

**ANÁLISIS MORFOMÉTRICO Y DE PROVENIENCIA DE LAS GRAVAS DE LA PLAYA BELLA VISTA
(MALDONADO, URUGUAY)**

**MORPHOMETRY AND PROVENANCE ANALYSIS OF GRAVELS FROM BELLA VISTA BEACH
(MALDONADO, URUGUAY)**

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DA PROVENIÊNCIA DOS SEIXOS DA PRAIA BELLA VISTA
(MALDONADO, URUGUAI)**

Panzl, R. ⁽¹⁾; Ferreira, M. ⁽¹⁾; Goso, C. ⁽¹⁾

¹ Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias, Iguá 4225, CP 11400, Montevideo, Uruguay.
rpanzl@fcien.edu.uy

Editores: Dra. Elena Peel; MSc. Fernando Scaglia
revista@sociedadgeologiauy.org

PEDECIBA Isidoro de María 1614, piso 6 - Uruguay Tel: 2929 0318-int. 1612/1613
www.sociedadgeologiauy.org

RESUMEN

La costa uruguaya está conformada en su gran mayoría por playas arenosas, con la excepción de la playa Bella Vista en el departamento de Maldonado, que corresponde a la única playa de cantos rodados del país. Si bien las características de esta playa son un caso particular para el Uruguay. Es por ello por lo que el presente trabajo tiene como principal objetivo realizar un estudio morfométrico, de composición y de proveniencia de las acumulaciones de gravas de la berma estacionaria del área. Esto se realizó mediante muestreo y análisis de las mencionadas gravas en el laboratorio, utilizando como guía las clasificaciones sedimentarias vigentes. En primer lugar, se identificó un sistema de cúspides de playa apoyadas sobre depósitos cuaternarios de la Formación Libertad (Libertad I?). De los litoclastos que forman las cúspides el 82.5% provienen del Complejo Sierra de Ánimas (sienitas, traquitas, riolitas, brechas, basaltos), un 5.7% del Basamento Cristalino Proterozoico y un 11.8% no pudo ser identificado. La composición petrográfica de las gravas y el estudio de imágenes antiguas permitió inferir posibles cambios en las corrientes de deriva al tener clastos de basamento que pudieron provenir tanto del Este (Unidad Campanero) como del Oeste (Granito Solís de Mataojo). La mayor proporción de clastos correspondió granulométricamente a gravas medias (71.4%) y gravas gruesas (27.1%). Las formas predominantes corresponden a discoidales y esféricas, adquiridas por la sumatoria de la acción del desgaste por procesos coluviales y aluviales ocurridos desde el Cretácico, sumada a la acción erosiva actual en el ambiente costero.

Palabras claves: morfometría, cúspides, procedencia, Playa Bella Vista, Uruguay

ABSTRACT

The Uruguayan coast is made up mostly of sandy beaches, with the exception of the Bella Vista beach in the department of Maldonado, which corresponds to the only gravel beach in the country. Although the characteristics of this beach are a particular case for Uruguay, so far, no basic textural studies of the clasts that compose it have been carried out. That is why the main objective of the present work is to carry out a morphometric and provenance study of the gravels. That is why the main objective of the present work is to accomplish a morphometric, composition and provenance study of the gravel accumulations of the stationary berm of the area. This was done through sampling and analysis of the aforementioned gravels in the laboratory, using the current sedimentary classifications as a guide. First of all, a system of beach cusps supported on quaternary deposits of the Libertad Formation (Libertad I?) was identified. Of the lithoclasts that form the cusps, 82.5% come from the Sierra de Ánimas Complex (syenites, trachytes, rhyolites, breccias, basalts), 5.7% from the Proterozoic Crystalline Basement and 11.8% could not be identified. The petrological composition of the gravels and old aerial photos analysis allow to identify changes in drift currents as they have basement clasts that could have come from both the East (Campanero Unit) and the West (Solís de Mataojo Granite). The highest proportion of clasts corresponded granulometrically to medium gravels (71.4%) and cobbles (27.1%). The predominant forms correspond to discoidal and spherical, acquired by the sum of the action of wear by colluvial and alluvial processes that occurred since the Cretaceous, added to the current erosive action in the coastal environment.

Keywords: gravel, morphometry, beach cusps, provenance, Uruguay.

RESUMO

A costa uruguaia é formada principalmente por praias de areia, com exceção da praia Bella Vista no departamento de Maldonado, que corresponde à única praia de seixos do país. Embora as características desta praia sejam um caso particular do Uruguai, até o momento não foram realizados estudos básicos de textura dos sedimentos que a compõem. Por isso o objetivo principal deste trabalho é realizar um estudo morfométrico, de composição e de proveniência dos acúmulos de seixos da berma estacionária

da área. Isso foi feito por meio de amostragem e análise dos mencionados cascalhos em laboratório, usando como guia as classificações sedimentares atuais. Em primeiro lugar, foi identificado um sistema de cúspides de praia apoiadas em depósitos quaternários da Formação Libertad (Libertad I?). Dos litoclastos que formam as cúspides, 82.5% provêm do Complexo Sierra de Ánimas (sienitos, traquitos, riolitos, brechas, basaltos), 5.7% do Basamento Cristalino Proterozóico e 11.8% não puderam ser identificados. A composição petrológica dos seixos e a análise de imagens antigas permite interpretar mudanças nas correntes de deriva, visto que apresentam clastos de embasamento que podem ter vindo tanto do Leste (Unidade Campanero) quanto do Oeste (Granito Solís de Mataojo). A maior proporção de megaclastos correspondeu granulometricamente a seixos médios (71.4%) e blocos (27.1%). As formas predominantes correspondem a discoidal e esférica, adquiridas pela suma da ação do desgaste por processos coluviais e aluviais ocorridos desde o Cretáceo, mais à atual ação erosiva no ambiente costeiro.

Palavras-chave: morfometria, cúspides, proveniência, Praia Bella Vista, Uruguai.

INTRODUCCIÓN

Las cúspides de playa o cuspiditos son formaciones rítmicas costeras que se caracterizan por su forma de arco y son comúnmente encontradas en diversos ambientes litorales alrededor del mundo (Masselink *et al.* 1997; Nolan *et al.* 1999), particularmente en playas reflectivas con pendientes pronunciadas y bermas bien desarrolladas y en playas intermedias (Almar *et al.* 2008), como por ejemplo en Estados Unidos, India, Irlanda y España (Holland, 1998; Morales, 2015; Sathish *et al.* 2018; Nuyts *et al.* 2020). Se ubican en la playa frontal (Nolan *et al.* 1999) y están conformadas por una secuencia definida de cúspide-bahía-cúspide (Masselink & Pattiaratchi, 1998). Las cúspides consisten en crestas compuestas por sedimentos gruesos que apuntan hacia el mar y las bahías o ensenadas son depresiones suaves curvas conformadas por sedimentos finos (Nuyts *et al.* 2020). En Uruguay, la playa Bella Vista ubicada en el departamento de Maldonado, es la única playa del país que presenta estas características sedimentológicas ([Figura 1](#)). El presente trabajo presenta los resultados y la discusión de un estudio sobre la composición, proveniencia y forma de las gravas que conforman las cúspides de la playa Bella Vista (departamento de Maldonado, Uruguay). Por ello, se trata de un trabajo que tuvo como objetivo realizar estudios sedimentológicos texturales básicos (morfometría y caracterización litológica). Así, se pretende aportar a la descripción sedimentológica de los materiales presentes en esa playa y brindar elementos que caracterizan a ese ambiente geomorfológico y probables áreas fuente de detritos.

Si bien las cúspides de playa han sido motivo de muchos estudios en las últimas décadas, aún persisten controversias acerca de sus procesos de formación. Particularmente, para aquellas playas con sistemas de cúspides multinivel, (Antia, 1987; Senechal *et al.*, 2014; Vousdoukas, 2012). Recientes trabajos confirman que las cúspides en la cara superior de la playa se caracterizan por ser más anchas formando sistemas estables, mientras que las cúspides ubicadas en la playa inferior presentan en general menor dimensión y son más dinámicas, ya que cambian con frecuencia. Por esto, las medidas de sus cambios con el tiempo contribuyen a la comprensión de su formación y evolución (Masselink & Pattiaratchi, 1998).

Nolan *et al.* (1999) han demostrado que las cúspides de un espaciado particular se forman en elevaciones específicas en la cara frontal de playa (foreshore). Asimismo, pudo constatar que la elevación de las cúspides está controlada por la altura de ola en la rompiente en las playas mixtas de arenas y gravas. La variación de espaciado ([Figura 1](#)) entre los niveles de las cúspides es una función de la variabilidad en la altura de rompiente de olas y se expresa a través de variaciones en la longitud de la zona de lavado (*swash*).

Según Barudžija *et al.* (2020), el estudio de la forma y de la composición litológica de los clastos mayores a 2 mm (sábulo, gravas y bloques) ha sido tradicionalmente utilizada en estudios sedimentológicos para conocer los efectos de los agentes de transporte sobre las partículas o clastos en el ciclo superficial (fluvial, eólico, litoral, glaciar). A su vez, estos estudios brindan elementos para conocer el área fuente o procedencia de los detritos (Bunicontró *et al.* 2017). Se conoce que la composición y abundancia de las especies minerales o litológicas en un sedimento está determinada por: (a) la naturaleza y disponibilidad de la roca madre, (b) el tipo de intemperismo predominante, (c) la resistencia mecánica de los componentes (p.e. ausencia de clivajes, dureza alta) y (d) la estabilidad química de los depósitos residuales. Asimismo, existe correspondencia entre la granulometría y los componentes líticos, ya que a mayor granulometría tienden a abundar los litoclastos (Suguio & Bigarella, 1979).

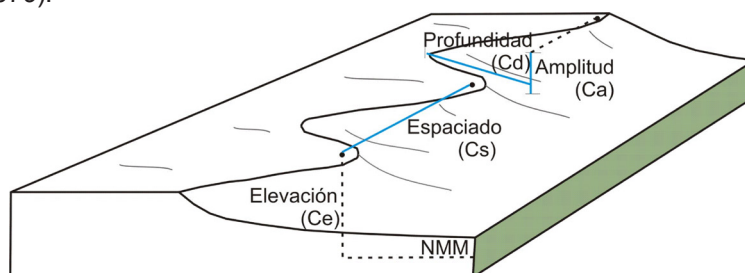


FIGURA 1. Elementos morfométricos dimensionales de las cúspides. Traducido de Nolan *et al.* (1999).
FIGURE 1. Dimensional morphometric elements of the cusps. Traduced from Nolan *et al.* (1999).

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sector de playa estudiado ([Figura 2](#)) se localiza en la costa del departamento de Maldonado en el km 86 de la Ruta Nacional N°10, al Este de la Punta Solís, al Oeste del Arroyo de Las Flores y al Sur de la Ruta Interbalnearia. Se caracteriza por ser una zona balnearia con una baja densidad poblacional, siendo las localidades más próximas el balneario Las Flores al Este y Solís al Oeste. Las coordenadas del sector de playa estudiado son $x=34^{\circ}48'10.85''S$, $y=55^{\circ}22'10.12''O$. Allí, la línea de costa tiene una dirección N 285, entre dos pequeñas puntas rocosas..

