



EVALUACIÓN DE LAS RESERVAS DE ARENA EN CIUDAD DEL PLATA

Judith Loureiro Olivet^{1,2}, Leda Sánchez Bettucci¹

OPEN ACCESS

1 Observatorio Geofísico del Uruguay. Facultad de Ciencias, UDELAR
2 Dirección Nacional de Minería y Geología, Ministerio de Industria Energía y Minería.

Edited by:
DINAMIGE
Uruguay

Reviewed by:
Pablo Nuñez Demarco
Facultad de Ciencias
Uruguay

Corresponding author:
Judith Loureiro Olivet
judith.loureiro@miem.gub.uy

Received: jul 2021
Accepted: Aug 2021
Published: Dic 2021

Citation:
Loureiro Olivet & Sánchez Bettucci (2021) Evaluación de las reservas de arena en Ciudad del Plata. *Revista Investigaciones. Uruguay.* 4(2):1-23

Resumen

Se realizó un estudio de las arenas como recurso para su explotación como áridos en el departamento de San José, Uruguay. Las unidades geológicas en la zona de Ciudad del Plata, tanto aflorantes como en subsuelo corresponden a depósitos que van desde el Mioceno hasta sedimentos actuales. La Formación Chuy constituye la unidad más importante como fuente de arena como árido para la construcción. Se separaron dos capas potencialmente explotables para las que se calcularon sus cotas de tope y base, espesor y volumen. Lo mismo se hizo para la cobertura representada por la Formación Dolores y depósitos sub-actuales y actuales. El volumen de reservas total calculado es de 130 millones de m³ de arena (192 millones de toneladas).

Abstract

A study of the sands as a resource for its exploitation as aggregates was carried out in the department of San José, Uruguay. The geological units in the Ciudad del Plata area, both outcrops and subsoil, correspond to deposits ranging from the Miocene to actual sediments. The Chuy Formation constitutes the most important unit as a source of sand as aggregate used for construction. Two potentially exploitable layers were separated for which their top and bottom heights, thickness and volume were calculated. The same was done for the coverage represented by the Dolores Formation and sub actual and actual deposits. The total volume of reserves calculated is 130 million m³ of sand (192 million tons).

Palabras clave: Arenas, Ciudad del Plata, Formación Chuy, Cálculo de reservas

1. Introducción

En los alrededores de la zona urbanizada de Ciudad del Plata se desarrollan varias actividades económicas (producción hortícola, ganadera, minería de arena, entre otras). En el departamento de San José (suroeste de Uruguay) existen varios puntos de explotación de arena, la zona más importante, tanto a nivel departamental como nacional, en cuanto a volumen producido se ubica en las inmediaciones de Ciudad del Plata. Según Coronel et al. (1980, 1981) en el SE de San José se pueden separar tres áreas con características geológicas y prospectivas distintas. La primera está conformada fundamentalmente por campos de dunas, playas y barras litorales correspondientes tanto a la Formación Villa Soriano como a depósitos sub actuales, y comprende una faja de pocos kilómetros paralela a la costa del Río de la Plata. La segunda corresponde a paleo-barras arenosas fluviales de la Formación Villa Soriano y se localiza en la planicie inferior del Río Santa Lucía. Por último, la tercer área corresponde a depósitos de la transgresión Pleistocena de la Formación Chuy (Coronel et al., 1988) localizados en una faja groseramente paralela

al límite entre la planicie inferior del Río Santa Lucía y una terraza superior acotada entre 5 y 10 m. En esta área existe una alta concentración de labores mineras y su extensión hacia el S y SO está limitada espacialmente por el espesor de la cobertura (ver Figura 1). Este trabajo es la culminación del informe de Prospección de Arena en el departamento de San José (Loureiro Olivet, 2014).

En el departamento de San José, los depósitos mesozoicos están prácticamente ausentes en superficie predominando ampliamente los Terciarios que ocurren como ciclos transgresivo-regresivos. La Formación Camacho corresponde al último episodio de transgresión marino del Mioceno que precede a un proceso de continentalización a partir del Mio-Plioceno (Formación Raigón) con espesores que se acuan de sur a norte. Por otra parte, los sedimentos Cuaternarios también se relacionan a variaciones eustáticas con transgresiones y regresiones marinas asociadas a los períodos glaciales e interglaciales (Goso, 1972). Los depósitos marinos de las Fm Chuy y Villa Soriano ocurren cerca de la costa del Río de la Plata y la desembocadura de los principales cursos de agua mientras que los sedimentos continentales

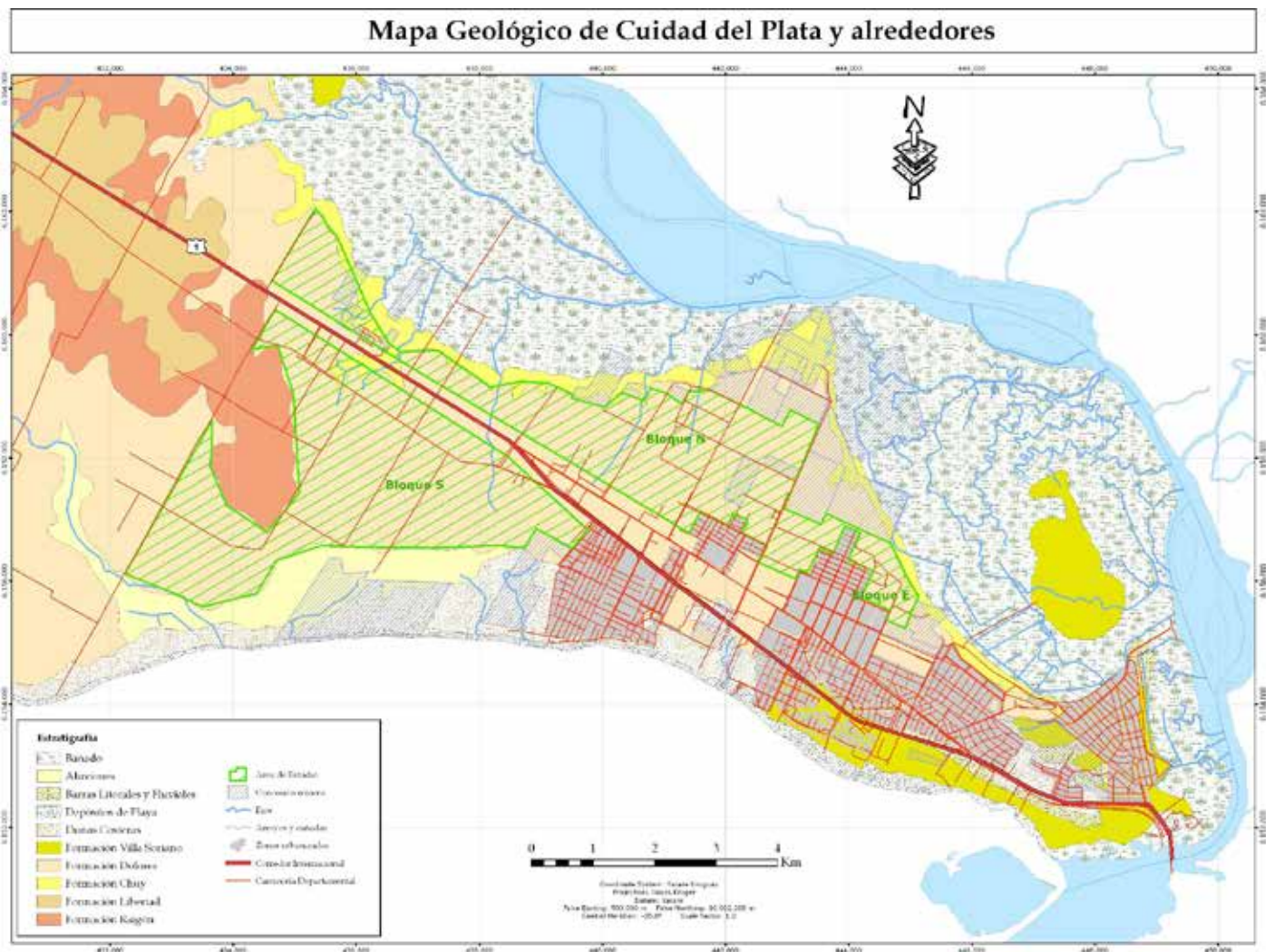


Figura 1. Ubicación del área de estudio sobre el mapa geológico de la zona de Ciudad del Plata (tomado de Loureiro Olivet, 2014)

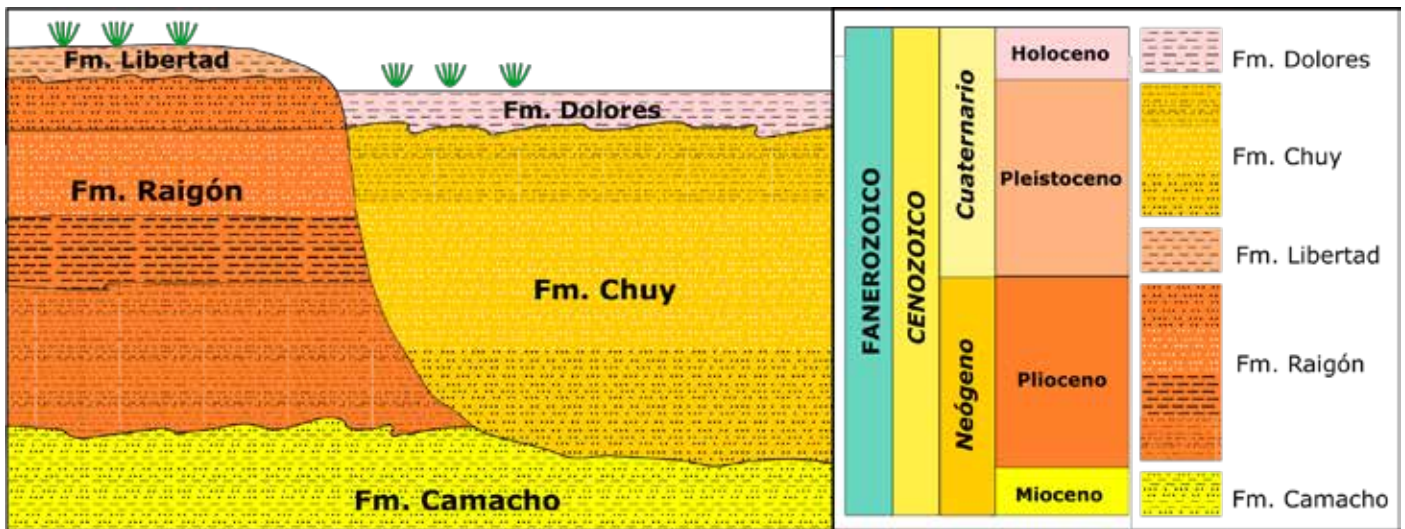


Figura 2. Perfil esquemático de las unidades estudiadas para la zona sur del Uruguay (modificado de Carballo et al., 1995)

de las Formaciones Libertad y Dolores se asocian a las áreas interfluviales, laderas y a los valles de los principales cursos de agua. Las unidades Cenozoicas en las que se centra este estudio y que serán analizadas corresponden a las formaciones Chuy y Dolores con particular enfoque en la Formación Chuy donde se encuentran los mantos tradicionalmente explotados.

En este trabajo el objetivo es establecer la presencia, potencia, y profundidad de las capas de arena de la Formación Chuy en las inmediaciones de Ciudad del Plata. Así también, determinar el espesor de la cobertura que corresponde a la Formación Dolores y a los suelos actuales; como así también la estimación de las reservas de arena económicamente explotables a los efectos de contribuir al conocimiento, y al ordenamiento territorial de esta porción del área Metropolitana. Las potencialidades mineras de una zona son elementos importantes tanto para el conocimiento científico como para la identificación de recursos que se deben tener en cuenta en la planificación del uso del territorio.

2. Geología

Las unidades que se encuentran en el área de estudio tanto en superficie como en subsuperficie son las Formaciones Camacho, Raigón, Libertad, Chuy, Dolores y Villa Soriano (ver Figuras 1 y 2).

2.1 Formación Camacho

Fue originalmente denominada “Areniscas de Camacho” por Caorsi y Goñi (1958). Goso (1965) redefinió a dicha unidad como Formación Camacho, con criterios litoestratigráficos, como una sucesión de areniscas de muy finas a gruesas, limolitas y pelitas arcillosas. Tiene alto contenido fosilífero entre los que se cuentan foraminíferos, ostrácodos, gasterópodos, bivalvos, braquiópodos,

equinodermos, crustáceos, briozoarios, tiburones, chuchos, delfines, ballenas, vertebrados continentales y abundantes icnofósiles (Perea y Martínez, 2004). Las condiciones de depositación de esta unidad se asocian a un ambiente marino a marino litoral relacionada a la transgresión Entrerriana del Mioceno Superior (Spoturno et al., 2004). La Formación Camacho aflora cerca de la costa en los departamentos de San José y Colonia y alcanza un espesor de 200 m en la plataforma, mientras que en el continente promedia los 15 a 20 m (Perea y Martínez, 2004). Esta formación se acuña hacia los valles de los ríos San José y Santa Lucía y su máxima potencia (30 a 35 metros) se observa hacia la costa del Río de la Plata (Carballo et al., 1995). Esta disposición geométrica coincide con la paleotopografía de la Formación Fray Bentos que funcionó como substrato de la sedimentación sobre la cual la Formación Camacho se depositó en discordancia (Spoturno et al., 2004, Perea y Martínez 2004). La Formación Raigón sobreyace, generalmente en concordancia, aunque en algunas localidades se observa una fuerte discordancia entre ellas (Tófaló et al., 2009). Por otra parte, las relaciones de contacto entre la Fm. Camacho y las unidades pleistocénicas suprayacentes (Formaciones Libertad y Dolores) son siempre discordantes (ver Figura 2). La edad de la Formación Camacho, Mioceno Tardío, está dada por su contenido fosilífero (Perea y Martínez, 2004). Scasso et al. (2001) realizaron estudios isotópicos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en conchillas de moluscos de la Formación Puerto Madryn, correlacionable con la Formación Camacho, los que arrojaron edades de 10.000 años.

2.2 Formación Raigón

Esta formación fue definida por Goso (1965) como un conjunto de areniscas con granulometría variable de coloración blanca amarillenta, con intercalación de lentes y niveles de arcillitas verdes y conglomerados. Estratigráficamente se ubica (ver Figura 2) entre las

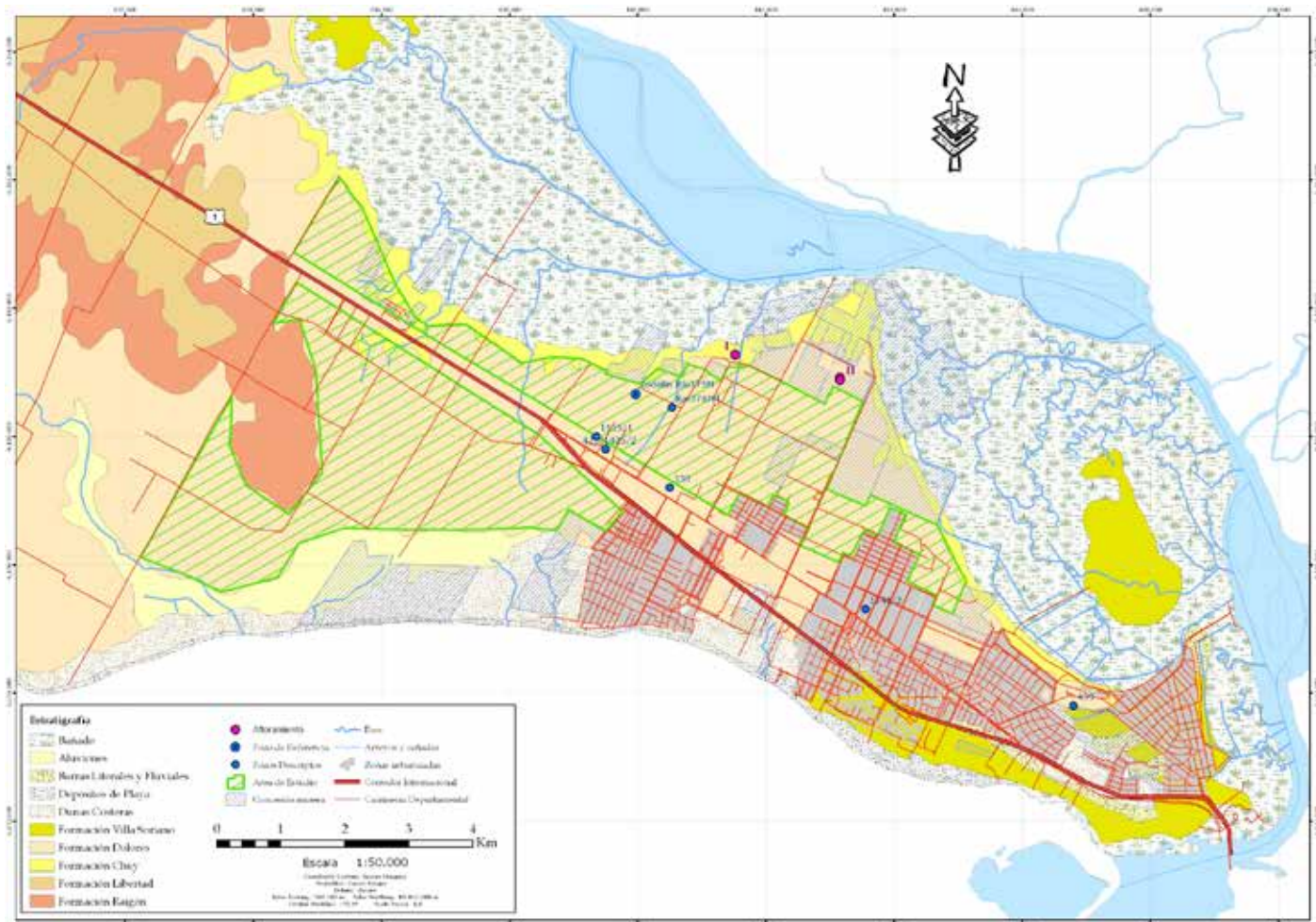


Figura 3. Distribución de los perfiles existentes: pozos de agua previos y perfiles de afloramiento (modificado de Loureiro Olivet, 2014)

