. Algunas capas son bastante glauconíticas, lo que justifica considerarlas de origen marino. El espesor del Piso Pilpilco en el sondeo P-2 es de 90 mts. más o menos; pero no se puede fijar este valor con exactitud porque el límite con el Piso de Lota es indeciso. En el sondeo P-2 no aparece la intercalación fosilífera que hemos visto en el sondeo de Colico Sur y podría corresponder tal vez al tramo que se encuentra a los 90 mts. sobre la base formada por arcillas arenosas negras con guías de restos vegetales.

El Horizonte Lota comienza con areniscas gruesas arcósicas de color verde con listas blancas formadas por granos de feldespatos, y algunas fajas de rodados, a las cuales se superpone un espesor de más o menos 12 mts. en el que se alternan arcillas negras con restos vegetales, areniscas gruesas y conglomerados. No hay mantos de carbón.

El Horizonte Intercalación contiene areniscas verdes, grano medio con algunas fajas de rodados, capas de arcilla arenosa y otras de arcilla con restos vegetales. Entre los 301 y 320 mts. aparece una arenisca fina arcillosa fosilífera lo cual comprueba el origen marino de este tramo. Como puede verse, el Horizonte Intercalación, salvo los 19 mts. de arenisca fosilífera, está constituido por sedimentos de carácter costanero y su espesor total es de 1.03 mts.

El Horizonte de Colico comienza con areniscas gruesas de 30 m. de potencia que llevan fajas de rodados, guías de arcillas y restos vegetales. La estratificación es cruzada. Encima de ellas van 0.50 m. de arcilla negra con guías de carbón y restos vegetales, las cuales están cubiertas por 10.50 m. de areniscas gruesas análogas a las de la base. El espesor total del Horizonte de Colico sería entonces 41 mts. No existe ningún manto de carbón salvo las guías ya mencionadas.

El Piso de Boca Lebu comienza de inmediato sobre las areniscas gruesas del Piso de Curanilahue y consiste en areniscas verdosas finas arcillosas con algunas intercalaciones de areniscas gruesas. El sondeo atravesó 234 mts. en este complejo; pero el espesor total debe estar entre 300 y 400 mts. a juzgar por el perfil que se ve aguas abajo del puente del camino público.

Los perfiles medidos a lo largo del Río Pilpilco concuerdan con los de los sondeos de modo que no tiene objeto referirnos a ellos.

En el sondeo P-1 el Horizonte de Pilpilco tiene un espesor de 78 mts. y está constituido por areniscas verdes de grano fino a medio con algunas intercalaciones de areniscas gruesas y conglomerados, entre los que predominan queratófiros, cuarzo y

cuarcitas. Algunas capas de areniscas son arcóscicas, pero llevan también glauconita, lo que indica su origen marino, aunque no se presentó ninguna capa fosilífera.

Sobre el Horizonte de Pilpilco sigue el Horizonte de Lota que comienza con areniscas blancas conglomerádicas con un espesor de 19 mts. y cubiertas por una capa de arcillas arenosas negras con guías de arcillas y restos vegetales carbonizados, los cuales en parte llegan a formar pizarras carbonosas. Dentro de estas arcillas hay capas de areniscas gruesas. Sobre la arcilla descansan areniscas blancas gruesas con guías de material arcilloso y de restos vegetales carbonizados. El Piso de Lota tiene un espesor de 24.90 y no se han desarrollado en él mantos de carbón.

El Horizonte Intercalación está representado por areniscas de grano medio a fino, arcillosas, con algunas intercalaciones de conglomerados, areniscas finas calcáreas, areniscas arcillosas con restos vegetales carbonizados. En la base lleva arcilla arenosa gris clara con cierta laminación por las guías de restos vegetales carbonizados. El espesor de esta sección es de 92.40 mts.

El Horizonte de Curanilahue presenta una separación bien marcada con el Piso Intercalación y comienza con arenisca gruesa blanca con guías de conglomerados finos y de restos vegetales carbonizados y arcillas. En parte hay trozos esquinados de arcilla café envueltos en la arenisca gruesa. Esta arenisca presenta muchas transiciones bruscas en cuanto al tamaño de los granos. Su espesor es 41.90 m. La presencia de fajas de arcilla y fragmentos de ella incluidas en las areniscas indica condiciones muy variables en la sedimentación, es decir, después de depositadas las arcillas han sido destruidas por acción fluvial o lagunar. Por tal motivo no es extraño que falten los mantos de carbón. Esta arenisca presenta estratificación cruzada.

Sobre la arenisca anterior aparecen 0.50 mts. de arcilla gris café con muchos restos vegetales y guicetas de carbón puro, cubierta por arenisca conglomerádica. El espesor de este tramo es 0.60 m. y está cubierto por 8 m. de arenisca conglomerádica, pero no se puede establecer con seguridad dónde termina el Piso de Curanilahue y comienza el de Boca Lebu. Hemos tomado el espesor mencionado de 8 m. como pertenecientes todavía al Piso de Curanilahue.

Como se deduce del perfil descrito en esta región, las condiciones han sido muy turbulentas para que se pudieran formar mantos de carbón, lo que explica que en las vecindades del Río Pilpilco no se haya explotado ninguna mina. Sin embargo los mantos adquieren importancia hacia el norte donde están las minas del Zapallo, en las cuales se han constatado espesores sobre 1 m. para los mantos del Piso Curanilahue. Es claro que los mantos aún en esta región disminuirán de importancia hacia el poniente.

Las condiciones turbulentas de esta Zona quedan de manifiesto también por el hecho que en el Horizonte Intercalación no aparezcan las areniscas fosilíferas.

Al sur del Río Pilpilco se conocen las condiciones de sedimentación en las minas Araucana, Antihuala, El Chilco y los sondajes Cuyinco 1 y 2 que están más o menos al frente de la mina El Chilco. Nos referiremos primeramente a estos últimos.

Como puede verse en los perfiles, ambos sondajes no nos dan un perfil completo de la formación, el Cy-1 porque cortó una falla a los 110 mts. de hondura, apareciendo el Cretáceo en contacto con la parte superior del Horizonte de Pilpilco, y el fondo del Cy-2 quedó dentro del Piso de Lota. Para establecer la correlación del Cy-2 y Cy-1 con P-2 nos hemos basado en el Piso Intercalación que se puede identificar en ambos.

El sondeo Cy-1 después de atravesar 21 mts. de cuaternario entró al Horizonte Intercalación que se siguió hasta los 45 mts., o sea cortó 24 mts. de este horizonte, que está constituido por areniscas finas gris verdosas, fosilíferas entre los 30 y 42 mts. Llevan algunas fajas de conglomerados finos y de areniscas muy finas laminadas con restos vegetales y guías de carbón. Estas características nos indican oscilaciones de la costa. La transición al Horizonte de Lota se produce a los 45 mts. donde comienza arenisca gruesa blanquiza que lleva una intercalación de arcilla límnic con pizarras carbonosas entre los 47 y 49 mts., por debajo de la cual siguen las areniscas gruesas blanquizas con rodados esporádicos y fajitas de arcilla hasta los 82 mts. en que aparecen areniscas grises a verdosas con fajas de rodados y escasas intercalaciones de arcilla. Por lo tanto, podemos considerar el límite entre los Horizontes de Lota y de Pilpilco a los 82 mts.

