

**EVALUACION DE RESERVAS DE ARENAS NEGRAS EN AGUAS DULCES,
DEPARTAMENTO DE ROCHA, URUGUAY**

EVALUATION OF AGUAS DULCES BLACK SANDS RESERVES, ROCHA, URUGUAY.

Lorenzo Ferrando[†]
Jorge Bossi
Silvia Maldonado
Alejandro Schipilov
Néstor Campal

Cátedra de Geología – Facultad de Agronomía.
Garzón 780. C.P. 12900. Montevideo, Uruguay.
Fax: 359 3004, e-mail: geologia@fagro.edu.uy

(†) El presente trabajo fue redactado como homenaje póstumo al primer autor para ser publicado en la Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología respetando hasta en lo mínimos detalles los conceptos del informe producido en marzo del 2002 bajo su liderazgo.

RESUMEN

Se estudiaron los antecedentes de ANCAP sobre arenas negras de la zona de Aguas Dulces (Dpto. Rocha) para analizar la prefactibilidad de su explotación hasta lograr la separación y concentración de cada uno de los minerales de interés. El análisis de los datos con criterios geológicos permitió redefinir los principales parámetros del yacimiento, limitado entre una paleocosta barrancosa y la costa actual con una potencia media explotable de 10m y un tenor de 2% de minerales útiles. Las **reservas** expresadas en miles de toneladas son las siguientes: **probadas 3600, probables 5500 y posibles 16000**. El yacimiento produciría ilmenita (1.2%), circón (0.1%), rutilo (0.02%) y monacita (0.01%). Considerando las reservas **demostradas** (probadas mas probables) con los precios del año 2000 se estima un valor del yacimiento de U\$S 650 millones. A los efectos del cálculo de la inversión necesaria para la explotación se consideró una planta capaz de procesar entre 6 y 8 millones de toneladas de arena bruta anuales en una cifra estimada de U\$S 13 millones. La producción a pleno generaría una facturación anual del orden de U\$S 8 millones.

ABSTRACT

Black sands data in Aguas Dulces (Rocha) studied by ANCAP during '60 were reanalyzed with geological criterion in order to redefine the prefactibility of economic exploitation with the present infrastructure and world market conditions. The sand deposit is limited between a high slope palaeocost and the ocean, with medium depth of 10m and 2% of useful minerals: ilmenite, rutile, monazite and zircon. Mineral reserves expressed in thousands of tons are of 3 kinds: proved (3.600), probable (5.500) and possible (16.000). Demonstrated reserves (proved + probable) allow to estimate a value of U\$S 650 million, taking in account year 2000 prices. A factory to process about 7 millions ton of raw sand needs an investment of U\$S 13 million and will produce a sale of U\$S 8 million per year.

Keywords: black sands deposits, Aguas Dulces, Uruguay.

INTRODUCCIÓN

Las "arenas negras" reciben esa denominación porque están constituidas por un porcentaje más alto que el normal de minerales densos y de colores oscuros: ilmenita, rutilo, circón y monacita. Son minerales de densidad superior a 4 g/cm³ y por ello se acumulan asociados a arenas cuarzo - feldespáticas de grano más grueso que ellos.

Para la realización del actual estudio se dispuso de los antecedentes de ANCAP, los que fueron cedidos, gracias al Ing. Nelson Ucha y el Lic. Héctor De Santa Ana. En el informe que sigue se tendrán en cuenta básicamente estos datos, con poca información complementaria de campo.

En cambio se lograron avances importantes con relación a la forma, el área y las reservas del yacimiento así como del mercado actual de los minerales involucrados. Se realizó la interpolación sedimentológica de los datos y su tratamiento geoestadístico permitió visualizar el comportamiento espacial de los minerales fértiles, así como las áreas de mayor rentabilidad potencial por unidad de superficie.

Entre 1957 y 1963 se producen varios informes sobre los estudios realizados en el departamento de Rocha. En la Tabla I se indica la ubicación geográfica y características de las zonas estudiadas.

En 1964 se elaboran los documentos definitivos con la ubicación de los perfiles y las muestras en la zona de Aguas Dulces, elegida para la definición de reservas probadas en una segunda etapa de estudios, en los predios fiscales del Ministerio de

Ganadería Agricultura y Pesca. Este estudio, representó el único realizado en forma cuantitativa con ubicación exacta de los sondeos y análisis de cada muestra de 1,5m de longitud. Es en esa zona que se evaluaron reservas en 1964-65 por un monto del orden de 3 millones de toneladas de minerales densos con un tenor medio de 2,5 % en peso de arena seca.

Luego de investigar los distintos indicios de minerales densos en todo el país se seleccionó para un estudio detallado el área de Aguas Dulces, por ser el de más fácil extracción y estar ubicado en terrenos fiscales. Para el presente estudio se dispuso de mapas detallados de esa zona, confeccionados por el Ing. Quím. Luis Meyer y el Ing. Agrim. Carlos Darriulat.

El área cubierta por una malla de 200m por 100m fue de 1069 has (unos 10 Km²) exclusivamente dentro del padrón N° 1645 donde se realizaron 481 sondeos de hasta 31.5 m de profundidad. Se extrajeron y analizaron 2362 muestras con las que se evaluó la presencia de muy poco más de 3 millones de toneladas de minerales densos con un tenor de 2,5 % en peso en promedio (120 millones de toneladas de arena bruta).

GEOLOGÍA DEL ÁREA

Un aspecto considerado fundamental fue analizar las características geológicas de la zona costera del Departamento de Rocha, para establecer las condiciones rectoras de la acumulación, y deducir de allí la ubicación de áreas favorables así como su posible forma geométrica.

En la Carta Geológica de la Figura N° 1,

Zona	Área (Km ²)	Espesor (m)	% minerales densos	10 ⁶ ton de minerales densos	ton/ha
Chuy - Coronilla	95	4,7	2,5	19,5	1800
Coronilla (detalle)	5	5	5	2,1	4000
Punta Loberos	18	4,3	1,4	1,9	1100
Angostura		2,8	1,3		
La Paloma		3	variable		
La Pedrera		5,1	2,3		
Aguas Dulces	3	1,63	3,73	0,36	1200

Tabla I.- Datos preliminares de ANCAP (1965).