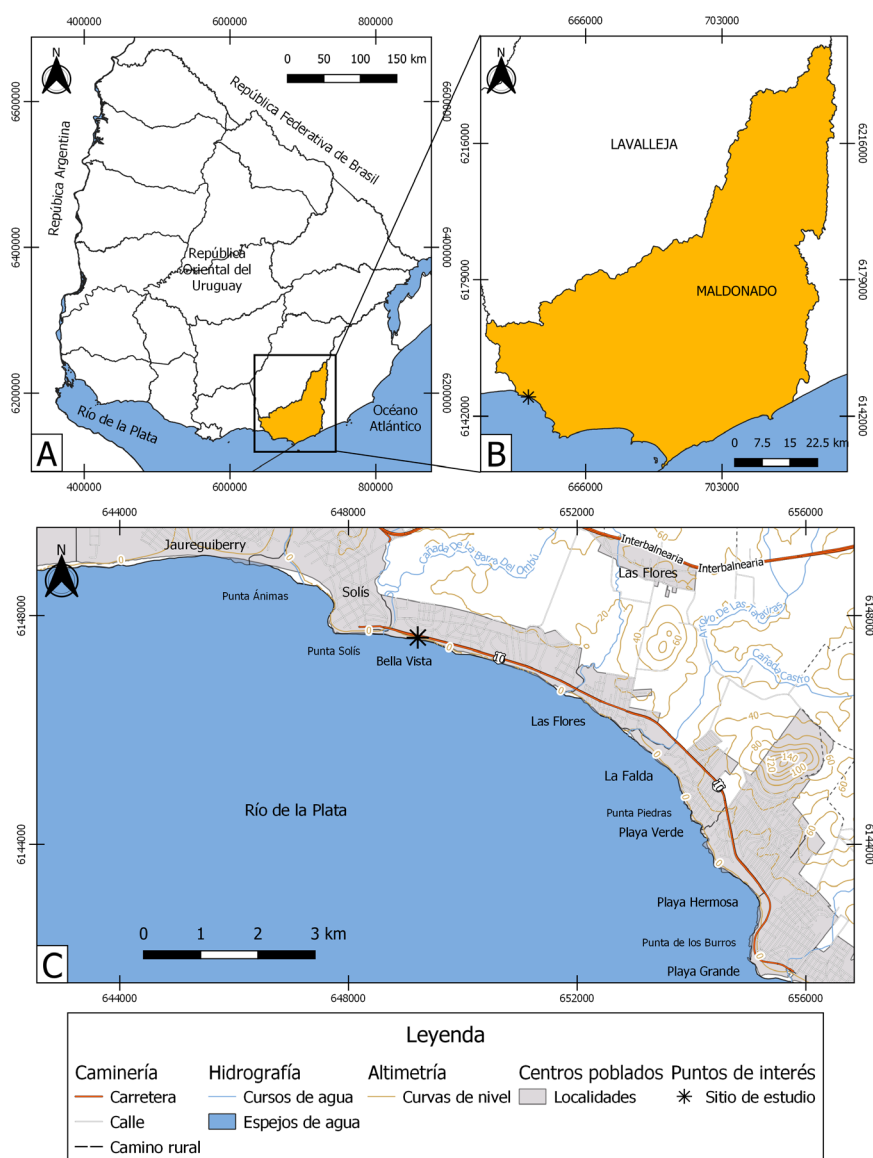


FIGURA 2. A y B: ubicación de la playa Bella Vista en el departamento de Maldonado (asterisco negro). C: Mapa topográfico del arco de playa Punta Solís - Punta de los Burros y playa estudiada. Modificado de la hoja topográfica G-29 Piriápolis (IGM, 1999)

FIGURE 2. A and B: location map of Bella Vista beach in Maldonado department (black asterisk). C: topographic map of Punta Solís - Punta de los Burros arch and studied area. Modified from G-29 Piriápolis topographic sheet (IGM, 1999).

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA

1. Contexto geológico

En el sector occidental del departamento de Maldonado, afloran como puntas rocosas litologías correspondientes al Granito Solís de Mataojo en Punta Solís y del Complejo Sierra de Ánimas (CSA) en Punta Piedras y Punta de los Burros (Oyhantçabal *et al.*, 1993; 2007). A su vez, según estos autores se exponen formando parte de barrancos fluviales, de planicie costera o como plataformas de abrasión, sedimentos oligocénicos de la Formación Fray Bentos (*sensu* Bossi, 1966); plio-pleistocénicos de la Formación Malvín (*sensu* Prost, 1982); pleistocénicos continentales de las formaciones Libertad y Dolores (*sensu* Goso, 1965); así como los actuales y subactuales, aluviones y de playa ([Figura 3](#)) (Spoturno *et al.*, 2012).

Una propuesta estratigráfica como la realizada por Goso Aguilar (2006) para la costa del vecino departamento de Canelones, puede ser ensayada para esta zona de estudio ([Tabla 1](#)). En relación con las unidades cuaternarias en Canelones allí descritas, donde se observa la ciclicidad glacial-interglacial en dos ciclos de tipo T-R, materializadas a través de las formaciones pleistocénicas Libertad II (continental), Chuy III (litoral), Dolores (continental) y la holocénica Villa Soriano (litoral), en este sector de costa de Maldonado (acantilados del

Formación	Litologías dominantes	Edad	Afloramientos
Actual y reciente	Arenas de dunas. Arenas y rodados de playa	Actual y/o reciente	Playas
Villa Soriano	Sedimentos arcillosos y turbosos (esteros)	Holoceno	Desembocadura arroyo Solís Grande
Dolores	Limos-arcillosos marrones, masivos (aluviales)	Pleistoceno	Planicie aluvial A° Solís Grande
Libertad	Diamictitos marrones, flujos gravitacionales (coluviones)	Pleistoceno	Plataformas de abrasión Bella Vista y Las Flores
Malvín	Conglomerados (aluviales)	Plio-Pleistoceno	Margen izquierda arroyo Solís Grande
Fray Bentos	Limolitas rosadas con carbonatos (continentales)	Oligoceno	Margen izquierda A° Solís Grande, plataformas de abrasión club de pesca
Migues	Arcillas marrones, algo arenosas. Areniscas con matriz fina y niveles conglomerádicos polimícticos	Cretácico Inferior	Sondeo OSE N° 88.4.054
Complejo Sierra de Ánimas	Sienitas, riolitas, traquitas, basaltos, brechas	Cámbrico - Neoproterozoico	Punta de los Burros, Cerro de los Burros
Granito Solís de Mataojo	Granodioritas y granitos	Neoproterozoico - Ediacárico	Playa Solís, bajada club de pesca

TABLA 1. Unidades geológicas presentes en el área de estudio y sus principales características.
TABLE 1. Geological units present in the study area and their main features.

Balneario Solís, Club de Pesca Solís) también fueron observadas esas unidades las cuales marcan momentos transgresivos-regresivos, tal como se expresa en los esquemas estratigráficos de Goso (1985; 1986) y Goso Aguilar (2006). En este sector se plantea la posibilidad que esté aflorando la Formación Libertad I presente en las plataformas de abrasión.

1.1 Granito Solís de Matajojo (Neoproterozoico- Ediacárico)

Al occidente del área de estudio se encuentra la Punta Solís, conformada por litologías correspondientes al Granito Solís de Matajojo. Según Oyhantçabal *et al.* (2007), este intrusivo comprende tres facies principales: tonalítico, granodiorítico y granítico, que se disponen según bandas subparalelas con relación al eje del macizo. En particular en esa punta existen algunos asomos de facies granodioríticas y graníticas, que están cubiertas por sedimentos cuaternarios. Se dispone una edad de Umpierre & Halpern (1971) en roca total Rb-Sr de 560 $\pm$ 15 Ma del facies granodiorítico y otra más reciente, Pb-Pb en titanita de 584 $\pm$ 13 Ma.

1.2 Complejo Sierra de Ánimas (CSA) (Cámbrico-Neoproterozoico)

Este Complejo que aflora al oriente del área presenta una destacada expresión superficial. El mismo se constituye por una asociación de rocas plutónicas, volcánicas, subvolcánicas y piroclásticas con términos básicos y ácidos (Sánchez *et al.*, 2009). Sánchez Bettucci (1997) separa al CSA en: Formación Pan de Azúcar constituida por un cuerpo sienítico; la Formación El Tambo compuesta por riolitas, riodacitas, dacitas y flujos piroclásticos; la Formación Piriápolis compuesta por lavas traquíticas, diques y traquitas porfíricas; la Formación El Ombú conformada por basaltos masivos, diques y traquibasaltos y la Formación Las Flores constituida litológicamente por basaltos vesiculares, diques con amígdalas y brechas magmáticas. Por su parte, Spoturno *et al.* (2012) asignaron una edad que varía entre 487 y 552 Ma basada en dataciones K-Ar y Rb-Sr en roca total.

1.3 Formación Miques (Cretácico Inferior)

Reconocida por primera vez por Jones (1956) y definida con criterio litoestratigráfico por Bossi (1966). Fue identificada en el subsuelo próximo al área de estudio (Jaureguiberry) en una perforación. Se encuentra conformada por materiales sedimentarios detríticos que van desde conglomerados matriz soportados de composición polimíctica, areniscas conglomerádicas cuarzo feldespáticas, mal seleccionadas con una matriz soporte de arena muy fina a limosa; y areniscas medias a muy gruesas mal clasificadas,

cuarzo feldespáticas y arcósicas con una matriz soporte de limo y arcilla de colores marrones y rojizos. Se le atribuye una edad Cretácico Inferior con base en el registro fósil de la unidad. Se infiere que el ambiente depositacional se encuentra estrechamente vinculado con el relleno de importantes depresiones a través de ambientes sedimentarios de tipo fluvial con retrabajamiento eólico (Spoturno *et al.*, 2012).

1.4 Fray Bentos (Oligoceno Superior)

Esta unidad que fue definida por Goso (1965), en el departamento de Maldonado es posible identificarla como afloramientos aislados en la Punta de Solís Grande y en la Playa Bella Vista (Spoturno *et al.*, 2012). Desde el punto de vista litológico de los afloramientos y perforaciones se reconocen limos arenosos y areniscas muy finas, compactas, bien clasificadas, cuarzosas, con escasa matriz, pueden presentar arena gruesa y gravilla dispersa y se encuentran cementadas por un cemento carbonático. También se reconocen fangolitas matriz soportada de composición limo arcillosa a arcillosa con clastos de fracciones mayores en distribución caótica (Spoturno *et al.*, 2012). Se le atribuye una edad Oligocénica Superior. Se reconoce que este conjunto de sedimentos fue depositado en un ambiente continental árido a semiárido, con depositación eólica y evidencias de transporte acuático en forma de flujos de barro (Spoturno *et al.*, 2012).

1.5 Formación Malvín (Plioceno Superior-Pleistoceno)

La Formación Malvín fue definida por Prost (1982). Aflora de forma restringida al Sur del departamento de Maldonado así como en la parte occidental de la ladera media alta de la Sierra de Ánimas y en las barrancas de abrasión de los principales cursos de agua con drenaje de este a oeste. Esta unidad se compone principalmente por orto y para conglomerados clasto y matriz soportados por fracciones cantos, grava y gravilla. La matriz es predominantemente areno-gravillosa. Además, en igual proporción se compone por areniscas conglomerádicas en la cual dominan las fracciones arena , grava y gravilla. Esta unidad fue depositada bajo condiciones climáticas áridas a semiáridas las cuales respondieron a procesos de ambiente continental de tipo abanicos aluviales (Goso Aguilar & Muzio, 2006; Spoturno *et al.*, 2012).

1.6 Formación Libertad (Pleistoceno)

Esta unidad litoestratigráfica fue definida por Goso (1965). Aquí, siguiendo la redefinición de Goso (1985), que caracteriza como Libertad I a lo que está litológicamente integrada en la base por sedimentos diamictíticos y

fangos, con un contenido variable de clastos (cantos, gravas, arenas) de composición cuarzosa, feldespática, angulosos y subangulosos, que están inmersos en ocasiones en niveles centimétricos y en otras dispersos al azar, que muestran una base erosiva y una gradación granulométrica normal, fueron reconocidas litologías similares. En el área fueron observados afloramientos en plataformas de abrasión cuyos sedimentos presentan color marrón rojizo, con variable contenido de carbonatos, que se asimilan a los anteriormente descritos. Por otro lado, ha sido observada ocupando posiciones altimétricas elevadas en laderas suavemente inclinadas y corresponde a eventos de sedimentación de tipo continental pleistocénicos, del tipo flujos de barro bajo condicionantes climáticas de tipo semiárido, con alternancia de condiciones subhúmedas.

