# RECONSTRUYENDO AMBIENTES DE LA PALEOFAUNA

Geología aplicada a la reconstrucción del ambiente depositacional del sitio paleofaunístico GNL Quintero 1 (GNLQ1) del Pleistoceno Tardío, Bahía de Quintero (32°S), Chile. El sitio GNLQ1 es el único sitio paleofaunístico sumergido del Pleistoceno Tardío de Sudamérica encontrado hasta ahora.

# • Cristina Ortega

Dr. en Ciencias Mención Geología, Geóloga, Profesora Asociada de la carrera de Geología de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Central de Chile.

# Valentina Flores-Aqueveque

Dra. en Ciencias Mención Geología, Geóloga, Profesora Asistente del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

# • Rodrigo Fernández

Ph.D Glacial Marine Geology, Geólogo, Profesor Asistente del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

# • Diego Carabias

Arqueólogo/a, ARQMAR (Centro de Investigación en Arqueología Marítima del Pacífico Suroriental. Arqueólogo, Director de ARKA — Arqueología Marítima.

# • Renato Simonetti

Arqueólogo/a, ARQMAR (Centro de Investigación en Arqueología Marítima del Pacífico Suroriental).

# • Isabel Cartajena

Arqueólogo/a, ARQMAR (Centro de Investigación en Arqueología Marítima del Pacífico Suroriental). Doctora en Altamerikanistik, Arqueóloga, Profesora Titular del Departamento de Antropología de la Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile

# • Laura Díaz

Geóloga, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte

# Charles González

Geólogo, Departamento de Geología de Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

El sitio GNL Quintero 1 (GNLQ1), localizado en la costa de Chile central (32°5), es el único sitio paleofaunístico sumergido del Pleistoceno Tardío reportado, hasta la fecha, en la costa suroriental del Pacífico. Este sitio extraordinario, se caracteriza por su alta frecuencia y diversidad de restos de fauna extinta contenidos en sedimentos de grano fino. Este trabajo, basado en el análisis estratigráfico, sedimentológico y geoquímico de dos testigos de sedimento marino junto con datos acústicos del suelo marino, permitieron determinar la evolución del paleopaisaje y explicar las condiciones depositacionales que afectaron la formación de este sitio excepcional.

El estudio de GNLQ1 ofrece una nueva perspectiva para el estudio de la plataforma costera occidental de Sudamérica, remarcando su inesperado potencial paleontológico y arqueológico.

# Introducción

Durante el Último Máximo Glacial, vastas áreas de la costa de Sudamérica que actualmente están sumergidas estaban expuestas y constituían el escenario donde coexistían humanos y animales. Hoy en día, la geoarqueología prehistórica subacuática constituye una disciplina emergente, ya que no solo es crucial entender el movimiento de los grupos cazadores recolectores que habitaron la costa de nuestro continente, sino que también, es sumamente relevante para el modelamiento del paleopaisaje y la planificación de muestreo arqueológico [1].

El sitio GNLQ1, localizado en la Bahía de Quintero (32°46'S) en el litoral central de Chile (Fig.1), proporciona la primera evidencia concluyente para datar un relieve terrestre sumergido del Pleistoceno Tardío, no sólo en Chile, sino que de la costa occidental de Sudamérica [2 - 4]. Cabe destacar que la Bahía de Quintero es un puerto activo donde existe un terminal marítimo e instalaciones industriales. El sitio fue descubierto el año 2005 como resultado de una exploración arqueológica sistemática del suelo marino, conducido en parte por el proyecto de Gestión de Recursos Culturales para el terminal de Gas Natural Licuado (GNL) localizado en la bahía. Durante el año 2007 se realizaron excavaciones preliminares del subsuelo marino de la bahía y se obtuvieron testigos de sedimento marino extraídos mecánicamente. Luego, durante los años 2011 y 2014, se profundizó la exploración a través de excavaciones más exhaustivas, muestreo de sedimentos y estudios geofísicos del subsuelo marino [5 - 7].







Sitio GNLQ1. a) localización del sitio GNLQ1 (datum WGS84) y de las líneas de exploración geofísica AA' y BB', b) ortomosaico del fondo de la Bahía de Quintero mostrando parte de los restos óseos encontrados en el sitio, c) foto del proceso de extracción mediante un saca-testigo, d) Mapa de distribución en planta de los restos óseos del sitio GNLQ1 y localización de los testigos T1 y T5 [9]. (Fotografías b y c por David Letelier). Tomado de ref. [9]



Mapa geológico del área de estudio (datum WGS84). El círculo rojo muestra la localización del sitio GNLQ1 donde los testigos de sedimento T1 y T5 fueron extraídos. Tomado de ref. [9].