Table I.- ANCAP preliminary data (1965).

tomada de Bossi & Ferrando (2001), se muestra el área costera y el área de interés potencial, desde Cabo Polonio hasta Chuy. De la misma surge la columna estratigráfica con muy pequeñas modificaciones respecto a la original.

El Grupo **Rocha** (Bossi & Navarro, 1988) está integrado por filitas de rumbo general

NNE. El macizo de Santa Teresa de cerca de 1.000 Km² (Bossi *et al.* 1965) intruye litologías del Grupo Rocha. Para los objetivos del presente estudio ambas unidades representan las rocas resistentes del zócalo cristalino de la zona, que tienen gran incidencia en el posterior comportamiento paleogeográfico.

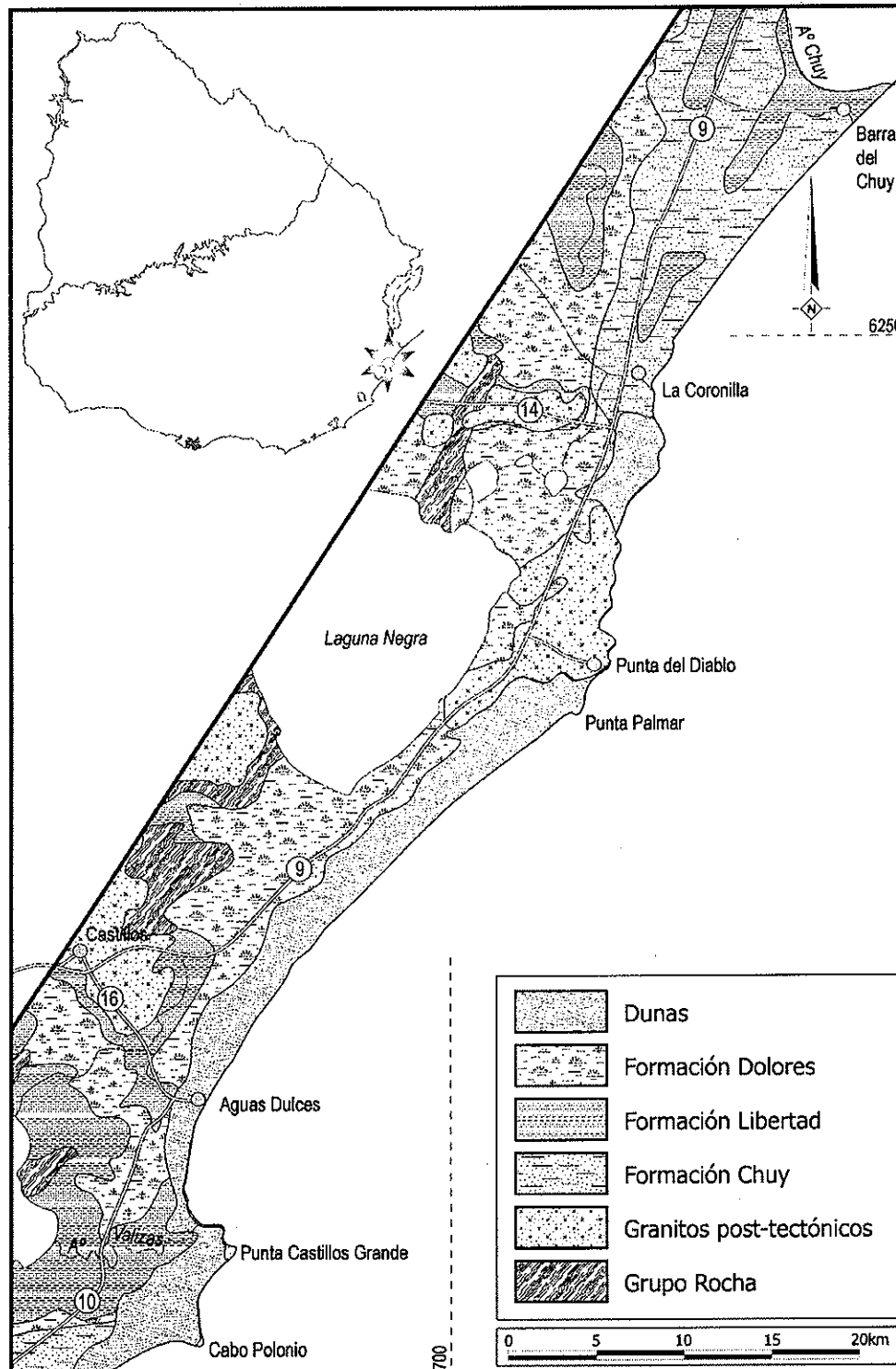


Figura N° 1.- Carta geológica del área estudiada, modificada de Bossi & Ferrando (2001).
 Figure N° 1.- Geological map from the studied area, modified after Bossi & Ferrando (2001).

La Formación **Barra del Chuy** (Bossi *et al.* 1998) se corresponde con la Formación Chuy de Elizalde (1976) quien indica que en sus perfiles se puede observar una alternancia de litologías desde pelitas hasta areniscas gruesas, determinando una secuencia groseramente granocreciente. Los niveles pelíticos ocurren con mayor frecuencia hacia la base, de colores grises, gris verdoso a verde. Las areniscas son de grano fino o fino a medio, raramente gruesas, de colores amarillentos, predominantemente feldespáticas y con alta proporción de minerales densos. Las distintas litologías se desarrollan en estratos de entre 0.5 y 2.0 m, macizos o con estratificación poco marcada. La información paleontológica es muy profusa y la recopilación de Sprechmann (1978) permitiría concluir que la sedimentación de esta unidad culminó en el Pleistoceno superior.

La Formación **Libertad** fue definida por Goso (1965); hoy se acepta que deben incluirse solamente las limolitas macizas pardas friables con arena gruesa dispersa y con constante presencia de carbonato de calcio en formas variadas. La presencia de minúsculos cristales de yeso es también un rasgo casi omnipresente. Las condiciones de sedimentación se han interpretado como el deslizamiento de barro formado por materiales de origen eólico más el producto de meteorización del sustrato, en un clima de pluviosidad concentrada.