1.7 Formación Dolores (Pleistoceno Superior)

Esta unidad fue definida por Goso & Antón (1974), quienes en su esquema estratigráfico lo hacen corresponder como Libertad III (Goso 1985; 1986), depositada en un momento glacial en ambiente de sedimentación continental, bajo condiciones de clima frío y seco. Según este autor, esas unidades se logran diferenciar en el campo porque la Formación Dolores genera superficies planas asociados a los valles fluviales y la Formación Libertad se expresa en relieves suavemente ondulados. En el departamento de Maldonado se ubica en la terraza más alta, asociada a los principales cursos de agua y a la faja costera. Esta formación está litológicamente compuesta por sedimentos limo-arcillosos, de color marrón, masivos a algo estratificados, con variable contenido de arena (fangos) y gravas, con espesores que no superan los 10 m de potencia. Según Ubilla y Martínez (2016), se le asigna una edad de sedimentación Pleistocena Tardía - Holocénica Temprano.

1.8 Formación Villa Soriano (Holoceno)

Esta unidad fue definida por Goso (1972), con los afloramientos son escasos, pero en sondeos y pequeños afloramientos es posible identificarla en la desembocadura del Arroyo Solís Grande. Litológicamente está conformada por sedimentos de baja a nula consolidación y gran variedad textural, aunque predominan las fracciones limo, arcilla y arena muy fina; mientras que las fracciones arenosas media y gruesa y gravillas y cantos ocurren ocasionalmente. Genéticamente está relacionada a un ambiente litoral como producto del ascenso del nivel del mar (Spoturno *et al.*, 2012). Recientemente, Ubilla y Martínez (2016) la sitúan en el Holoceno Medio a Tardío.

1.9 Reciente y actual

Dentro de los depósitos recientes y actuales se pueden diferenciar dos de ellos en el área de estudio: depósitos de playa y de depósitos de dunas. Bajo la denominación de depósitos de playa fueron definidos por Spoturno *et al.* (2012), los depósitos litorales caracterizados por sedimentos que ocupan la parte más distal de la franja costera y que se encuentran distribuidos de forma longitudinal y paralela a la línea de costa. Estos sedimentos se encuentran fuertemente influenciados por el oleaje, principalmente por las olas generadas a partir del régimen de sudestadas. Litológicamente están compuestos por arenas finas a muy gruesas, pobres a bien seleccionadas, generalmente de composición cuarzosa, y gravas finas a gruesas, que son motivo especial de estudio en este trabajo. Las gravas se hallan a su vez en playas al Oeste de los departamentos vecinos de Canelones y Montevideo, pero la playa Bella Vista ubicada en Maldonado es la localidad con mayor concentración. Las playas y cordones se desarrollan entre los arcos de extensión variable limitados por puntas rocosas, como en el caso del arco correspondiente a la Playa Bella Vista que se enmarca dentro de Punta de los Burros al Este y Punta Ánimas al Oeste. Por otra parte, en el área se desarrollan dunas litorales, entre las que se pueden distinguir las fijas y libres (DINAMA 2018). Los depósitos dunares allí presentes, son relativamente poco potentes debido a que se trata de una playa de rodados, con escaso aporte de arena de playa. Las dunas se tratan de dunas secundarias remanentes, que se encuentran altamente estabilizadas por una densa cobertura vegetal formadas gracias a la erosión de dunas primarias. Están constituidas por arenas finas cuarzosas, blancas, con sets de estratificación horizontal cruzada de bajo ángulo.

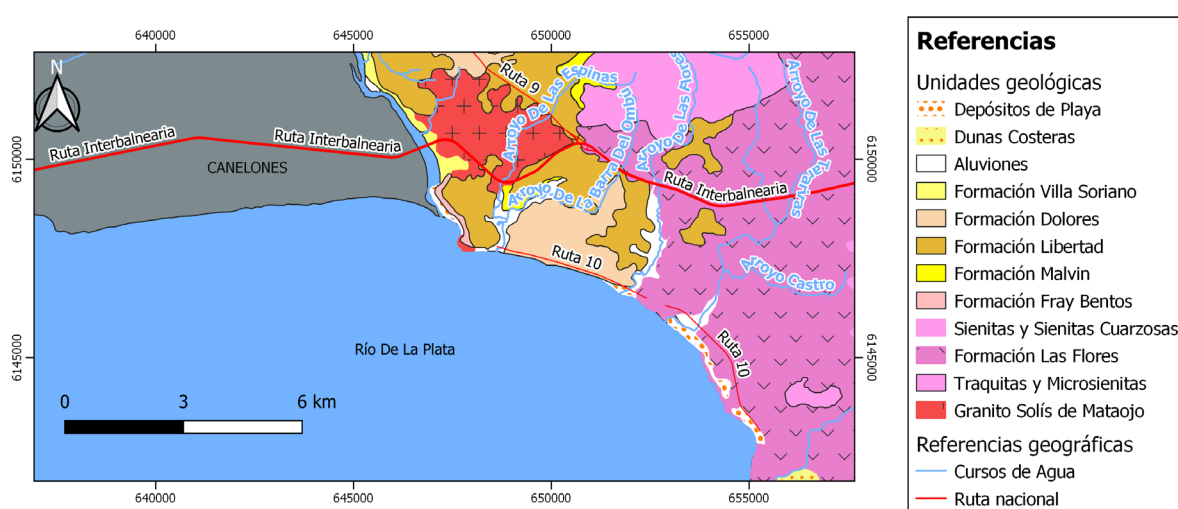


FIGURA 3. Mapa geológico del entorno del área de estudio. Modificado de Spoturno *et al.* (2012).
FIGURE 3. Geological map of the surroundings of the study area. Modified from Spoturno *et al.* (2012).

2. Contexto geomorfológico

Del punto de vista geomorfológico un cambio en la dirección casi E-W de la costa al occidente del Arroyo Solís Grande (Departamento de Canelones) obedece a un asomo en superficie del Granito Solís de Mataojo en Balneario Solís y a la presencia en la desembocadura del A° Solís Grande de sedimentos de la Formación Fray Bentos (Oligoceno) o Libertad (?) en los escarpes de las terrazas de su margen izquierda, a una dirección NW-SE (Departamento de Maldonado). Al Este de esta estructura vuelven a aflorar en plataformas de abrasión diamictitos marrón-rojizos de la Formación Libertad hasta casi el final del arco estudiado, como en la Playa Las Flores y en la desembocadura del Arroyo Tarariras.

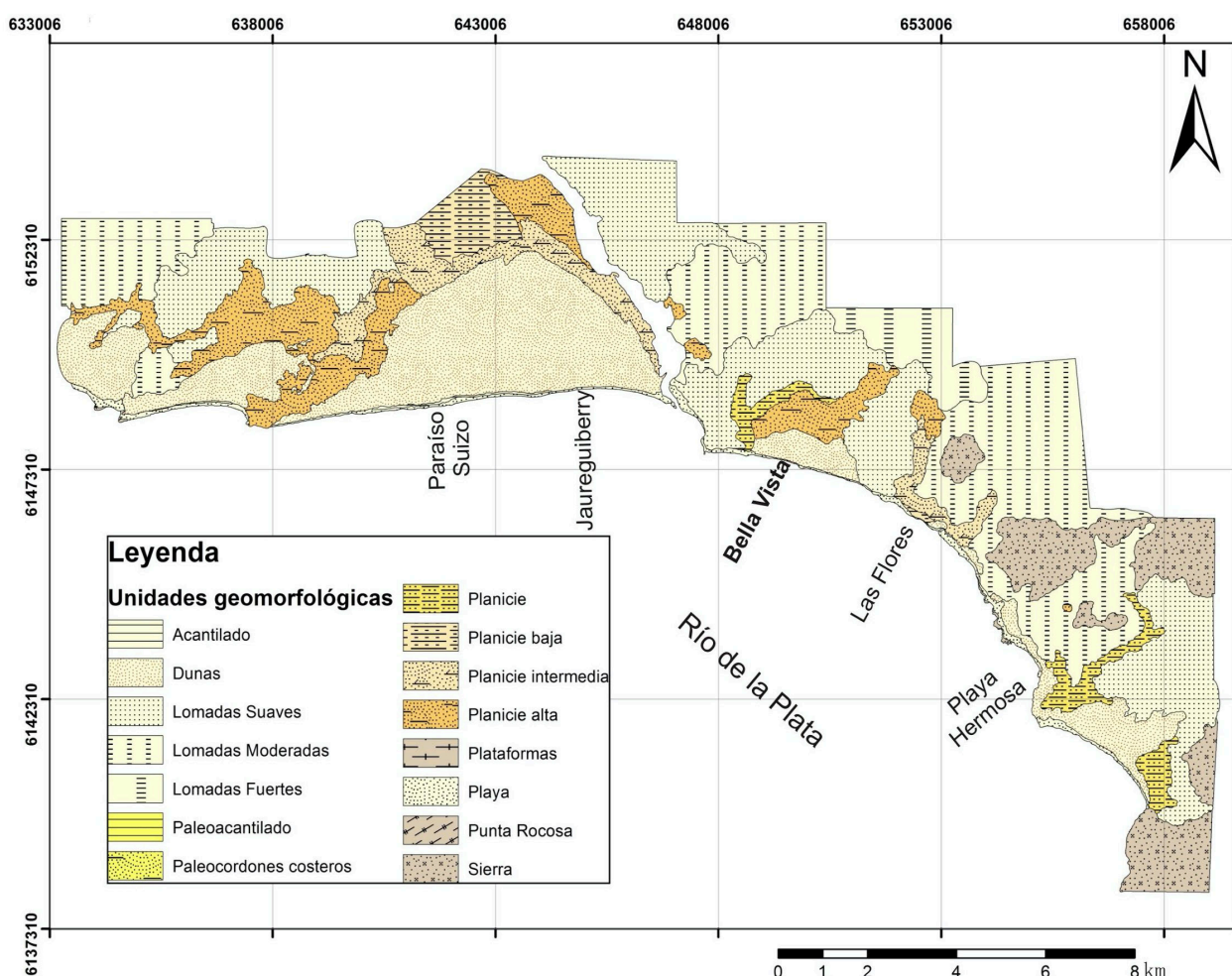


FIGURA 4. Mapa geomorfológico del área de estudio y playas cercanas. Tomado de DINAMA (2016).
FIGURE 4. Geomorphological map of the study area and nearby beaches. Taken from Revisar DINAMA (2016).

De una manera general, se presentan en este ambiente litoral además de las playas arenosas y cuspidos, campos dunares y las planicies aluviales y costera de distintas alturas, cuyas unidades aparecen en sectores de acantilados de altura métrica y plataformas que marcan el predominio de la acción erosiva marina. A su vez, existen planicies muy bajas asociadas al curso del Arroyo Solís Grande, al que se asocian zonas con bañados de gran valor ecosistémico. Completan el cuadro geomorfológico una serie de laderas suaves, moderadas y fuertes que son las vertientes naturales del sistema de drenaje controlado principalmente por el sistema serrano del Complejo Sierra de Animas, con escorrentías que drenan hacia el Río de la Plata por: la Cañada de las Espinas y los Arroyos de las Flores y de las Tarariras, los que tienen un diseño subdendrítico. El mapa de este sector se muestra en la [figura 4](#). Las cotas de ribera en playa Bella Vista es de +2.45 m.