El sondeo Cy-2, ubicado en el Estero Cuyinco a 700 m. hacia el O. del anterior atravesó 127 mts. de areniscas arcillosas grises, de grano medio a fino, que corresponden al Piso de Boca Lebu. En los 27 mts. inferiores la arenisca se hace blanquiza, de modo que constituye la transición al Piso de Curanilahue.

El Horizonte de Colico está comprendido entre los 127 y 163 m., es decir, tiene 36 mts. de espesor. En su parte superior lleva 5 mts. de conglomerado ralo con rodados de 1 a 2 cm. y disminuye el grano hacia abajo, pasando a arenisca conglomerádica y por fin a arenisca gris cenicienta, de grano medio, con rodados esporádicos.

El Horizonte Intercalación comienza a los 163 mts. con areniscas verdosas de grano medio que hacia abajo se hacen finas, arcillosas, fosilíferas; pero llevan algunas intercalaciones de areniscas conglomerádicas con guías de carbón y arcilla que parece corresponder a regresiones temporales, dentro del episodio marino. Esta intercalación abarca desde los 198.60 hasta 201.50 mts. El término del Horizonte Intercalación se puede colocar a los 232.70 m. donde termina la parte fosilífera.

El Horizonte de Lota, que empieza a los 232.70 y termina a los 241.60 m., o sea, tiene un espesor de 9 mts., consiste en areniscas blanquizas de grano medio y conglomerádicas en la parte superior.

Hacia abajo continúa el Horizonte de Pilpilco hasta el fondo del sondeo, o sea, 258 mts.

Como puede verse de la descripción anterior, el Horizonte de Lota está muy poco definido y tanto en éste, como en el de Colico se ha formado muy poca arcilla prácticamente nada de carbón.

Las condiciones en la parte oriental de la cuenca más o menos frente a los sondeos anteriores las conocemos por el perfil de Antihuala, levantado con datos de superficie (Sanguéza 1942).

El Horizonte de Pilpilco se apoya sobre el Senoniano con areniscas gruesas conglomerádicas que afinan hacia arriba, pero siempre contienen algunas fajas de rodados abarcando en total 50 mts. de espesor.

El Horizonte de Lota tiene más o menos 10 mts. de espesor y lleva un manto de carbón de 0.40 m. cubierto con areniscas y arcillas con gran cantidad de restos vegetales.

El Horizonte Intercalación tiene una potencia de 60 mts. y está constituido por areniscas finas fosilíferas con una intercalación de pizarra carbonosa.

El Horizonte de Colico comienza con 20 mts. de areniscas seguida por 10 mts. de

arcillas, areniscas y mantos de carbón. Estos últimos suman en total 3 mts. repartidos en tres cuerpos principales. Sobre ellos viene la transición al Piso de Boca Lebu.

5. — *Características Generales de los diversos horizontes del Piso de Curanilahue*

Resumiremos a continuación las características de los diferentes horizontes descritos hasta aquí.

El Horizonte de Pilpilco descansa a veces sobre sedimentos cretáceos (Cy-1; P-1, P-2, C-3) y otras sobre el zócalo cristalino como en Lota, lo cual se debe probablemente a que la costa desde Lota tomaba una dirección hacia el sur, mientras que los sondeos anotados están dispuestos en una faja de rumbo aproximadamente N. 20° E. Cuando la base de este piso está formada por el zócalo cristalino puede observarse que en ella se desarrollan procesos de erosión y sedimentación subaérea los cuales tuvieron por resultado la formación de pequeñas cuencas lacustres donde se depositaron mantitos insignificantes de carbón, como ocurre en las vecindades de Laraquete. Esta acción erosiva tuvo lugar seguramente con posterioridad a la deposición de los sedimentos senonianos y como consecuencia del diastrofismo que señala el final del Cretáceo. En esta época el relieve era tal vez algo accidentado, lo que impidió la formación de mantos de carbón importantes.

La transgresión marina, señalada por el Horizonte de Pilpilco, debió originar una amplia plataforma costanera sobre la cual se depositaron sedimentos de carácter proximal hasta gran distancia de la costa, como lo demuestra la frecuencia de rodados entre las areniscas medias a gruesas que constituyen este horizonte; pero las variaciones de su espesor indican ciertas irregularidades. Así en Lota los sedimentos del Horizonte de Pilpilco están interrumpidos por un episodio continental de poca importancia, lo cual nos indica que en esta parte la cuenca rápidamente se rellenó con los sedimentos, y fué necesaria una renovación del hundimiento para que se depositara el resto. Este episodio continental no se manifiesta en la Provincia de Arauco debido posiblemente a la mayor distancia a que están los sondeos del borde de la cuenca.

El punto donde alcanza mayor espesor el Horizonte de Pilpilco es en el sondeo C-3 de Colico Sur; con 180 mts. a pesar de estar este sondeo en la línea que une el perfil de Peumo-Maquegua con P-2. Esto nos está indicando una mayor profundidad de la cuenca para esta región, lo cual queda de manifiesto también por la presencia de areniscas finas arcillosas fosilíferas, lo que no ocurre en los otros perfiles considerados.

Hacia el sur de este sondeo sigue disminuyendo el espesor del Horizonte de Pilpilco, pues en P-2 tiene sólo 95 mts. Por lo tanto, la configuración de la costa en la época que se depositaba este horizonte debió ser más o menos paralela a la costa actual de la Bahía Carnero.

En realidad en los sondeos de Cuyinco no sabemos el espesor que tenga el Horizonte de Pilpilco por no haberse encontrado el contacto de la base normal; pero es probable que siga disminuyendo hacia el sur por el hecho que al sur de Tirúa descansa el Plioceno sobre las micacitas.

El Horizonte de Lota es esencialmente continental y tiene su mayor desarrollo en Lota, donde después de un corto tramo de areniscas gruesas basales siguen alteraciones de areniscas, arcillas y mantos de carbón. El número total de mantos es de

siete, pero solamente tres y en parte dos son explotables. El espesor total de este horizonte en Lota es de 175 mts.

En la región de Peumo-Maquegua disminuye el espesor a 105 mts. y lleva solamente 4 mantos de carbón, según informaciones antiguas habría dos explotables. Ellos están repartidos en un espesor de más o menos 20 mts.; mientras en Lota están repartidos en un espesor de más o menos 20 mts.; mientras en Lota están repartidos en un espesor de 100 mts.

En el sondaje El Huacho el espesor es de 19 m. y lleva un solo manto de carbón de 0.90 m.

Otra diferencia que existe entre ambas regiones es que en Peumo Maquegua más de la mitad inferior está formada por areniscas gruesas, o sea, que hay mucho menos depositación de arcilla, es decir, sedimentos formados en cuencas de sedimentación tranquila. Tal situación se acentúa en el sondaje O-3 de Colico Sur, donde el Horizonte Lota tiene 40 mts. y menos de la mitad está ocupado por arcillas con sólo indicios de carbón. Condiciones aun más desfavorables existen en los sondajes de Pilpilco y en el de Cuyinco, donde predominan las areniscas con conglomerados y escasas pizarras carbonosas.

Solamente en el perfil de Antihuala aparece el Horizonte de Lota con un manto de carbón de 0.40 m. de espesor.