El sitio GNLQ1, está localizado a 13 metros bajo el nivel de mar, a 650 metros de la línea de costa (Fig.1). Estudios previos han mostrado que este sitio contiene una gran abundancia y diversidad de fósiles terrestres de megafauna extinta (Fig.2), así como también de fauna que aún prevalece, inmersa en una matriz sedimentaria [2]. El sitio está cubierto solamente por una capa centimétrica de arena costera asociada a una baja tasa de sedimentación en esa zona de la bahía [8]. Los huesos encontrados en el sitio corresponden a restos de Camelidae, Cervidae, Equidae, Mylodontidae, Xenarthra, Canidae, Myocastorinae y Octodontidae, entre otros [4].

Estos hallazgos han contribuido enormemente al conocimiento acerca de la fauna que habitaba esta parte del litoral de Chile, y ha abierto nuevas rutas de investigación, tales como la evolución del relieve costero que hoy se encuentra sumergido y las condiciones ambientales de la costa durante la última transición glacial-interglacial dentro de un margen tectónicamente activo [9].

A partir del análisis estratigráfico y de descripciones visuales del primer testigo de sedimento extraído de la bahía (denominado T1, Fig.3), así como de estudios paleoecológicos previos del área de estudio [10 - 11], se ha interpretado que el ambiente de depositación del estrato que contiene el material paleontológico habría correspondido a una laguna somera costera o a un humedal en proceso de desecación [12 - 7], o a un ambiente fluvial de baja energía [13] o a un humedal desarrollado en una llanura de inundación [14 - 8].

La presente investigación, a través del análisis de un nuevo testigo de sedimento y la integración de diferentes indicadores estratigráficos, sedimentológicos y geoquímicos, propone un escenario depositacional del sitio más complejo y detallado, así como también de la evolución de la Bahía de Quintero desde fines del Pleistoceno Tardío hasta el día de hoy [9].

41



Estratigrafía del sitio GNLQ1 mostrando las unidades estratigráficas definidas y correlacionadas entre los testigos T5 y T1. La letra B en la Tomografía indica la localización de los restos de hueso encontrados en el testigo T5. Las edades obtenidas de los sedimentos del testigo T1 fueron reportados por [2 - 4], mientras que las edades obtenidas para los huesos y los sedimentos del testigo T5 fueron reportados por ref. [8]. La leyenda muestra la composición y características de cada una de las unidades, así como también el ambiente depositacional al cual fueron asociadas. Tomado de ref. [9]..

#### Metodología

#### Muestreo del fondo marino

En los años 2007 y 2014, dos testigos de sedimento (T1 y T5, respectivamente) fueron extraídos desde el sitio GNLQ1. Dichos testigos fueron extraídos a través de un saca-testigos con pistón operado por un buzo experimentado (Fig.2). Los testigos corresponden a cilindros de sedimento de 7,5 cm de diámetro, distanciados por 9 metros entre sí, T1 con 73 cm de largo y T5 con 71,5 cm de largo. Luego de la extracción, los testigos fueron preservados a 2°C para luego escanearlos, abrirlos, submuestrearlos y analizarlos [9].

#### Análisis estratigráfico y sedimentológico

Para estudiar las estructuras sedimentarias y evaluar la presencia de fósiles, antes de abrir el testigo T5, se escaneó mediante tomografía de rayos X computarizada (TC) en el Centro de Imagenología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile usando el instrumento Siemens SOMATON SENSATION 64. Las imágenes TC fueron obtenidas con una resolución de 0,6mm, a 120KV y 320 mA, y fueron a analizadas usando el software Osirix DI-COM Viewer [9]. Una vez abiertos los testigos, a través de una inspección visual, se describieron litológicamente y se definieron facies sedimentarias. La descripción incluyó la determinación de relaciones de contacto, de variaciones litológicas, tamaño de grano, estructuras sedimentarias y color, basado en carta de colores [15] (Fig.3). Luego, el submuestreo de ambos testigos se realizó cada 1cm, separando a su vez los restos óseos análisis taxonómico [9].