La Formación **Dolores** fue definida por Antón & Goso (1974) en los alrededores de la ciudad homónima. Preciozzi *et al.* (1985) cartografían el mayor desarrollo areal de esta unidad en la cuenca de la Laguna Merín, situación confirmada por Montaña & Bossi (1995) durante relevamientos detallados. Se trata de limolitas finas masivas y friables de color pardo con locales tonos gris verdosos. La granulometría es variable pero siempre fina, con contenido en limo relativamente constante entre 35 y 45%. El rasgo dominante para su identificación es de naturaleza geomorfológica, porque determinan planicies con mínimas ondulaciones y

pendientes inferiores al uno por mil.

La Formación **Punta Loberos** se produjo en un episodio ingresivo en el último máximo alcanzado por el océano Atlántico según Antón y Goso (1974). El perfil más frecuente tiene 10m de espesor con arenas gravillosas en la base y pasaje granodecreciente a arenas gruesas y finas. A esta unidad se cree razonable asociar los depósitos en estudio.

Las **dunas** están compuestas de arenas sueltas de grano muy fino hasta medio, con estratificación cruzada tipo tangencial simple o artesas. Son cuarzosas, bien seleccionadas, con abundantes granos de superficie mate, de forma predominantemente redondeada. El estudio más detallado pertenece a Prost (1982) que reconoce tres episodios de acumulación de estas arenas, los que se caracterizarían por su color en rojas, grises y blancas de las más antiguas a las modernas. Es probable que bajo este término se agrupen unidades de edad diferente aunque siempre generadas durante el Holoceno.

GEOMORFOLOGIA

Una vez reconocidas las unidades geológicas desarrolladas en el área fue posible realizar un análisis geomorfológico de la faja costera entre la barra del A° Valizas y la del A° Chuy, gracias al acceso a fotos aéreas a escala 1/20.000.

En grandes líneas se definieron tres zonas de comportamiento diferente tanto desde el punto de vista morfológico como del sustrato geológico y la posibilidad de albergar acumulaciones de arena de volúmenes tales que permitan sospechar la posibilidad de yacimientos.

Una zona se define entre la barra del A° Valizas y Punta Palmar con alrededor de 35 kilómetros de longitud. El diseño de la costa es recto a lo largo de muchos kilómetros y hacia el Sur describe una curvatura de amplio radio. El depósito arenoso de interés se desarrolla principalmente entre una línea de paleocosta barrancosa y la costa actual con un ancho variable entre 1,5 y 3 km. Como el sustrato (Formación Barra del Chuy) se ubica unos 5 a 10 metros debajo

del nivel de la línea de costa actual, la morfología permite inferir que el material arenoso es de naturaleza homogénea y no puede presentar variaciones geológicas significativas desde el punto de vista de su estructura ni en su composición mineralógica.

Una segunda zona se puede definir entre Punta Palmar y Punta de la Coronilla a lo largo de unos 16 kilómetros. En este sector se encuentran varias puntas rocosas (Granito de Santa Teresa) lo que determina una paleotopografía muy ondulada. Estas puntas ya existían en el momento de acumulación de los depósitos de arenas negras por lo que la paleocosta queda totalmente desdibujada. No es de prever que en esta porción de la faja costera se puedan desarrollar acumulaciones de arena de volumen significativo.

La tercera zona se desarrolla desde Punta de la Coronilla hasta la barra del A° Chuy y posee una longitud de unos 25 kilómetros. La característica morfológica más saliente es el desarrollo de una costa con barrancas importantes, que correspondían ya a la paleocosta anterior, talladas en la Formación Barra del Chuy. Esto hace que en esta zona tampoco se prevea la ocurrencia de yacimientos de arena negra. La conclusión de estos estudios obligó a tomar exclusivamente en cuenta en esta etapa de prefactibilidad, el área comprendida entre la barra del A° Valizas y Punta Palmar. De hecho, desde otros puntos de vista, el equipo técnico de ANCAP, llega a las mismas conclusiones centrándose en el estudio de la zona de Aguas Dulces.

GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

En el caso de Aguas Dulces los antecedentes señalan que el depósito arenoso se apoya en discordancia sobre un material arcilloso relativamente compacto, que de acuerdo a la geología del área se trata de la Formación Barra del Chuy. Las fotografías aéreas del área evidencian una paleocosta que limita el yacimiento hacia la zona continental, corroborado en los trabajos de campo; la arena movida por el viento hace que su ubicación sea imprecisa hacia el norte.

Los datos de campo muestran que se trata de un depósito de arena media con estratificación tangencial simple centimétrica, marcada por el contenido variable de minerales negros en cada estrato. El contenido en minerales densos es extremadamente variable tanto en la horizontal como en la vertical del yacimiento.

Geometría del Yacimiento. Se define como yacimiento la totalidad de la estructura geológica portadora de arenas negras que se desarrolla entre la barra del A° Valizas y la Punta Palmar. El límite continental es la paleocosta y el límite litoral respeta los 250m de defensa costera.

Desde el trabajo original del Ing. Qco. Meyer en 1964 se conocía que el espesor y los tenores de arenas negras eran variables. La geometría fue determinada por una malla de 200m x 100m. La posibilidad actual de usar ordenadores y programas de geoestadística, habilitó el tratamiento de muestra por muestra, promedios por áreas de diferente tamaño y definiciones de zonas con contenidos variables de minerales densos a diferentes cortes según tenores mínimos.

Aplicando criterios de zonificación con cortes cada 2000 toneladas por hectárea se obtienen los valores de la Figura Nº 2, descartando las zonas con menos de 2000 ton/ha. De estos datos se concluye que el yacimiento tiene un comportamiento intrínseco heterogéneo, lo que obligará en etapas futuras a un tratamiento diferencial adecuado a cada panel.

En la casi totalidad de los cortes geológicos elaborados por ANCAP a partir de datos de tenor de densos en muestras de 1,5 m de longitud se ha encontrado una disminución del tenor de minerales densos hacia la base del perfil (Figura Nº 3). En los mismos también se observa la marcada tendencia a aumentar su concentración hacia la zona continental, lo que ya se vio reflejado en la distribución de las ton/ha. La correlación entre espesor explotable y ton/ha usando más de 500 datos es fuertemente positiva con un coeficiente de 89 %.