Formaciones Camacho y Fray Bentos en la base y subyaciendo a la Formación Libertad (Spoturno et al., 2004). Está representada por depósitos de ambiente continental fluvial a litoral, de clima semiárido correspondientes a la regresión del Plioceno que siguió a la Transgresión Entrerriana (Preciozzi et al., 1985, Spoturno et al., 1993). Según el Mapa Geológico de San José de Mayo (Spoturno et al., 2004) esta unidad presenta un buen desarrollo tanto superficial como en profundidad. La zona de mayor expresión superficial se localiza al sur de San José de Mayo y corresponde a las barrancas de la costa del Río de la Plata (San Gregorio, Kiyú, Mauricio y Ordeix). Litológicamente se caracteriza por arcillitas y areniscas finas y muy finas arcillosas verdes, areniscas finas y medias feldespáticas y cuarzo-feldespáticas blancas, areniscas gruesas y muy gruesas feldespáticas y conglomerados clastosoportados. A medida que crece la granulometría aumenta la angulosidad, el porcentaje de feldespatos y el carácter polimíctico. Generalmente la proporción de matriz pelítica es escasa y es frecuente la presencia de carbonato de calcio tanto en estado pulverulento de color blanco como relleno pequeñas fracturas, o bien, como pequeñas concreciones aisladas y racimos en las litologías arcillosas. En las fracciones de areniscas y conglomerados el carbonato de calcio suele encontrarse como cemento, pudiendo originar estructuras tipo “crostas” (Spoturno

et al., 2004). En la región Sur, Spoturno et al. (2004) señalaron la alternancia niveles arenosos y gravillosos que pasan a niveles más finos hacia el tope, frecuentemente sin alcanzar la fracción arcilla. También reportan la presencia barras de arena (cuerpos arenosos tabulares), con sets grano decrecientes y estratificación cruzada plana y en artesa, así como la ocurrencia de estructuras de corte y relleno características del abandono de canales.

2.3. Formación Libertad

La Formación Libertad fue separada por Goso (1965) de lo que Caorsi y Goñi (1958) denominaban Loess de Arazatí y que Jones (1956) llamaba “Pampeano”. Genéticamente se asocia a depósitos continentales desarrollados durante episodios glaciales del cuaternario a los que Ubilla y Perea (1999) le asignan una edad Pleistocénica, en sentido amplio, en base a su contenido fosilífero. Esta unidad sobreyace en discordancia sobre unidades terciarias, cretácicas y proterozoicas (ver Figura 2). Litológicamente se compone de sedimentos masivos con importante presencia de bioturbación, marrones a pardo grisáceos, principalmente de granulometría fina (arcillitas, limo arcillitas y limos loésicos). La fracción arena es secundaria cuarzo-feldespática presentándose generalmente dispersa en la matriz fina, lo que le da a la



Figura 4. a) contacto discordante entre las Formaciones Dolores y Chuy, se observa estratificación cruzada en la Formación Chuy b) contacto entre el suelo y la Formación Chuy con estratificación plano paralela, c) contacto entre las Formaciones Dolores y Chuy, d) contacto entre las Formaciones Dolores y Chuy. La Formación Chuy en este caso presenta un aspecto masivo.

roca un carácter lodolítico. De acuerdo con los sondeos, indican que las litologías pelíticas se encuentran hacia el tope y porción media de la secuencia, mientras que las lodolitas predominan hacia la sección basal. La presencia de carbonato de calcio es muy frecuente a modo de cemento, concreciones, muñequitas y pequeñas “crostas” (Spoturno et al., 2004). En la porción SO del país, esta unidad está ampliamente distribuida. Particularmente en la zona sur del departamento de San José se dispone como cobertura de gran parte de las unidades subyacentes, ocupando las zonas de interfluvio y laderas medias, siendo, desde el punto de vista edáfico, la unidad que desarrolla la mayor parte de los suelos (Spoturno et al., 2004). Según estos autores la potencia varía desde un máximo de 30 metros a 3 metros manteniendo una relación directa con la topografía, siendo más potente en los interfluvios que en las laderas. Estudios magnetoestratigráficos se han realizado en las barrancas del Departamento de San José (Tófaló et al., 2009; Bertoni Machado et al., 2007; Sánchez Bettucci et al., 2007 y Sánchez et al., 2007). Posteriormente, Sánchez (2010) realizó un muestreo de la Formación Libertad en las localidades de Kiyú y Medina. Los seis

niveles muestreados de la Formación Libertad en las barrancas de Medina, mostraron una polaridad magnética normal mientras que siete niveles de la Formación Libertad de la barranca de Kiyú mostraron una polaridad magnética reversa. Este autor correlacionó el comienzo de la depositación de dicha unidad con una edad magnética correspondiente al cron magnético Matuyama (polaridad reversa), según los datos obtenidos en la barranca de Kiyú, mientras que en la barranca Medina muestran polaridad magnética normal, interpretándose como edad magnética Brunhes. Un cambio de polaridad no transicional entre la Formación Raigón y Libertad (de cron magnético entre Matuyama y Brunhes) podría estar indicando un hiato en la depositación. La edad magnética para la Formación Libertad sería inferior a 0.75 Ma para el comienzo de la depositación.

2.4 Formación Chuy

Las primeras descripciones correspondientes a los sedimentos que hoy conocemos como Formación Chuy fueron dadas a conocer por Delaney (1963, 1965,



Figura 5. Fotografía (punto II) de contacto gradual entre las Formaciones Dolores y Chuy.

1966, 1967), Goñi y Hoffstetter (1964), y Prost (1982). La Formación Chuy definida por Goso (1972) como representada por sedimentos arenosos, arcillo-arenosos finos a medios, presentando coloraciones blanco amarillento a rojizos. Estos sedimentos corresponden a una depositación marina en el Pleistoceno. Este autor definió tres eventos depositacionales denominados Chuy I, Chuy II y Chuy III, con intercalaciones de depósitos continentales denominados Libertad I y Libertad II. Esta formación presenta escasa expresión superficial, y comúnmente se localiza en el Departamento de San José, asociada a la franja costera del Río de La Plata, en el entorno de la desembocadura de los principales cursos de agua. Ésta, comúnmente aflora en las terrazas altas, debajo de la Formación Dolores (ver Figura 2), situándose por detrás de las barras del sistema costero moderno e inclusive es recubierta parcialmente por los médanos arenosos sub actuales y actuales (Spoturno et al., 2004). Las principales áreas aflorantes se reconocen en las barrancas de la zona N y NE de la localidad de Ciudad del Plata. Algunas de estas áreas son objeto de explotaciones de arena por lo que la zona de exposición es fácilmente reconocible. Otras áreas de la faja costera donde aflora la Fm. Chuy son las desembocaduras de los Arroyos del Tigre, Mauricio, Pereyra, Pavón y Cufre. Elizalde (1976) sugirió que esta formación se encuentra aflorando únicamente en la región costera producto de los distintos procesos tectónicos recientes. Según este autor esta unidad presenta desde pelitas hasta areniscas gruesas (granocrecientes), donde las areniscas son de grano fino a medio, raramente gruesas. Spoturno et al. (2004) describieron de base a techo: a) 4 y 10 m de arenas cuarzosas blanquecinas y amarillentas en sucesión granodecreciente, desde niveles gravillosos y gruesos en la base hasta arenas finas con matriz arcillosa de coloración gris verdosa al tope; b) 6 y 12 m de arcillitas y limo arcillitas de color gris verdoso con intercalaciones de arenas finas con matriz arcillosa de tonalidad gris verdosa

hacia la parte superior y c) 6 y 10 m de arenas finas cuarzosas en sucesión granocreciente que gradan hacia el techo a arenas medias y gruesas cuarzosas y cuarzo feldespáticas blanco amarillentas. Este segmento corresponde al nivel de arena que se explota para árido fino en el área de Ciudad del Plata. Techera et al. (2004) definen un perfil litológico “ideal” para las canteras de esta región considerando que la base del depósito está constituido por arcillas verdegrisáceas, plásticas y compactas que estarían suprayaciendo a un nivel de arenas gruesas y limpias. Luego ocurre un paquete arenoso explotable (Formación Chuy) constituido de base a techo por: a) arena muy fina con gran abundancia de limo y arcilla de tonalidad gris-verdosa, no apta para el uso como árido fino, con un potencia que puede alcanzar los 3 m; b) arenas finas a medias intercaladas con niveles gruesos y gravillosos, friables, de coloración blanquecina a amarilla clara, que puede llegar a espesores de 10 a 12 m. La abundancia de limo y arena muy fina es variable aunque se sugiere cierta tendencia a disminuir hacia la base. Este paquete arenoso es objeto de una explotación intensa; c) arena con alta proporción de limo y arena muy fina de hasta 1,5 m de espesor que fuera interpretado por Coronel et al. (1981) como un horizonte de transición entre las formaciones Chuy y Dolores; d) 0,5 a 3 m de lodolitas arenosas de tonalidad marrón clara a naranja correspondiente a la Formación Dolores y, finalmente e) 0,3 m aproximadamente de suelo orgánico.

2.5 Formación Dolores

Esta unidad fue definida por Goso (1965) como Libertad II y está constituida por lodolitas y areniscas arcillosas muy finas, de colores pardos y formalmente referida en Antón y Goso (1974). Se le asigna una sedimentación de origen continental eólico, coluvial y flujos de barro que se redepositan en las zonas topográficamente más bajas (Preciozzi et al., 1985) (ver Figura 2). Martínez y

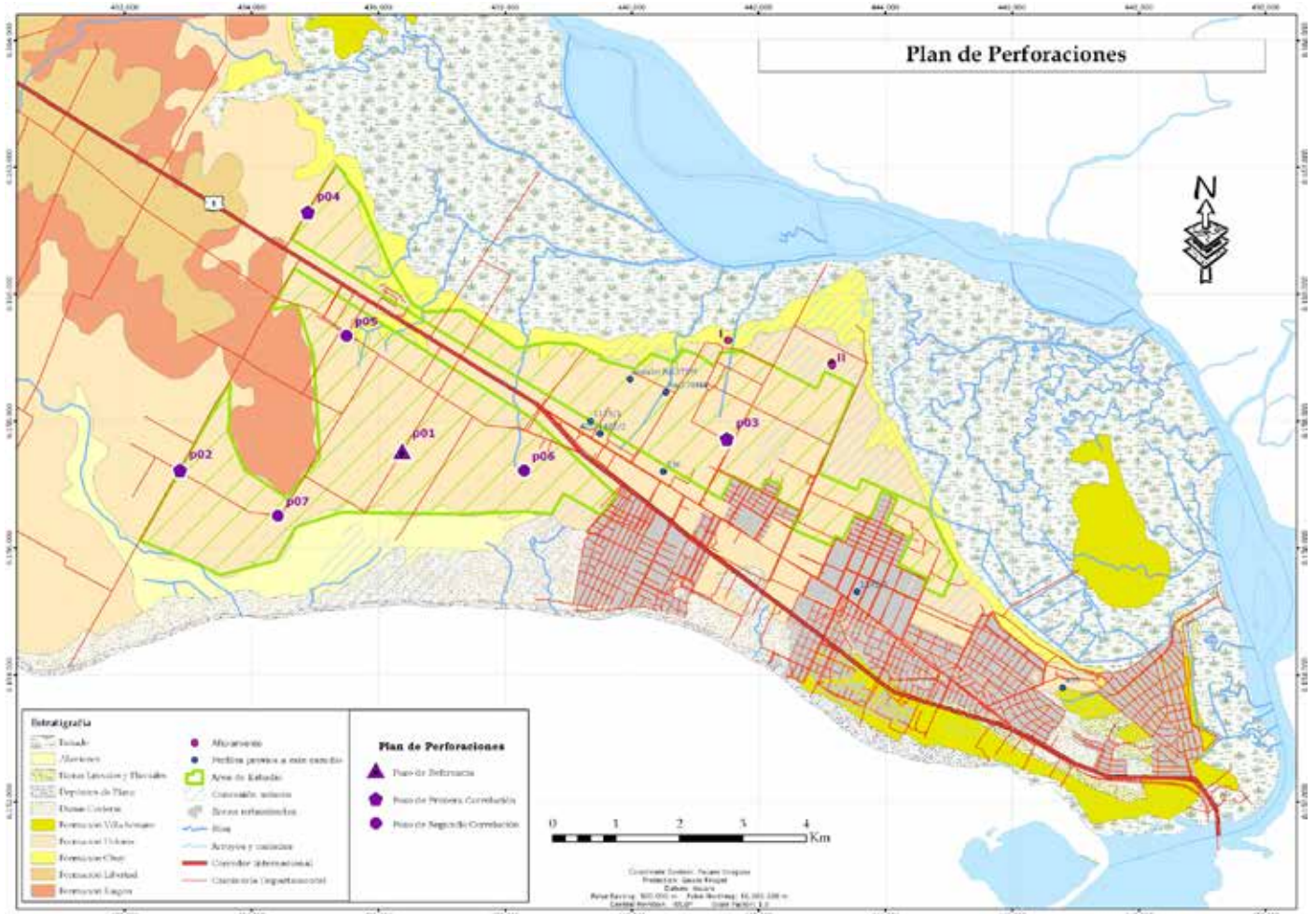


Figura 6. Plan de perforaciones modificado de Loureiro Olivet (2014).

Ubilla (2004) la describen como constituida por rocas arcillo limosas y limos arcillosos con arena y gravilla (fangolitas) de coloración parda y gris verdosa con una potencia que no supera los 10 metros. Litológicamente es similar a la Formación Libertad pero la Formación Dolores se caracteriza por una morfología plana, hecho que es utilizado para diferenciarlas aunque no corresponda a un criterio válido, y este constituye un criterio aceptado por parte de la comunidad geológica. Desde el punto de vista litológico presenta algunas diferencias tales como las coloraciones y sus relaciones estratigráficas. A esta unidad se le atribuye haberse depositado bajo condiciones climáticas frías vinculadas al último episodio glacial en el Pleistoceno Tardío (Goso, 1972; Martínez y Ubilla, 2004).

2.6 Formación Villa Soriano

Esta unidad fue originalmente definida como "Arcillas grises de Vizcaíno" por Caorsi y Goñi (1958), luego elevada al rango de formación por Goso y Bossi (1966) como Formación Vizcaíno. Esta se encuentra constituida por niveles de conchillas, salobres o marinas, con potencia variable y no consolidada. Esta unidad es renombrada como Formación Villa Soriano por Antón y Goso (1974) y se encuentra aflorando a lo largo del litoral oeste uruguayo, formando cordón paralelo a la actual línea de costa. Según

Preciozzi et al. (1985) la integran arcillitas, areniscas y conglomerados, mientras que Bossi y Ferrando (2001) describen a esta formación como representada por arenas gruesas a muy finas con algunos niveles pelíticos y lentes de cenizas volcánicas, previamente mencionadas por Serra (1944). Estudios radiométricos ¹⁴C en esta Formación arrojaron edades en el entorno de los 30000 - 35000 años antes del presente hasta los ca. 1500 a.AP (Martínez y Ubilla, 2004).