A través de un espectrómetro de dispersión láser Malvern Mastersizer 2000 del Departamento de Geología de la Universidad de Chile, se realizó el análisis de granulometría de alta resolución para complementar la descripción visual y caracterizar las variaciones dentro de cada unidad estratigráfica (Fig.4). Para la clasificación y parámetros estadísticos se utilizó la clasificación de [16].

#### Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (ED-XRF)

Datos de ED-XRF fueron obtenidos a través de un espectrómetro Shimadzu EDX-720 en el Departamento de Geología de la Universidad de Chile. El espectrómetro fue operado usando un tubo de rayos x de rodio a 15-50 kV y 1000µA y permitió obtener de manera rápida y no-destructiva los elementos mayores que constituyen los sedimentos. En total se analizaron 131 muestras, 61 del testigo T1 y 70 del testigo T5. Los primeros 12 cm localizados en el techo del testigo T1 no fueron analizados debido a la perturbación de los sedimentos durante la extracción [9] (Fig.5).

Con los datos obtenidos se calculó la razón Ca/Ti y Sr/Ti para determinar variaciones en el carbonato, Mm/Fe y Mn/Ti para determinar condiciones redox y Si/Ti para determinar variaciones en la productividad orgánica [17] (Fig.6).

#### Exploración geofísica

El subsuelo marino de la zona central de la Bahía de Quintero fue estudiado a través del perfilador acústico Edgetech 3100-P SB424S (4-24khz) que generó dos líneas perpendiculares intersectadas en el sitio (Fig.7). Los datos de onda obtenidos fueron visualizados a través del software SeisSee 2.22.2, y mínimamente procesados a través de un filtro de bandas trapezoidal [mínima frecuencia de corte 500Hz; máxima frecuencia de corte 7000Hz] y Control de Ganancia Automática [longitud de ventana: 3-5 ms]. La penetración de las ondas permitió el reconocimiento de reflectores coherentes de hasta ~1-2 ms bajo el fondo marino, correspondiente a 1,5 - 3 metros de profundidad. Los



Distribución del tamaño de grano de los testigos T5 y T1. El panel de la izquierda muestra en colores un ploteo de densidad de los porcentajes en volumen del tamaño de grano y con una línea blanca el promedio de los valores de tamaño de grano de los testigos. El panel de la derecha muestra la distribución promedio de los tamaños de grano para cada unidad estratigráfica. Tomado de ref. [9].



# Figura 5

Elementos mayores presentes en los testigos T5 y T1 determinados a través de análisis de fluorescencia de rayos X. Las mediciones están expresadas en conteos por segundo (cps). Tomado de ref. [9].



Razones elementales de los testigos T5 y T1 mostrando indicadores de productividad orgánica (Si/Ti), de precipitación de carbonatos (Ca/Ti, Sr/Ti), y de condiciones de paleo-redox (Mn/Fe, Mn/Ti). Tomado de ref. [9].

sedimentos arenosos superficiales que predominan en la zona somera de la bahía producen múltiples reflectores y una alta atenuación de la energía acústica, por lo tanto, se puso especial atención al reconocimiento y descarte de artefactos en los perfiles. Las facies sísmicas fueron definidas en base a su predominancia relativa más allá de su disposición geométrica debido a la dificultad de seguir reflectores de baja amplitud y/o discontinuos a lo largo de las secciones sísmicas [9].

#### Resultados

#### Sobre la edad del sitio GNLQ1

De acuerdo con las edades radiocarbónicas disponibles (Tabla 1), la historia del sitio abarca desde el Pleistoceno Tardío

hasta el día de hoy. Los huesos pertenecientes a diversos taxones, recolectados en superficies y atribuibles a la unidad II, poseen edades radiocarbónicas que fluctúan entre 29.200 y 21.300 años cal. A.P. (años calibrados antes del presente) habiendo usado la fracción de bioapatita presentes en los restos óseos para su determinación [4]. Por otro lado, la edad radiocarbónica de las muestras de sedimento que contiene los restos de huesos arroja un rango de edades un poco más jóvenes, entre aproximadamente 23.100 y 16.200 años cal. A.P., lo que de acuerdo con [8], podría ser explicado con la incorporación de materia orgánica más joven dentro de sedimentos más antiguos producto de actividad biológica y/o percolación.