3. Contexto oceanográfico

3.1 Clima de olas

La altura de las olas, dirección y el período de pico para las boyas virtuales ubicadas en Solís y en Piriápolis permiten establecer que el clima de olas de este sector de costa es del tipo “Swell”, el cual disminuye al entrar en contacto con el Río de la Plata con un clima de olas de tipo “estuario”. Esta clasificación proviene a partir de que el 85% de las olas tienen alturas menores a 1.6 m y que la mitad de las olas miden menos de 0.8 m (Dragani & Romero, 2004), siendo de 0.4 a 1.2 m el rango de altura donde se concentran la mayoría de las olas. Por otra parte, la información obtenida sobre la dirección indica que en esta zona el oleaje proviene mayoritariamente del SW y SE, con un fuerte predominio del oleaje del SE. Respecto al período del oleaje se distingue un oleaje producido por la acción local y un oleaje de mar de fondo. El oleaje producido por la acción del viento local está asociado a un periodo pico de entre 3 y 7 segundos, mientras que el oleaje de mar de fondo está asociado a un periodo pico entre 8 y 17 segundos. (IMFIA, 2008).

A su vez, en un reciente estudio que analizó resultados met-oceánicos, mostró que en este sector que el régimen de oleaje es típicamente bimodal, con una moda en el rango SSE y otra próxima al E. La moda de la altura de ola significativa es 1.0 en una boya virtual ubicada en Solís. A su vez, la moda del período medio es 7 s, la altura de ola significativa de 10 años de período de retorno es próxima a 6 m y la diferencia entre los niveles de mar de 5% y 95% es de aproximadamente 1 m. A medida que el análisis se adentra en el estuario

el oleaje se vuelve unimodal, del SE, con variaciones en función de la ubicación de las boyas, y la altura de ola significativa disminuye, siendo su moda 0.5 m en todas las boyas estuarinas menos la más exterior. (IMFIA, 2016).

3.2 Niveles de mareas

Para la determinación de los niveles máximos, medios y mínimos de marea en metros fueron utilizadas las estaciones hidrométricas Peaje Solís y Piriápolis de la Dirección Nacional de Hidrografía (DNH). Los valores de los niveles máximos anuales de marea fueron ajustados a la función de distribución Log-Normal que presenta la mejor bondad de ajuste (95%), IMFIA (2008) para distintos períodos de retorno (años). Los resultados obtenidos se muestran en la [tabla 2](#).

Tr (años)	Peaje Solís			Piriápolis		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max
1,5	1,4	1,6	1,8	1,4	1,4	1,5
2	1,5	1,8	2,1	1,5	1,5	1,6
5	1,8	2,2	2,9	1,6	1,7	1,9
10	1,9	2,4	3,3	1,7	1,9	2
25	2,1	2,7	3,8	1,8	2	2,2
50	2,2	2,9	4,2	1,9	2,1	2,3
100	2,3	3	4,5	1,9	2,2	2,5

TABLA 2. Niveles medios, máximos y mínimos de marea para distintos años de período de retorno en Peaje Solís y Piriápolis. Modificado de IMFIA (2008).

TABLE 2. Mean, maximum and minimum tide levels in several years of return period in each station. Modified from IMFIA (2008).

3.3 Corrientes

Los datos de corrientes más próximos a la zona de estudio corresponden a registros directos de intensidad y dirección de corriente medidos en tres ubicaciones diferentes en la costa de Punta del Este. Del análisis de estos datos se puede concluir que en el punto más proximal a la costa (800 m) el flujo medido y residual predominante es en la dirección Sureste. Sin embargo, cuando la distancia aumenta (3000 m de la costa) se observa que el flujo predominante tiene dirección Oeste y Este alternadamente. Los registros obtenidos de las mediciones en Punta del Chileno muestran direcciones de flujo Este y Noroeste, lo que demuestra la influencia de la orientación de la línea de costa. De esta forma se muestra una corriente oblicua a la línea de

costa conformando una corriente de tipo deriva litoral la cual podría verse asociada al oleaje presente. En cuanto a las intensidades, se puede determinar que el flujo en los puntos de control cercanos a la costa es menos intenso que aquellos en las zonas más distales (IMFIA, 2008).

4. Contexto climático

4.1 Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen (1936), el departamento de Maldonado pertenece al clima oceánico típico (Cfb), con temperaturas promedio de 16.5°C y precipitaciones de 1040 mm al año (INUMET, s.f).

4.2 Clima de vientos

Con base en los datos recabados de las estaciones meteorológicas a lo largo de la costa del país, se infiere que los vientos que predominan durante todo el año provienen del NE, siendo en primavera-verano más frecuentes que en otoño-invierno, donde son más frecuentes los vientos del SW. Según las rosas de los vientos de las estaciones que se encuentran más cercanas a la zona de estudio: San Luis (UTE) y Laguna del Sauce (INUMET), se observa que predominan los vientos del NE (Manta, 2017), lo que concuerda también con las rosas de los vientos estacionales para toda la costa uruguaya propuestas por Manta *et al.* (2021) (Figura 5).

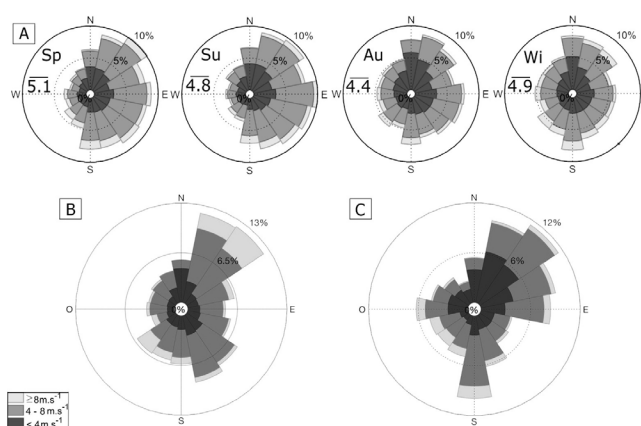


FIGURA 5. A) Rosas de viento estacionales de la costa uruguaya entre 2011 y 2016. De izquierda a derecha: primavera (Sp), verano (Su), otoño (Au) e invierno (Wi). Distribución de velocidades y dirección de vientos registrados en San Luis (B) y Laguna del Sauce (C). Se indica Velocidad media del viento (m/s). Modificado de Manta (2017) y Manta *et al.* (2021).

FIGURE 5. A) Seasonal wind roses of the uruguayan coast between 2011 and 2016. From left to right: Spring (Sp), summer (Su), autumn (Au) and winter (Wi). B) Distribution of velocity and wind directions in San Luis (B) and Laguna del Sauce (C). Wind mean velocity (m/s) is indicated. Modified from Manta (2017) and Manta *et al.* (2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de alcanzar el objetivo de este estudio, en la etapa de campo se procedió a seleccionar el sitio para la colecta de las gravas en la playa de Bella Vista. Para eso se eligió un punto en la berma estacionaria, realizándose el muestreo el 07/06/2019. Posteriormente, se delimitó una celda cuadrada de un metro de lado ([Figura 6](#)) para la colecta de los clastos en la berma de dicha playa. En particular, el punto de muestreo se ubicó en las coordenadas $x=34^{\circ}48'10.85''S$, $y= 55^{\circ}22'10.12''O$. Se obtuvo una muestra de 576 clastos que posteriormente fueron estudiados en el Laboratorio del Instituto de Ciencias Geológicas de Facultad de Ciencias (UdelaR).

En la etapa de laboratorio se estableció la granulometría, morfometría y litología de los clastos colectados. Para la determinación de los tamaños se midieron con calibre con apreciación milimétrica los tres ejes (A: largo, B: ancho y C: espesor) perpendiculares entre sí y se clasificaron según la escala granulométrica de Wentworth (1922). La forma fue establecida con base en la clasificación de los Índices de Zingg (Zingg 1935 in Suguio 1973). La litología se determinó macroscópicamente, resultando algunos de difícil determinación (no identificables en muestra de mano), pero que igualmente fueron utilizados para el análisis morfométrico y estadístico.



FIGURA 6. Vista de la celda de un metro de lado donde se realizó el estudio.
FIGURE 6. View of the one-meter side square cell with studied clasts.

Posteriormente, se realizó en gabinete un estudio estadístico con las mediciones obtenidas para determinar los parámetros texturales (media, mediana, desvío, curtosis y asimetría); así como la abundancia relativa de las clases granulométricas en función de la naturaleza litológica; y un análisis por forma y tamaño.

La caracterización desde el punto de vista morfométrico de las cúspides fue realizada utilizando el software *Google Earth®*, para medir las distancias de largo entre cúspides (Cs) y profundidades (Cd) en cada caso sobre la imagen de julio de 2019, en casi 798 m de largo de playa. Para conocer la pendiente y los desniveles fue utilizado el perfil de playa realizado previamente, mediante la utilización de un nivel óptico.

Para realizar un estudio morfológico comparativo se analizaron imágenes satelitales desde el 2018 hasta el 2020 para detectar y explicar cambios en las cúspides de playa.

RESULTADOS

El perfil de playa relevado presenta dos bermas de gravas medianas a 2,00 y 3,50 m de altura aproximadamente. La playa presentaba una pendiente de 6.1% desde la zona de lavado hasta el pie del acantilado y un ancho de unos 65 metros.

De acuerdo con las observaciones estratigráficas del entorno, se pudo constatar que las gravas de la playa se apoyan sobre pelitas marrones (visibles en el corte del pequeño acantilado) y diamictitos marrón-rojizos visibles ocasionalmente en las plataformas de abrasión labradas en momentos post-tormentas, correspondientes a la Formación Libertad (Libertad I?). En el escarpe que materializa al pequeño acantilado se infiere la presencia de

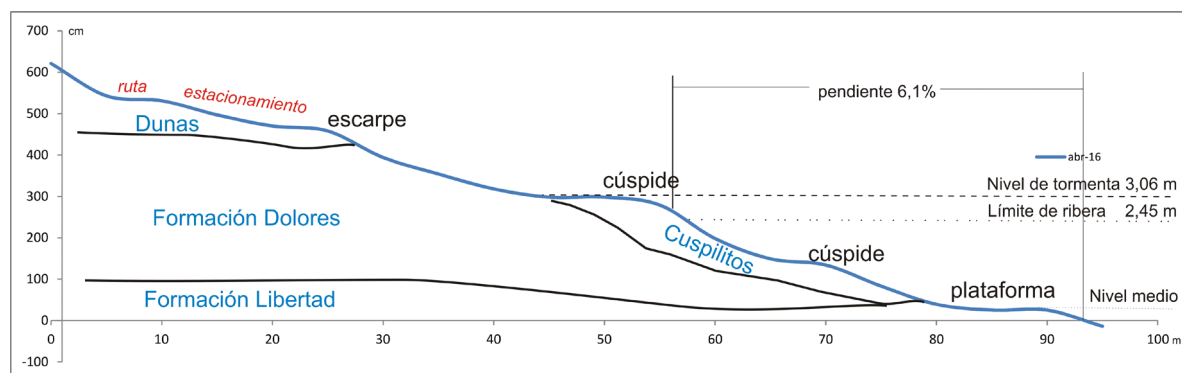


FIGURA 7. Perfil topográfico de la playa de rodados Bella Vista, elementos geomorfológicos y bosquejo geológico.

FIGURE 7. Bella Vista cusps beach topographic profile, geomorphological features and geological sketch.

los sedimentos pelíticos marrones de la Formación Dolores (Figura 7). A su vez, cabe consignar la presencia de niveles de rodados en la base del nivel arenoso dunar, posiblemente asociados a antiguos depósitos de playa de rodados.

En relación con el principal objetivo de este trabajo, el resultado del análisis composicional muestra que los clastos corresponden a: sienitas (36.6%), traquitas (35.2%), riolitas (6.3%), basaltos (3.7%), brechas volcánicas (0.7%), rocas cristalinas (5.7%) y un 11.8% no pudieron ser identificados con certeza de forma macroscópica (Figura 8 A).