Génesis del yacimiento. Para que se produzca un depósito de las características del considerado es necesaria la existencia de rocas ígneas básicas en el continente, porque en ellas se encuentra la ilmenita en

concentraciones importantes (Complejo Cerro Olivo de Masquelin, 2001).

Las mejores condiciones de acumulación se generan cuando el área es sometida a la alternancia climática con períodos que

favorezcan una intensa meteorización (cálidos y húmedos) y períodos en donde predomine la erosión. En los períodos cálidos hay intensa descomposición de silicatos y la ilmenita es relativamente más resistente. En los períodos áridos la vegetación es escasa, las lluvias son torrenciales y concentradas y eso genera una activa erosión e intenso arrastre hacia los cursos de agua y por ellos hasta el océano. Esa alternancia de las condiciones climáticas se ha dado con mucha frecuencia en la evolución geológica del Uruguay y especialmente durante el Terciario y Cuaternario (últimos 65 Ma), asociado a glaciaciones e interglaciaciones. Según Garnay & Stanaway (1994) los depósitos detríticos de ilmenita, productos de estos procesos, se pueden dividir en tres grupos: placeros, sedimentos de costa y de mar adentro.

Los *placeros* de ilmenita se pueden formar en todos los ambientes de sedimentación clástica. Los autores reconocen placeros de trampa y en capas, siendo estos últimos los únicos de interés económico.

Los *depósitos de costa* se acumulan en playas. Las estructuras son laminares o tabulares subhorizontales. La acumulación en tamaños

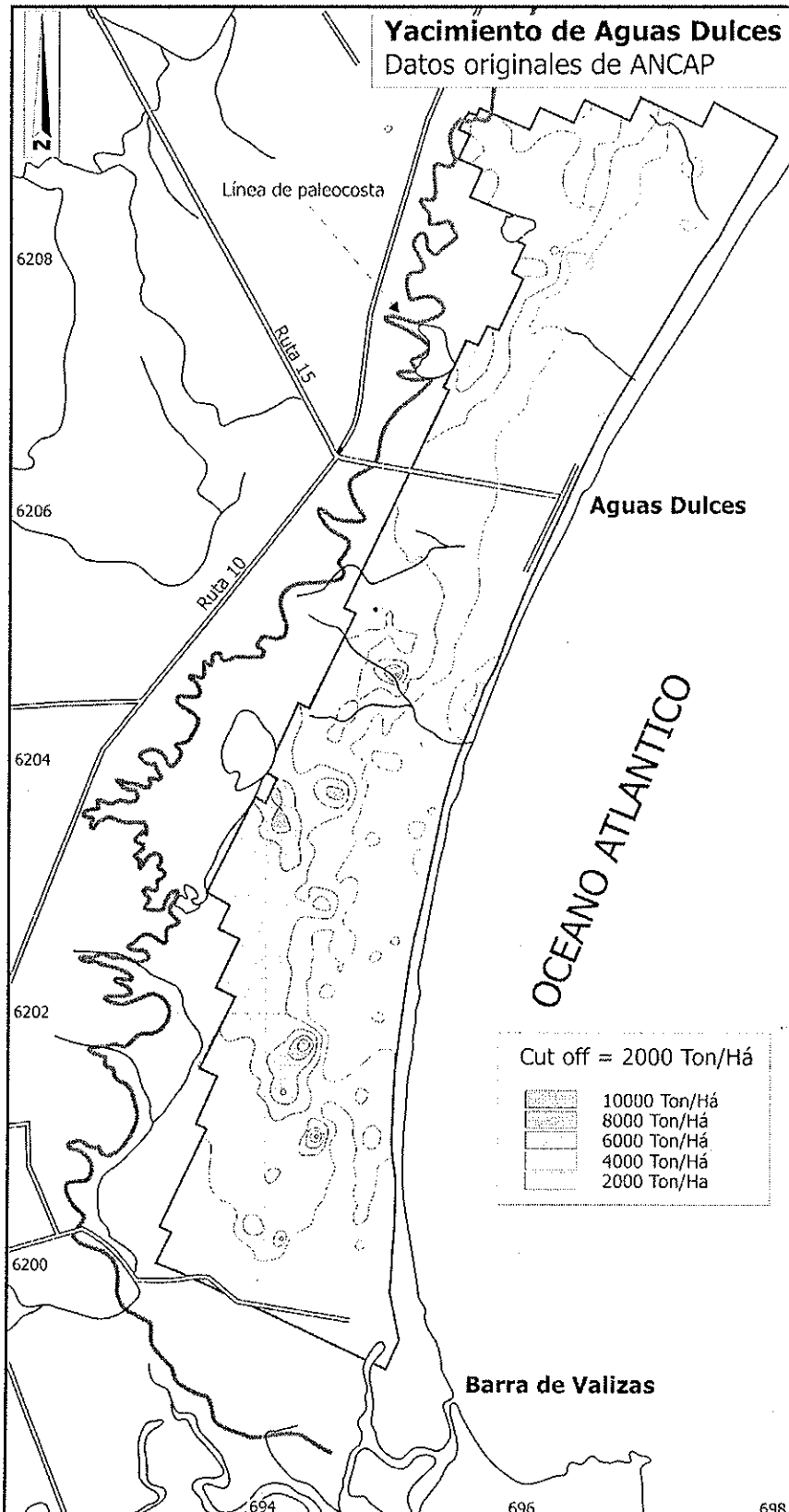


Figura N° 2.- Zonificación con corte cada 2000 to/ha
Figure N° 2.- Zoning with cut off = 2000 ton/ha

por la acción de las olas durante las tormentas, removiendo materiales de 80 a 120m de profundidad.

En el caso de Aguas Dulces el estudio fotogeológico permite demostrar que las arenas con minerales densos se acumularon por ingresiones marinas cuyas olas generaron una antigua costa barrancosa. Las litologías de la Formación Barra del Chuy fueron las afectadas generando desniveles de hasta 20m. La acumulación de los

Argentina esa ingresión ocurrió hace 130.000 años.