2.7 Depósitos actuales (dunas y médanos costeros)

Dentro de estos depósitos se incluyen depósitos continentales (eluviales, coluviales y aluviales) y litorales (bañado, de playa, dunas y médanos costeros). Los depósitos de playa se distribuyen a lo largo de la línea de costa compuestos por arenas finas hasta muy gruesas y gravillosas, blanco-amarillentas, cuarzo feldespáticas, de regular a buena selección, con clastos líticos dispersos. Los depósitos de Dunas también se localizan a lo largo de la franja costera, en general se apoyan sobre depósitos cuaternarios y localmente sobre basamento. Algunos depósitos se los suele encontrar edafizados. Las dunas y médanos costeros están formadas por arenas finas a muy finas, bien seleccionadas, de colores claros (blanquecinas).

Los depósitos de bañado se encuentran localizados en zonas de planicies bajas y se encuentran constituidos por arcillas y limos de colores gris oscuro. Así también suelen ocurrir niveles de turba (ver [Spoturno et al., 2004](#)).

3 Metodología

A partir del mapa geológico de San José de [Spoturno et al. \(2004\)](#), imágenes satelitales, ubicación de pozos de agua, descripciones de perforaciones, mapa de recursos minerales del departamento de San José de [Techera et al. \(2004\)](#), shapefiles topográficos y modelos digitales de terreno, se generó una geodatabase geográfica y una geodatabase geológica de la zona de estudio y se crearon shapefiles para la ubicación de pozos de agua y perforaciones utilizando ArcGIS. Se delimitó la zona de prospección de acuerdo a la geología, se confeccionó la malla de perforación y el plan de sondeo (ubicación, prioridad y orden de perforación). Se realizó trabajo de campo que incluyó la descripción de afloramientos y levantamiento de perfiles estratigráficos de la Formación Chuy y la revisión de los lugares de sondeo para comprobar su viabilidad. Posteriormente, se procedió a la realización de los sondeos con la perforadora de percusión Bucyrus por parte del equipo de perforadores de la Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE) del Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM). Como así también el muestreo y descripción sedimentológica a boca de pozo, clasificación de los sedimentos por granulometría y abundancia y el levantamiento del perfil estratigráfico para cada perforación.

La interpretación de perfiles consistió en el reconocimiento de unidades geológicas (Formaciones Dolores, Chuy y Camacho) y niveles guía, así como la identificación del manto (o mantos) de arena en cada sondeo y la correlación de perfiles estratigráficos. En cuanto a las reservas se establecieron los límites superior e inferior del manto (o mantos) de arena y se calculó su espesor para cada perforación. De la misma manera se procedió con los perfiles descritos en los antecedentes. Para el cálculo de volúmenes en SIG se procedió a la creación de un shapefile con la ubicación de todos los perfiles de la zona, donde para cada punto se introduce la profundidad de los límites superior e inferior y el espesor del manto (o mantos) de arena.

Por otra parte se proyectó el modelo digital de terreno (MDT) de RENARE de donde se obtienen las cotas de superficie de cada punto de perforación. A partir de las cotas de superficie y la profundidad de los límites se calculan las cotas de los límites superior e inferior del manto (o mantos) de arena.

Así también, se realizó su interpolación y extrapolación para la zona de estudio a partir de la generación de un modelo TIN (modelo vectorial de superficie en x, y, z) para cada límite de capa. Se utilizó este

tipo de modelo de superficie por ser el más conservador a los efectos de calcular los espesores de cada una de ellas. Cada modelo se transforma a formato raster y por medio de la sustracción de capas obtenemos los modelos raster de espesores para cada capa explotable y para la cobertura. Por medio de la herramienta cut and fill se realizó el cálculo del volumen de arena de cada capa explotable y de la cobertura en el área de estudio.

Resultados

Teniendo en cuenta el mapa geológico, la demarcación del área urbanizada y la localización de las concesiones mineras (ver catastro minero en http://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/DINAMIGE_mvc2/) se delimitó el área de estudio (ver [Figura 1](#)) que abarca la zona no urbanizada situada sobre la Formación Dolores. En el mapa geológico se ubicaron los pozos existentes (ver [Figura 3](#)) y los puntos en los que se levantaron perfiles tanto en barrancas como en canteras. En general podemos decir que se han identificado diversos tipos de materiales sedimentarios, tales como arenas, limos, arenas-limosas, limos-arenosos y arenas-gravosas, gravillas, entre otros. La fracción arena constituye el sedimento dominante en el área de estudio. Los afloramientos suelen ser escasos debido a la cubierta vegetal y urbanización.

En algunas areneras ([Figura 4](#)) y barrancas, localizadas en la porción norte de Ciudad del Plata, se ha podido ver el contacto entre las formaciones Chuy y Dolores. Se levantaron perfiles de no más de 4.5 - 6 metros. El perfil levantado correspondiente a la arenera I ([Figura 3](#), punto I), se puede observar de base a tope que ocurren arcillas gris verdosas consolidadas, seguidas de areniscas cuarzo feldespáticas, bastante arcóscicas gruesas con muy escasa matriz pelítica, clasto soportadas. Es común encontrar niveles de concreciones de Fe, donde cada concreción presenta aproximadamente 3-6 cm de diámetro, de color pardo rojizo, poco friable. Muy similar a las arenas superiores pero más oxidado y con escasa matriz. Este nivel es seguido por areniscas cuarzo feldespáticas, bastante arcóscicas gruesas con matriz pelítica, clastosoportadas de color pardo rojizo claro y corresponde al tope de la Fm. Chuy. Luego ocurre un nivel de pelitas arenosas de color marrón con esqueleto arenoso polimíctico, matriz-soporte con abundante materia orgánica. La cantidad de arena disminuye hacia el tope. Este nivel corresponde a la base de la Fm. Dolores.

Se describió una pequeña barranca ([Figura 3](#), punto II y [Figura 5](#)) donde aflora, de base a tope 75 cm de areniscas cuarzo feldespáticas (25% fd) gruesas, con matriz pelítica, clastosoportadas de Color pardo rojizo debido a fenómenos de oxidación. Este nivel corresponde al tope de la Fm. Chuy. Por encima se observa el contacto entre las formaciones Dolores y Chuy ([Figura 5](#)). Se trata de un contacto poco claro, aparentemente gradual: la cantidad

de arcilla disminuye y la arena aumenta en proporción y tamaño de grano. Probablemente la arcilla en los niveles inferiores provenga del lavado de los superiores por procesos actuales de meteorización y sub actuales. Este nivel es de ca. 35 cm. Por encima ocurre un paquete de aprox. 50 cm, con algunas variaciones laterales en el espesor, de pelitas arenosas de color marrón. El esqueleto es de arena (escasa). La matriz es de tipo soportada con abundante materia orgánica y presencia de rizolitos. La cantidad de arena aumenta hacia la base y disminuye la proporción de arcilla. Este nivel corresponde a la base de la Fm. Dolores.

En la base de la barranca corre una cañada que entalla sobre la Fm. Chuy. En su margen se observa un perfil de aproximadamente 1m de aluvión subactual. Este aluvión se compone de arenas gruesas sueltas provenientes del retrabajo de la Formación Chuy. A 50 cm y 60 cm del tope ocurren dos niveles de gravilla arenosa de unos 5 cm de espesor.

Las perforaciones realizadas tienen un radio de influencia similar y se encuentran separadas dos kilómetros entre ellas. Estas fueron marcadas principalmente sobre los caminos a los efectos de facilitar el acceso a la máquina perforadora. La ubicación de las perforaciones realizadas se muestra en la [Figura 6](#).

Fueron realizadas siete perforaciones y se describen a continuación los perfiles de cada uno. Los nombres de estos perfiles son Santos (p01), El Resero (p02), Automotora (p03), Pereira (p04), Tafernaberry (p05), A.Díaz (p06) y J. Díaz (p07). La profundidad media de las perforaciones es de ca. 19 m.

4.1 Perforación Santos (p01)

Este perfil ([Figura 7](#)) está constituido de techo a base por a) 0 m - 0,6 m de suelo orgánico de color negro; b) 0,6 m - 4,0 m aparece un limo arenoso de matriz arcillosa de color pardo rojizo (Fm. Dolores). El esqueleto (20 a 50%) es arenoso fino cuarzo algo feldespático con granos subredondeados y sub esféricos. La textura matriz-soporte, moderadamente seleccionada. Se observa un moteado rojizo de oxidación secundaria, dendritas de Mn y rizolitos. El contenido de materia orgánica desciende hacia la base del nivel. Se observa evidencia de bioturbación media a alta; c) de 4,0 m - 7,0 m aparecen arenas medias color rojizo ocre (por oxidación) que corresponde al tope de la Fm. Chuy. El esqueleto está constituido por arena media cuarzo feldespática subangulosa a subredondeada, levemente biotítica. Presenta algunos clastos de grava en la base. La matriz (20 % - 1%) es limo-arcillosa y se hace más escasa hacia la base. Presenta textura clasto-soporte y con moderada a alta selección; d) 7,0 m -7,8 m aparecen arenas finas cuarzosas a cuarzo-feldespáticas con trazas de biotita. La fracción mayor se encuentra en muy baja proporción (10%) y se compone de arena gruesa a grava (7 mm máx) polimíctica (Q50, F10, L40) donde los líticos son generalmente fragmentos de granitoides. Presenta

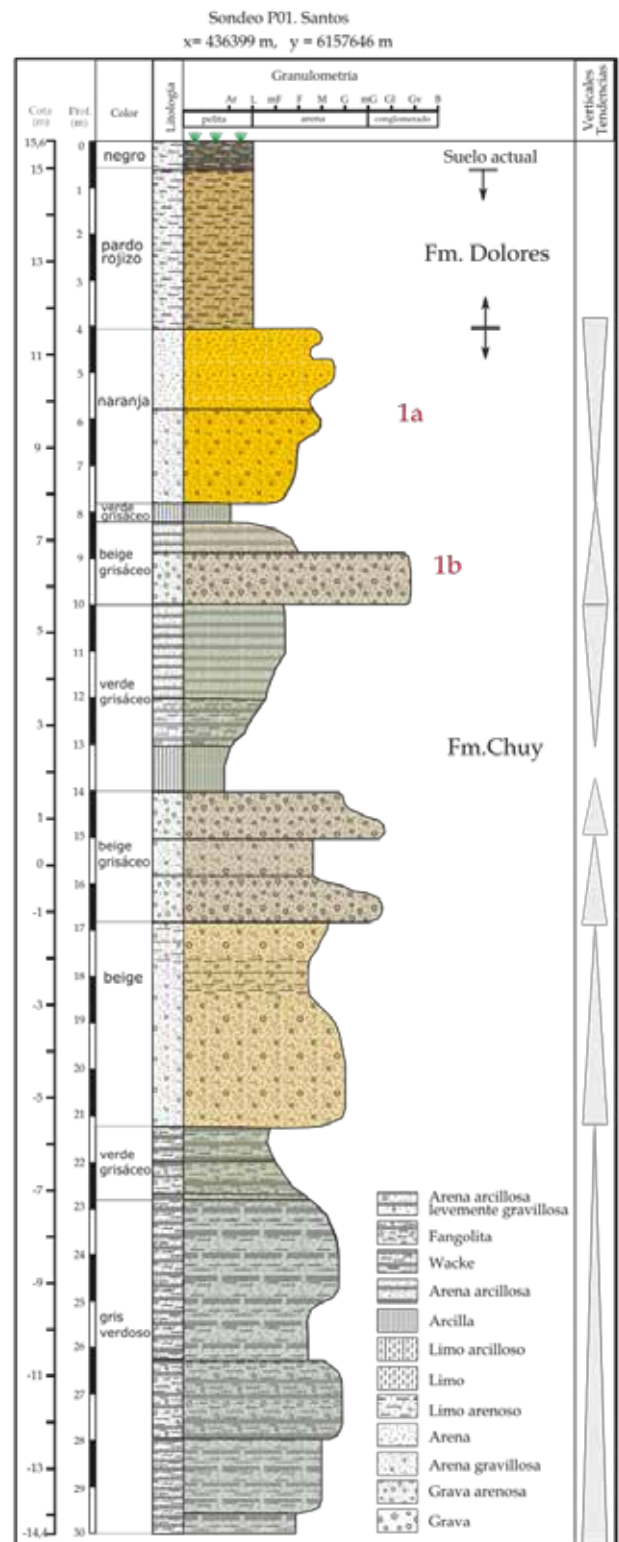


Figura 7. Perfil correspondiente a la perforación Santos (p01). Abreviaturas empleadas para granulometría: AMF: arena muy fina, AF: arena fina, AM: arena media, AG: arena gruesa, AMG: arena muy gruesa, GVL: gravill, G: grava, para composición: Q: cuarzo y cuarcitas, F: feldespatos y granitoide, L: lítico.

color beige-naranja pálido, alta selección y textura clasto-soporte. La matriz es limo arcillosa, muy escasa (1%). Hacia la base de este nivel se reduce la proporción de arena gruesa y grava pasando a una la arena fina muy bien seleccionada; e) 7,8 m - 8,8 m Arcilla limosa color gris-verdoso con algo de arena muy fina (10%) que pasa en la base a arena fina cuarzoza levemente biotítica, clasto-soporte con matriz pelítica 20% de color beige claro grisáceo; f) 8,8 m - 10,0 m aparece un nivel de grava (diámetro máximo 3 cm) con matriz arenosa. La fracción de grava representa el 5% y es subredondeada, con esfericidad media y composición polimictica (QL, granitoides). La fracción arena gruesa representa el 90%, es cuarzoza y con algo de biotita. El cemento es escaso, arcilloso de color beige grisáceo; g) 10 m - 13 m aparece arena fina a muy fina (85%) cuarzoza a cuarzo-feldespática (Q90, F10) clasto-soporte con escasos clastos de arena gruesa (5%) y matriz pelítica (10%). Es de color verde grisáceo. Hacia la base la proporción de arcillas crece sustancialmente pasando a conformar un nivel de 1 m de espesor de pelitas arenosas (arcilla 50%, arena muy fina-fina cuarzoza 50%), matriz-soporte; h) 13 m - 14 m aparece un nivel de arcilla arenosa (arcilla 50%, arena muy fina a fina cuarzoza 50%), matriz-soporte. La fracción pelítica es limo-arcilla. Este nivel presenta un color verde grisáceo. Es similar a la suprayacente pero con mayor proporción de arcilla; i) 14 m - 18 m ocurre un nivel de arena gruesa gravosa que pasa a arena media gravillosa en la base. La fracción gruesa (grava-gravilla 10%) alcanza los 2 cm de diámetro y está compuesta principalmente por clastos de cuarzo, granitoides y feldespatos de baja esfericidad, desde angulosos a subredondeados. La granulometría más abundante es arena gruesa cuarzo-feldespática (Q80 F20) subangulosa de baja esfericidad. Intercalados con niveles de arena media. La textura es clasto-soporte bien seleccionada. Presenta algo de arcilla en la matriz y es de color beige grisáceo; j) 18 m - 21 m nivel de arena media a fina cuarzo-feldespática de color beige claro con niveles o nódulos de arcilla gris verdosa que pasa en la base hacia un nivel de arena gruesa mal seleccionada clastosoportada de color beige claro de 1 m de espesor. La granulometría va desde arena fina a gravilla con predominio de arena gruesa. Su composición es cuarzo-feldespática con escasa presencia de arcilla y no contiene biotita; k) 21 m - 26,3 m tenemos arenas muy finas fangosa (wacke). La granulometría va desde gravilla a arena muy gruesa (en muy baja proporción) con predominio de arena fina. La matriz es pelítica con alta proporción de arcilla de color verde, a veces presenta cemento férrico color rojo óxido. Se alternan niveles de pelita verdosa y de arena media a gruesa con abundante matriz arcillosa (wacke); l) 26,3 m Fangolita: arena muy fina a media limosa con algunos clastos dispersos de arena gruesa-grava muy angulosa (2 cm). Presenta escasas pátinas de CaCO₃. Hacia la base pasa a un wacke con arena media a fina con matriz arcillosa.

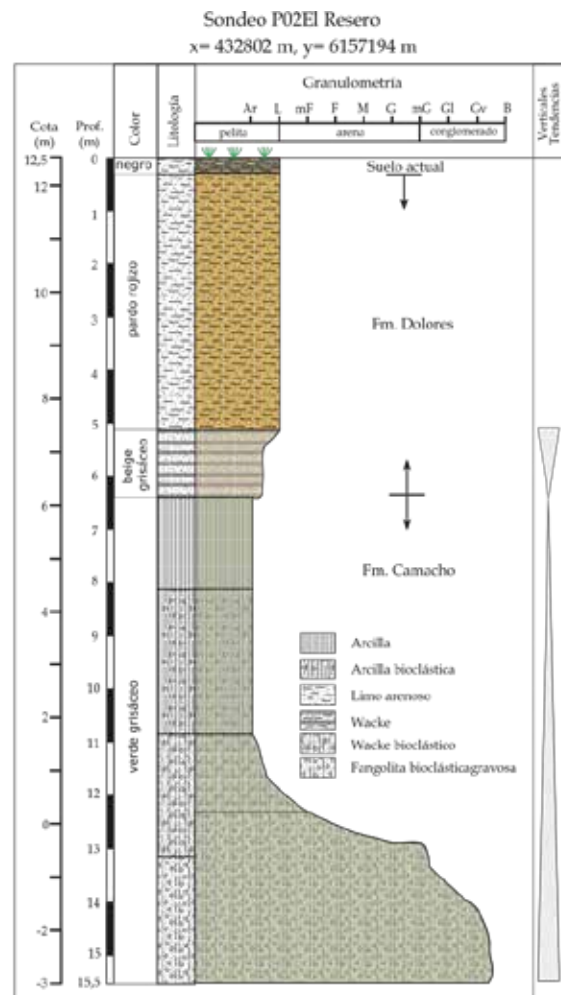


Figura 8. Perfil correspondiente a la perforación El Resero (p02).