Se podría pensar que la disminución en importancia del Horizonte de Lota desde Lota hacia el sur fuera originada por la mayor distancia a que se encuentran los lugares mencionados de la costa original, pero podemos ver que tanto en Antihuala como en el Sondaje P-1 el espesor del Horizonte de Pilpilco es bastante reducido, lo cual indica una distancia no muy grande de la línea costanera, de modo que no sería solamente este factor el que ha contribuido al empeoramiento sino que más bien condiciones fisiográficas locales.

De todos modos queda de manifiesto que la región de Lota cuando se estaba depositando el Horizonte de Lota se estuvo hundiendo de un modo paulatino, mientras que más al sur el hundimiento ha sido mucho menos marcado, si es que existe y esto explica que ya mucho más al sur, no se produjeran hundimientos y se mantuviera el régimen continental durante todo el Eoceno.

Desde el punto de vista práctico es de gran interés conocer las variaciones que experimentará el Piso de Lota en el Sector situado al N. del paralelo de Colico, ya que sabemos por el sondaje C-3 de Colico Sur que a esa latitud el Horizonte de Lota pierde totalmente su importancia. Parte de este problema ha quedado resuelto con el sondaje El Huacho y el recién iniciado en Arauco arrojará muchas luces al respecto. Si se tiene éxito con esta exploración las reservas del Golfo de Arauco aumentarían al doble o quizás al triple.

Por lo tanto, desde luego se puede casi asegurar que no hay ninguna expectativa de encontrar reservas carboníferas importantes en el Horizonte de Lota al sur del paralelo de Colico, de modo que conviene concentrar las exploraciones en la región norte.

En cuanto a las variaciones que pueda presentar el Horizonte de Lota hacia el poniente no tenemos antecedentes concretos; pero hay un hecho bastante sugestivo y es el manto de carbón de 0.90 m. cortado por el sondaje El Huacho. Como este sondaje está a 7 km. al poniente del borde oriental de la cuenca, donde el mismo manto

tiene potencias análogas queda comprobado la persistencia de los horizontes carboníferos a gran distancia del borde de dicha cuenca. Pero hacia el poniente del Huacho el Horizonte de Lota disminuirá su espesor debido a la transgresión del Horizonte Intercalación; que es aquí mucho más grueso que en Peumo-Maquegua, y por lo tanto el manto de carbón encontrado podría corresponder a uno de los basales, faltando los superiores.

El Horizonte Intercalación consiste en una intercalación marina que separa los complejos carboníferos de Lota y Curanilahue se extiende al través de toda la región, es decir desde Coronel hasta Antihuala. Su espesor es bastante variable, lo mismo que sus características petrográficas; debido a que representa un episodio de avance y retroceso del mar, de modo que a veces se ha llegado a condiciones tranquilas que permitieron la depositación de areniscas finas arcillosas fosilíferas, mientras que en otros lugares se han superpuesto las condiciones turbulentas de la regresión con la transgresión.

Los fósiles más característicos son *Turritella Augusta* (ex-*Landbeecki*) y *Tellina subfalcata*. Pero se encuentra además:

Leda Oryrinchia Phil.

Lutraria Araucana Phil.

Tellina Carbonaria Phil.

Mactra Carbonaria Phil.

Mytilus Striatus Phil.

Cyclas (?) Carbonaria Phil.

Corbula Chilensis Phil.

Fusus Foncki Phil.

En algunos perfiles puede observarse que hacia el poniente engruesa esta capa, este hecho es especialmente notable entre los perfiles de Peumo-Maquegua y sondaje El Huacho. Sin embargo, en otros casos la potencia se mantiene más o menos igual, como ocurre entre los sondajes P 1 y P-2.

En la zona de Pilpilco el Horizonte Intercalación es mucho más grueso que en los lugares situados más al norte, lo cual contrasta con el de Pilpilco que es más delgado. Esto se debe probablemente a que las condiciones marinas han prevalecido a expensas del Horizonte de Lota.

El Horizonte de Colico tiene gran desarrollo en la zona de Lota, pero los mantos de carbón que lleva son insignificantes. Ellos empiezan a adquirir importancia en la zona de Peumo-Maquegua, de modo que todas las minas que están a la orilla oriental de la cuenca en la Provincia de Arauco han explotado dos mantos de este horizonte, como ser Peumo, Colico Norte, Colico Sur, Curanilahue, Pilpilco, Araucana y Antihuala. Pero los mantos degeneran pronto hacia el poniente, como ha quedado comprobado por los sondajes del Huacho, Curanilahue, P-2 y Cy-2, en los cuales aparecen solamente arcillas con guiecitas de carbón, a pesar de estar Cy-2 solamente 1,250 mts. al poniente de las minas El Chilco. En el sondaje de Lebu no hay seguridad de que se haya cortado este horizonte, pero está bien en claro que por debajo de los 490 mts. se presentan algunas intercalaciones de arcillas con guiecitas de carbón y conglomerados encerrados entre areniscas marinas, las cuales podrían corresponder a lagunas costaneras formadas durante un descenso del nivel del mar, pero que no llegaron a ser totalmente rellenadas para dar lugar al desarrollo de una serie continental franca.

Por estas razones en el Horizonte de Colico no se puede suponer la existencia de reservas mucho más importantes que las conocidas en las minas mencionadas anteriormente, o sea, que los mantos son explotables solamente hasta una distancia máxima de 3 a 4 km. del borde de la cuenca. De todos modos parece ser un hecho comprobado que entre el Estero Zapallo y la mina Manto Grande el horizonte de Colico no tiene ninguna importancia.

c) El Piso de Boca Lebu

Este piso representa una transgresión importante sobre el Piso de Curanilahue que cubrió toda la zona carbonífera actual y llegó posiblemente hasta el centro de la Cordillera de la Costa, a juzgar por las diferencias de espesor que tiene este piso en la costa y en las partes orientales, es decir, vecinas al camino público de los Alamos a Curanilahue, de modo que es poco probable que haya alcanzado al Valle Longitudinal. Sus sedimentos difieren totalmente de los del Piso de Curanilahue por el hecho que faltan las oscilaciones de la línea costanera.

Sus características son conocidas por afloramientos dispersos a lo largo de la costa de Lebu y en los valles del interior especialmente los de Pilpilco, Trongol y Curanilahue; pero especialmente por los sondajes del Huacho, P-2, Cy-2 y Lebu, los cuales lo han atravesado casi totalmente o a lo menos en gran parte. Nos referiremos aquí a estos sondajes que dan datos más seguros.

El sondaje El Huacho comenzó pocos metros por debajo del pendiente, ya que está en la cercanía de la mina El Huacho cuyo manto pertenece al Piso de Trihueco. Podemos dividir este perfil en tres tramos bien definidos.

La parte superior, comprendida desde el brocal del pozo hasta la profundidad de 50 mts., consiste en areniscas medias a gruesas verdosas con algunas capas de arcilla y guicillas de carbón. Se presentan también fajas de rodados finos. Por estas características puede deducirse que se trata del comienzo de la regresión.