# Historia del ambiente depositacional del sitio GNLQ1

Los resultados estratigráficos y sedimentológicos permitieron realizar la reconstrucción general del ambiente depositacional del sitio, mientras que los datos geoquímicos proveyeron información sobre cambios ocurridos dentro de un ambiente durante una escala de tiempo relativamente más corta [9].

La evolución del paisaje puede ser descrita en cuatro fases (Fig.8), que desde la más antigua a las más reciente son:

#### Fase 1: Condiciones sub-aéreas en una planicie fluvial.

La unidad basal IV, presente solo en el testigo de sedimento T1, evidencia un suelo que se oxidó sobre el cual un ambiente de agua dulce de baja energía se desarrolló. Esto último es demostrado por la presencia de sedimentos de grano fino con gradación normal (Fig. 3 y 4), característica que suele encontrarse en barras de punta de grano fino [19].

Por otro lado, la intensidad baja de Mn, con tendencia creciente hacia el techo, junto con las razones bajas de Mn/Fe (Fig. 5 y 6), sugieren una transición desde condiciones anóxicas a levementes oxigenadas hacia el techo de la unidad IV. Además, los altos valores de Fe que se observan hacia el techo de la unidad y que coinciden con las señales más altas de Mn, apuntan a la ocurrencia de óxidos de hierro que se acumularon en el techo de esta capa, sustentando la transición interpretada [9].

Según los datos geofísicos, la Unidad IV se identifica en una facies sísmica caracterizada por reflectores curvados y de inmersión sí como también geometrías de traslape tipo downlap. Esta facies se observa en varias zonas de ambos perfiles sísmicos, dentro de aproximadamente 1,5 metros bajo el fondo marino (Fig.7), y sugiere un paleoambiente dominado por pequeños arroyos meándricos que habrían dado lugar a depósitos de canal. La extensión de la cobertura geofísica indica que este tipo de paleoambientes se extendió por al menos un kilómetro alrededor del sitio. Ya que actualmente el sitio está sumergido, se interpreta que el ambiente de baja energía fluvial se desarrolló antes de que ocurriera la transgresión del océano (ocupación del continente por el océano debido al aumento del nivel del mar), por lo que el área estudiada debió ser parte de un sistema fluvial distal [9].

# Fase 2: Comienzo de un ambiente de agua dulce de baja energía. (Laguna de agua dulce)

Esta fase está representada por la Unidad III, presente en ambos testigos de sedimento. La interpretación de un ambiente lagunar de agua dulce se sustenta en el tamaño de grano fino de los sedimentos



Secciones de los perfiles acústicos del subsuelo marino. Sección AA' es perpendicular a la costa, mientras que la sección BB' es aproximadamente paralela a la línea de costa. GNLQ1 se encuentra en la intersección de ambos perfiles. El eje vertical es el tiempo de ida y vuelta (two-way travel time TWTT) milisegundos. El mapeo de los reflectores fue principalmente realizado dentro de 2ms desde el fondo marino (línea negra gruesa en A.1, A.2 y B.1). Las características primordiales de las facies sísmicas definidas están indicadas: DL: downlapping ; T: truncamiento; ssfr: (seafloor strong reflector) reflector fuerte del fondo marino; shar: (superficial high angle reflector) reflector superficial de alto ángulo. Tomado de ref. [9].