4.2 Perforación El Resero (p02)

Este perfil (Figura 8) está constituido de techo a base por a) 0 - 1 m de suelo orgánico de color negro, de composición arcillo limosa y presentando una alta proporción de materia orgánica en el horizonte A. El horizonte B es arcilloso de color gris; b) 1 m - 6,6 m comienza un nivel limo arenoso de matriz arcillosa de color pardo. La matriz es arcillosa, el esqueleto (40 - 50%) es de arena fina cuarzoza, levemente feldespático (Q80 F15 L5). La textura es matriz-soporte, mal a moderadamente seleccionada. Se observan nódulos de arcilla y rizolitos, y en la parte superior aparece un moteado marrón oscuro. Presenta alta bioturbación. Este nivel corresponde a la Fm. Dolores; c) 6,6 m- 8 m aparece una pelita (arcilla) de color grisverdoso con moteado de color negro (Mn) menos desarrollado y otro ocre (Fe). El esqueleto es muy escaso (25%), principalmente de arena fina hasta media (Q75 F20 L5). La textura es matriz-soporte, moderada a bien seleccionada. Se observan algunos nódulos de arcilla de color pardo y CaCO₃. Hacia la base el esqueleto es algo más grueso, principalmente de arenas medias a finas con escasa arena gruesa (Fm.

Camacho); d) 8 m -9 m aparece una arcilla gris-verde con conchillas fragmentadas ,con una proporción que varía entre 2 y 10 % , de tamaño máximo 1 cm. Se observan además intraclastos de hasta 5 mm de arcilla parda y verde además de concreciones de CaCO₃. Presenta baja proporción (15-25%) de arena fina a media (Q60, F15, L25). Ocasionalmente se observan motas negras de Mn. Se trata de una pelita bioclástica (Lumaquela); e) 11 m - 12 m tenemos una arcilla arenosa gris-verde con escasas conchillas fragmentadas (3%) similar a la anterior pero con menor abundancia de bioclastos e intraclastos arcillosos. La arena (Q60, F15, L25) está en mayor proporción (30%) y va desde fina a gruesa; f) 12 m -13 m de fango arenoso levemente gravoso gris-verde similar a la anterior. La arena (Q70, F20, L10) es más gruesa y está en mayor proporción (45%) y va desde media a muy gruesa. Los fragmentos de conchillas son escasos (1%). Se trata de un fango arenoso levemente gravoso; g) 13 m - 15,3 m aparece un nivel de arena fangosa gravosa que crece en granulometría hacia la base (G5 A60 P35 - G15 A65 P20). Rango granulométrico: desde AMF hasta grava (5 mm) con predominancia de AM-AG. La fracción grava-gravilla incluye partes iguales de conchillas y clastos de cuarzo. La composición de la arena es igual a la anterior (Q70 F20 L10) y es clasto soportada. La matriz es arcillosa de color verde-gris. Se trata de una arena fangosa levemente gravosa similar al anterior pero con mayor proporción de arena más gruesa.

4.3 Perforación Automotora (p03)

Este perfil (Figura 9) está constituido de techo a base por a) 0-1 m de suelo orgánico limoso color marrón oscuro con abundante materia orgánica. Es común la presencia de raíces, tener alta porosidad y abundante bioturbación; b) 1 m - 2 m de limo color marrón, con moderada abundancia de materia orgánica y escasa arena fina. También es común la presencia de raíces. Es poroso y está bioturbado, corresponde a la Formación Dolores; c) 2 m - 6 m aparecen arenas medias a gruesas color pardo rojizo claro, clasto-soporte. El esqueleto va desde AF a AMG cuarzo feldespático subangulosa. Con la profundidad la matriz pelítica disminuye (de 10% en el tope a 3 en la base) mientras que la granulometría aumenta desde arena media a arena gruesa a muy gruesa. El cemento férrico le da matices de color naranja. Corresponde a la Fm. Chuy; d) 6 m - 6,8 m aparecen arenas medias a finas de color pardo rojizo claro, clasto-soporte. El esqueleto va desde AF a AG cuarzo-feldespático sub anguloso levemente graviloso (presenta clastos de hasta 0,5 cm). La matriz es pelítica y escasa. El cemento es férrico. La arena muy fina levemente gravilosa pasa hacia la base a color grisáceo; e) 6,8 m - 9,1 m Arena media a fina color blanquecino, clasto-soporte. El esqueleto va desde AMF a AG cuarzo-feldespática levemente gravilosa (clastos de hasta 0,5 cm). Hacia la base de este nivel la granulometría disminuye pasando a una arena muy fina con un leve aumento de la

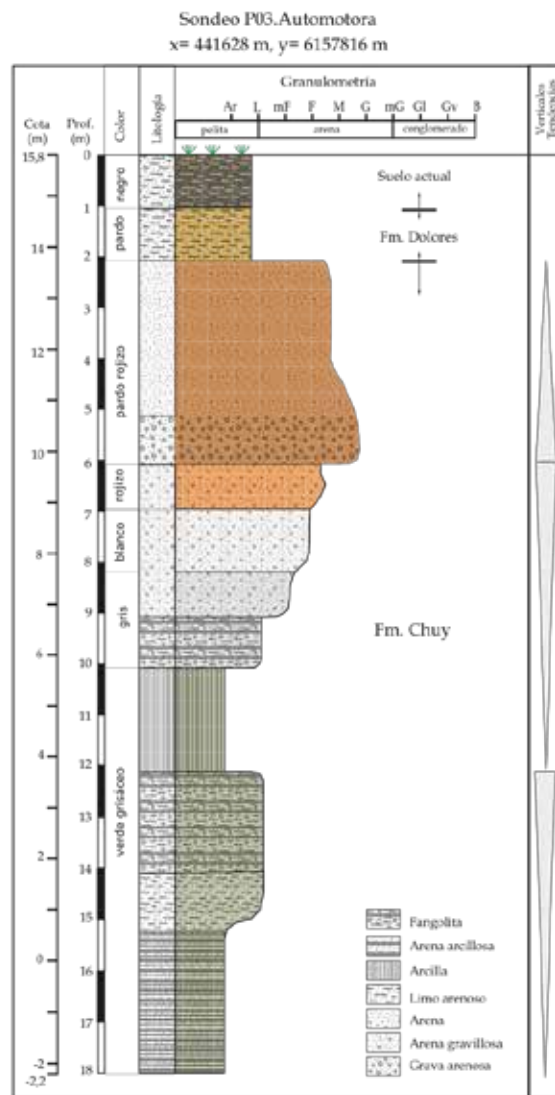


Figura 9. Perfil correspondiente a la perforación Automotora (p03).

matriz que pasa de ser casi inexistente en el tope, a 3% en la base; f) 9,1 m - 10 m, estos 90 cm están caracterizados por la presencia de una fangolita, constituida por arena fina con matriz arcillosa y matriz-soporte (matriz pelítica 30%, Gravilla 10%, arena 60%) . Este nivel presenta un color grisáceo. La fracción gruesa va desde AMF y llega hasta AMG y gravilla subangulosa y polimíctica; f) 10 m - 12 m de arcilla, de color verde grisáceo, con algo de arena fina (10%) y escasa AMG y gravilla; g) 12 m - 14 m Fangolita (arena fina con matriz arcillosa matriz-soporte) de color grisáceo. Matriz pelítica 30%, Gravilla 10%, arena 60%. La fracción gruesa va desde AMF y llega hasta AMG y la gravilla es subangulosa y polimíctica; h) 14 m - 15 m se trata de un wacke (arena media a fina 60%, arcilla 40%) de color gris verdoso. La arena es cuarzo-feldespática subangulosa. Se observan clastos aislados de gravilla -AMG subangulosos; i) 15 m - 18,4 m de arcilla arenosa de color verde grisáceo. Los constituyentes se distribuyen de la siguiente manera: arcilla 80% y arena fina 20% (AMF-

AM). Se observan clastos aislados de gravilla -AMG subangulosos. Hacia la base el esqueleto es más escaso y más grueso (arcilla 90%, arena gruesa 10% (AG-AMG)).

4.4 Perforación Pereira (p04)

Este perfil (Figura 10) está constituido de techo a base por a) 0 - 1 m de suelo orgánico, color marrón muy oscuro, con abundante materia orgánica, y arcilla y limo con escasa arena fina. Es frecuente la presencia de raíces; b) 1 m - 2,5 m (Fm. Dolores) nivel de pelita levemente arenosa de color pardo. La bioturbación es poco importante. Este nivel presenta nódulos de arcilla y raramente motas negras de Mn. La cantidad de arena fina, principalmente cuarzosa, aumenta hacia la base (desde 10% en el tope a 20%) así como la que va de moderada a alta; c) 2,5 m - 4 m corresponde a una fangolita, con esqueleto gravoso (10%) y con clastos subangulosos polimícticos de hasta 3 cm, matriz soportado. La fracción arena (20%) se compone principalmente de AM. La matriz es arcillo limosa color pardo. Aparecen motas de óxido de Fe; d) 4 m - 5 m aparece un wacke (arena media a fina (40%) matriz-soporte). La matriz arcillo- limosa alcanza un 60%. El color no es homogéneo, aparecen zonas gris verdosas y pardo rojizas. Presenta nódulos de arcilla y algunos cantos líticos angulosos tamaño AMG a gravilla. Presenta un moteado negro de Mn y rojizo de Fe. Ocurren escasas concreciones de CaCO₃ tipo muñequita; e) 5 m - 6 m de arcilla limosa, levemente arenosa (AF-AMF) de color pardo; f) 6 m - 7,6 m de arena fina a muy fina, con matriz arcillosa, matriz-soporte, que gradada hacia abajo a una arena media con matriz arcillosa. Presenta color marrón, no homogéneo, pardo y marrón oscuro. La arena es polimíctica y aumenta su proporción hacia la base, desde 50% a 70%. La matriz tiene materia orgánica (MO), se observan nódulos de arcilla verdosa; g) 7,6 m - 9,5 m aparece una fangolita muy similar al del nivel anterior pero se diferencia por la presencia de clastos de gravilla y nódulos de arcilla verdosa. La fracción arena es AM; h) 9,5 m -12 m con arena media matriz arcillosa clasto-soporte de color marrón grisáceo. La fracción arena (80%) llega hasta AG, angulosa y polimíctica. La matriz presenta MO y hacia la base de esta capa aparece algún clasto de AMG sub anguloso; i) 12 m - 15 m tenemos una fangolita de arena fina a media, matriz soportado con escasa gravilla. Hacia los 13 m el esqueleto arenoso (50%) disminuye levemente y la proporción de arcilla y grava aumenta ligeramente y encontramos vermiculita. Hacia los 15 m la fracción mayor solo llega hasta gravilla y la proporción de arena es algo menor (30%); j) 16 m - 17 m aparece un nivel de arena muy fina a fina de color gris-beige, clasto-soporte. Esta arena es fundamentalmente cuarzosa aunque se encuentran también algunos feldespatos y de forma secundaria vermiculita y líticos. La matriz arcillosa es escasa (15%) y se observan nódulos de arcilla. Hacia la base

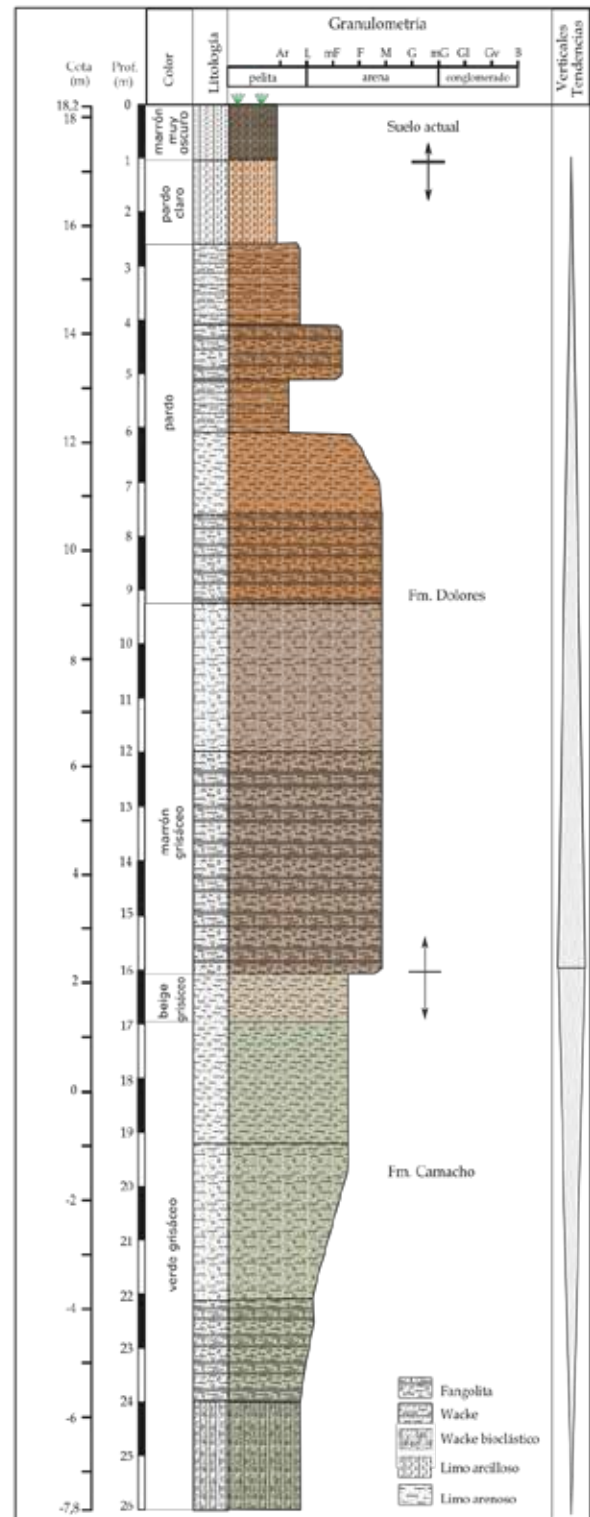


Figura 10. Perfil correspondiente a la perforación Pereira (p04).

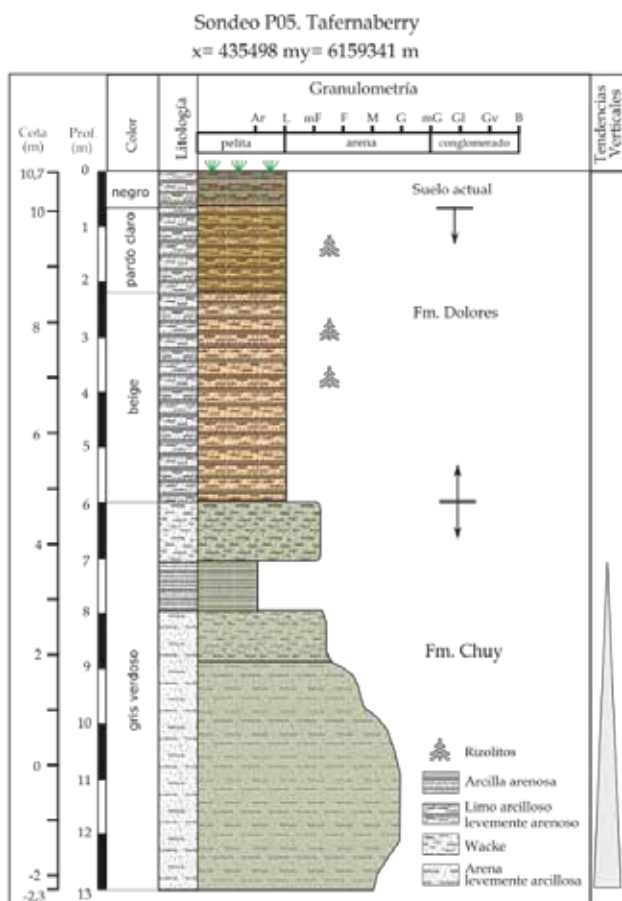


Figura 11. Perfil correspondiente a la perforación Tafernaberry (p05).