La parte central, entre los 50 y 459 mts. lleva areniscas arcillosas medias a finas con guías de arcillas con restos vegetales y escasos conglomerados en la parte superior. En la parte central predominan arcillas arenosas y en la inferior areniscas finas plomizas. Este tramo ha dado los siguientes fósiles:

- Mastra Carbonaria*
- Leda Oxyrinchia*
- Nassa Araucana*
- Cytherea sp.*
- Turritella Landbecki*
- Fusus Lehuensis*
- Fusus Foncki**
- Cytherea discor*
- Lucina Lebuensis*
- Gastriidium Retusun*
- Cardita variabilis*
- Tellina Striatella*
- Cucullaea Alta*
- Modiola Promaucana*

Venus aff. Navidadis

Pinna sp.

Dicolpus Obesus.

Las especies marcadas * aparecen también en el Horizonte Intercalación del Piso Curanilahue.

La parte inferior entre 459 y 505 mts. está representada por areniscas cenicientas con guías de arcillas y restos vegetales carbonizados y algunas fajas, nidos de rodados. Por estas características parece que se tratara de un sedimento continental, pero la presencia de algunos granos de glauconita justifican considerar esta parte del perfil como marina.

El espesor total del Piso de Boca Lebu para el sondaje El Huacho se puede estimar en 550 mts.

En el sondaje P-2 que también comienza no lejos del pendiente se ha cortado gran parte del Piso de Boca Lebu y en el cuadro de perfiles lo hemos completado con el perfil medido en el valle del Río Pilpilco al poniente del puente situado en el camino de Los Alamos a Curanilahue, perfil que está descrito por Sangüeza (1942). El Piso de Boca Lebu parece que empieza inmediatamente bajo un manto de carbón, que debe corresponder a la Veta Alta de Lebu. A continuación viene un tramo de 46 mts. con areniscas medias a gruesas con guías de arcilla y restos vegetales. En seguida hay 300 mts. de areniscas arcillosas fosilíferas entre las que se intercalan algunos tramos de arcillas arenosas. Dichas areniscas se ponen en contacto con las areniscas gruesas del Horizonte de Colico, de modo que falta aquí el tramo de areniscas cenicientas que aparece en la base del Piso de Boca Lebu en el sondaje El Huacho y en el Cy-2. Otra diferencia está en que P-2 tiene varios tramos de arcillas intercaladas entre las areniscas, mientras que El Huacho tiene uno solo. El espesor total del Boca Lebu en la región de P-2 sería de 345 mts. contra 550 en El Huacho.

En la región de Lebu conocemos, probablemente, el perfil completo del Piso de Boca Lebu, tanto por los afloramientos como por el sondaje perforado cerca de la Punta Huape, que alcanzó a 720 mts. de hondura.

El perfil lo podemos resumir del modo siguiente:

Prof. a partir de Veta Alta	Prof. a partir del sondaje	
		Sección A
0-63		Areniscas medias a gruesas, arcóscicas en la parte superior.
		Sección B
63-160	0-10	Areniscas arcillosas fosilíferas.
160-215	10-65	Arcilla arenosa fosilífera.
		Sección C
215-292	65-142	Arenisca gris cenicienta media a gruesa con algunas intercalaciones de arcilla y capas con rodados

Sección D

142-143		Alternaciones de areniscas y <i>arcillas</i> arenosas con restos vegetales.
146-427		Arcilla <i>arenosa</i> fosilífera.
427-491		Arenisca fina con algunas intercalaciones de arcilla y nidos de arenisca gruesa.
541-685.50	491-535.30	Arenisca arcillosa con escasas intercalaciones de arcilla. Aquí terminan los sedimentos de profundidad y empieza una serie de carácter más costanero.

Sección E

685.50-686	535.30-533	Conglomerado con rodados de 1 a 10 mm.
686-697.10	536.00-547.10	Arenisca con nidos de conglomerado.

Sección F

697.10-707.80	547.10-557.8	Areniscas finas verdosas (termina en falla).
707.80-713	557.80-563.0	Arcilla azuleja (termina en falla).
713-721.5	563.0-571.5	Arenisca media (bituminosa).

Sección G

721.5-723.5	571.5-573.5	Arenisca glauconítica, en parte conglomerádica.
723.5-746	573.5-596	Arenisca arcillosa con guías, de carbón estratificación cruzada.
746-760	596.0-610.0	Arenisca fosilífera glauconítica gruesa con guías y restos vegetales.

Sección H

760-775	610-625	Arcosa.
---------	---------	---------

Sección I

775-780	625-630	Arcilla arenosa. Hacia abajo, hasta los 680 mts. siguen los sedimentos finos.
---------	---------	--

Analizando este perfil se puede ver que hasta la profundidad de 685.50 mts. coincide perfectamente con los otros perfiles del Piso de Boca Lebu; pero en seguida se presenta un tramo de 11.60 mts. con conglomerados, lo cual nos está señalando un cambio en las condiciones de sedimentación que podríamos atribuirlo a la regresión correspondiente al Horizonte de Colico.

Entre los 760 y 775 mts. tenemos otra interrupción importante, representada por arcosas que podríamos atribuir a la regresión correspondiente al Horizonte de Lota.

Pero estas suposiciones aunque son muy probables no están comprobadas en definitiva. En caso de ser ellas efectivas el espesor total del Piso Boca Lebu, medido desde la Veta Alta sería de 685 mts. contra 550 m. en El Huacho y 340 en el sondaje P-2.

Si consideramos los espesores del Piso Boca Lebu en estos tres sondajes, podemos deducir que en El Huacho tenemos condiciones bastante diferentes de las existentes en las latitudes de Lebu y Pilpilco a juzgar por el gran espesor en relación con la distancia a la orilla de la cuenca, y esto podría explicarse de dos maneras: o la costa correspondiente tuvo rumbo S. O. S. o bien se ha estado produciendo un hundimiento paulatino del sector N como lo habíamos mencionado al tratar del Horizonte de Lota.

En la parte alta del perfil del sondaje Boca Lebu aparece un tramo de 70 mts. constituido por areniscas arcóicas con algunas intercalaciones de arcillas y de conglomerados, el cual está encerrado entre sedimentos finos fosilíferos. Esto nos señala un episodio de regresión pasajera precursora de la gran regresión señalada por el Piso de Trihuco, al cual corresponde la serie continental de Lebu.

En los perfiles de la orilla oriental dicha intercalación de depósitos gruesos es de mucho menor importancia. En el sondaje P-2 alcanza solamente a 8 mts. y está constituida por areniscas gruesas con restos vegetales. Ella se encuentra a la profundidad de 44 mts. y a 220 mts. de la veta Alta, es decir, más o menos la misma distancia como en Lebu. En el sondaje El Huacho no encontramos ninguna intercalación que pudiera corresponder.

En la región de Cuyinco por los perfiles de superficie parece que existe también la intercalación gruesa.

Las variaciones que experimenta esta capa gruesa al través de los diversos puntos conocidos en la Provincia viene a indicar que durante la depositación del Boca Lebu se ha estado produciendo un anticlinal con buzamiento hacia el norte, lo cual parece también muy probable en vista de las características del Piso de Trihuco.

d) *Piso de Trihuco*

Se abarca con esta designación la serie continental depositada como consecuencia de la regresión producida después de la depositación marina del Piso de Boca Lebu. A él pertenecen los mantos carboníferos de Lebu, Milongue, Huenapiden y Lavapié en la parte occidental de la cuenca y los de Trihuco, Pata de Vaca, Lajuela, Chupalla y El Huacho en la parte oriental. Los perfiles de estos diversos sectores, salvo en Lebu no son bien conocidos porque no hay sondajes que los hayan atravesado y todos los datos provienen de observaciones en la superficie.