Por su parte, en relación con el tamaño las gravas corresponden a gravas finas(entre 4-16 mm) con 1.6%; gravas medianas (entre 16-64 mm) con 71.4%; y gravas gruesas (entre 64-256 mm) (27.1%) (Figura 8B).

En lo que respecta a la forma, mediante los índices de Zingg se pudo determinar que el 54,5% de los clastos presentan forma discoidal, 18,8% son esféricos, 15,8% laminares y 11,1% prolados (Figura 8C). A su vez, en la Figura D se puede observar que este patrón ocurre independiente de la naturaleza litológica de los clastos (Figura 8D).

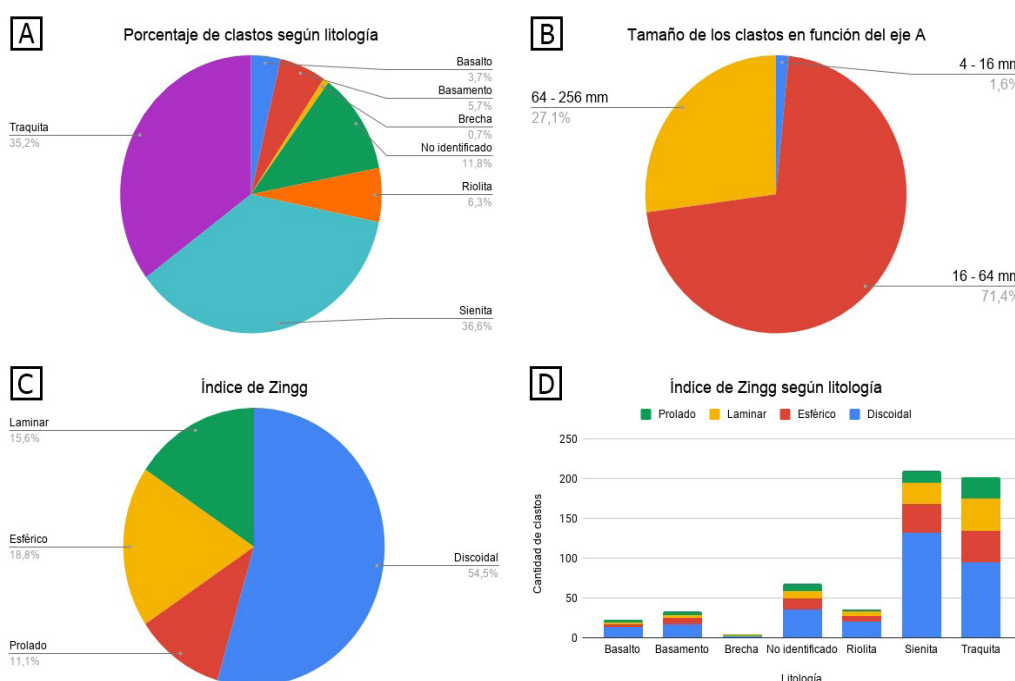


FIGURA 8. A) Abundancia por tipos litológicos; B) Distribución granulométrica de los megaclastos; C) Distribución de las formas de los megaclastos; D) Distribución de las formas de los megaclastos según tipo litológico.
FIGURE 8.A) Lithological typologies abundance; **B)** Megaclasts granulometric distribution; **C)** Clasts shape distribution; **D)** Clasts morphometric analysis according to lithology types.

Cs (m)	Cd (m)	Cs (m)	Cd (m)	Cs (m)	Cd (m)
22.3	6.6	24.4	5.7	25.4	11.8
19.15	8.1	24.8	6.6	22.1	9.2
22.5	3.7	27.8	8.2	18	10.3
22.3	7.5	28	7.3	22.5	11
25.4	6.2	27.6	7	15.2	5.1
25.5	5.3	30.6	8.5	24.8	5.3
24.7	4.5	34	11.9	21.3	5.8
28.9	6.1	33.9	9.2	17.1	4.9
14.5	4.8	29.4	7.5	16.4	4.1
10.4	4	35.2	8.2	32	6.5
15.4	5.4	27.1	7.8	16.5	6.1
16.4	2.4	29	7.9	18.5	8
15	5.4	19.9	10.3	21.4	6.7
18.3	6.3	16.5	7.4		
16.8	5.7	21	8.6		

TABLA 3. Espaciado (Cs) y profundidad (Cd) de las 43 cúspides analizadas.

TABLE 3. Spacing (Cs) and depth (Cd) of the 43 analyzed cusps.

Realizado el análisis morfométrico de 43 cúspides sobre imágenes de *Google Earth*® de julio 2019 en casi 980 m de extensión, se pudo determinar que su espaciado (Cs) promedio se situó en 22.7 m con valores mínimo y máximo de 10.4 y 35.2, respectivamente. Por su parte, la profundidad (Cd) promedio fue de 6.95 m, variando entre 2.4 m y 11.9 m, con un desvío estándar de 6.00 y 2.15 m, respectivamente (Tablas 3 y 4). Otros parámetros del comportamiento estadístico de los valores medidos se presentan en la Tabla 4. A su vez, su elevación (Ce) con respecto al nivel medio del mar se sitúa entre 1.00 y 3.00 m de cota (Figura 9 y Figura 10).

Durante el muestreo se observó que los clastos más grandes se posicionan en el tope, mientras que los clastos más pequeños se acomodan en los espacios que quedan entre las gravas gruesas. Esto sugiere una fábrica sedimentaria con tendencia a la granocrescencia.

Parámetros estadísticos	Cs (m)	Cd (m)
n	43	43
Min	10.4	2.4
Max	35.2	11.9
Media	22.74	6.95
Std. error	9.154.279	3.279.246
Varianza	3.603.435	4.623.987
Desvío Stand.	6.002.862	2.150.346
Mediana	22.3	6.6
Percentil 25	17.1	5.4
Percentil 75	27.6	8.2
Asimetría	2.183.971	4.392.927
Kurtosis	-6.493.585	5.027.954
Media geom.	2.194.817	6.616.547
Coef. varian.	263.943	3.093.505

TABLA 4. Parámetros estadísticos del análisis morfométrico de las cúspides.

TABLE 4. Statistical parameters of cusps morphometric analysis.

Del estudio de las fotos satelitales de *Google Earth*® se puede observar que las cúspides no son constantes en el tiempo, sino que varían tanto en forma, tamaño y distribución. La presencia de las cúspides en la playa Bella Vista es temporaria y no se encuentran asociadas a una estación en particular. Existen períodos en los cuales su presencia y dimensiones son notorias y otros donde aparecen erosionadas (Figura 10).

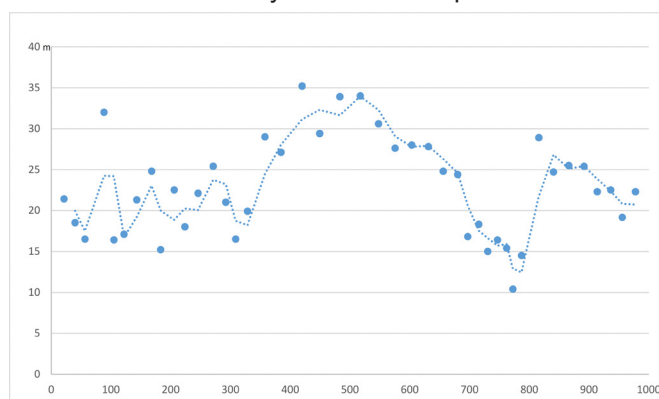


FIGURA 9. Espaciamientos de las cúspides (Cs) y tendencia. Puntos representan los valores de Cs ubicados de Este a Oeste (derecha a izquierda) según análisis del sector de imagen *Google Earth*® de Julio 2019. La línea punteada representa la tendencia de esos valores.

FIGURE 9. Cusp spacing (Cs) and trend. Points represent the values of Cs located from East to West (right to left) according to Google Earth® image sector analysis of July 2019. The dotted line represents the trend of these values.

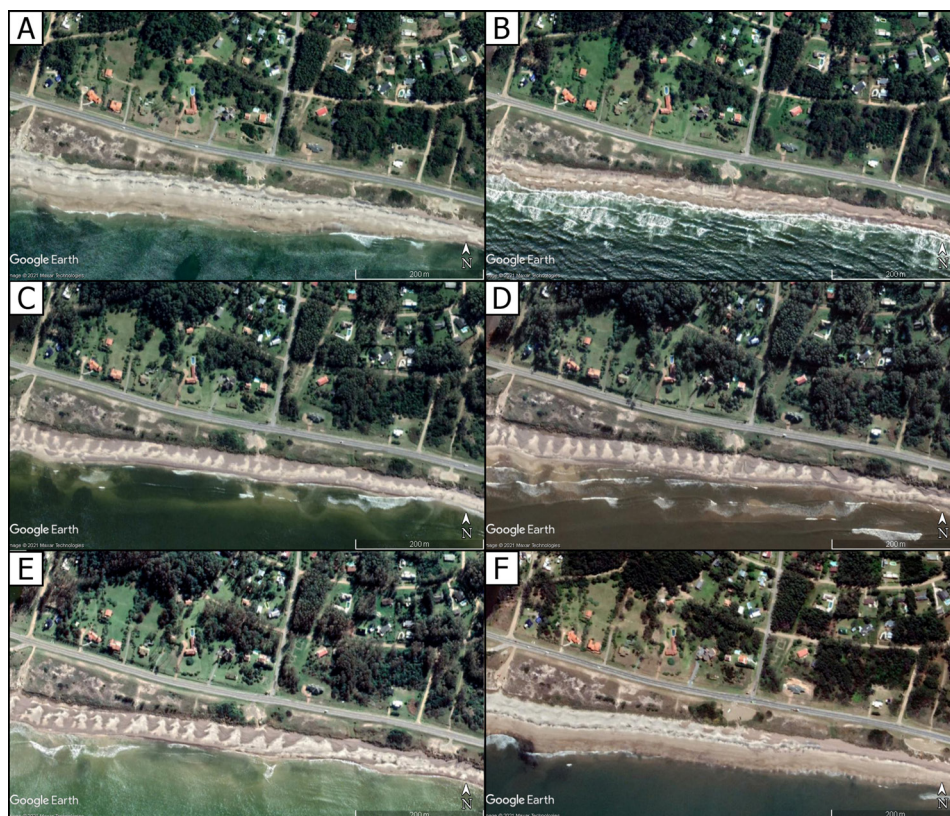


FIGURA 10. Vista en detalle de imágenes satelitales *Google Earth*® de distintos momentos del sector estudiado en Playa Bella Vista. A) Febrero 2018; B) Octubre 2018; C) Abril 2019; D) Julio 2019 (fecha de toma de la muestra); E) Abril 2020; F) Noviembre 2020.

FIGURE 10. Detailed view of Google Earth® satellite images of different moments in the sector studied in Playa Bella Vista. A) February 2018; B) October 2018; C) April 2019; D) July 2019 (date of sample collection); E) April 2020; F) November 2020.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La playa Bella Vista en el departamento de Maldonado es una playa de gravas medianas de Uruguay, con predominio casi absoluto de detritos correspondientes a un complejo volcánico de edad cámbrica, cuyas elevaciones dan un relieve serrano con altitudes que oscilan entre 100 y 500 m (Cerro de las Ánimas y Cerros Azules). La acción de la meteorización y remoción en masa en laderas de ese complejo y el aporte aluvial y/o coluvial ocurridos desde el Cretácico de material detrítico grueso al sistema litoral, son los responsables por la presencia casi exclusiva de ese material detrítico en el sistema litoral estudiado. A su vez, ésta es la única playa en Uruguay que presenta cuspiditos de dirección principal NNW-SSE, que coincide con el oleaje de dirección predominante SE - NW ([Figura 11](#)), tal como también fue establecido en el clima de olas por IMFIA (2008).