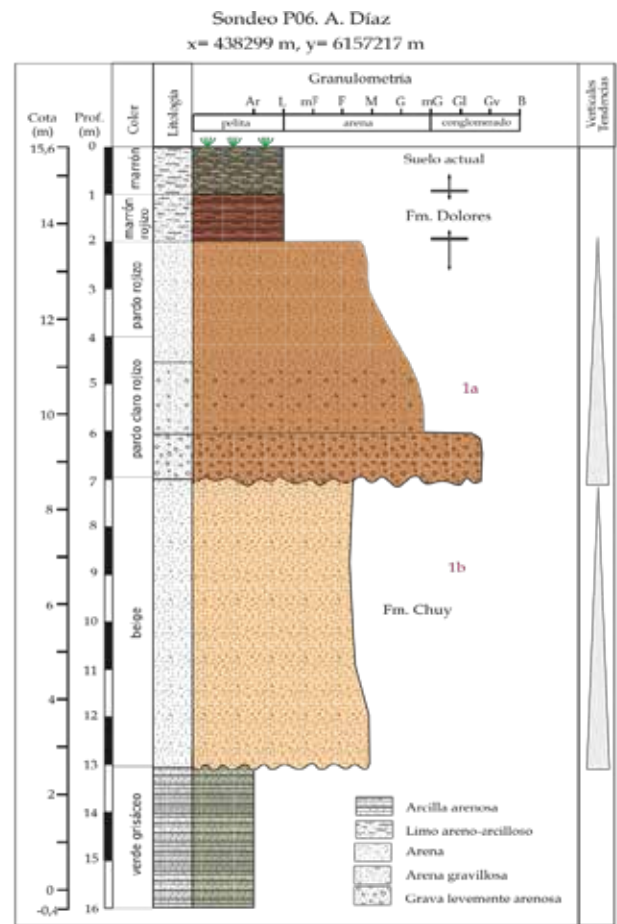


Figura 12. Perfil correspondiente a la perforación A. Díaz (p06).

la proporción nódulos aumenta hasta (25%) y son de color beige grisáceo y la matriz prácticamente desaparece; k) 17 m - 19,2 m tenemos arena fina, principalmente cuarzo y secundariamente feldespática con vermiculita y biotita. La matriz es arcillosa (15%) de color gris verdoso. Se observan nódulos de arcilla, algunos con forma subsféricas oxidados; l) 19,2 m - 23,5 m representado por un nivel de arena muy fina a fina con matriz-soporte. Presenta un 10% de gravilla subangulosa polimíctica e intraclastos redondeados (o nódulos) de arcilla verdosa. La matriz es arcillosa (15%). La arena es principalmente cuarzo con algunos feldespatos y líticos. El color es gris-beige-verdoso. La granulometría decrece hacia la base formando un wacke gravoso, matriz soportado con proporciones AMF: 50%, arcilla: 45% gravilla- grava: 5 %; m) 23,5 m - 26 m tenemos una fangolita AMF-AF: 30%, arcilla: 50% y gravilla: 20 %. Hacia la base pasa a un wacke de color gris verdoso (arena 40%, arcilla 50%, grava 10%). En el nivel de grava se observan intraclastos de arcilla arenosa más compactos que el resto del sedimento. Aparecen también clastos de líticos entre los que se destacan coquinas muy cohesivas (tempestita con abundantes conchillas). Aparece carbonato pulverulento diseminado. En este nivel la máquina golpeó una capa dura, probablemente de coquina, típicas de la Fm. Camacho.

4.5 Perforación Tafernaberry (p05)

Este perfil (Figura 11) está constituido de techo a base por a) 0 m - 1m de un suelo orgánico de color marrón muy oscuro con abundante materia orgánica, arcilla y limo. Presenta algo de arena fina. Presenta importante bioturbación y presencia de raíces. Hacia los 0,6 m la bioturbación y la presencia de raíces disminuye; b) 1 m - 5 m encontramos a la Fm. Dolores. Este nivel se caracteriza por la presencia de un limo arcilloso, levemente arenoso de color pardo. Presenta bioturbación y porosidad elevada. El contenido de arena muy fina alcanza un 10% y abundante cemento arcilloso. Se observan rizolitos. Presenta un moteado negro a marrón oscuro. Hacia los 3 m el color se hace más claro y la cantidad de arena aumenta (25%) y se hace más gruesa (desde AM-AMF). Esta última es subangulosa y principalmente cuarzo. Hacia la base de este nivel pasa a un limo arenoso de colores variables (zonas pardo claro y zonas blancuzcas a verdosas). Es común un moteado negro de Mn. Presenta alta porosidad. El esqueleto (25%) es de AG-AF polimíctica con presencia de nódulos de arcilla; c) 5 m - 6 m aparece un wacke (arena arcillosa) con un esqueleto (50%) de AG a AMF polimíctica. El color es variable (zonas pardo claro y zonas blancuzcas a verdosas).

La matriz es limo-arcillosa (50%). Aparecen nódulos de arcilla verdosa y parda, y motas negras de Mn; d) 6 m - 7 m de arcilla arenosa de color verde-gris con un esqueleto AF 35% qz-lítica. La matriz es arcillo-limosa; e) 7 m - 11 m tenemos un wacke (arena arcillosa) con un esqueleto (60%) de AF con escasos clastos de gravilla cuarzo feldespática con algunos líticos. La matriz es arcillosa (40%). Aparecen nódulos de arcilla de color gris verdoso. A los 9 m la arena se vuelve progresivamente más gruesa y disminuye el porcentaje de matriz. El esqueleto (90%) es de AG-AF, en promedio AM. La matriz es arcillosa (10%). El esqueleto polimíctico está caracterizado por la abundancia de cuarzo y escasos feldespatos y líticos. Presenta un color gris; f) 11 m - 13 m de arena media a gruesa con escasos clastos de grava subangulosa y cuarzosa (1%). La fracción arenosa es AMG-AF polimíctica (con abundante cuarzo y algo de feldespato y líticos). La matriz es arcillosa (5%). El color es gris. En la base de este nivel la granulometría se reduce levemente y el porcentaje de matriz arcillosa llega a un 10% .

4.6 Perforación A. Díaz (p06)

Este perfil (Figura 12) está constituido de techo a base por a) 0 m - 1 m de suelo orgánico color marrón con motas ocre. Se trata de un limo arcilloso con escasa arena fina y moderada cantidad de materia orgánica. Es común la presencia de raíces; b) 1 m - 2 m (Fm. Dolores) Nivel de limo arcillo-limoso con muy escasa arena fina (5%) de color marrón rojizo. Presenta moderada bioturbación y porosidad moderada; c) 2 m - 4 m nivel de arena media de color marrón rojiza con escasa matriz arcillosa (2-5%), clasto-soporte. Esqueleto subarcósico (cuarzo feldespático secundariamente lítico) subredondeado a subanguloso que oscila entre AF y AG con predominio de AM; d) 4 m - 6 m nivel de arena gruesa, levemente gravillosa de color pardo rojizo claro. La matriz es arcillosa (1%). Aparecen cantos de grava (5%). Este nivel varía de AF a gravilla con predominio de AG, subarcósica clasto-soporte. Los granos son subangulosos. La granulometría aumenta hacia la base y desaparece la arcilla llegando a formar una arena muy gruesa gravillosa con matriz arenosa con 20% de grava y cantos de hasta 1 cm. Varía entre AF y gravilla con predominio de AG. Subarcósica matriz-soporte subangulosa a subredondeada; e) 6 m - 7 m grava subarcósica matriz-soporte. Granulometría: grava 50% con cantos rodados a clastos subangulosos y matriz arena fina a gruesa; f) 7 m - 13 m nivel de arena fina a media subarcósica de color beige claro. Aparecen escasos cantos de feldespato tamaño AMG sin arcilla. Presencia de biotita. Hacia la base se hace ligeramente más gruesa (arena media) y se observan escasos clastos de cuarzo y feldespato tamaño AMG; g) 13 m - 15 m wacke gris verdoso (arena fina: 40%, arcilla: 60%). En el tope de este nivel la arena fina alcanza un 20%, y en la base la arcilla llega a un 80%; h) 15 m -16 m arcilla arenosa verde grisácea con escasa arena (5%). Presenta moteado marrón

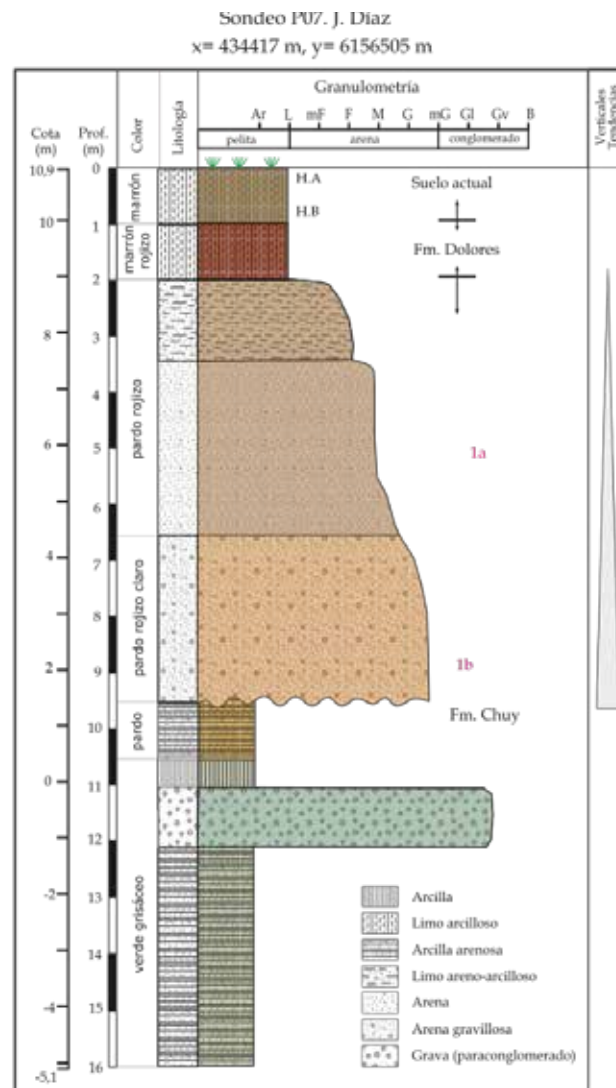


Figura 12. Perfil correspondiente a la perforación J. Díaz (p07).

oscuro.

4.7 Perforación J. Díaz (p07)

Este perfil (Figura 13) está constituido de techo a base por a) 0 m - 1 m de suelo orgánico de color marrón muy oscuro. Se trata de un limo arcilloso con abundante materia orgánica y muy escasa arena fina. Se observan raíces y una alta bioturbación. Hacia los 0,6 m se desarrolla el horizonte edáfico B. Presenta color marrón rojizo oscuro y está compuesto por una arcilla limosa con moderada cantidad de materia orgánica. En este nivel la bioturbación es moderada y las raíces son escasas; b) 1 m - 2 m (Fm. Dolores) limo arcilloso limoso de color marrón rojizo. La bioturbación baja y la porosidad es moderada; c) 2 m - 3,5 m arena fina limo-arcillosa de color marrón rojiza con matriz arcillosa (15%). Matriz-soporte, compacta, con esqueleto subarcósico (cuarzofeldespático, secundariamente lítico) subredondeado que oscila entre AMF y AM con predominio de AF; d) 3,5 m - 6,8 m nivel de arena media

Tabla 1. Coordenadas, profundidad, cota y espesores de las capas y subcapas de arena.

Perfil	Tipo	x (m)	y (m)	z (m)	Capa	Subcapa	Prof. Tope (m)	Prof. Base (m)	Cota Tope (m)	Cota Base (m)	Espesor (m)	Fuente
002	afloramiento	443157,0	6158916,2	11,14	1	a	1,50	4,00	9,64	7,14	2,50	Este estudio
003	afloramiento	443160,0	6158879,2	11,27	1	a	1,00	6,00	10,27	5,27	5,00	Este estudio
005	afloramiento	441521,5	6159274,9	9,56	1	a	0,70	2,50	8,86	7,06	1,80	Este estudio
p01	pozo	436399,2	6157646,0	15,58	1	b	8,80	12,00	6,78	3,58	3,20	Este estudio
p02	pozo	432801,7	6157193,8	12,45	SIN	ARENA	0,00	0,00	12,45	12,45	0,00	Este estudio
p03	pozo	441628,0	6157816,4	15,83	1	a	2,00	9,00	13,83	6,83	7,00	Este estudio
p04	pozo	434492,4	6160730,9	18,17	2		16,00	20,00	2,17	-1,83	4,00	Este estudio
p05	pozo	435497,5	6159341,1	10,74	2		7,00	13,00	3,74	-2,26	6,00	Este estudio
p06	pozo	438299,4	6157217,4	15,61	1	a	2,00	7,00	13,61	8,61	5,00	Este estudio
p07	pozo	434416,8	6156504,7	10,90	1	a y b	2,00	9,50	8,90	1,40	7,50	Este estudio
Codalín Rai	pozo	439970,0	6158660,0	14,38	1	a	0,70	15,00	13,68	-0,62	14,30	Carballo et. al. (1995)
1125/1	pozo	439350,0	6158000,0	16,08	2	a	19,00	32,00	-4,62	-17,62	13,00	Mezzano (1994)
425/1*	pozo	439,5 km	6157,8km	16,09	1	a	0,00	14,33	16,09	1,76	14,33	Carballo et. al. (1995)
425/2*	pozo	439,5 km	6157,8km	16,09	2	a	20,30	28,00	-4,21	-11,91	7,70	Carballo et. al. (1995)
425p*	punto	439500	6157800	16,09	1	a	0	12,80	3,29	-17,91	21,20	Carballo et. al. (1995)
					2		16,55	31	-0,92	-14,91	14,45	

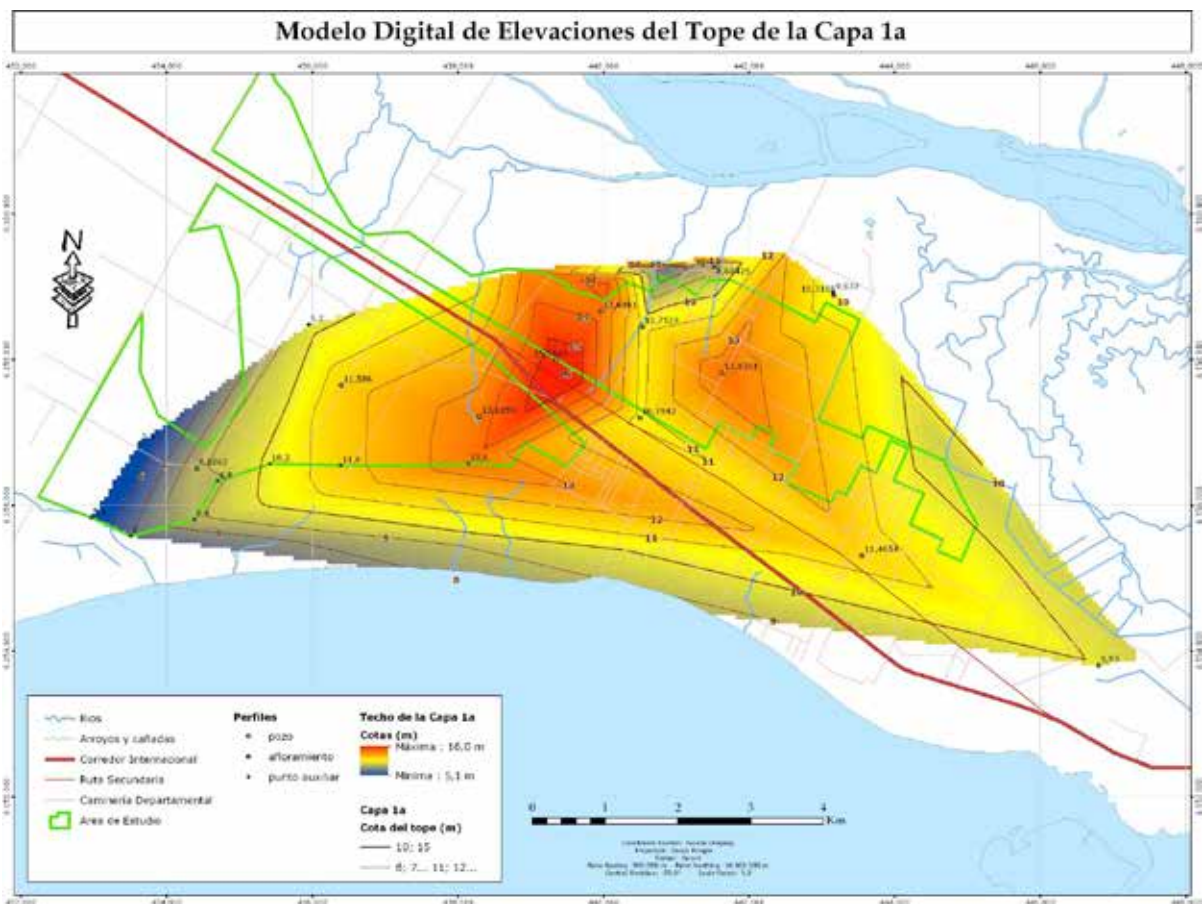


Figura 14. Modelo Digital de Elevaciones (raster) de la superficie tope de la capa 1a. (tomado de Loureiro Olivet, 2014).