La región en la cual los carbones están más desarrollados es la de Lebu, donde

hay un perfil de 180 mts. de capas continentales que encierran 7 mantos de carbón, varios de los cuales han sido explotados desde muy antiguo. Esta corrida se continúa hacia el N. en las partes vecinas a la costa hasta la región de Lavapié y en ella antes existieron explotaciones reducidas como en El Guindo, Millongue, Huenapiden y Raimenco. Hacia el sur de Lebu parece que los mantos pierden su importancia pues los afloramientos correspondientes que se encuentran en Punta Lorcura consisten en areniscas conglomerádicas con dos mantitos de arcillas de 0.10 y 0.50 mts. de espesor en la posición que correspondería a los mantos Huitrera y Bronciento de Lebu. Pero aquí nada se sabe sobre la calidad del grupo inferior, o sea, del Chico-Alto. El perfil para la región de Lebu es el siguiente, de arriba a abajo, según Fenner y Wenzel (1942):

a) 35 mts.—Alternaciones de areniscas gruesas y finas en bancos con algunas intercalaciones calcáreas fosilíferas.

b) 20 mts.—Alternaciones de areniscas conglomerádicas en bancos gruesos con estratificación cruzada bastante regular que encierran varias franjas de conglomerados con rodados de cuarzo y andesita hasta del tamaño de una nuez y delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas, de granos fino a medio, que incluyen restos vegetales.

c) 60 mts.—Formados por una sucesión de areniscas finísimas muy abundantes en fósiles que encierran grandes concreciones calcáreas, areniscas calcáreas con conchas fósiles y restos vegetales y areniscas arcillosas de grano muy fino y esfoliadas, con conchas fósiles, mucha mica y restos vegetales.

d) 45 mts.—Formados por una sucesión de areniscas arcillosas de grano fino que encierran una que otra delgada intercalación calcárea y dura.

e) 27 mts.—Formados por una alternación en delgados bancos de areniscas arcillosas de grano fino, de color gris verdoso, con bancos fosilíferos calcáreos y areniscas conglomerádicas.

f) 22 mts.—Formados por areniscas conglomerádicas de estratificación falsa muy irregular que encierran a veces restos de maderas fósiles.

g) 1 m.—Carbón, Manto Huitrero.

h) 6 mts.—Formados por areniscas gris oscuras, grano fino a medio.

i) 0.60 mts.—Carbón, Manto Bronciento.

j) 72 mts.—Formados por una sucesión de areniscas conglomerádicas con varias zonas de conglomerados y delgadas venas lenticulares de carbón, que incluyen una intercalación (5.50 mts.) formada por una alternación de areniscas arcillosas oscuras, de grano muy fino y con restos plantíferos, arcillas marinas con conchas fósiles y arcillas refractarias con un mantito de carbón de 10 cm.; en la parte inferior, este complejo lleva todavía una delgada intercalación marina.

k) 0.40 mts.—Carbón, Manto Sin Nombre.

l) 25 mts.—Formados por areniscas verdosas, que llevan en su parte inferior una arenisca arcillosa esfoliada, de grano muy fino, que incluye restos vegetales.

m) 0.15 mts.—Carbón, Manto Ratón.

n) 16.50 mts.—Formados por una alternación de areniscas claras, de grano fino, con areniscas arcillosas cementadas con limonita.

ñ) 0.80 mts.—Carbón, Manto Chiflón.

o) 3.70 mts.—Formados por una sucesión de arcillas refractarias y arcillas pizarrosas oscuras.

p) 10.30 mts.—Formados por una alternación de areniscas arcillosas de grano fino, muy laminadas, de colores gris claro y pardo oscuro, cementadas con limonita.

q) 6 mts.—Formados por una arenisca arcillosa de grano fino, con conchas fósiles.

r) 8.50 mts.—Formados por una alternación de areniscas arcillosas de grano fino muy laminadas, de colores gris claro y pardo oscuro, cementadas con limonita.

s) 1.10 mts.—Carbón, Manto Chicó.

t) 7.50 mts.—Formados por una sucesión de areniscas arcillosas oscuras de grano fino, con arcillas, micas y restos vegetales.

u) 1.50 mts.—Carbón, Manto Alto.

v) 65 mts.—Formados por areniscas conglomeráticas blanquizas y gris verdosas, con caolín y restos vegetales.

w) 600 mts.—Formados por areniscas arcillosas de grano fino, de color gris verdoso, con abundantes fósiles marinos y concreciones calcáreas duras.

Han servido de base para la confección de este perfil los siguientes puntos:

a) para la formación yacente estéril, los reconocimientos efectuados en las costas al Sur de la Punta Tucapel de Boca Lebu; b) para la formación central con mantos carboníferos, el perfil del Pique Amalia; y c) para la formación pendiente, también estéril, los reconocimientos efectuados en las costas de Millongue.

En términos generales puede decirse que caracteriza a este complejo sedimentario un grupo carbonífero superior (Huitrera, Broncienta), uno central (Sin Nombre, Ratón y Chiflón) y un grupo inferior (Chico Alto), de los cuales sólo el primero y el último han podido ser explotados económicamente en ciertas zonas.

Hacia el oriente hay una disminución apreciable del espesor de los mantos, como pudo comprobarse últimamente con el sondaje Fortuna que cortó solamente el manto Ratón con una potencia de 0.80 mts., los otros eran delgados. Por lo tanto había que decidir con nuevos sondajes el límite oriental de explotabilidad de este campo.

En la parte oriental de la cuenca se pueden estudiar los perfiles a lo largo de los ríos Pilpilco y Trongol, los cuales tienen gran analogía con los de Lebu, pero generalmente los mantos de carbón están sustituidos por pizarras carbonosas y cuando existen los mantos rara vez pasa su potencia de 0.20 mts. Sólo en la región de Trihueco se encuentran dos mantos: el Montaña y el Chico, con espesores de 0.60 y 0.50 m. respectivamente.

En la península de Lavapié se presenta sólo el grupo superior, es decir, el Huitrera Broncienta, pues la parte correspondiente al inferior está reemplazada por areniscas, en parte francamente marinas. Esto nos indica que el hundimiento supuesto para la región norte de la provincia sobre la base del complejo de areniscas gruesas que aparecen en el sondaje Boca Lebu, en la parte superior del Piso Boca Lebu, se mantiene durante la época de sedimentación del Piso de Trihueco.

La disminución de importancia de los mantos del Piso de Trihueco hacia el oriente ha sido atribuida por Bruggen (1934) a la existencia de una cuenca lagunar cuyo borde poniente estaría más o menos en la región de la costa actual y correspondería a una masa continental que se extendía hasta las islas de Juan Fernández.

Como hemos visto al tratar del Piso de Boca Lebu es muy probable que dicho

geo-anticlinal se comience a formar durante la época en que se depositó la parte superior del Piso de Boca Lebu, ya que las formaciones inferiores presentan un cambio de facies normal hacia el oeste. Tal vez a este mismo fenómeno se puedan atribuir las fuertes dislocaciones que acompañan la costa actual, que ocuparía el flanco de este geoanticlinal. En cuanto al borde oriental de esta cuenca, la supone Bruggen (1934) en el pie occidental de los Andes, en vista de los sedimentos carboníferos que aparecen en Esperanza, al oriente de Chillán; pero en realidad no hay ningún antecedente para atribuir dichos sedimentos al Eoceno y bien podrían representar las facies marginales del mar de Navidad. De todos modos es muy improbable que el Piso de Trihueco pueda suministrar reservas de carbón importantes, lo cual descarta las posibilidades carboníferas del centro de la provincia de Arauco.