Estudios anteriores en este sector de costa (DINAMA, 2018) han mostrado que los perfiles de playa se encontraban parcialmente antropizados en la zona de playa distal, la que se encuentra escarpada entre 2 y 3 m de altura, y que se utiliza como acceso desde la Ruta 10. Allí, el ancho de playa es relativamente poco extenso y variable entre 20 y 35 m. En ese estudio, se presentan los datos de pendientes que se



FIGURA 11. Vista de la playa de rodados Bella Vista. Cúspides indicadas con flechas. Tomado de IDE (2019).

FIGURE 11. View of Bella Vista gravel beach. Cusps indicated with arrows. Taken from IDE (2019).

situaron en valores relativamente constantes entre 5.5 a 7.07% (Figura 12). A su vez, en ese reporte se menciona que el espesor del prisma de playa es de unos escasos decímetros y que en ocasión de un temporal fue posible observar plataformas con paraconglomerados de la pleistocena Formación Libertad.

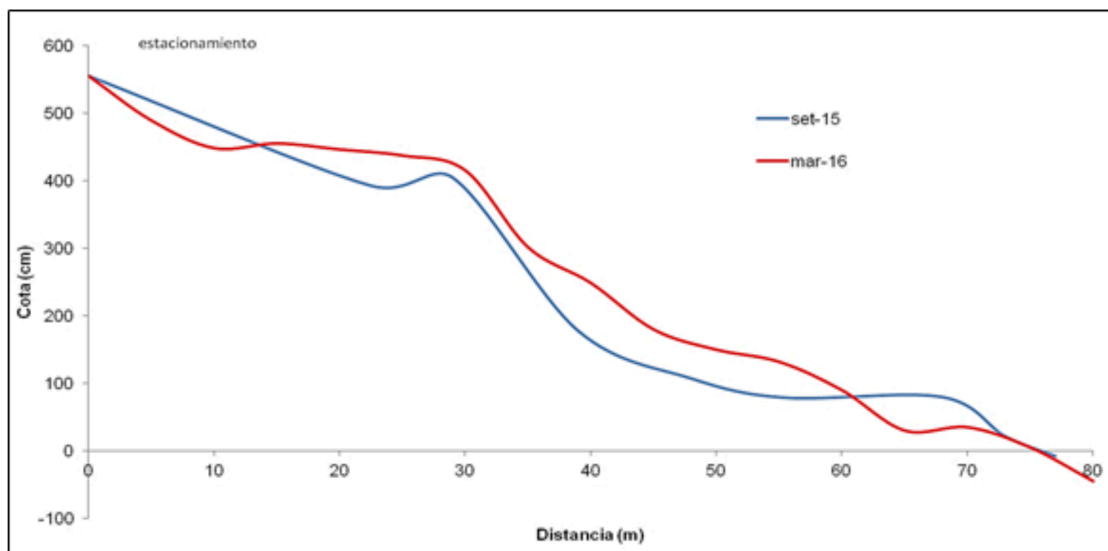


FIGURA 12. Perfiles topográficos de Playa Bella Vista en Setiembre 2015 y Marzo 2016. (Tomado de DINAMA, 2018).
FIGURE 12. Topographic profiles of Bella Vista beach in September 2015 and March 2016. (Taken from DINAMA, 2018).

Asimismo, en ese trabajo fueron presentadas descripciones bajo lupa binocular (Figura 13) de los escasos sedimentos de playa arenosos allí expuestos. Se los caracterizó como cuarzosos (92%) amarillentos y traslúcidos, muy bien redondeados; con feldespatos plagioclásicos (3%) angulosos a subredondeados; y fragmentos líticos con restos de conchillas y megaclastos de minerales magnéticos (hematita?) desde subangulosos a bien redondeados, de color 10YR 8/2 (naranja muy pálido) (DINAMA, 2018).

El estudio de la forma de 576 clastos en Playa Bella Vista permitió conocer que más de la mitad (54.5%) de los clastos presentan forma discoidal, siendo los esféricos, laminares y prolados los subordinados a aquellos y relativamente similares en abundancia, independientemente de la naturaleza litológica. Al tratarse mayoritariamente de litologías volcánicas o subvolcánicas de grano fino e isótropas, los procesos de desgaste de ambiente fluvial primero y litoral después determinan esas formas discoidales y esféricas. En particular, la forma discoidal estaría en concordancia con Lenk-Chevitch (1959), quien mencionaba que los cantos en ambientes costeros presentan una mayor tendencia a ser de forma achatada. Cabe consignar que si bien son minoritarios los megaclastos precámbricos, también guardan la misma relación de proporcionalidad en su forma.

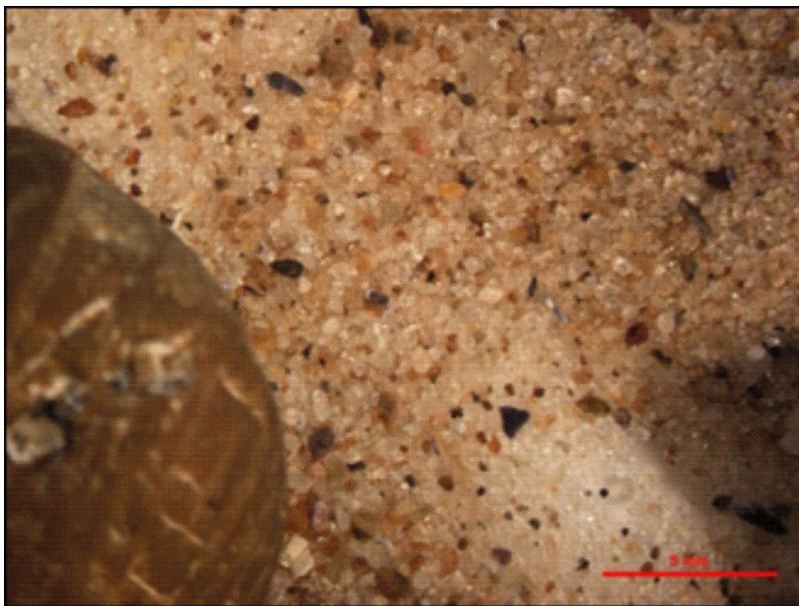


FIGURA 13. Fotografía en lupa binocular de muestra de zona de lavado en Playa Bella Vista. Clastos mayores de roca volcánica (marrón), cuarzós traslúcidos y abundancia de granos arenosos líticos (negros). Escala: 5 mm. (Tomado de DINAMA, 2018)

FIGURE 13. Binocular magnifier view of a wash-zone sand sample in Bella Vista beach. Coarse clasts of volcanic rock (brown), translucent quartz and abundance of lithic sandy grains (blacks). Scale: 5 mm. (DINAMA, 2018)

En función de que la forma mayoritaria (71.4%) de los clastos resultaron ser discoidales y esféricos, se concluye que los sedimentos correspondientes a los cuspiditos en Playa Bella Vista poseen un alto grado de madurez textural. A su vez, de acuerdo al tamaño medio que corresponde a gravas medias y gruesas, y a la corta distancia (escasos kilómetros) a las áreas fuente (Complejo Sierra de Ánimas, Granito de Solís de Mataojo y Punta Rasa) es posible concluir que esas formas pudieron ser resultado de la sumatoria del accionar de ciclos sedimentarios previos, como ser coluvionamientos y procesos aluviales vinculados a la Sierra, más el desgaste ocasionado por los procesos litorales actuales, ya que sería poco probable obtener esas formas redondeadas en un solo ciclo sedimentario y con distancias tan próximas. Ejemplo de ese accionar fluvial se puede observar en los depósitos de las terrazas del A° Navarro, próximo a Gregorio Aznárez (Figura 15). Esos primeros procesos pudieron haber ocurrido al menos durante el Cuaternario, contemporáneas quizás con los depósitos litorales correspondientes a la Formación Villa Soriano y/o Chuy.

El análisis granulométrico permitió mostrar que el 71.4% de los clastos son gravas medianas, el 27.1% son gravas gruesas o cantos y el 1.6% son gravas finas o guijarros (Wentworth, 1922 in Mingarro & Ordoñez, 1982), mostrando un claro predominio de clastos entre 16-64 mm. (gravas medianas).

Por su parte, con base en el análisis litológico de las gravas de la playa Bella Vista que se pudieron identificar, se determinó que el 36.6% son sienitas, el 35,2% son traquitas, el 6.3% riolitas, el 3.7% son basaltos, el 5.7% de rocas cristalinas (2.6% de cuarzo y 3.1% rocas granito-gnéissicas) y 0.7% corresponden a brechas volcánicas. Si bien del total, el 11.8% no pudieron ser identificados litológicamente, sin considerar a éstos aproximadamente el 92.5% del material proviene de la erosión del Complejo Sierra de Ánimas (Cámbrico-Neoproterozoico), y un 7.5% corresponden a litologías del basamento proterozoico.

En la zona costera esos sedimentos gravosos pudieron llegar allí luego de haber sido transportados por las corrientes fluviales y litorales, y ser re-depositados formando cuspiditos. Esta hipótesis de ciclos sedimentarios antiguos, se sustenta en la existencia de depósitos conglomerádicos por debajo de los depósitos oligocénicos de la Formación Fray Bentos, como se observa en la perforación N° 88.4.054 (ejecutada por OSE en Jaureguiberry (34°47'0.29"S y 55°24'47.25" O, [Tabla 5](#)), atribuibles a la cretácica Formación Migués. En efecto, entre los 44 y 46 m de profundidad fueron constatados conglomerados con fragmentos de rocas volcánicas y de basamento, que debido a la utilización en el sondeo de método de percusión, los fragmentos recuperados tenían unos 2 cm de diámetro. También, cabe inferir que el transporte y acumulación fluvial correspondiente a la Formación Malvín (Plio-Pleistoceno) en momentos de descenso del nivel del mar, sea parte de la explicación de la presencia de esos megaclastos en Bella Vista. Es probable que la erosión y posterior transporte de esos niveles antiguos probablemente presentes también en la plataforma continental, sean una fuente potencial de los sedimentos gravosos y que se explique así su alto grado de redondez.

Por lo tanto, desde el punto de vista de la procedencia de los clastos de gravas analizados, cabe consignar que el 79% de los mismos tienen composición volcánica o subvolcánica, lo que se ajusta a una proveniencia del CSA lindante a la playa. La llegada de ese material detrítico a la costa se pudo dar por los sistemas de drenajes intraserranos que con dirección Este y Sureste desagotan en las planicies aluviales y planicie costera adyacentes, representados hoy por el A° Navarro ([Figura 14](#)) y A° Sarandí que drenan de Este a Oeste hacia el A° Solís Grande; y el A° de las Tarariras y A° Las Flores, de Norte a Sur hacia el Río de la Plata.

Por otra parte, en lo que refiere a aspectos del contexto geológico en la zona, la presencia en Jaureguiberry y Santa Ana de sondeos con la oligocénica Formación Fray Bentos a los 26 y 27 m de profundidad, nos

lleva a atribuir que los afloramientos sedimentarios relativamente bien consolidados, marrones, con costras carbonáticas, diamictíticos, con diques clásticos que ocurren tanto en la margen derecha del A° Solís Grande, en el Club de Pesca como en las plataformas de Playa Bella Vista, corresponden a la Formación Libertad. Probablemente pertenezcan a un ciclo antiguo de esta unidad, Libertad I (*sensu* Goso, 1986).



FIGURA 14. Depósitos gravosos y de bloques de barra y terraza cuaternarios del Arroyo Navarro.

FIGURE 14. Quaternary bar and terrace gravel and boulder deposits in Navarro Creek.