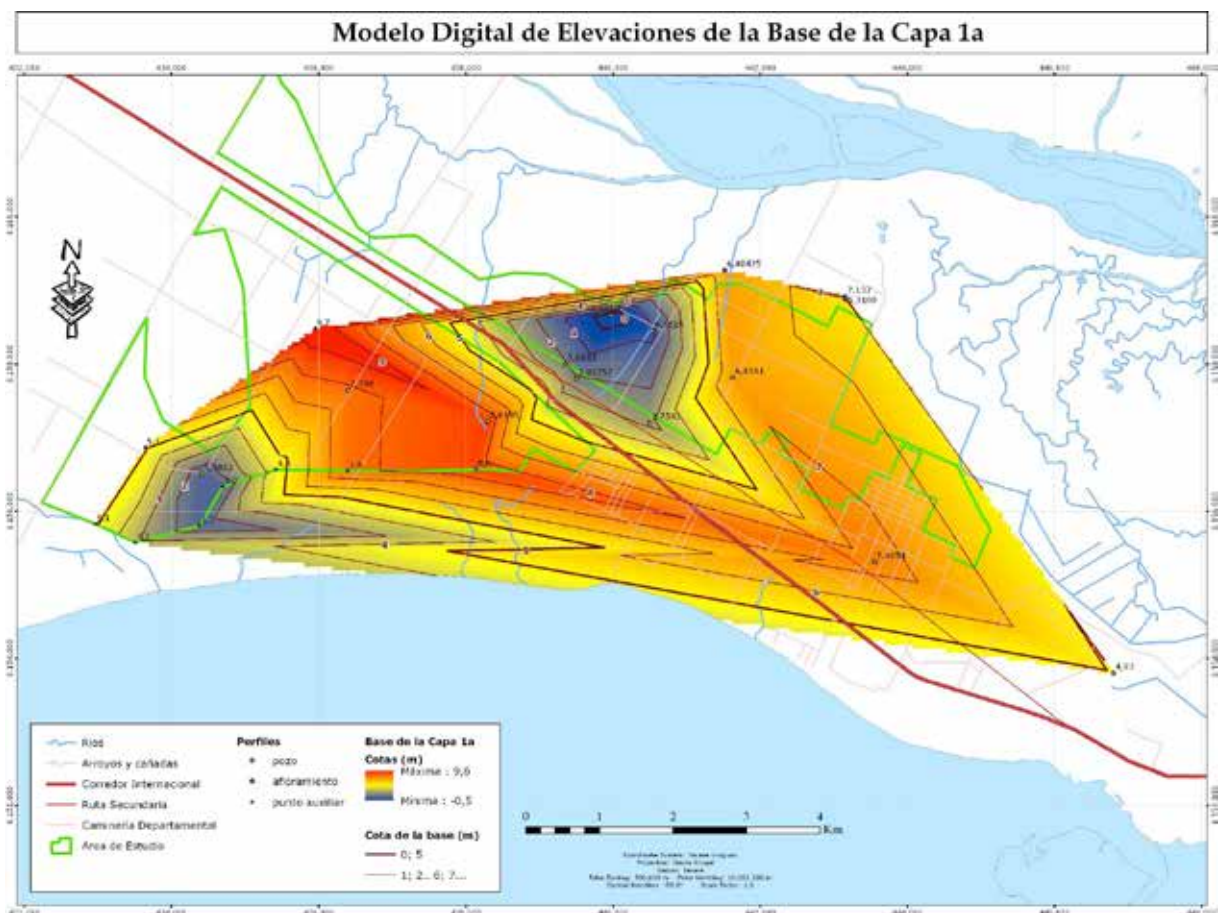


Figura 15. Modelo Digital de Elevaciones (raster) de la superficie base de la capa 1a. (tomado de Loureiro Olivet, 2014).

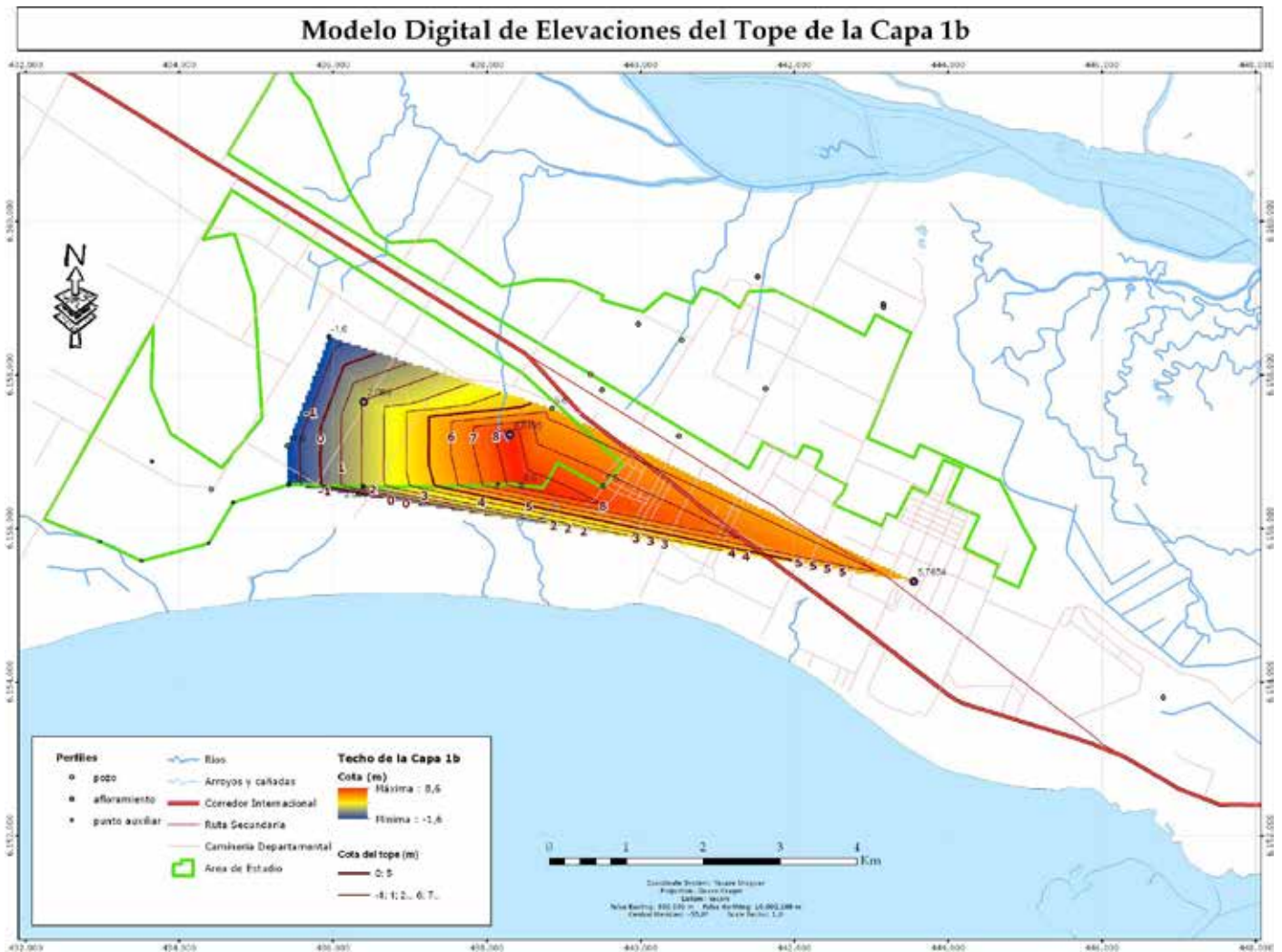


Figura 16. Modelo Digital de Elevaciones (raster) de la superficie tope de la capa 1b (tomado de Loureiro Olivet, 2014).

de color marron rojiza (ocre). Presenta matriz arcillosa (15%) de tipo matriz-soporte, compacta. El esqueleto es subarcósico, subredondeado, que varía entre AF y AG con predominio de AM. Hacia la base la granulometría crece, pasando a arena media a gruesa, matriz-soporte con escasos cantos de gravilla subarcósica subangulosa (1%); e) 6,8 m - 9,5 m arena gruesa a muy gruesa levemente gravillosa, clasto-soporte de color pardo rojizo claro, subarcósica. Los granos suelen ser subangulosos a subredondeados. El porcentaje de matriz pelítica que en el tope es de 5% descendiendo hacia la base hasta 1%, donde además aparecen cantos de hasta 1 cm; f) 9,5 m - 10,5 m wacke de color beige (arcilla 75%, arena AMF-AMG 24%, gravilla 1%). El esqueleto es subarcósico y subanguloso; g) 10,5 m - 11 m nivel de arcilla color verde grisáceo con muy escasa arena fina (1%); h) 11 m - 12,0 m Fangolita o paraconglomerado de color verde grisáceo. Se trata de una arcilla verdosa (70%), con un 20% de arena y un 10% de grava y gravilla. El esqueleto es subarcósico, subanguloso y alcanza hasta 5 cm. Se observan nódulos de arcilla parda en la masa de color verdoso. Aparecen cantos de calcretas silicificadas provenientes de la resedimentación de materiales de Fm. Mercedes; i) 12 m - 15,4 m arcilla arenosa (arena muy fina 10%) color gris parduzco a verdoso. Se observan cantos

subangulosos aislados de AG-AMG y grava (hasta 7 mm) de granitoides y calcretas silicificadas.

4.8 Identificación de Mantos de Arena

Para cada perfil y afloramiento se identificaron los mantos de arena potencialmente explotables en base a su granulometría, composición y profundidad de los límites de capa, procediendo de la misma forma con los perfiles de Caraballo et al. (1995), Cardozo (1980), Spoturno y Carrión (2000) y Mezzano (1994). De esta forma, dentro de la Fm. Chuy se reconocieron dos capas de arena potentes separadas por una capa de arcilla más o menos arenosa de espesor variable (de 0 a 4 m). La capa inferior se compone de arena fina y muy fina con abundante limo y arcilla. Fue denominada capa 2 y dada su baja accesibilidad y granulometría no se consideró explotable. La capa superior de arena se denomina capa 1 y se compone de arena fina a gruesa a veces algo gravillosa con un espesor que puede alcanzar los 14,3 m. Este es el manto que se consideró explotable. Cabe señalar que en algunos perfiles localizados al SO del área de estudio se identificó otro lente de arena separada de la primera por una fina capa de arcilla. Dado que su accesibilidad es buena se lo consideró

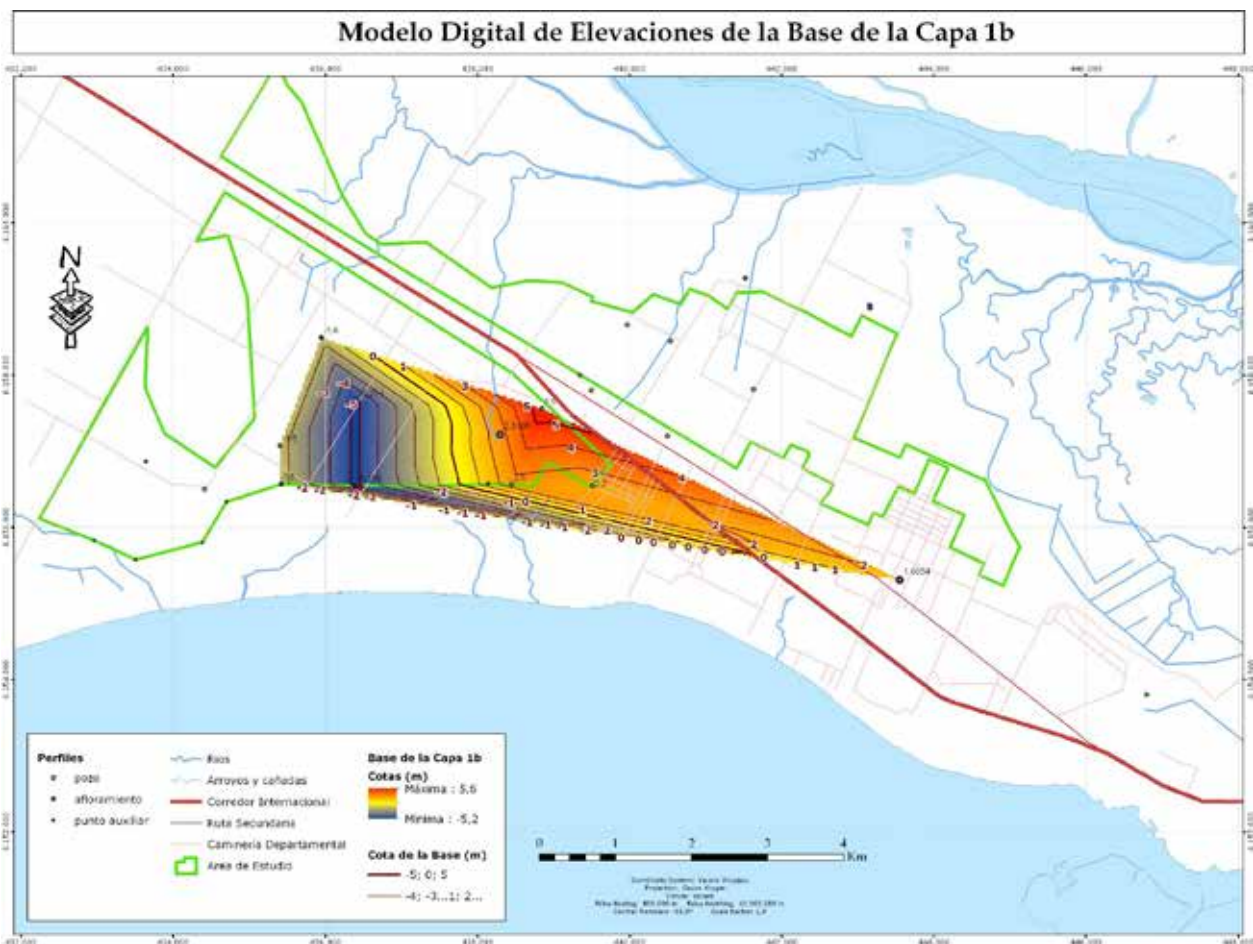


Figura 17. Modelo Digital de Elevaciones (*raster*) de la superficie base de la capa 1b. (tomado de Loureiro Olivet, 2014).