Es interesante anotar que las características del Piso de Trihueco y el de Curanilahue son muy diferentes en lo que se refiere a las reparticiones de las facies continentales. En efecto, hemos visto que el Piso de Curanilahue, tanto en el Horizonte de Lota como en el de Colico muestra la particularidad que las facies límnicas carboníferas se transforman hacia el oeste en facies marinas, debido a la transgresión del mar abierto, sobre las cuencas parálidas, y su extensión en dirección E-O es bastante reducida. En cambio, el Piso de Trihueco conserva sus características continentales en una gran anchura y aunque faltan los mantos de carbón en la parte oriental abundan las pizarras carbonosas y areniscas conglomerádicas.

e) *El Piso de Millongue*

Este piso representa una transgresión marina muy importante ocurrida con posterioridad a la depositación del Piso de Trihueco; pero sus detalles no son en realidad bien conocidos debido al hecho de existir pocos perfiles completos de esta formación. Ella aparece mejor desarrollada en Millongue y la península de Lavapié hasta Yane. Pero también se puede observar a lo largo de los valles del Pilpilco, Trongol y Curanilahue.

El perfil más completo es el de la costa de Millongue donde constituye una serie de más o menos 500 mts., que ha sido descrito detalladamente por Tavera (1942). En general puede decirse que los sedimentos comienzan por conglomerados para seguir después con areniscas gruesas, medias, finas, arcillas arenosas y arcillas con bancos tobáceos. El material que forma los bancos tobíferos, según determinación de Kaiser, consiste en fragmentos de cuarzo, feldespato y vidrio volcánico y algunos trocitos de lavas vitrofiricas con cristales de feldespatos.

Este hecho es de gran importancia porque en todos los sedimentos más antiguos no se habían encontrado rastros de actividad volcánica, y viene por lo tanto a demostrar que a fines del Eoceno, o sea, poco antes de la fase tectónica del Oligoceno comienzan las erupciones de rocas ácidas, es decir, de la Formación Laparfítica que se continúa basificándose después por todo el Terciario y Cuaternario.

No tenemos antecedentes para establecer las variaciones de espesores de este piso por el hecho que su límite superior está siempre representado por la superficie de discordancia del Oligoceno; pero sería probable un engrosamiento hacia el norte en vista de los antecedentes proporcionados por la costa al sur de Lebu, donde predominan las facies gruesas.

Parece que los horizontes del Piso Millongue, que se encuentran en la parte oriental de la cuenca corresponden a niveles más altos que los de la costa, lo cual estaría demostrando una transgresión desde el oeste.

Fuera de la Provincia de Arauco parece que la única región donde existe el Piso de Millongue es Algarrobo, en la provincia de Valparaíso, donde descansa sobre el Senoniano.

La carencia de capas del Eoceno en otras regiones del país se explica fácilmente si se considera que la Provincia de Arauco constituye un saliente hacia el oeste del continente actual y la línea costanera de esta capa debió encontrarse dentro del Pacífico, uniendo Arauco con Talara. Dicha línea costanera es probable que hacia el sur de Arauco entrara nuevamente en el Pacífico ya que no hay demostraciones claras de la existencia del Eoceno más al sur.

B.—EL MIOCENO

a) *El Piso de Navidad*

El Piso de Navidad transgrede sobre una superficie de denudación originada por la fase tectónica acaecida durante el Oligoceno, la cual es conocida también en el norte del Perú y por tal motivo las formaciones basales de este piso se encuentran descansando sobre miembros muy diferentes de la serie eocena. Así por ejemplo, en Lebu el conglomerado basal se encuentra en contacto con el manto superior de la serie carbonífera y en Ranquil, 10 kms. al N. de Lebu, la base de Navidad se pone en contacto con el Piso de Millongue, 500 mts. más arriba que en Lebu. En las minas de Trihueco también está el conglomerado basal sobre los mantos de carbón. En la parte oriental de la cuenca la base de Navidad es bastante heterogénea.

El perfil de este piso descrito por Tavera (1942) abarca de 200 a 250 mts. lleva sobre el conglomerado basal un complejo de areniscas de más o menos 80 mts. cubierto por arcilla arenosa que hacia arriba pasa a arcilla muy fina.

El autor referido menciona que en algunas partes como en la Rada de Ranquil se puede observar que las arcillas de Navidad han sido erosionadas, depositándose sobre ellas areniscas groseras con rodados de arcillas de manto. Dichas areniscas están cubiertas por areniscas de grano fino a medio que hacia arriba se ponen arcillosas.

Aquí aparece un banco fosilífero que fuera de algunas especies características para el Piso de Navidad de Arauco lleva otras, correspondientes también a Navidad, pero que se encuentran sólo en localidades más australes, como por ej. Chiloé e Isla Mocha.

Por lo tanto el Piso de Navidad carece de formaciones continentales intercaladas, de modo que no tiene posibilidades carboníferas en la Provincia de Arauco. Posiblemente las áreas costaneras se encontraron mucho más al oriente y tal vez a ellas correspondan los carbones terciarios del Valle Longitudinal o del pie de la Cordillera de Los Andes.

Este piso tiene un desarrollo amplio en otras partes del territorio chileno, como ser en la Provincia de Santiago, Colchagua, Maule, Ñuble, Concepción, Osorno, Llanquihue y Chiloé. En varias de estas localidades se ha mencionado la existencia de carbón, pero aunque no se han hecho estudios formales parece que su importancia es casi nula.

C.—EL PLIOCENO

Al través de toda la Provincia de Arauco se observan afloramientos del Plioceno cuyas formaciones presentan una gran uniformidad petrográfica. Ellas consisten en arcillas arenosas y areniscas arcillosas, casi siempre poco cementadas con abundantes fósiles. Según Bruggen (1934) la superposición del Plioceno sobre las capas de Navidad se puede observar entre la desembocadura del río Tubul y la Punta Pichicui, donde aparece una débil discordancia de erosión entre ambas formaciones. El subsuelo de la planicie que se levanta de la costa sur del Golfo de Arauco hacia el sur está constituido en su mayor parte por capas pliocénicas, demostrando un avance del mar en este sentido. Lo mismo ocurre desde el sur. Por lo tanto el Plioceno de Arauco se depositó sobre dos amplias áreas, una abierta hacia el sur y otra hacia el norte, quedando tal vez como isla antepuesta al continente los cerros de Yane-Lavapié.

La bahía pliocénica meridional parece que tenía su continuación hacia el sur en la región ocupada hoy día por las dunas cuaternarias que abarcan una gran extensión frente a Cañete, de modo que en todo este sector el Plioceno se había depositado sobre las micacitas faltando por lo tanto el Eoceno.

Condiciones análogas encontramos hacia el sur de Tirúa donde el Plioceno viene a ponerse en contacto con las micacitas. Como esta región es muy poco conocida daremos algunos detalles de ella.