RESERVAS

A partir de las consideraciones realizadas sobre la naturaleza geológica del depósito y disponiendo de los documentos cartográficos y analíticos de Meyer (1964) y Mujica & Marotta (1968) se realizaron diversos tratamientos geoestadísticos. Esto permitió definir el grado de homogeneidad

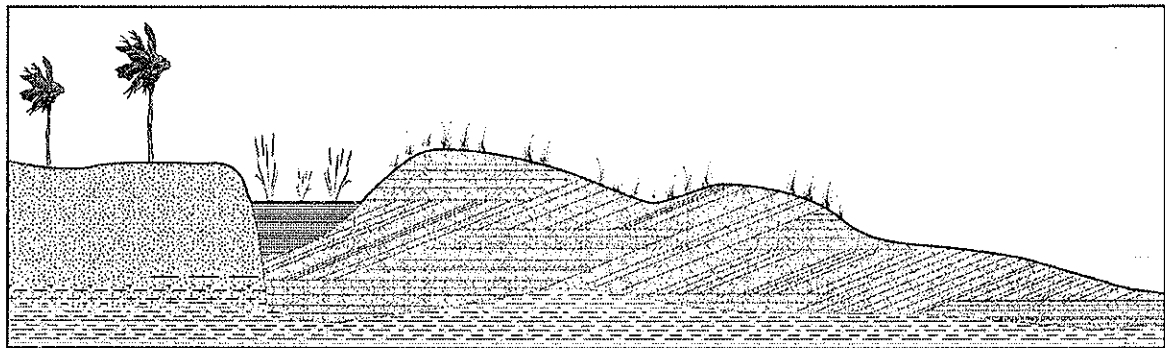


Figura N° 4.- Interpretación de la estructura geológica de la Formación Barra del Chuy y del yacimiento de Aguas Dulces.

Figure N° 4.- Sketch of the geologic structure of Barra del Chuy Fm. and Aguas Dulces black-sand beds.

sedimentos considerados tuvo lugar en un antiguo máximo relativo del nivel del mar. Esto queda demostrado porque en todos los perfiles se observa secuencias de tenores de arenas negras decrecientes hacia la base de cada ciclo. A su vez los tenores más importantes tienden a registrarse en las partes más elevadas de cada perfil (Figura N° 3).

El proceso de depositación de estas arenas resulta ser equivalente al propuesto por Almagro (2001) para la Formación Barra del Chuy en la zona entre las localidades de Chuy y La Coronilla (Figura N°4); además la geometría del yacimiento responde perfectamente al modelo propuesto por Villowock & Tomazelli (1995, 1998) para la evolución de la costa atlántica de Río Grande del Sur durante el Cuaternario.

La edad de esta acumulación no ha podido establecerse aún con certeza por la falta de restos fósiles. Parece ser Pleistocénica por haber alcanzado la cota +10 respecto al nivel actual en la zona del yacimiento, ya que, según datos de Gonzalez (1995), en

del yacimiento, las reservas disponibles según distintos tenores medios y mínimos a explotar, y definir las áreas más adecuadas para orientar una futura explotación.

En la Figura N° 5 se señala la ubicación de las áreas con reservas probadas, probables y posibles desde el A° Valizas hasta Punta Palmar. Para la caracterización de los distintos tipos de reservas, se han tomado las definiciones elaboradas por el U.S. Bureau of Mines y el U. S. Geological Survey (1974) de uso corriente a nivel internacional.

Se entiende por **reservas probadas** aquellas para las cuales el tonelaje es calculado a partir de dimensiones relevadas por afloramientos, trincheras, labores mineras o sondeos, y el tenor a partir de resultados de un muestreo detallado. Los lugares de estudio, muestreo y medida están próximos entre sí y el carácter geológico está tan bien definido que el tamaño, la forma y el tenor han sido bien establecidos con un error que debe ser inferior a $\pm 20 \%$.

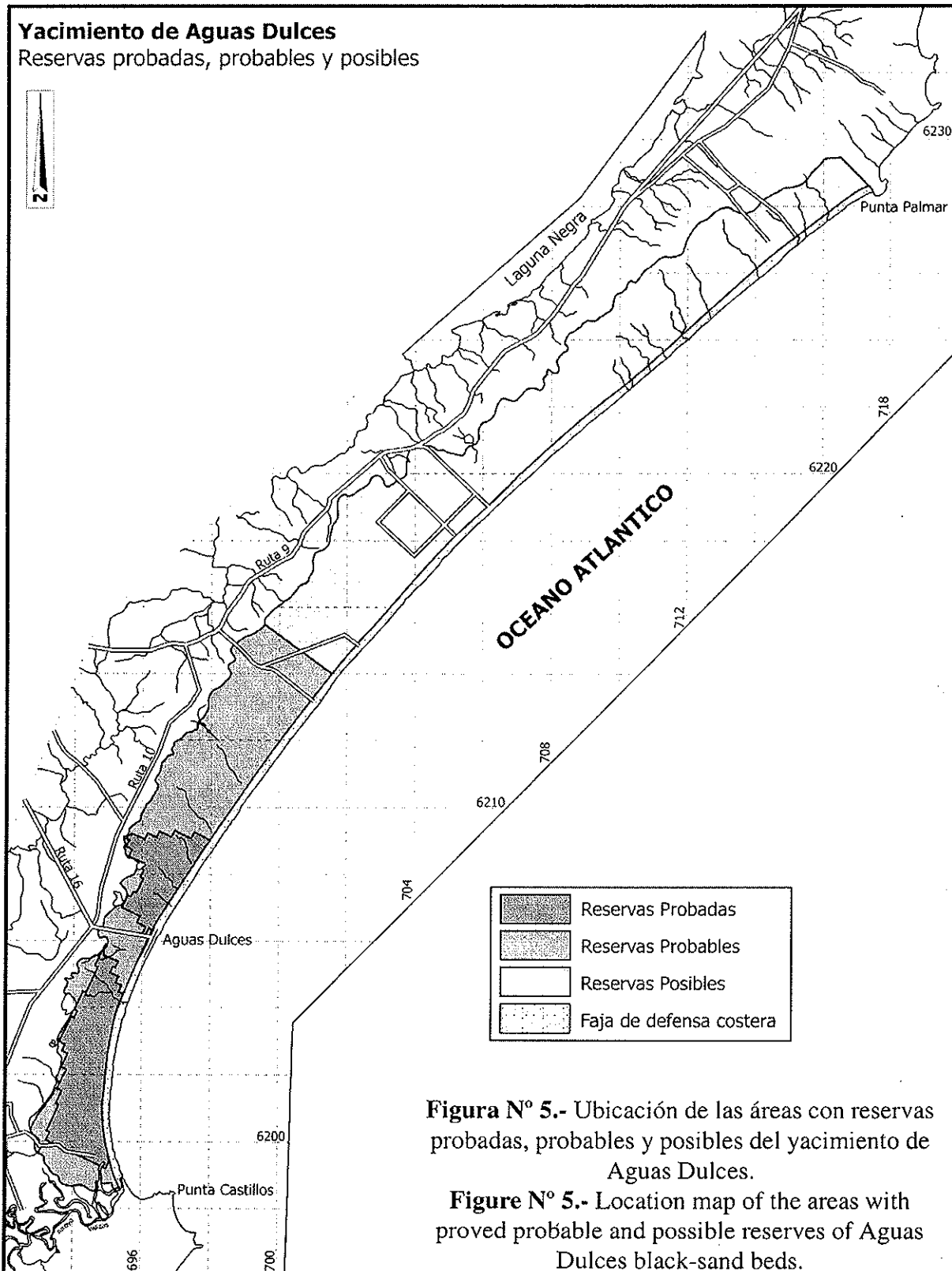
Las **reservas probables** son aquellas para