Profundidad (m)	Litologías y unidades estratigráfica
0 - 12	Arenas finas y medias, cuarzosas, redondeadas. Intercalación a los 8 metros de nivel arcilloso negro. Depósitos de dunas.
12 - 27	Intercalaciones de arcillas grises oscuras y negras con niveles gravillosos, con ocasional presencia de restos de conchillas y arenas arcillosas de color verde grisáceo. Formaciones Villa Soriano y Chuy.
27 - 42	Limolitas rosadas y marrón claras, con algo de arenas dispersas. Formación Fray Bentos.
42 - 44	Idem anterior, con presencia de carbonatos de calcio.
44-46	Conglomerados tenaces, con fragmentos de cantos y clastos de diferente origen: rocas volcánicas (basalto o andesita rojo), gneises, cuarcitas, de hasta 2 cm de diámetro.
46 - 47	Arcillas marrones claras con fragmentos de clastos de diferentes orígenes, de hasta 5 mm de diámetro.
47 - 49	Arcillas arenosas marrones (fangos). Formación Migués.
49 - 51	Nivel arenoso fino, marrón claro, con matriz limosa.
51 - 84	Arcillas a limos ocasionalmente arenosos, marrones claros. Presencia de carbonatos de 78 a 84 m. Formación Migués.
84 - 91	Arcilla marrón con tonos ocre y fragmentos de roca granítica alterada hacia el final. A la base nivel de alteración sobre Basamento Precámbrico.
91 - 93	Roca granítica: cuarzo, feldespato blanco, biotita y moscovita. Basamento Precámbrico. Granito Solís de Matajoje

TABLA 5. Descripción litológica y unidades geológicas presentes en perforación N° 88.4.054 en Jaureguiberry (OSE, descripción e interpretación Sergio Gagliardi).

TABLE 5. N° 88.4.054 Jaureguiberry hole drill lithological description and geological units (OSE, description and interpretation: Sergio Gagliardi)

Al momento de este estudio, se trataba de una playa relativamente angosta (65 m), con una pendiente promedio desde la zona de lavado al borde del pequeño escarpe acantilado del orden del 7% y que muestra escasos a nulos sedimentos arenosos. Frecuentemente, y asociado a eventos de tempestades, en la zona de lavado queda expuesta una plataforma de abrasión y compuesta por sedimentos cuaternarios de tipo diamictíticos marrones, con costras carbonáticas, diques clásticos e intramegaclastos sedimentarios (Figura 15), de la Formación Libertad, (Libertad I?, de Goso 1986), tal como fue señalado *supra*. A su vez, las arcillas marrones y verdosas expuestas en el pequeño acantilado se interpretan como pertenecientes a la Formación Dolores (Goso, 1986).

Al analizar las imágenes históricas de *Google Earth®* se puede constatar - como era lo esperable - que el sistema es muy dinámico, y por lo tanto se generan y erosionan total o parcialmente los cuspidos de forma periódica. Según lo dimensionado en las imágenes, hay una tendencia a encontrar las más espaciadas (mayor tamaño) hacia la parte central del sector analizado (figura 9). Según Almar *et al.* (2008) cuando las cúspides son destruidas el ambiente es erosivo de gran energía, posiblemente correspondiente a episodios de tormentas donde los cambios de volumen de la playa pueden ser de ganancia o pérdida de material, mientras que en períodos de acreción se ve favorecida la formación de las mismas. Por otra parte, del estudio de las imágenes satelitales también se puede observar un cambio en el espaciado de las cúspides, el cual puede



FIGURA 15. Plataforma compuesta por lodolitas y diamictitos, consolidados, marrones de la Formación Libertad en Playa Bella Vista.

FIGURE 15. Platform composed by consolidated brownish mudstones and diamictites of Libertad Formation in Bella Vista Beach.

estar relacionado con la hidrodinámica del *swash*. Si la trayectoria del *swash* aumenta es más probable que la acreción de las cúspides se dé aumentando de esta forma su morfología (Masselink *et al.*, 1997).

Se distinguieron entre los megaclastos de composición correspondiente al basamento cristalino proterozoico dos tipos litológicos: cuarzo (2.6%) y granitoides (3.1%). Puede interpretarse en este caso que pueden provenir tanto del Este, donde quizás como fuente pueda ser lo definido como Punta Rasa de la Unidad Campanero (Oyhantçabal, 2005 in Spoturno *et al.*, 2012), o en parte las más cercanas rocas del Granito Solís de Mataojo al Oeste. Si bien en el último siglo ha habido una tendencia que la corriente de deriva litoral ha sido del Este hacia el Oeste, se pudo constatar que al menos al comienzo de la década del cuarenta fue de dirección contraria (Figura 16). Por lo que, si trasladamos ese comportamiento a los últimos miles de años, puede sugerirse una procedencia de los megaclastos precámbricos tanto del Este como del Oeste, teniendo como probable fuente a las dos unidades consideradas *supra*.



FIGURA 16. Fotografía aérea de la desembocadura de A° Solís Grande en 1943 (Fuerza Aérea EEUU, trimetrogon).
FIGURE 16. Aerial photo of Solís Grande Creek in 1943 (USA Air Force, trimetrogon).

Agradecimientos

A Marcos Suárez, Marcos Cardozo y Luca Sotelo por la colaboración en la medición de los clastos. Al Programa Apoyo a la Investigación Estudiantil (PAIE-CSIC-UdelaR) y al Programa para el Desarrollo de las Ciencias Básicas (PEDECIBA-Geociencias) por el apoyo financiero. A los licenciados Andrés Pérez, Margarita Sienra y Sergio Gagliardi de la División de Aguas Subterráneas de OSE (Obras Sanitarias del Estado), por el valioso suministro de datos de perforaciones del área de estudio. A los revisores del primer manuscrito, Silvia Marcomini y Gustavo Piñeiro, que lo mejoraron mucho con sus aportes y sugerencias. Al Ing. Héctor Goso por los comentarios en consultas durante el análisis de los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almar, R., Coco, G., Bryan, K.R., Huntley, D.A., Short, A.D., Senechal, N., 2008. Video observations of beach cusp morphodynamics. *Marine Geology* 254, 216-223.
- Antia, E., 1987. Preliminary field observations on beach cusp formation and characteristics on tidally and morphodynamically distinct beaches on the Nigerian coast. *Marine Geology* 78(1), 23-33.
- Barudžija, U., Velic, J., Malvic, T., Trenc, N., Matovinovic Božinovic, N., 2020. Morphometric Characteristics, Shapes and Provenance of Holocene Pebbles from the Sava River Gravels (Zagreb, Croatia). *Geosciences* 10.
- Bossi, J., 1996. *Geología del Uruguay*. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Bunicocontro, M., Marcomini, S., Weiler, N., López, R., Quenardelle, S., 2017. Caracterización textural, composicional y análisis de procedencia de los sedimentos de playa del Golfo Nuevo, Provincia de Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 74 (2), 207 - 222.
- Caorsi, J.H., Goñi, J.C., 1958. *Geología uruguaya*. Boletín del Instituto Geológico de Uruguay 37, 1-73.
- DINAMA., 2016. Estudio de la vulnerabilidad a la erosión costera y sedimentación dunar de la costa uruguaya. Producto 3. Mapas geomorfológico y geológico a escala 1:50.000 de la costa uruguaya. Memoria descriptiva y síntesis geológica. Informe interno. Convenio DINAMA - FCIEN, 162 pp. Montevideo, Uruguay.
- DINAMA., 2018. Estudio de la vulnerabilidad a la erosión costera y sedimentación dunar de la costa uruguaya. Producto 8. Perfiles de playa en sectores estudiados en detalle y su variabilidad. Informe interno. Convenio DINAMA - FCIEN, 148 pp. Montevideo, Uruguay.
- Goso Aguilar, C., 2006. Aspectos sedimentológicos y estratigráficos de los depósitos cuaternarios de la costa platense del

- Departamento de Canelones (Uruguay). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 13(1), 77-89.
- Goso Aguilar, C., Muzio, R., 2006. Geología de la costa uruguaya y sus recursos minerales asociados. En: Menafrá, R., Rodríguez-Gallego, L., Scarabino, F., Conde, D. (Eds.), *Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya*, Vida Silvestre, Montevideo, Uruguay.
- Goso, H., 1965. El Cenozoico en el Uruguay. Informe interno. Instituto Geológico del Uruguay, Montevideo, Uruguay.
- Goso, H., 1972. El Cuaternario uruguayo. Proyecto Estudio Levantamiento de Suelos. Mimeogr., Montevideo, Uruguay.
- Goso, H., 1985. El Cuaternario en el Uruguay. Estratigrafía y Geología Histórica. *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología* 1(2), 11-20.
- Goso, H., 1986. El Cuaternario en el Uruguay. Estratigrafía y Geología Histórica (2a. parte). *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología*, 2(3), 12-17.
- Goso, H., Antón, D., 1974. Estado actual de los conocimientos sobre el Cuaternario en el Uruguay. *Sociedade Brasileira de Geologia* (Ed.), *Anais XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, Porto Alegre, Brasil, p. 1-7.
- Holland, K.T., 1998. Beach cusp formation and spacings at Duck, USA. *Continental Shelf Research* 18, 1081-1098.
- IDE., 2019. Ortofotografía cobertura nacional G29C3_Remesa_01.
- IGM., 1999. Fotoplano G-29 Piriópolis. Instituto Geográfico Militar, escala 1:50,000.
- IMFIA., 2008. Caracterización general de la costa del departamento de Maldonado. Informe final. Convenio entre Intendencia Municipal de Maldonado y la Facultad de Ingeniería (UdelaR): "Estudios de Problemas Costeros", Montevideo, Uruguay.
- IMFIA., 2016. Agentes meteorológicos y oceánicos caracterizados para cada unidad. Producto 5. (Inédito). Convenio DINAMA-UdelaR, Montevideo, Uruguay.
- INUMET., s.f. Precipitaciones media mensuales - temperatura media mensuales: estación Punta del Este.
- Jones, G., 1956. Memoria explicativa y mapa geológico de la región oriental del departamento de Canelones. *Boletín del Instituto Geológico y Perforaciones* 34, 1-193.
- Köppen, W., 1936. Das geographische System der Klimate. En: Köppen, W., Geiger, R. (Eds.), *Handbuch der Klimatologie*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1-44.
- Lenk-Chevith, P., 1959. Beach and stream pebbles. *Journal Geology* 67, 103-108.
- Manta, G., 2017. Caracterización de la brisa marina en Uruguay. Tesis de Maestría. PEDECIBA Geociencias, Universidad de la República, Uruguay.
- Manta, G., Barreiro, M., Renom, M., 2021. Sea breeze climatology in Uruguay. *Meteorológica* 46, 12-25.