Desde Tirúa hacia el sur la morfología es algo diferente de la exhibida por la Provincia de Arauco, pues existe antepuesta a la costa una terraza de 150 mts. de altura, la que cae con un clif abrupto a la playa. La superficie de esta terraza es ondulada, pero lleva montículos de arenas cuaternarias que descansan sobre micacitas. Esta terraza que puede considerarse como la continuación de la altiplanicie de Arauco se va estrechando paulatinamente hacia el sur por el acercamiento de los cerros de la Cordillera de Nahuelbuta a la costa. Dicha terraza está atravesada por algunos esteros importantes que han labrado un valle joven profundo y sus lechos son auríferos. En las ondulaciones que forman la parte superior de estos valles aparecen conglomerados de cuarzo y areniscas gruesas que podrían corresponder tal vez a valles pliocénicos o cuaternarios antiguos.

Pocos kms. al N. de Liliicura la costa conserva este mismo carácter, pero el clif está constituido por areniscas arcillosas de color gris ceniciento y dispuestas en bancos de 10 a 20 cm. de espesor. El rumbo general es N. 25° E. y la inclinación 10° al S. E. En la parte basal del clif, frente a Liliicura puede observarse que esta formación descansa sobre el precámbrico, constituido por cuarcitas negras a grises micáceas con muchas inyecciones de cuarzo y pliegues ptigmatíticos. En el contacto no hay conglomerado basal ni formaciones costaneras, de modo que la transgresión se ha producido de un modo muy rápido sobre la superficie con peneplenización muy avanzada, lo cual impedía la llegada de sedimentos gruesos del continente. En esta parte el clif tiene 200 mts. de altura y como el plioceno se extiende más o menos hasta 2 km. al interior su espesor será a lo menos 400 mts.

Sin embargo 3 km. al S. E. de Liliicura se puede observar el conglomerado basal que tiene 3 mts. de espesor y lleva rodados de cuarzo de 5 cm.

A medida que avanzamos por la costa hacia el sur encontramos formaciones más modernas debido a la posición tectónica de las capas.

En Punta Lobería la barranca de la costa está fuertemente disectada por amplias vegas que vienen del interior, de modo que parece existir un hundimiento de la costa que se acentúa hacia el sur. Dicha barranca muestra formaciones más altas del Plioceno y se empieza a producir una transición a formaciones continentales. En la punta referida tenemos el siguiente perfil de pendiente yacente:

10 mts. — Areniscas gris verdosas a cenicientas con estratificación algo irregular, en partes hay rodados de basaltos augíticos porosos y de areniscas poco cementadas. Llevan abundantes *Venus* y *Solen*.

9 mts. — Alternaciones de areniscas finas arcillosas y medias en bancos delgados que engruesan hacia arriba.

3 mts. — Areniscas verdosas gruesas a medias.

0.20 mts. — Conglomerado ralo con rodados de lavas basálticas porosas.

Hacia abajo sigue la arenisca gruesa.

El rumbo es N. 15° O. y la inclinación 5° E.

De este perfil se deduce que los sedimentos pliocénicos están tomando un carácter francamente costanero a juzgar por la irregularidad de las areniscas y las capas de conglomerados. Por lo tanto no es de extrañar la existencia de mantos de carbón que se han mencionado a veces para esta región aunque no lo pudimos constatar. Es interesante el hecho que los rodados de los conglomerados son exclusivamente lavas basálticas muy análogas a las que constituyen los restos de volcanes del valle longitudinal entre el Río Laja y Temuco, motivo por el cual los podemos considerar de edad pliocena o quizás algo más antigua.

Más al sur de Punta Lobería ya los afloramientos son muy escasos porque el risco ha sido totalmente destruido, poniéndose en contacto las arenas de la playa con las vegas del río Trovolhue.

Parece que los sedimentos pliocenos pasan en su parte superior a sedimentos continentales, pues en Tranapuenta a orillas del río Imperial y 10 km. al E. de la costa se presentan areniscas muy finas arcillosas, bastante micáceas con estratificación en bancos delgados de 5 cm. de espesor con rumbo N. S. y 3° de inclinación al poniente con restos de *Unio*, las cuales llevan una intercalación de 30 cm. de un carbón muy pizarriente intercalado en una pizarra carbonosa de 1 m. de espesor. En la arenisca yacente se encuentran astillas de troncos. Posiblemente a esta misma serie pertenezcan algunos afloramientos de carbón que se dice existen en Trovolhue y también las formaciones lagunares con *Kieselgur* descritas por Bruggen en el Cerro Huilque, al sur de la desembocadura del Río Imperial.

Aunque no existen afloramientos en las vecindades del Río Imperial podemos establecer que el Plioceno en la parte norte de la Provincia de Cautín está encerrado hacia el poniente de una línea que va de Trovolhue a Punta Manuel.

D.—La Tectónica

Fenner y Wenzel (1942) han descrito detalladamente las características tectónicas de las formaciones de la Provincia de Arauco, motivo por el cual nos referimos aquí sólo a las líneas generales.

Por las consideraciones estratigráficas hemos deducido que deben existir a lo menos las siguientes discordancias tectónicas.

A.—Entre el Senoniano y el Eoceno.

B.—Entre el Eoceno y el Mioceno.

C.—Entre el Mioceno y el Plioceno.

La discordancia tectónica entre el Senoniano y el Eoceno no es posible establecerla de un modo directo y por lo tanto no sabemos nada acerca de la actitud tectónica adoptado por las capas senonianas antes de la sedimentación del Terciario. En vista de la pseudoconcordancia que se observa entre ambas formaciones, donde ellas aparecen en contacto es posible que se trate de una tectónica de bloques, es decir, el mismo estilo adoptado por el Terciario.

Para las formaciones eocenas el rasgo tectónico dominante es la existencia de un sinclinal de rumbo aproximadamente N.N.E y que pasa entre la ciudad de Arauco y la desembocadura del Río Tubul. En el ala oriental el rumbo medio de la capa es N.N.E. y la inclinación varía entre 10° y 20° O. En toda la parte conocida de la cuenca oriental se presentan fallas cuyos rumbos generales son NE. e inclinación de 45° hacia el E. y además otras secundarias diagonales con las anteriores. Sería posible que el centro del sinclinal estuviera menos afectado por estas fallas.

El ala occidental de este sinclinal la conocemos en la región de Lebu, donde las capas inclinan con más o menos 20° al oriente y presentan una tectónica de fallas muy complicada.

Pero en la costa sur del Golfo de Arauco, entre Llico y Punta del Fraile, según Bruggen (1934) las capas adoptan una posición anticlinal y en la Punta Lavapié aparece otro sinclinal estrecho. Estas estructuras no son en realidad de plegamiento sino de movimientos de bloques.

Este mismo geólogo ha dividido la cuenca terciaria de Arauco en dos sectores por una línea que va más o menos de la Punta Morguilla al sur de Lebu a Punta del Fraile en la costa S. del Golfo de Arauco. El sector situado al oriente de esta línea tiene las características sinclinales ya mencionadas. En cambio el sector situado al poniente de ella muestra una gran anarquía en la posición tectónica de las capas y los rumbos se acercan mucho a la posición E-O.

Fenner y Wenzel (1942) interpretan esta disposición tectónica de la faja occidental por la existencia de dos cúpulas: una en Lebu y otra en Lavapié-Yane.