#Lab Code	Sample	Depth (cm)	Sample provenance	<sup>14</sup> C Age years BP	cal. yr BP (95% Prob.)	References
UGAMS 9194	Sediment	20	T1- Unit III	$\textbf{13,640} \pm \textbf{40}$	$16{,}435\pm162$	Cartajena et al. (2013)
UGAMS 15535	Bone	Surface	Near T1- Unit II	$24,890 \pm 70$	$29,052 \pm 164$	López et al. (2016)
UGAMS 15536	Bone	Surface	Near T1- Unit II	$23,720 \pm 70$	$27,805 \pm 111$	López et al. (2016)
UGAMS 15537	Bone	Surface	Near T1- Unit II	$21,580 \pm 60$	$25,862 \pm 106$	López et al. (2016)
UGAMS 15538	Bone	Surface	Near T1- Unit II	$23,060 \pm 60$	$27,296 \pm 101$	López et al. (2016)
UGAMS 15539	Bone	Surface	Near T1- Unit II	$21,690 \pm 50$	$25,923 \pm 88$	López et al. (2016)
UGAMS 20838	Bone	Surface	Near T1- Unit II	$\textbf{24,010} \pm \textbf{60}$	$29,061 \pm 155$	López et al. (2018)
UGAMS 20839	Bone	Surface	Near T1- Unit II	$23,110 \pm 50$	$27,387 \pm 166$	López et al. (2018)
UGAMS 20844	Bone	Surface	Near T1- Unit II	$19,280\pm40$	$23,315 \pm 341$	López et al. (2018)
UGAMS 20841	Bone	Surface	Near T1- Unit II	$20,040 \pm 45$	$24,020 \pm 170$	López et al. (2018)
UGAMS 29495	Bone	24	T5- Unit II	$17,800 \pm 40$	$21,587 \pm 203$	Carabias et al. (2020)
UGAMS 29496	Sediment	24	T5 - Unit II	$15,740 \pm 40$	$18,\!972\pm109$	Carabias et al. (2020)
UGAMS 29497	Sediment	32	T5 - Unit II	$19,160\pm50$	$23,033 \pm 107$	Carabias et al. (2020)
UGAMS 29498	Sediment	34	T5 - Unit III	$18,250 \pm 45$	$22,176 \pm 131$	Carabias et al. (2020)
UGAMS 29499	Sediment	62	T5 - Unit III	$\textbf{13,980} \pm \textbf{40}$	$\textbf{16,919} \pm \textbf{163}$	Carabias et al. (2020)

**Tabla 1:** Edades radiocarbónicas AMS sobre sedimentos y fracción de bioapatita de huesos y molares. Calibración realizada con OxCal 4.4, considerando la curva terrestre de calibración para el Hemisferio Sur ShCal20 [18].

de esta unidad, junto con la señal relativamente baja de los componentes terrígenos (Si, Al, K, Ca, y Ti (Fig. 3, 4 y 5). La carencia de sedimentos de tamaño más grueso y la selección moderada de este depósito indica una escorrentía limitada, sugiriendo que la laguna se alimentó mayoritariamente por agua subterránea. Este ambiente también es sugerido por las altas razones de Ca/Ti y Sr/Ti (Fig.6) indicando la ocurrencia de precipitación de carbonato autigénico acompañado de un bajo aporte detrítico [20 - 17].

La relativamente alta razón de Si/Ti (Fig.6) sugiere la presencia de sílice biogénico, asociado probablemente con la productividad de diatomeas [21] el cual podría haber sido responsable de la disolución de material detrítico, reduciendo aún más las concentraciones de los elementos asociados a sedimentos terrígenos. El alto y variable contenido de Mn y de las razones de Mn/Fe observados en ambos testigos de sedimento (Fig.6) sugiere la presencia de óxido de manganeso, el cual precipita bajo condiciones aeróbicas [22]. Esta interpretación es consistente con el análisis mineralógico realizado por ref. [23], quienes muestran la presencia de óxidos de Fe y Mn, tales como hematita (Fe2O3), pirolusita (MnO2) y goethita (FeO(OH)). El alto contenido de oxígeno

45



Modelo de evolución del sitio GNLQ1. El nivel del mar mostrado en cada una de las etapas es relativo al nivel de mar actual. Tomado [9]

en la columna de agua podría estar relacionada a procesos fotosintéticos o a una intensa ventilación del agua del fondo de la laguna [17]. Sin embargo, [23] también encontró sulfuros de hierro tales como pirita (FeS2) y greigita (Fe3S4) los cuales sugieren que esta unidad también fue afectada por procesos de reducción.

Consecuentemente, la variabilidad en el contenido de Mn podría deberse a variaciones en el nivel de agua de la laguna, que habrían generado cambios en las condiciones oxigenación del agua del fondo. Los cambios en el nivel de agua también podrían explicar la presencia de aglomerados de tamaño guijarro altamente cohesivos, compuestos por arena limosa y arcillosa, en la Unidad III (Fig.3), los cuales pueden ser interpretados como intraclastos que se habrían formado por los cambios en la extensión de la laguna. Estos cambios habrían generado una intermitente exposición y secamiento del margen de la laguna, y, por lo tanto, una progresiva fragmentación del margen durante periodos de agua somera [9].

#### Fase 3: Laguna de agua dulce más grande y profunda.

Este ambiente se interpreta a partir de la Unidad II, la cual está presente en ambos testigos de sedimento (Fig.3). Como en la fase anterior, el sedimento de grano fino sustenta la interpretación de una depositación de baja energía.