las cuales el tonelaje y el tenor son calculados parcialmente a partir de medidas específicas, muestras o datos de producción y parcialmente por medio de la proyección a una razonable distancia sobre la base de criterios geológicos. Los lugares para observación, muestreo y medida están suficientemente separados por lo que no

permiten la delimitación exacta del cuerpo mineralizado.

Las **reservas demostradas** se definen como la sumatoria de las reservas probadas y las probables.

Se definen como **reservas posibles** aquellas



cuyas estimaciones cuantitativas se basan en un conocimiento geológico preliminar con pocas medidas y observaciones.

Para la definición de las **reservas probadas** se utilizaron los datos extraídos de dos tipos de documentos: una carta a escala 1/4000 con la ubicación de cada uno de los sondeos y el espesor de arena con más de 1% de densos; 38 perfiles a escala horizontal 1/4000 y escala vertical 1/100 donde se trazaron las capas de igual tenor. Para el presente informe se trataron 2362 muestras en sus respectivos sondeos (555) agrupados cada 1% de arenas negras, los que arrojan los siguientes valores de interés:

Área cubierta:	1405 ha
Toneladas por há:	3.460
Potencia media a explotar:	10.7m
Reservas probadas:	3.600.000 ton
Tenor promedio:	2.0 % en peso
Arena bruta:	250:000.000 ton

Calculando diferentes alternativas de tenor de corte y profundidades se llega a reservas de 3.5 ± 0.1 millones de toneladas y rendimientos de 3500 ± 100 ton/ha.

Dado que las diferencias entre el resultado de explotar según los distintos tenores de corte no son significativas, en el análisis que sigue se asumirá explotar hasta niveles con 0.5 % de densos.

Las **reservas probables** calculadas para este yacimiento incluyen la estimación de tres zonas, donde los valores anteriores se pueden extrapolar con bajo riesgo de error. La sumatoria de los valores obtenidos para las tres áreas, permite definir para el yacimiento de Aguas Dulces un volumen de 5.5 millones de toneladas.

Los estudios geológicos regionales permitieron verificar que las características sedimentológicas de las arenas con minerales negros que se extienden hasta Punta Palmar son similares a las que se

acumularon los minerales densos de la zona de Aguas Dulces. Por este motivo se incluyen esas arenas como reservas posibles. Tomando en cuenta los criterios con que se calcularon las reservas probadas (10.7m de espesor y 2% de densos), se ha estimado que las **reservas posibles** son del orden de 15 millones de toneladas.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD

Uno de los principales objetivos del estudio de un recurso mineral es conocer si puede ser explotado con adecuada rentabilidad. Para inversiones considerables, debe procederse en forma progresiva y tener en cuenta aspectos técnicos, comerciales, financieros y económicos. Esto se consigue haciendo estudios en etapas sucesivas. Corrientemente se realizan tres etapas bastante bien definidas en sus métodos y objetivos (Bossi & Navarro 2001), de las cuales en este trabajo se han realizado las 2 primeras: a) estudio documental; b) estudio preliminar de factibilidad (prefactibilidad); c) estudio de factibilidad técnica y económica

En el **estudio documental** deben obtenerse informaciones y datos básicos que definan en grandes líneas la conveniencia o no de programar determinada actividad minera.

El **estudio de prefactibilidad** debe llegar a establecer montos aproximados de inversión, calidad del producto a obtener, volumen de reservas de cada categoría (probadas, probables y posibles) y condiciones generales de rentabilidad. En esta etapa el énfasis es geológico y se trata de definir las características necesarias como para realizar una estimación preliminar de rentabilidad de explotación del yacimiento.

En este informe se ha definido que el proyecto abarque solamente la extracción y concentración de cada uno de los minerales densos que es capaz de producir el yacimiento en las condiciones requeridas por el mercado, sin encarar la industrialización de ninguno de ellos.

Mercado de los minerales. Los minerales titaníferos, ilmenita, leucoxeno y rutilo, son materias primas para la manufactura de pigmentos usados en pinturas, plásticos y papel (93% de la demanda). La producción mundial de pigmentos de óxidos de titanio en 1999 fue evaluada en 3.76 millones de toneladas, con un incremento anual del 3 %.

La previsión a largo plazo para los mercados de materias primas titaníferas está caracterizada por un creciente déficit en la oferta, la cual puede ser solamente satisfecha por el desarrollo de nuevas explotaciones (Tabla II).

Las fuentes de información del U. S. Geological Survey (2001) para ilmenita con 54 % de TiO_2 , indican un precio FOB entre un mínimo de 77 y un máximo de 105 U\$\$/ton para el último año. A diferencia de la mayoría de otros productos minerales, el precio de las materias primas titaníferas ha mantenido su valor real desde la década del 70.

Los otros minerales asociados a la ilmenita tienen precios mucho más elevados por tonelada pero aparecen en porcentajes tan bajos que conviene analizar la ilmenita como principal producto a obtener. A modo de ejemplo el rutilo vale U\$\$ 500 por tonelada, monacita U\$\$ 1000 y el circón U\$\$ 300.