Es indudable que la zona occidental ha experimentado un solevantamiento desde la época del Piso de Boca Lebu según lo hemos visto por consideraciones estratigráficas. Pero tal solevantamiento debió acentuarse con la segunda fase tectónica de la formación de la Cordillera de Los Andes, acaecida en el Oligoceno.

Muy poco sabemos de la forma en que se produce la discordancia entre el Mioceno debido en parte a la gran uniformidad petrográfica de ambas formaciones que no hace resaltar los accidentes tectónicos y también porque dichas formaciones afloran principalmente en el centro de la provincia donde los afloramientos son muy deficientes.

CONCLUSIONES

En la Provincia de Arauco y Cautín podemos establecer el siguiente cuadro estratigráfico.

CUATERNARIO

Aluvium.—Dunas y vegas actuales.

Cuaternario Marino y Costanero.

TERCIARIO.

Plioceno.—Marino en la parte basal pasando a continental lagunar con mantitos de carbón en la parte superior.

Espesor: Aproximadamente 400 metros.

Discordancia de erosión y tectónica.

Mioceno.—*Piso de Navidad*.—Areniscas y arcillas marinas.

Espesor: Aproximadamente 250 m.

Eoceno.—*Piso de Millongue*.—Areniscas marinas. Espesor: En la costa aproximadamente 500 mts.

Piso de Trihueco.—Areniscas arcillas y mantos de carbón con algunas intercalaciones marinas. Espesor en Lebu 180 mts.

Piso de Boca Lebu.—Areniscas arcillas marinas. Espesor en Lebu 600 mts.

Piso de Curanilahue.—*Horizonte de Colico*.—Areniscas y arcillas con mantos de carbón. Espesor entre 30 y 100 mts.

Horizonte Intercalación.—Areniscas marinas. Espesor entre 25 y 50 mts.

Horizonte de Lota.—Areniscas, arcillas y mantos de carbón. Espesor entre 150 y 10 mts.

Horizonte de Pilpilco.—Areniscas marinas. Espesor 180 mts. en Colico.

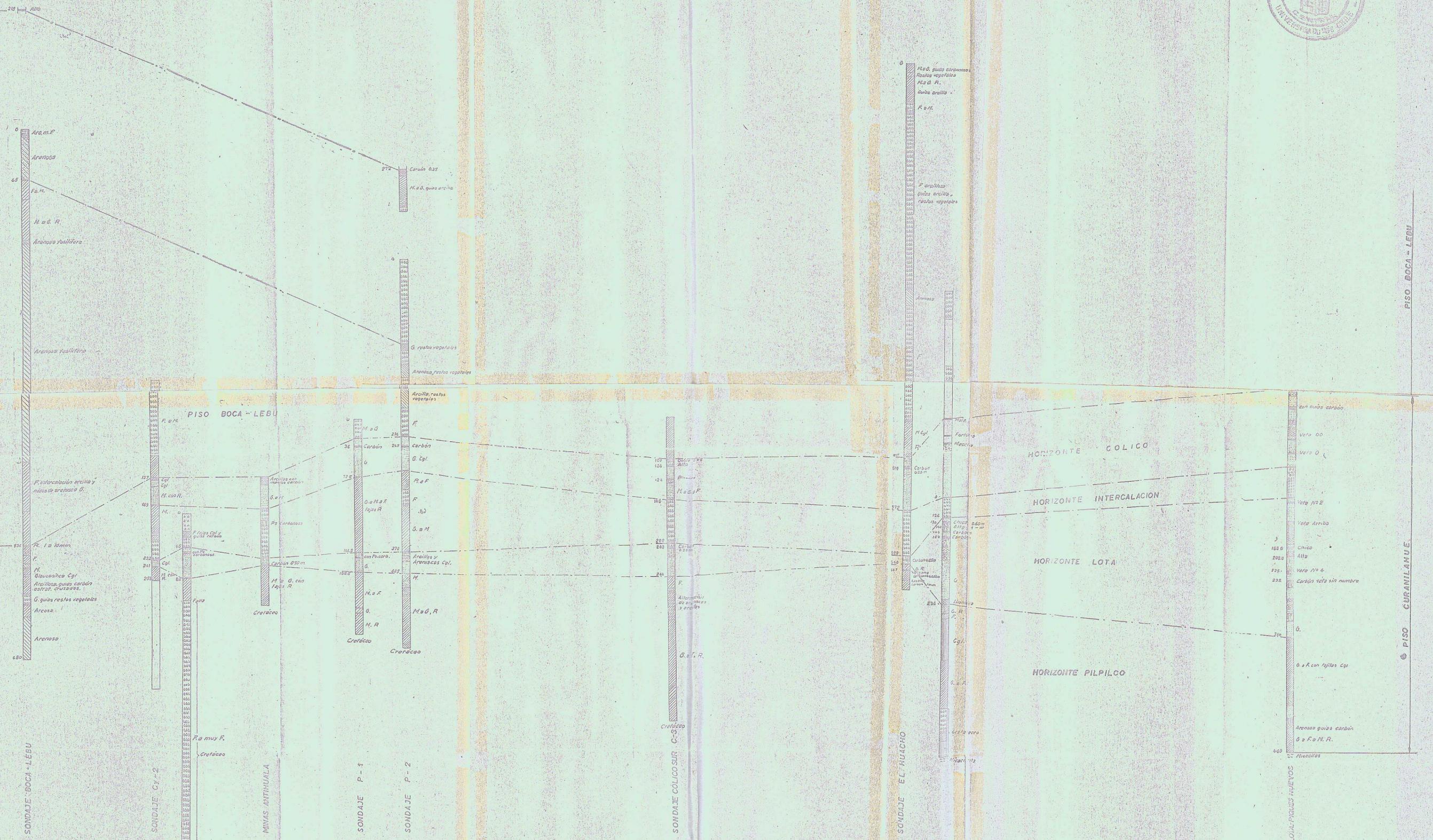
SENONIAN)

Los espesores de todas las formaciones anotadas son muy variables debido a que las series marinas se adelgazan hacia el oriente y las continentales hacia el poniente. Parece que hay también un engrosamiento hacia el norte.

Las características generales de las formaciones carboníferas son las siguientes:

Horizonte de Lota.—Tiene su mayor importancia en la región de Lota y Coronel donde están los principales mantos de carbón, los cuales van disminuyendo de valor hacia el sur, de modo que en la latitud de Colico Norte ya prácticamente no existen. Sólo en Antihuala se vuelve a presentar un mantito de 40 cm. de carbón impuro. Hacia el poniente también pierde su importancia. Así en Lota hay tres mantos explotables, en Schwager dos. En Peumo-Maquegua, parece que dos y en Huacho, que está





DEPARTAMENTO DE MINAS Y PETROLEO

**CORRELACION DE PERFILES CORRESPONDIENTES A LOS PISOS
CURANILAHUE Y BOCA LEBU DEL CENOZOICO EN LA
PROVINCIA DE ARUCO**

1945

REFERENCIAS	
F. = Fines	[Symbol] Conglomerados marinos
R. = media	[Symbol] Arenas marinas fossilíferas
a. = gruesa	[Symbol] Arenas marinas
Cgl. = conglomerática	[Symbol] Arcillas marinas
R. = con rodados.	[Symbol] Arcillas continentales
	[Symbol] Arcillas continentales
	[Symbol] Conglomerados
	[Symbol] Cuaternario