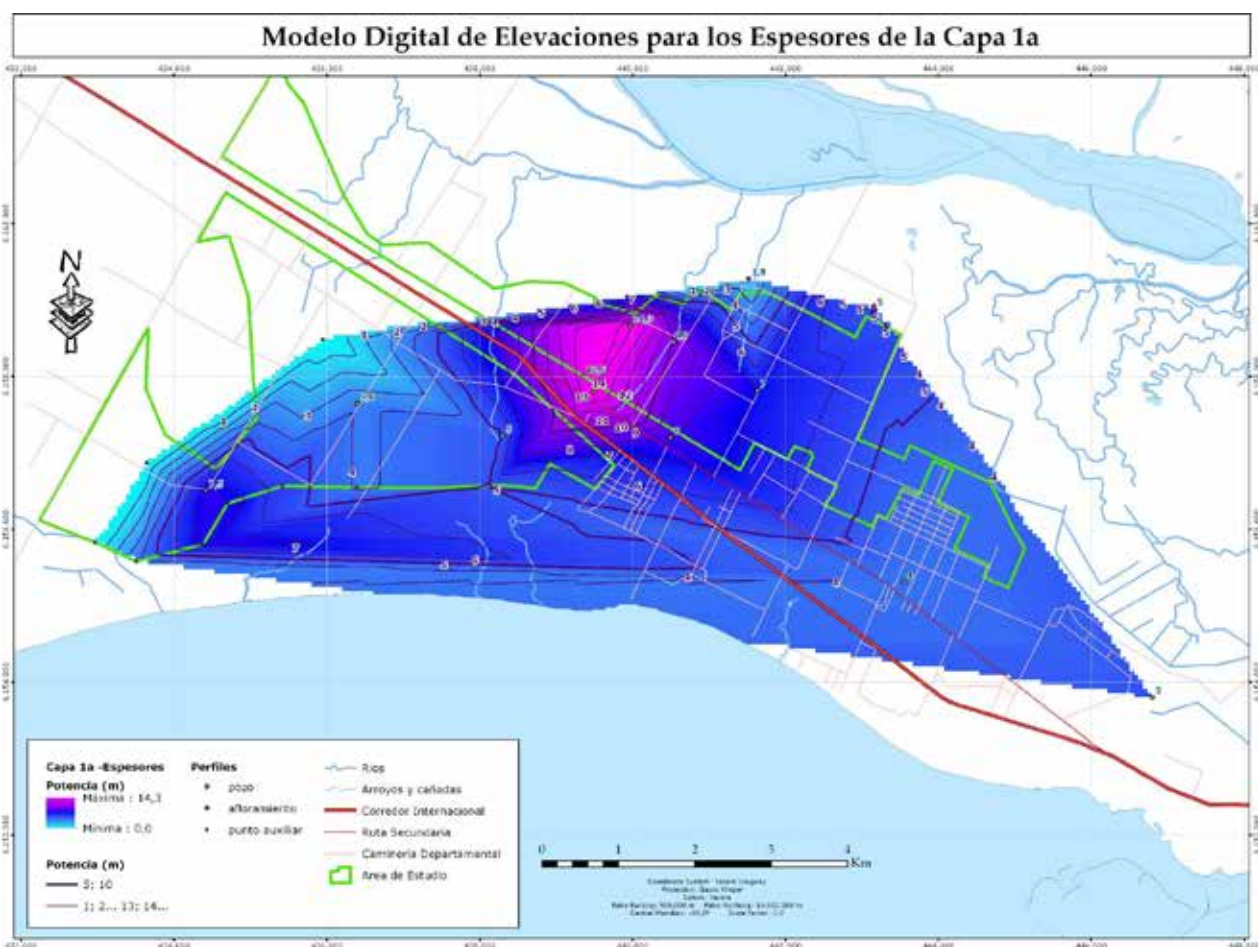


Figura 18. Modelo Digital de Elevaciones (*raster*) de los espesores de la capa 1a. (tomado de Loureiro Olivet, 2014).

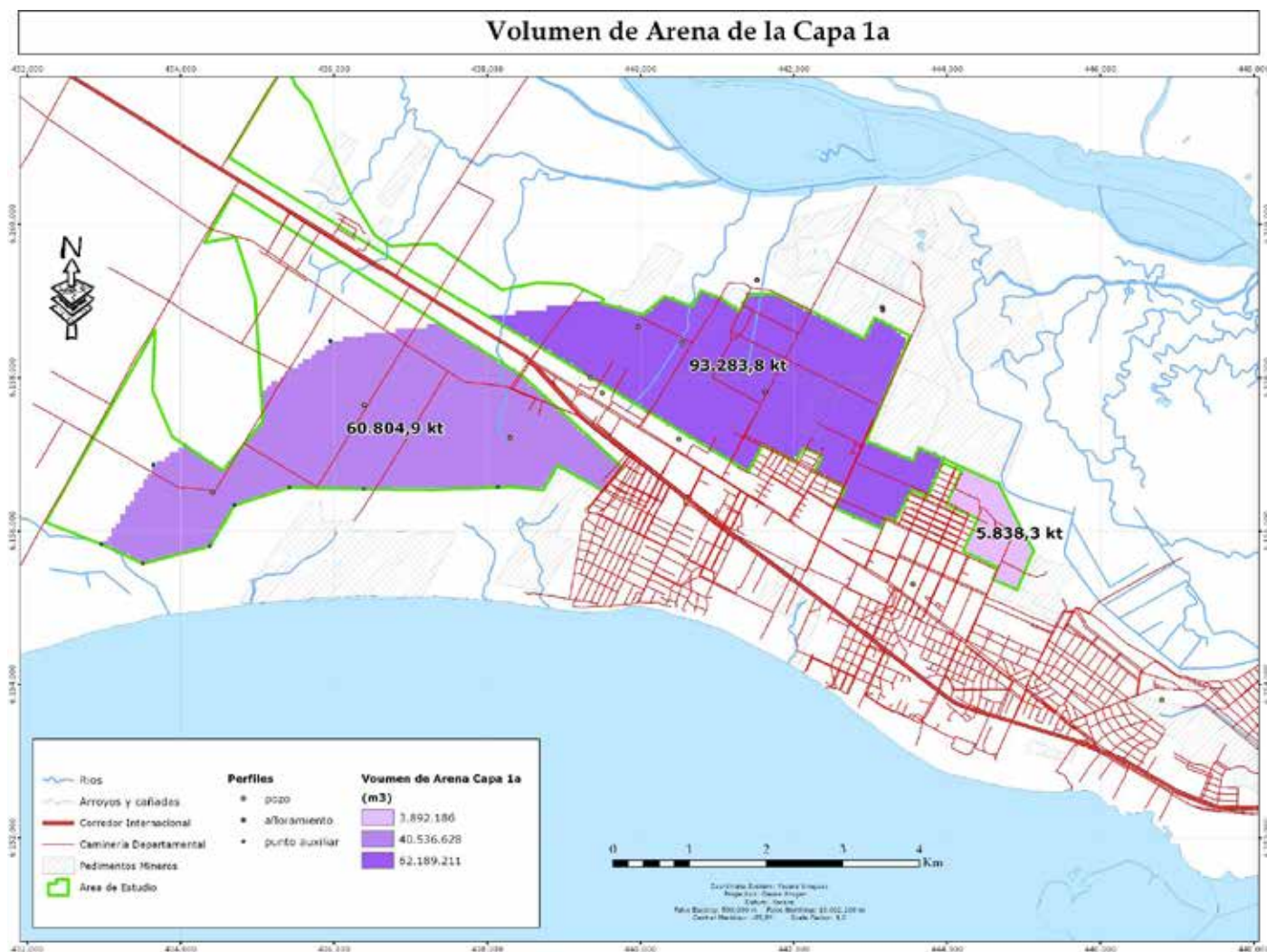


Figura 19. Volúmenes de Arena de la capa 1a para los bloques N, S y E. (tomado de Loureiro Olivet, 2014).

parte de la capa 1. Por lo tanto la capa 1 fue separada en 2 subcapas: 1a y 1b. Ambas fueron consideradas en los cálculos de reserva. La capa 1a está cubierta por un material limoso que corresponde a la Fm. Dolores y a los suelos actuales.

4.9 Cálculo de cotas

Las cotas de boca de pozo fueron obtenidas del modelo digital de elevaciones (MDE) generado por Renare (<http://www.cebra.com.uy/renare/media/mdt.jpg>) por medio de una herramienta de extracción (ver tabla 1) en ArcGIS. Así también, las cotas de cada límite de capa se calcularon restando a la altura de boca de pozo la profundidad de cada límite, obtenida en la perforación o perfil correspondiente.

En la tabla 1 se muestran las coordenadas, la profundidad, las cotas de los límites superior e inferior y los espesores de las capas y subcapas de arena. Con los datos de la cota de los límites superior e inferior de las capas 1a y 1b que figuran en la tabla 1 se realizaron los modelos digitales de elevaciones (MDE) para cada límite de capa. Se utilizó la interpolación TIN para la generación de las superficies. Las superficies generadas por este método se basan en triángulos de pendiente uniforme en

cuyos vértices se encuentran los datos de cota del pozo o afloramiento. Este método de interpolación fue elegido por ser el más conservador. Posteriormente, los TIN fueron transformados a formato raster a los efectos de realizar el cálculo de volúmenes (ver figuras 14, 15, 16 y 17). Para una mejor visualización de los datos se realizó el cálculo de las curvas de nivel (isolíneas de cota para los MDE de límite de capa e isolíneas de potencia para los MDE de espesores).

4.10 Evaluación de Reservas

Capa 1a. El cálculo de espesores se realizó por medio de álgebra de mapas en ArcGIS restando la cota de la base a la del tope de la capa a estudiar. La capa 1a tiene un espesor que oscila entre 0 y 14,3 m. En los MDE realizados se observa un depocentro principal al norte del área de estudio y uno secundario al SO (ver Figura 18). Para el cálculo de volúmenes se separó el área de estudio en tres bloques: sur, norte y este. El bloque Norte es el más voluminoso con 62.189.211 m³ (90.284 kt) seguido por el bloque Sur con 40.536.628 m³ (60.805 kt). El menor en área y volumen corresponde al bloque Este (ver Figura 19) con 3.892.186 m³ (5.838 kt).

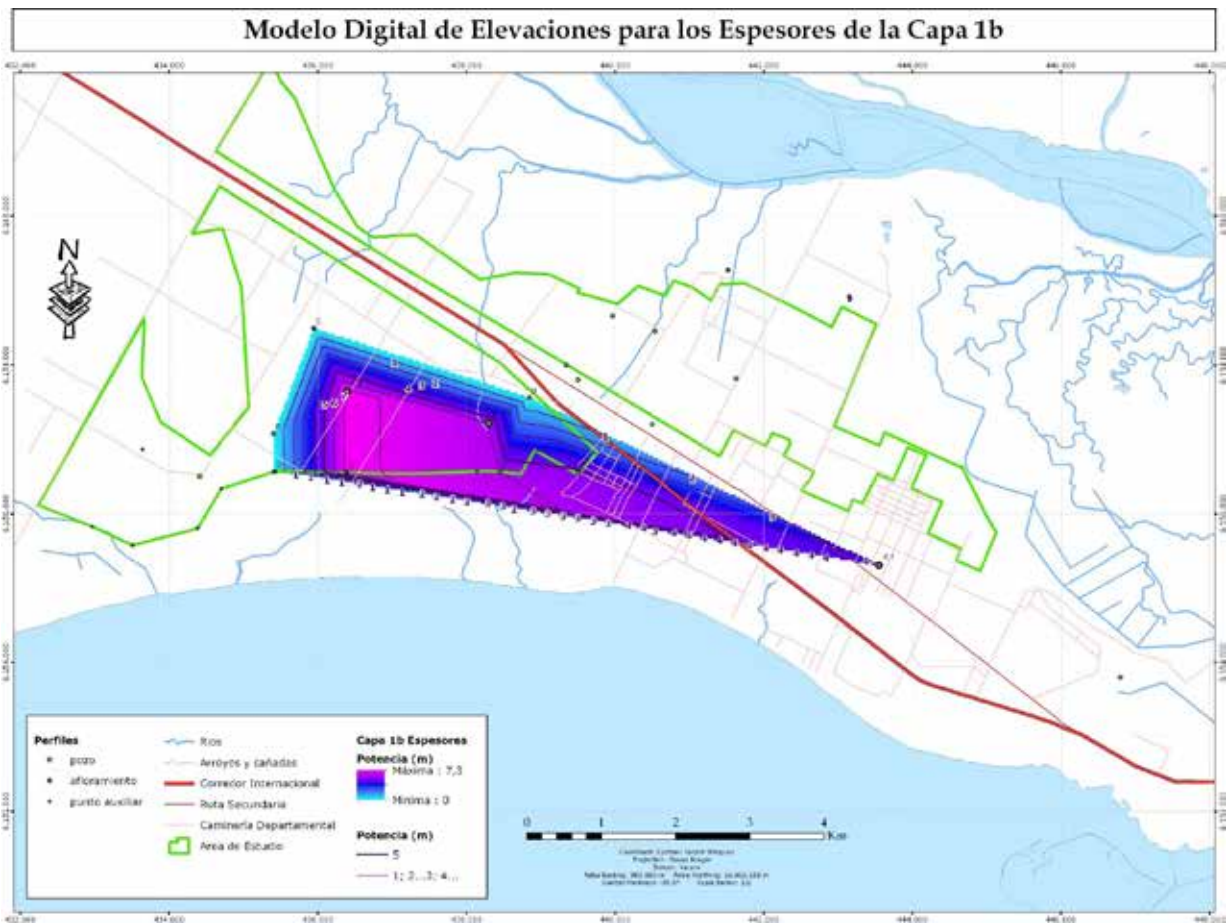


Figura 20. Modelo Digital de Elevaciones (*raster*) de los espesores de la capa 1a. (tomado de Loureiro Olivet, 2014).

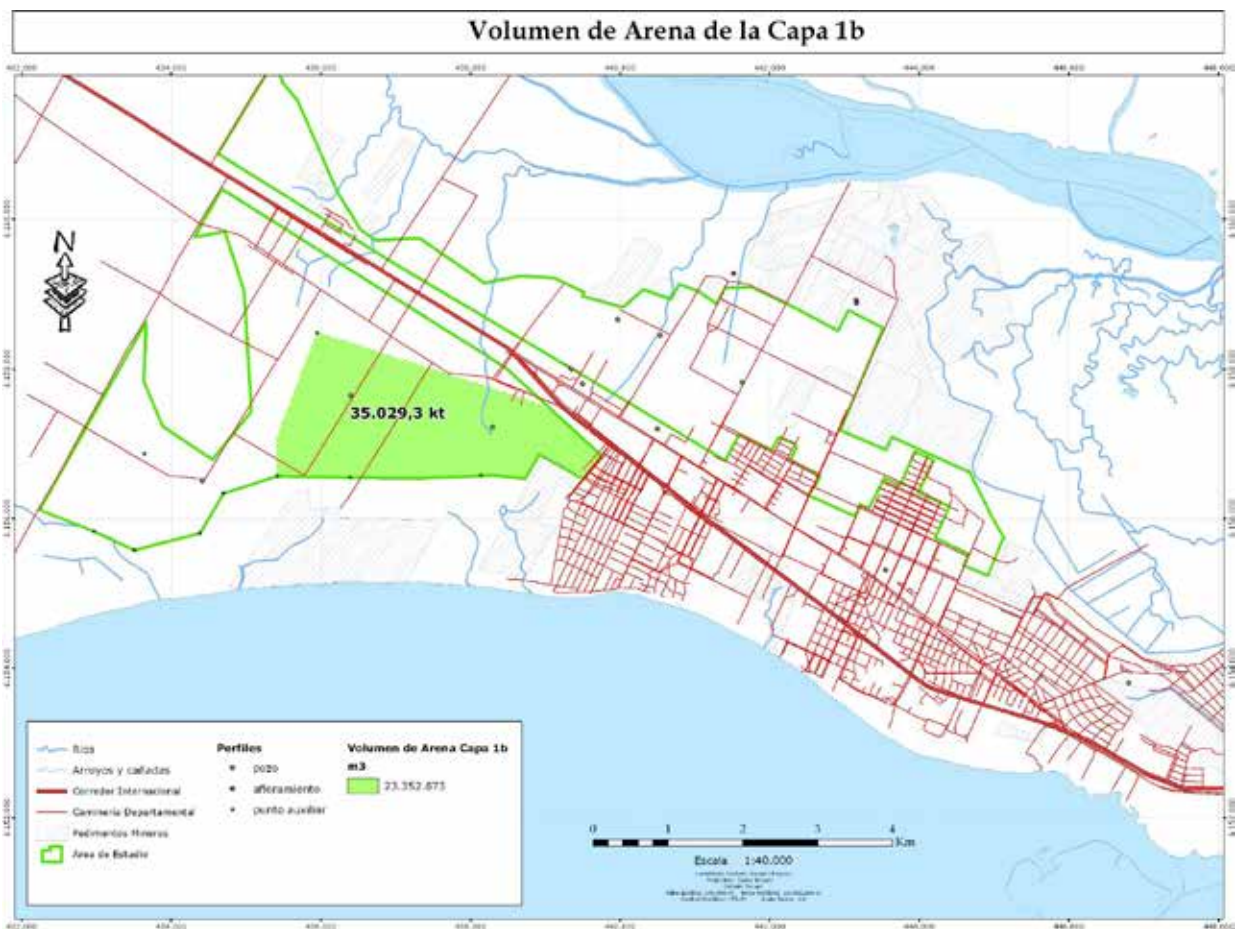


Figura 21. Volumen de Arena de la capa 1b. (tomado de Loureiro Olivet, 2014).