La evolución de los precios de todos los minerales analizados a partir de 1970, más la opinión de reconocidos analistas de los mercados de minerales permitiría concluir que el avance tecnológico actual conlleva un permanente incremento en el consumo de todos los minerales que produciría la explotación del yacimiento de Aguas Dulces. Ese aumento de la demanda no puede ser cubierto por los yacimientos actualmente en explotación, y como no se vislumbra en un futuro mediano (año 2010) cambios que reviertan esta situación, se puede predecir un sostenido incremento de la demanda y de los precios.

Valor económico. Tomando datos económicos preliminares de Carr (1994), de un informe vía Internet destinado a futuros inversionistas para un yacimiento con características similares al nuestro y agregando información disponible del U. S. Geological Survey se estimaron los valores económicos encerrados en el yacimiento. Estas cifras se expresan en la Tabla III a partir de valores de reservas demostradas.

Hipótesis de explotación. La tecnología de la explotación de yacimientos de este tipo no es reservada ni patentada, estando los equipos necesarios para la misma, disponibles en el mercado internacional. Se ha tomado una producción de 6 millones de toneladas de arena bruta anuales como base

País (Reservas)	Producción Anual				
	1996	1997	1998	1999	2000
Australia (81.000)	2,028	2,233	2,379	1,99	2,156
Noruega (40.000)	747	750	590	600	610
Ucrania (5.900)	500	500	507	537	577
India (30.000)	330	332	378	378	380
Malasia	245	168	125	128	110
China (30.000)	165	170	175	180	185
Egipto	124	125	125	130	125
Brasil (18.000)	98	97	103	96	96
Total	4,347	4,438	4,5	4,128	4,743

Tabla II.- Producción de ilmenita de los principales productores mundiales en 1996 y 2000 (sin EEUU), en miles de toneladas, según el US Geological Survey (2001).

Table II.- World main production of Ilmenite between 1996 - 2000 (excludes U.S.A. production) expressed in thousand metric tons. US Geological Survey, (2001)

de cálculo. La extracción se realizará con una balsa que contenga la bomba chupadora y los equipos de concentración primaria del conjunto de minerales densos. Como la napa freática se encuentra a 2 metros de la superficie esta técnica exige poco costo adicional de remoción de arena.

Desde esa plataforma operativa, mediante cintas transportadoras móviles se acumularán en tierra firme los concentrados de densos para ser transportados a la planta de separación de cada mineral y el

CONCLUSIONES

Para este análisis se estableció como criterio rector, estudiar la prefactibilidad de la explotación del recurso hasta lograr la separación y concentración de cada uno de los minerales de interés.

A partir del estudio de todos los antecedentes producidos por ANCAP se decidió estudiar la zona de Aguas Dulces porque el análisis geológico y geomorfológico de la totalidad del área demostró que era el único tramo de costa

	ilmenita	rutilo	circón	monacita	Total
Reservas demostradas (10³ton)	5760	480	96	48	
Facturación (10⁶ U\$S)	400	170	30	50	650

Tabla III.- Volúmenes a explotar por cada mineral expresados en miles de toneladas.

Table III.- Volumes to be exploited for each mineral expressed in thousand metric tons.

almacenamiento a granel (o embolsado) de los mismos, a la espera de ser trasladados a puerto.

El volumen de producción de la planta considerada implica para las reservas probadas, una vida útil del yacimiento de aproximadamente 30 años y si se considera también las probables la vida útil sería de 80 años. Esto indica que es lógico especular en la instalación de una planta productora de mucho mayor porte que el modelo supuesto líneas arriba.

Inversiones y costos. La inexistencia en Uruguay de un mercado de equipamiento para una explotación como el que implica este yacimiento, hace que no se logre demasiada precisión en la estimación de los costos en esta etapa del proyecto. Se ha recogido abundante información de propaganda de distintos fabricantes de equipos vía Internet, con lo cual se estimó que para una planta capaz de procesar 6 millones de toneladas anuales de arena total, la inversión es del orden de los U\$S 13 millones. Los principales costos operativos previstos serán energía eléctrica, mano de obra, mantenimiento y deforestación.

con acumulación importante de arena.

La génesis del yacimiento se considera que estuvo determinada por los depósitos litorales del Océano Atlántico, en un momento indeterminado entre 130.000 y 5.000 años atrás. Los distintos pulsos de ingresión y regresión del nivel del mar provocaron la concentración de los minerales densos en los depósitos costeros. A su vez la acción del viento sobre la superficie de los mismos provocó la eliminación de parte de la fracción liviana, aumentando la concentración de los minerales de interés.

Se definió así la existencia de un yacimiento de alrededor de 35 km de longitud, y para caracterizarlo se tomaron los datos de campo de ANCAP concentrados en un predio de 1.000 has. En este predio se encontraron correlaciones suficientemente consistentes como para extrapolarlos, con criterios geológicos, a las demás zonas del yacimiento.

El enfoque geológico de los datos y la fotointerpretación de las imágenes del área, permitieron redefinir los principales parámetros del yacimiento. Este queda entonces limitado entre una paleocosta,

interpretada como una paleobarranca y la costa del Océano Atlántico.

Como resultado se obtuvieron cifras de reservas sensiblemente mayores a los cálculos anteriores:

Probadas: 3:600.000
Probables: 5:500.000
Posibles: 15:000.000

En la determinación de esos volúmenes no se ha tenido en consideración la parte del depósito arenoso que se encuentra comprendido dentro de la faja de 250 m de defensa costera establecida por la legislación vigente.

El yacimiento produciría ilmenita (60%), circón (5%), rutilo (1%) y monacita (0.5%), que de acuerdo a las últimas informaciones obtenidas sobre el mercado internacional de los citados minerales se concluye que existe un déficit de oferta más o menos marcado de todos ellos hasta el año 2010. Esto explica que desde hace varios años los precios estén en alza y sugiere una tendencia similar para el futuro mediano.

Con los precios FOB mínimos del año 2000, se alcanza un valor del yacimiento de U\$S 650 millones considerando las reservas demostradas (probadas más probables). A los efectos del cálculo de la inversión necesaria para la explotación se consideró la instalación de una planta capaz de procesar 6 millones de toneladas de arena bruta anuales y el equipamiento de cantera necesario para alimentarla, lo que arroja una cifra estimada en alrededor de 13 millones de dólares USA.