Una señal muy baja de contenido de Mn y bajas razones de Mn/Fe (Fig. 5 y 6) indican condiciones anóxicas que pueden ser asociadas a una limitada circulación de la columna de agua y/o ventilación de aguas de fondo [24], ambas interpretaciones consistentes con una laguna más profunda [9]. Condiciones anóxicas para esta unidad también fueron interpretadas por ref. [25] basado en la presencia de pyrita framboidal en la matriz ósea de un húmero de Paleolama sp. encontrado en esta unidad. Además, el análisis mineralógico de huesos manchados de esta unidad sugiere la presencia de sulfuros y óxidos, estos últimos asociados con condiciones aeróbicas que habrían ocurrido durante y después de la exposición del sitio [23].

Condiciones más húmedas serían consistentes con un ambiente de humedal más permanente indicado por las bajas razones de Mn/Ti (Fig.6), así como también por la carencia de intraclastos, sugiriendo que el sitio estaba a una mayor distancia del margen de la laguna [9]. Las altas razones de Si/Ti sugieren la presencia de sílice biogénico, posiblemente relacionado a presencia de diatomeas. Además, de acuerdo con ref. [20], altas razones de Ca/Ti y Sr/Ti reflejan precipitación de carbonato (Fig.6).

Durante este estadio más húmedo, una gran diversidad de animales fue atraída por el agua dulce y la vegetación presente en esta lagunas más extensa y profunda. Los animales que murieron que murieron a lo largo del margen de la laguna fueron rápidamente cubiertos por sedimento que fue expuesto a condiciones sub-aéreas durante un corto periodo de tiempo, lo cual favoreció la preservación de los huesos [9]. Esto último está evidenciado por el bajo grado de degradación observado en los restos óseos [13].

Este periodo más húmedo en la región de estudio habría prevalecido entre los 28.000 a 21.000 años cal. A.P, de acuerdo con las edades reportadas para los restos óseos [8], lo cual es consistente con periodos de máxima humedad reportadas para el litoral centro-norte de Chile durante el último periodo glacial, hace aproximadamente 33.000 - 19.000 años atrás [26], basados en registros marinos extraídos frente a La Serena. Estos autores han interpretado que este periodo húmedo, que fue precedido por condiciones áridas entre los 40.000 a 33.000 años A.P., también se habría caracterizado por abundante vegetación C3, gran aporte de sedimentos al océano, y bajas temperaturas. Condiciones húmedas también fue interpretada por [27] basado en el desarrollo de horizontes de suelo datadas en 22.000 ± 1.000 años en Las Ventanas, al norte de la Bahía de Quintero. De acuerdo a [26], estas condiciones húmedas habrían finalizado aproximadamente hace 17.000 - 16.000 años A.P debido a la menor influencia de los vientos del oeste a menores latitudes producto del desplazamiento del Anticiclón del Pacífico Sur-Oriental.

# Fase IV: Transgresión marina y actual costa de la Bahía de Quintero.

Esta fase está representada por la Unidad I, está presente en ambos testigos de sedimento, sin embargo, está mejor desarrollada en el testigo T5 (Fig.3). Está compuesta por arenas medias a finas, tamaño de grano más grande con respecto a las otras unidades, y por sedimentos bien seleccionados (Fig.4) con fragmentos de conchillas (Fig.3) que indican un ambiente marino somero [9]. Los datos geoquímicos también sustentan esta interpretación. De hecho, la alta señal de Ti (Fig.5), el cual es un elemento relativamente inmóvil, está ligado a un alto suministro de terrígenos [21], y por lo tanto, a una línea de costa más cercana. Esta interpretación también podría estar sustentada por la relativamente alta señal de Fe (Fig.5) aunque también podría indicar cambios en la fuente de los sedimentos o de condiciones redox [20]. La fuerte relación entre el Ti y Fe (Fig.5) y la carencia de partículas más finas apuntan también al origen alóctono de este elemento [9].

Toda la Unidad I presenta una baja señal de Si y razones aún más bajas de Si/Ti (Fig. 5 y 6), indicando que el Si podría estar principalmente relacionado a partículas detríticas, como también es sugerido por la predominancia en esta unidad del tamaño de grano arena [9].