- Masselink, G. & Hegge, B.J., Pattiaratchi, C.A., 1997. Beach cusps morphodynamics. *Earth Surface Processes and Landforms* 22, 1139–1155.
- Masselink, G., Pattiaratchi, C.A., 1998. Morphological evolution of beach cusps and associated swash circulation patterns. *Marine Geology* 146, 93-113.
- Mingarro, F., Ordoñez, S., 1982. Petrología exógena I: hipergénesis y sedimentogénesis alóctona. Rueda, Madrid, España.
- Morales, I., 2015. Estudio de beach cusps en Playa de Palma (Mallorca). Tesis de Maestría. Universitat de les Illes Balears, España.
- Nolan, T.J., Krika, R.M., Shulmeister, J., 1999. Beach cusp morphology on sand and mixed sand and gravel beaches, South Island, New Zealand. *Marine Geology* 157, 185-198.
- Nuyts, S., Murphy, J., Li, Z., Hickey, K., 2020. A methodology to assess the morphological changes of a multilevel beach cusp system and their hydrodynamics: case study of Long Strand, Ireland. *Journal of Coast Research* 95, 593-598.
- Oyhantçabal, P., Derregibus, M.T., De Souza, S., 1993. Geologia do extremo sul da Formação Sierra de Animas (Uruguai). En: Sociedade Brasileira de Geologia (Ed.), Anais del V Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Curitiba, Brasil, p. 4-5.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K., Presnyakov, S., Layer, P., 2007. Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline magmatism during transcurrent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Braziliano - Pan-African, Uruguay). *Lithos* 98, 141-159.
- Prost, M.T., 1982. Heritages quaternaries et évolution géomorphologique des bords du Río de la Plata en Uruguay. Thèse de doctorat. Université de Paris, Francia.
- Sánchez, L., 1997. Los Basaltos postorogénicos de la Región Piriápolis - Pan de Azúcar, República Oriental del Uruguay. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52, 3-16.
- Sánchez, L., Konkharsky, M., Pazos, P.J., Strareczek, F., 2009. Neoproterozoic Subaqueous Extrusive - Intrusive Rocks In the Playa Hermosa Formation in Uruguay: Regional and stratigraphic significance. *Gondwana Research* 16(1), 134-144.
- Sathish, S., Kankara, R.S., Rasheed, K., 2018. Morphometric and sediment analysis of beach cusp in correlation to rip currents: a case study from tropical coast, West coast of India, *Environmental Earth Sciences*, 77.
- Senechal, N., Laibi, R.A., Almar, R., Castelle, B., Biauxque, M., Lefebvre, J.P., Anthony, E.G., Dorel, M., Chuchla, R., Hounkonnou, M.H., Penhoat, Y.D., 2014. Observed destruction of a beach cusp system in presence of a double coupled cusp system: the example of Grand Popo, Benin. *Journal of Coastal Research* 70, 669-674.
- Serra, N., 1945. Memoria explicativa del mapa Geológico de Soriano. Instituto Geológico del Uruguay, Boletín 32.

- Spoturno, J., Oyhançabal, P., Loureiro, J., 2012. Mapa geológico del Departamento de Maldonado. Dirección Nacional de Minería y Geología, Uruguay, escala 1:100,000.
- Suguio, K. 1973. Introdução à sedimentologia. Edgar Blucher, São Paulo, Brasil.
- Suguio, K., Bigarella, J.J., 1979. Ambiente fluvial. UFPR, Curitiba, Brasil.
- Ubilla, M., Martínez, S., 2016. Geology and Paleontology of the Quaternary of Uruguay. Springer briefs in Earth System Sciences, South America and the Southern Hemisphere, 1-77.
- Umpierre, M., Halpern, M., 1971. Edades Sr-Rb del Sur de la República Oriental del Uruguay. Revista Asociación Geológica Argentina 26, 133-155.
- Vousdoukas, M.I., 2012. Erosion/accretion patterns and multiple beach cusp systems on a meso-tidal, steeply-sloping beach. Geomorphology 141-142, 34-46.
- Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and clastic sediments. The Journal of Geology, 30:(5), pp. 377-392. Almar, R., Coco, G., Bryan, K.R., Huntley, D.A., Short, A.D., Senechal, N., 2008. Video observations of beach cusp morphodynamics. Marine Geology 254, 216-223.
- Antia, E., 1987. Preliminary field observations on beach cusp formation and characteristics on tidally and morphodynamically distinct beaches on the Nigerian coast. Marine Geology 78(1), 23-33.
- Barudžija, U., Velic, J., Malvic, T., Trenc, N., Matovinovic Božinovic, N., 2020. Morphometric Characteristics, Shapes and Provenance of Holocene Pebbles from the Sava River Gravels (Zagreb, Croatia). Geosciences 10.
- Bossi, J., 1996. Geología del Uruguay. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Bunico, M., Marcomini, S., Weiler, N., López, R., Quenardelle, S., 2017. Caracterización textural, composicional y análisis de procedencia de los sedimentos de playa del Golfo Nuevo, Provincia de Chubut. Revista de la Asociación Geológica Argentina 74 (2), 207 - 222.
- Caorsi, J.H., Goñi, J.C., 1958. Geología uruguaya. Boletín del Instituto Geológico de Uruguay 37, 1-73.
- DINAMA., 2016. Estudio de la vulnerabilidad a la erosión costera y sedimentación dunar de la costa uruguaya. Producto 3. Mapas geomorfológico y geológico a escala 1:50.000 de la costa uruguaya. Memoria descriptiva y síntesis geológica. Informe interno. Convenio DINAMA - FCIEN, 162 pp. Montevideo, Uruguay.
- DINAMA., 2018. Estudio de la vulnerabilidad a la erosión costera y sedimentación dunar de la costa uruguaya. Producto 8. Perfiles de playa en sectores estudiados en detalle y su variabilidad. Informe interno. Convenio DINAMA - FCIEN, 148 pp. Montevideo, Uruguay.

- Goso Aguilar, C., 2006. Aspectos sedimentológicos y estratigráficos de los depósitos cuaternarios de la costa platense del Departamento de Canelones (Uruguay). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 13(1), 77-89.
- Goso Aguilar, C., Muzio, R., 2006. Geología de la costa uruguaya y sus recursos minerales asociados. En: Menafrá, R., Rodríguez-Gallego, L., Scarabino, F., Conde, D. (Eds.), *Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya*, Vida Silvestre, Montevideo, Uruguay.
- Goso, H., 1965. El Cenozoico en el Uruguay. Informe interno. Instituto Geológico del Uruguay, Montevideo, Uruguay.
- Goso, H., 1972. El Cuaternario uruguayo. Proyecto Estudio Levantamiento de Suelos. Mimeogr., Montevideo, Uruguay.
- Goso, H., 1985. El Cuaternario en el Uruguay. Estratigrafía y Geología Histórica. *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología* 1(2), 11-20.
- Goso, H., 1986. El Cuaternario en el Uruguay. Estratigrafía y Geología Histórica (2a. parte). *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología*, 2(3), 12-17.
- Goso, H., Antón, D., 1974. Estado actual de los conocimientos sobre el Cuaternario en el Uruguay. *Sociedade Brasileira de Geologia* (Ed.), *Anais XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, Porto Alegre, Brasil, p. 1-7.
- Holland, K.T., 1998. Beach cusp formation and spacings at Duck, USA. *Continental Shelf Research* 18, 1081-1098.
- IDE., 2019. Ortofotografía cobertura nacional G29C3_Remesa_01.
- IGM., 1999. Fotoplano G-29 Piriápolis. Instituto Geográfico Militar, escala 1:50,000.
- IMFIA., 2008. Caracterización general de la costa del departamento de Maldonado. Informe final. Convenio entre Intendencia Municipal de Maldonado y la Facultad de Ingeniería (UdelaR): "Estudios de Problemas Costeros", Montevideo, Uruguay.
- IMFIA., 2016. Agentes meteorológicos y oceánicos caracterizados para cada unidad. Producto 5. (Inédito). Convenio DINAMA-UdelaR, Montevideo, Uruguay.
- INUMET., s.f. Precipitaciones media mensuales - temperatura media mensuales: estación Punta del Este.
- Jones, G., 1956. Memoria explicativa y mapa geológico de la región oriental del departamento de Canelones. *Boletín del Instituto Geológico y Perforaciones* 34, 1-193.
- Köppen, W., 1936. Das geographische System der Klimate. En: Köppen, W., Geiger, R. (Eds.), *Handbuch der Klimatologie*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1-44.
- Lenk-Chevith, P., 1959. Beach and stream pebbles. *Journal Geology* 67, 103-108.
- Manta, G., 2017. Caracterización de la brisa marina en Uruguay. Tesis de Maestría. PEDECIBA Geociencias, Universidad de la República, Uruguay.

- Manta, G., Barreiro, M., Renom, M., 2021. Sea breeze climatology in Uruguay. *Meteorológica* 46, 12-25.
- Masselink, G. & Hegge, B.J., Pattiaratchi, C.A., 1997. Beach cusps morphodynamics. *Earth Surface Processes and Landforms* 22, 1139–1155.
- Masselink, G., Pattiaratchi, C.A., 1998. Morphological evolution of beach cusps and associated swash circulation patterns. *Marine Geology* 146, 93-113.
- Mingarro, F., Ordoñez, S., 1982. Petrología exógena I: hipergénesis y sedimentogénesis alóctona. Rueda, Madrid, España.
- Morales, I., 2015. Estudio de beach cusps en Playa de Palma (Mallorca). Tesis de Maestría. Universitat de les Illes Balears, España.
- Nolan, T.J., Krika, R.M., Shulmeister, J., 1999. Beach cusp morphology on sand and mixed sand and gravel beaches, South Island, New Zealand. *Marine Geology* 157, 185-198.
- Nuyts, S., Murphy, J., Li, Z., Hickey, K., 2020. A methodology to assess the morphological changes of a multilevel beach cusp system and their hydrodynamics: case study of Long Strand, Ireland. *Journal of Coast Research* 95, 593-598.
- Oyhantçabal, P., Derregibus, M.T., De Souza, S., 1993. Geologia do extremo sul da Formação Sierra de Animas (Uruguai). En: Sociedade Brasileira de Geologia (Ed.), Anais del V Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Curitiba, Brasil, p. 4-5.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K., Presnyakov, S., Layer, P., 2007. Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline magmatism during transcurrent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Braziliano - Pan-African, Uruguay). *Lithos* 98, 141-159.
- Prost, M.T., 1982. Heritages quaternaries et évolution géomorphologique des bords du Río de la Plata en Uruguay. Thèse de doctorat. Université de Paris, Francia.
- Sánchez, L., 1997. Los Basaltos postorogénicos de la Región Piriápolis - Pan de Azúcar, República Oriental del Uruguay. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52, 3-16.
- Sánchez, L., Konkarsky, M., Pazos, P.J., Strareczek, F., 2009. Neoproterozoic Subaqueous Extrusive - Intrusive Rocks In the Playa Hermosa Formation in Uruguay: Regional and stratigraphic significance. *Gondwana Research* 16(1), 134-144.
- Sathish, S., Kankara, R.S., Rasheed, K., 2018. Morphometric and sediment analysis of beach cusp in correlation to rip currents: a case study from tropical coast, West coast of India, *Environmental Earth Sciences*, 77.
- Senechal, N., Laibi, R.A., Almar, R., Castelle, B., Biaisque, M., Lefebvre, J.P., Anthony, E.G., Dorel, M., Chuchla, R., Hounkonnou, M.H., Penhoat, Y.D., 2014. Observed destruction of a beach cusp system in presence of a double coupled cusp system: the example of Grand Popo, Benin. *Journal of Coastal Research* 70, 669-674.

- Serra, N., 1945. Memoria explicativa del mapa Geológico de Soriano. Instituto Geológico del Uruguay, Boletín 32.
- Spoturno, J., Oyhançabal, P., Loureiro, J., 2012. Mapa geológico del Departamento de Maldonado. Dirección Nacional de Minería y Geología, Uruguay, escala 1:100,000.
- Suguio, K. 1973. Introdução à sedimentologia. Edgar Blucher, São Paulo, Brasil.
- Suguio, K., Bigarella, J.J., 1979. Ambiente fluvial. UFPR, Curitiba, Brasil.
- Ubilla, M., Martínez, S., 2016. Geology and Paleontology of the Quaternary of Uruguay. Springer briefs in Earth System Sciences, South America and the Southern Hemisphere, 1-77.
- Umpierre, M., Halpern, M., 1971. Edades Sr-Rb del Sur de la República Oriental del Uruguay. Revista Asociación Geológica Argentina 26, 133-155.
- Vousdoukas, M.I., 2012. Erosion/accretion patterns and multiple beach cusp systems on a meso-tidal, steeply-sloping beach. Geomorphology 141-142, 34-46.
- Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and clastic sediments. The Journal of Geology, 30:(5), pp. 377-392.