Esta instalación industrial consta básicamente de dos unidades, una flotante y otra en tierra. La unidad flotante irá removiendo la arena, produciendo la concentración primaria de todos los minerales densos y con el rechazo ir rellenando el lago que queda a sus espaldas. La otra unidad ubicada en tierra contiene todos los elementos para realizar la separación de cada uno de los minerales del concentrado primario según las especificaciones del mercado.

La explotación de este yacimiento tal cual está proyectada, se entiende que no afectará el medio ambiente de la zona, ya que la extracción alcanza solamente al 2% de la arena y permitirá además la reconstrucción permanente de las áreas ya explotadas a condiciones similares o mejores a las que se encuentra actualmente. Se ha logrado definir la existencia de un yacimiento con un volumen de reservas probadas de 3,6 millones de toneladas, que explotado por una planta con una inversión necesaria del orden de los U\$S 13 millones, facturaría más de U\$S 7 millones por año durante más de 20 años, parece ser más que suficiente para justificar la necesidad de realizar los correspondientes estudios de factibilidad técnica y económica del yacimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALMAGRO, L., 2001. "Funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos superiores de la Formación Chuy" (Región sudeste del Uruguay). *Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.*
- ANTON, D. & GOSO, H., 1974. "Estado actual de los conocimientos sobre el Cuaternario en el Uruguay". *Anais do XXVIII Congresso. Sociedade Brasileira de Geología.* 3: 151-158. Porto Alegre. Brasil.
- BOSSI, J.; FERNANDEZ, A. & ELIZALDE, G., 1965. "Predevoniano en el Uruguay". *Boletín Facultad de Agronomía N° 78.* Montevideo. Uruguay.
- BOSSI, J. & FERRANDO, L. A., 2001. "Carta Geológica del Uruguay. Escala 1/500.000." Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay
- BOSSI, J. & NAVARRO, R., 1988. "Geología del Uruguay". 2 tomos. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República. Montevideo. Uruguay
- BOSSI, J. & NAVARRO, R., 2001. "Recursos minerales del Uruguay". *XI Congreso Latinoamericano de Geología III Congreso Uruguayo de Geología.* CD. Montevideo. Uruguay.
- BOSSI, J.; FERRANDO, L. A.; MONTAÑA, J.; MORALES, H.; CAMPAL, N.; GANCIO, F.; PIÑEIRO, D.; SCHIPILOV, A.

- & SPRECHMANN, P., 1998. "*Carta Geológica del Uruguay, escala 1/500.000*". Geoeditores. Montevideo. Uruguay.
- CARR, D., 1994. *Industrial Minerals and Rocks*, 6th Edition. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton. Colorado. USA.
- ELIZALDE, G., 1976. "*Conservación y mejora de playas*". Informe Ministerio de Transporte y Obras Públicas – UNESCO URU-73.007. Ed. UNESCO. Montevideo. Uruguay.
- GARNAY, T. E. & STANAWAY, K- J., 1994. "*Titanium Minerals*". In CARR, D. D. (1994) *Industrial Minerals and Rocks*. :1071 – 1089. Society for Mining, Metallurgy and Exploration. Littleton, Colorado. USA.
- GONZALEZ, M. 1995. *Comportamiento de la línea de costa en el Pleistoceno tardío y Holoceno de Argentina*. Conferencia dictada en la Facultad de Química de Montevideo. Cátedra de Radioquímica. Montevideo. Uruguay.
- GOSO, H., 1965. "*El Cenozoico en el Uruguay*". Instituto Geológico del Uruguay. Distribuido mimeografiado. En BOSSI, J. (1966) *Geología del Uruguay*. Departamento de Publicaciones Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.
- MASQUELIN, H.; SILVA, A.; PORCHER, C.; FERNANDES, L. & MORALES, E. 2001. Geología y geotermobarometría de la Suite Metamórfica Chafalote, basamento prebrasiliano, sureste del Uruguay. *XI Congreso Latinoamericano de Geología III Congreso Uruguayo de Geología*. CD. Montevideo. Uruguay.
- MONTAÑA, J. & BOSSI, J., 1995. *Geomorfología de los humedales de la cuenca de la Laguna Merín en el departamento de Rocha*. Edit. Probidés.
- MUJICA & MAROTTA, 1968. "Arenas negras del Uruguay. Estudio de un esquema de separación y concentración de los minerales pesados de las arenas negras de la playa de Aguas Dulces". ANCAP. Montevideo. Uruguay.
- PRECIOZZI, F.; SPOTURNO, J.; HEINZEN, W. & ROSSI, P., 1985. "*Carta Geológica del Uruguay a escala 1/500.000*". Ed. DINAMIGE.- Montevideo. Uruguay.
- PROST, M.T. 1982. "*Heritages quaternaires et évolution géomorphologique des bords du Río de la Plata en Uruguay*". 1-3 :1-577. Theis de Doctorado. Universidad de París VII. París. Francia.
- SHEPHERD, M. S., 1990. "*Eneabba Heavy Mineral Sand Placers Western Australia. Geology of the Mineral deposits of Australia and Papua New Guinea*". :1591 – 1594. F. E. HUGHES Ed. Australian Institute of Mining and Metallurgy. Parkville, Victoria, Australia.
- SPRECHMANN, P. 1978. "The paleoecology and paleogeography of the Uruguayan coastal area during the Neogene and Quaternary". *Zitteliana* 4: 3-72. München. Alemania.
- UNITES STATES GEOLOGICAL SURVAY, 2001. *Mineral Yearbook – 2000*.
- VILLWOCK, J & TOMAZELLI, L., 1995. "*Geología costeira do Rio Grande do Sul*". Universidad Federal de Río Grande del Sur Instituto de Geociencias Nota técnica Nº 8. Porto Alegre. Brasil.
- VILLWOCK, J & TOMAZELLI, L., 1998. "*Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*". Centro Austral de Investigaciones Científicas y Universidad Nacional de la Patagonia, Tierra del Fuego. Ed. A.A. Balkema. Rotterdam. Holanda.