Bajas razones de Ca/Ti y Sr/Ti (Fig.6) indican un decrecimiento de la precipitación de carbonato con respecto a las unidades anteriores [17], probablemente relacionado al cambio en las condiciones ambientales marinas costeras junto con el aumento de la profundidad del agua [9]. Subsecuentemente, los valores muy bajos de las razones de Fe/Ti, Mn/Ti y Mn/Fe (Fig. 6), reflejan las actuales condiciones anóxicas bajo la interface agua/sedimento [28], asociado a la baja ventilación en el fondo de la bahía [9].

La disconformidad que existe entre la Unidad II y la Unidad I (Fig.3), es evidencia de la última transgresión marina ocurrida en el área y que afectó el sitio GNLQ1 hace 8.500 - 8.000 años A.P [8], durante el Holoceno Temprano, cuando ocurrió el último periodo de ascenso rápido del nivel del mar. La transgresión probablemente erosionó la mayor parte de la secuencia depositada entre el Pleistoceno Tardío (hace 21.000 años cal A.P.) y el Holoceno Temprano (8.500 - 8.000 años A.P), cuando el sitio comenzó a sumergirse y a someterse a la abrasión de las olas del mar, bajo condiciones marinas someras. Sin embargo, debe hacerse notar que la estratigrafía también sugiere erosión debido a la dinámica costera actual, contexto en el cual la capa de arena, correspondiente a la Unidad I, estaría jugando un rol protector de la capa subyacente (Unidad II) con respecto a la erosión del producido por el oleaje y la marea [9].

#### Referencias

 O'Shea, J., Journal of Island and Coastal Archaeology, Vol 16, 1 (2021), p1-4.
Cartajena, I., et al., Quaternary International, Vol 305, (2013), p45-55. [3] Carabias, D., et al., Chapter In: Prehistoric Archaeology on the Continental Shelf. A Global Review. Springer, New York, (2014), p 131 – 149.

[4] López, P., et al., Quaternary International, Vol 463 (A), (2018), p150-153.

[5] ARKA, Reporte encargado por SGA Ltda, Comuna de Quintero, V Región. (2008).

[6] ARKA, Reporte encargado por GNL Quintero, Comuna de Quintero, V Región. S.A. REF. INF11, (2014).

[7] Carabias, D., et al., Chapter In: Prehistoric Archaeology on the Continental Shelf. A Global Review. Springer, New York, (2014), p 131 – 149.

[8] Carabias, D., et al., En preparación, (2022).

[9] Flores-Aqueveque, V., et al., Quaternary International, Vol 601, (2021), p15-27.

[10] Villa-Martínez, R., et al., Revista Chilena de Historia Natural, Vol 70, (1997), p391-401.

[11] Villagrán, C., et al., Quaternary Research, Vol.34, (1990), p198-207.

[12] Vargas, G. et al., Informe para ARKA Consultores 2008, Evaluación Arqueológica Subacuática Sitio GNL Quintero 1. (2008)

[13] López, P., et al., Archeological and Anthropological Sciences, Vol 8, (2016), p277-290.

[14] Cartajena, I., et al., In: Proceedings of the 6th International Congres son Underwater Archaeology (IKUWA6), (2020), p350-358.

[15] Munsell Color, Munsell Soil-Color Charts. (2009)

[16] Folk, R.L., et al., Journal of sedimentary research, Vol 27, 1 (1957), p3-26.

[17] Mackenzie, L., et al., Holocene, Vol 27, 4 (2017), p566-578.

[18] Hogg, A., et al., Radiocarbon, Vol 62, 4 (2020), p759-778.

[19] Colombera, L. et al., Sedimentary Geology, Vol 383, (2019), p16-40.

[20] Kylander, M.E., et al., Journal of Quaternary Science, Vol 26, (2011), p109-117.[21] Wennrich, V., et al., Climate of the Past,

Vol 10, (2014), p1381-1399.

[22] Davison, W. Earth-Science Reviews, Vol 34, (1993), p119-163.

[23] Cartajena, I., et al., Geoarchaeology, Vol 37, (2021), p1-15.

[24] Moreno, A., et al., Quaternary International, Vol 161, (2007), p4-21.

[25] López, P., et al., Capítulo en: Temas de Arqueología, Estudios Tafonómicos y Zooarqueológicos (II). Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano, Buenos Aires, (2012), p25-44.

[26] Kaiser, J., et al., Quaternary Science Reviews, Vol 27, (2008), 2064-2075.

[27] Veit, H., et al., Catena, Vol 134, (2015), p30-40.

[28] Kristensen, E., Hydrobiologia, Vol 426, (2000), 1-24.