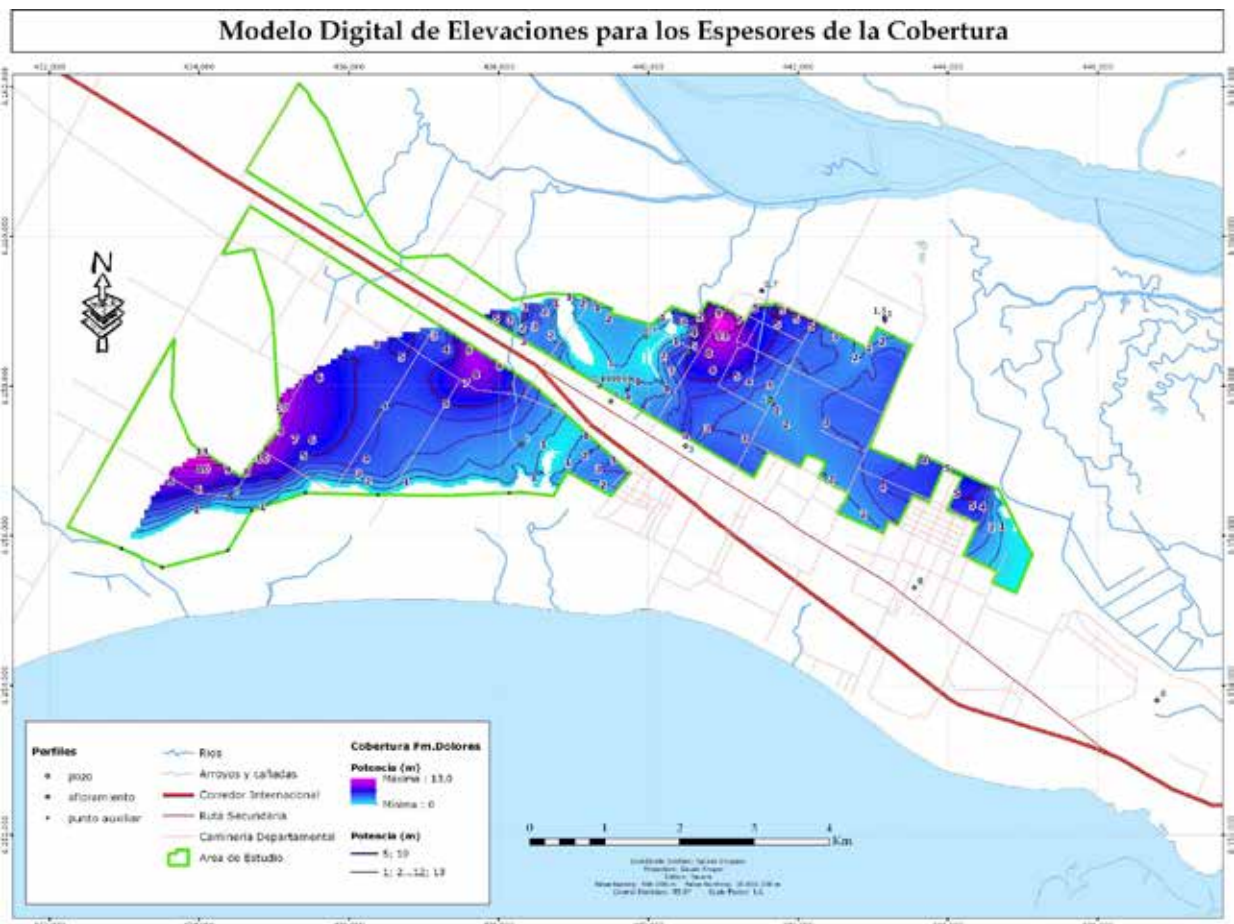


Figura 22. Modelo Digital de Elevaciones (*raster*) de los espesores de la cobertura correspondiente a la Fm. Dolores y los suelos actuales (tomado de Loureiro Olivet, 2014).

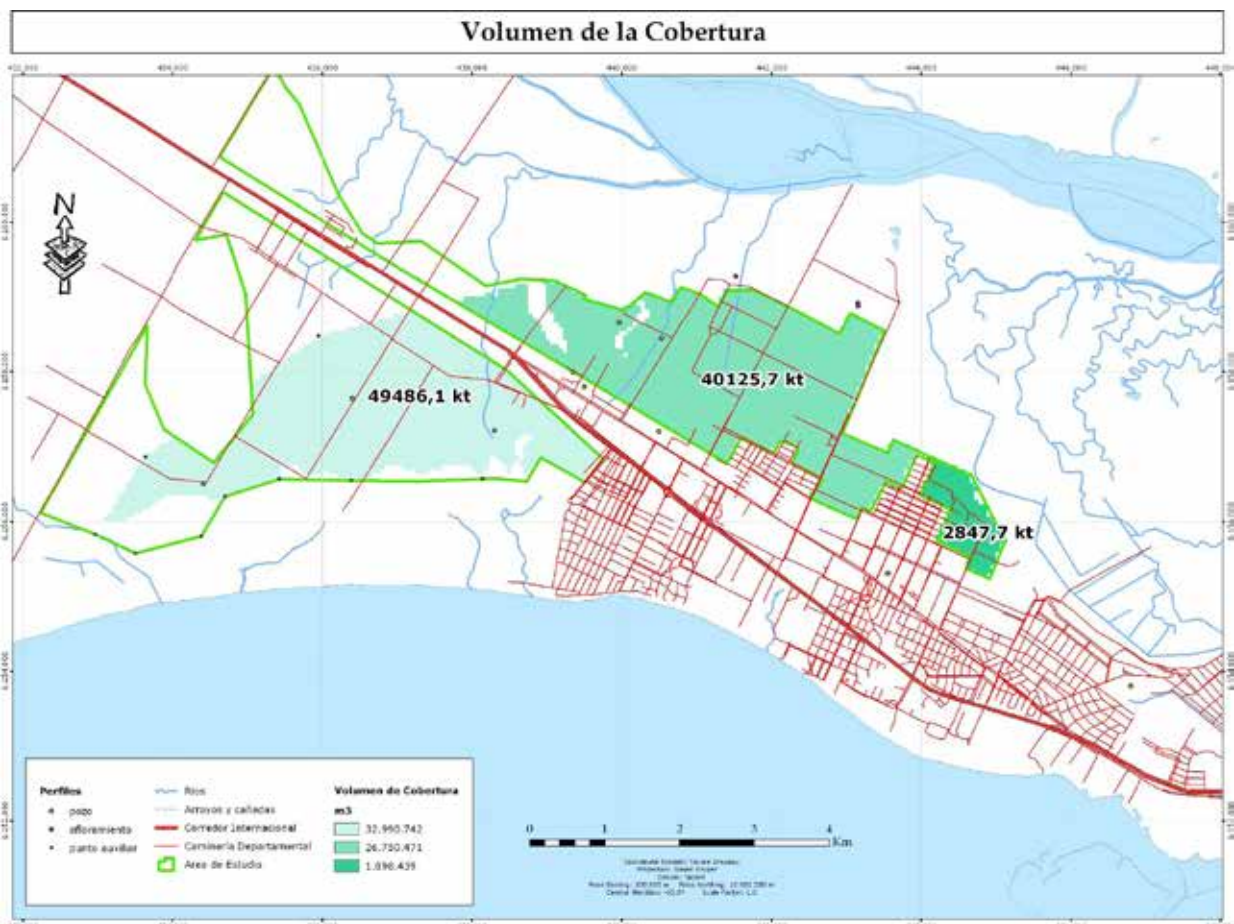


Figura 23. Volúmenes de Cobertura de Fm. Dolores y suelos actuales para los bloques N, S y E.

Capa 1b. La capa 1b tiene una potencia que oscila entre 0 y 7,3 m. Esta capa solo aparece en el bloque Sur del área de estudio. Los MDE realizados muestran que su espesor máximo se encuentra al centro y Sur del bloque mencionado (ver Figura 20). Como en el caso anterior el volumen se calculó en un SIG tomando como dato los MDE de los límites superior e inferior de la capa. El volumen de esta capa en el área de estudio es de 23.352.873 m³ (35.029 kt) (Ver Figura 21).

4.11 Cobertura

La capa 1a está cubierta por un material limoso que corresponde a la Fm. Dolores y a los suelos actuales. Esta cobertura tiene un espesor que oscila entre 0 y 13 m (ver Figura 22). El volumen de la cobertura en la zona de estudio se calculó para los tres bloques que se muestran en la Figura 23. El volumen del bloque sur es de 32.990.742 m³ (49486 kt), el del bloque Norte 26.750.471 m³ (40126 kt) y el del bloque este 1.898.439 m³ (2148 kt), resultando un volumen total de 61.639.652 m³ (91760 kt).

5 Conclusiones

La región de estudio localizada en el departamento de San José, Ciudad del Plata, constituye una zona muy importante a nivel departamental y nacional así como del área metropolitana en relación a las reservas de arena como áridos para la construcción.

La unidad geológica portadora de estos materiales es principalmente la Formación Chuy.

El volumen de reservas total calculado es de 130 millones de m³ lo que equivale a 192 millones de toneladas de arena.

Agradecimientos

Una de las autoras (Judith Loureiro) agradece al Ing. Agr. Jorge Spoturno por la supervisión del proyecto. Además, está sumamente agradecida con los perforadores de DINAMIGE: Augusto González, Alfredo Míguas y José Rosano por su gran labor, disposición y calidad humana en el desarrollo de los sondeos. Las autoras le agradecen a los revisores por sus comentarios y aportes.

Referencias

Anton, D. y Goso, H. (1974). Estado actual sobre el conocimiento del cuaternario del Uruguay.

Dirección de suelos del Ministerio de Agricultura y Pesca, Montevideo.

Bertoni Machado, C., Fariña, R., Sánchez Bettucci, L. y Sánchez, G. 2007. Taphonomie et géochronologie des sédiments fluviaux néogènes du Sud-Ouest de l'Uruguay. Colloque AFEQ-GFG-FLAG Hommage à André Weisrock. Géomorphologie et quaternaire du Maroc, relations entre formations fluviales et variations climatiques, Nancy-Université, Francia.

Bossi, J. y Ferrando, L. (2001). Carta geológica del Uruguay. Escala 1:500.000. V. 2.0. Geoeditores.

Caorsi, J. y Goñi J.C. (1958). Geología uruguaya. Bol. Inst. Geol. Uruguay, 37:1-73, 1 mapa. Montevideo.

Carballo, E., Carrión, R., Chao, R., Heinzen, W., Kraemer, R., Massa, E., Pereira, L., Spoturno, J. J., Stapff, M., Carballido, L., Castells, A., Chao, G., García, S., Hermida, C., Hernández, H., Silvera, W. (1995) Estudio Acuífero Raigón. Informe Final. Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego. MGAP/MTOP/Banco Mundial. Montevideo.

Cardozo, L. (1980) Perforación 1241/2. Localidad San Fernando Dpto. San José. Instituto Geológico del Uruguay. Informe interno. Montevideo

Coronel N., Spoturno J. y Theune C. (1980) Áreas Prospectivas de Arenas en el Valle del Río Santa Lucía. Segunda Fase, Informe Interno. Instituto Geológico del Uruguay, Montevideo.

Coronel, N., Mari, C; Spoturno, J; Theune, C. (1981) Reservas de arenas para la construcción en el Valle del Río Santa Lucía. Tercera Fase, Informe Interno. Instituto Geológico del Uruguay, Montevideo.

Coronel C., Veroslavsky, G. y Goso, C. (1988) Carta Geológica a escala 1:100.000 y Memoria explicativa de las Hojas Los Cerrillo y La Barra (parcial). DINAMIGE-Facultad de Agronomía-Facultad de Humanidades y Ciencias, Montevideo.

Delaney, P.J.C. (1963). Fisiografía e Geologia de superficie da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Tese, Facultad de Filosofia, Ciencias, Letras, Universidade de São Paulo, SP, Brasil.

Delaney, P.J.V. (1965). Fisiografía e geologia de superficie da planície costeira do Rio Grande do Sul (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Delaney P.J.V. (1966). Geology and Geomorphology of the coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil and northern Uruguay. Louisiana State Univ. Press, Coastal Studies 15: 1-58, 1 map.

Delaney, P.J.V. (1967) Geomorphology and Quaternary coastal geology of Uruguay. ix + 39 pp., 12 figs. Louisiana State University, Coastal Studies Institute, Tech. Rept.

- Elizalde, G. (1976). Estudio geológico y geomorfológico de la costa uruguaya. Montevideo - Chuy. Monografía. Montevideo. 123 pp
- Goso, H. (1965). El Cenozoico en el Uruguay. Inst. Geol. Uruguay, pp. Ed. Mimeogr. Montevideo- Uruguay.
- Goso, H., y Bossi, J. (1966). Cenozoico. Geología del Uruguay. Universidad de la República, Montevideo, 259-305.
- Goso, H. (1972). El Cuaternario Uruguayo. Programa de Estudio y Levantamiento de Suelos. Min. Agricultura y Pesca. Ed. Mimeogr. Montevideo
- Goñi, J.C., y Hoffstetter, R. (1964). Uruguay. Lexique Stratigraphique. International, 5 Amérique. Latine, 9a.
- Jones G.(1956).Memoria Explicativa y Mapa Geológico de la Región Oriental del Departamento de Canelones. Bol. Inst. Geol. Uruguay, 34: 1-193, lams. 1-42, figs.,1 mapa. Montevideo.
- Loureiro Olivet, J. (2014). Evaluación de las Reservas de Arena en Ciudad del Plata. Proyecto Prospección de Arena en el Departamento de San José. DINAMIGE. Informe interno. Inédito. 53 pp.
- Martínez, S. y Ubilla, M. (2004). El Cuaternario de Uruguay. En: Veroslavsky, G., Ubilla, M. y Martínez, S. (Eds.). Cuencas Sedimentarias de Uruguay Geología, paleontología y recursos naturales. Cenozoico. Montevideo, Facultad de Ciencias (D.I.R.A.C.), 195-229.
- Mezzano, A. (1994). Perforación A-1125/1. Dpto San José, Tropas Viejas. DINAMIGE. Informe interno. Montevideo
- RENARE (2003) Modelo Digital de Terreno de la República Oriental del Uruguay. <http://www.cebra.com.uy/renare/media/mdt.jpg>
- Perea, D. y Martínez, S. (2004). Estratigrafía del Mioceno-Pleistoceno en el litoral suroeste de Uruguay. En: Veroslavsky, G., Ubilla, M., Martínez, S. (Eds.), Cuencas sedimentarias de Uruguay. DIRAC, Montevideo, pp. 105-124.
- Preciozzi F.; Spoturno J.; Heinzen W.& Rossi P. (1985). Memoria Explicativa de la Carta Geológica del Uruguay. Dirección Nacional de Minería y Geología - MIEM. Montevideo- Uruguay.
- Prost, M.T. (1982), Heritages Quaternaires et évolution géomorphologique des bords du Rio de la Plata en Uruguay, tesis doctoral de la Université de Paris VII, París, 597 pp.
- Spoturno, J.J., Oyhantcabal, P., Cazaux, S., Aubet, N., Morales, E., Loureiro Olivet, J., Huelmo, S.A., Martinez, G., Techera, J., Arrighetti, R. (2004) Mapa Geológico departamento de San José a escala 1/100.000. CONY CIT - MEC. (CD-Rom). Montevideo.
- Spoturno J. y Carrión R. (2000) Geología e importancia Geoeconómica de la Formación Chuy en la Región Sur oriental del Departamento de San José. Primeras Jornadas de Cenozoico en el Uruguay. Facultad de Ciencias. Montevideo.
- Spoturno, J., de Santa Ana, H., Goso, C. y de Souza, S. 1993. Análise faciológica e paleogeográfica da seqüência Mio-pliocênica do setor ocidental da Bacia Santa Lucia (Uruguai). V Simposio Sulbrasileiro de Geologia, Resumos:33-34. Curitiba.
- Sánchez, G. (2010). Estudio magnetoestratigráfico de los sedimentos cenozoicos en el departamento de San José (Balneario, Kiyú, Arazatí y Mauricio) Trabajo Final de Licenciatura en Geología, Facultad de Ciencias, UdelaR 184 pp.
- Sánchez, G., Orgeira, M.J., Vásquez, C., Tófalo, O. y Sánchez Bettucci, L. (2007). Magnetoestratigrafía de sedimentos neógenos del suroeste del Uruguay. V Congreso Uruguayo de Geología, Actas en CD.
- Sánchez Bettucci, L., Orgeira, M.J., Sánchez, G., Bertoni Machado, C. y Fariña, R. 2007. Magnetostratigraphy of the Neogene sediments of SW Uruguay. Joint Assembly, AGU, Acapulco, México. Mayo 2007. Actas en CD.
- Serra, N. (1944). Memoria explicativa del Mapa Geológico del Departamento de Treinta y Tres (escala 1/250.000). Bol. Instituto Geológico del Uruguay, nº 31: 1-43, 9 Montevideo.
- Techera, J., Arriguetti, R. y Spoturno, J. (2004) Memoria Explicativa Del Mapa De Recursos Minerales Del Departamento de San José A Escala 1/100.000. DINAMIGE. Edición en CD. Montevideo.
- Tófalo, O., Orgeira, M. J, Morrás, H., Vásquez, C., Sánchez, L., Peccoits, E., Aubet, N., Sánchez, G., Zech, W. y Moretti, L. (2009). Geological, pedological and paleomagnetic study of the late Cenozoic sedimentary sequence in southwestern Uruguay, South America. Quaternary International, 210:6-17.
- Ubilla, M. y Perea, D. (1999). Quaternary vertebrates of Uruguay: biostratigraphic, biogeographic and climatic overview. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, 12.75-90. Balkema.