

La Evolución de la Línea de Costa como Guía para la Prospección de Potenciales Sitios Arqueológicos Arcaicos en la Plataforma Submarina del Desierto de Atacama

Gabriel Easton¹, Nicolás Lira², Tomás León³, José González-Alfaro⁴ y Diego Salazar⁵

Resumen

A lo largo de las costas del Desierto de Atacama los sitios arqueológicos del Pleistoceno tardío-Holoceno temprano son escasos, ligados, en el norte de Chile, al complejo cultural Huentelauquén. Si bien este desierto costero constituye una de las regiones más áridas de nuestro planeta, la riqueza y vastedad del mar aledaño, junto a condiciones localmente favorables para la disponibilidad de aguadas, el registro de recursos marinos en sitios tempranos del interior, y la abundancia de sitios holocenos cerca de la línea de costa, presuponen la posibilidad que antiguos asentamientos humanos se hayan situado también en sus proximidades, cuando esta se ubicaba más bajo que su posición actual. En este trabajo, presentamos una metodología fundada en estudios geoarqueológicos para su búsqueda en la bahía de Taltal, revelando la importancia de la determinación de la evolución de la línea de costa para constreñir áreas de mayor interés para la prospección arqueológica submarina.

Palabras clave: Arqueología subacuática, geoarqueología, línea de costa, Desierto de Atacama, Norte Grande de Chile.

Abstract

Along the coasts of the Atacama Desert archaeological sites of the Pleistocene-Holocene transition period are extremely scarce, associated, in northern Chile, to the Huentelauquén cultural complex. Although this coastal desert constitutes one of the most arid regions of our planet, the richness and vastness of the southeastern Pacific Ocean, together with the localized occurrence of water springs, the recognizance of marine resources in Late Pleistocene-Early Holocene archaeological records inland, and the abundance of Mid-to-Late Holocene sites situated near the coastline, suggest the possibility that former human settlements were also located in its vicinity, when the global sea level was lower than its modern position. In this work, we propose a methodology based on geoarchaeological studies for the search for potentially submerged archaeological sites in Taltal Bay, highlighting the importance of determining the Late Pleistocene-Holocene coastline evolution, to constrain areas of greatest interest for underwater archaeological prospecting.

Keywords: Subaquatic archaeology, geoarchaeology, coastline, Atacama Desert, Northern Chile.

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. geaston@ing.uchile.cl

2 Departamento de Antropología, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile. nicolaslira@uchile.cl

3 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. School of Earth and Environmental Science, The University of Queensland. t.leoncortes@uq.edu.au tleon@ing.uchile.cl

4 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. josgonaal@uchile.cl

5 Departamento de Antropología, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile. dsalazar@uchile.cl

Las costas de América del Sur, y en particular las del Desierto de Atacama, se caracterizan por una baja densidad de sitios arqueológicos del Pleistoceno tardío-Holoceno temprano. En el norte de Chile, las evidencias más tempranas se relacionan con el complejo Huentelauquén, el cual se extendió a lo largo de la vasta región comprendida entre la costa semiárida del Norte Chico y el desierto hiperárido del Norte Grande (Iribarren, 1961; Llagostera, 1979; Llagostera *et al.* 2000; Jackson *et al.* 1999; 2011; Jackson y Méndez 2005; Ballester *et al.* 2012; Castelleti *et al.* 2010; Salazar *et al.* 2015; 2018). Este complejo ha sido definido como el primer grupo de cazadores-recolectores-pescadores que ocuparon este ambiente extremadamente desfavorable para el desarrollo de las primeras comunidades, representando una adaptación costera cuyos orígenes se encuentran unidos al primer poblamiento humano de la costa del Pacífico en el cono sur de América (Sandweiss 2008; Jackson *et al.* 2011). Así, la búsqueda de sitios tempranos en este desierto costero cobra cada vez mayor relevancia, más aún cuando la posibilidad de un poblamiento inicial a lo largo de la costa, en plataformas expuestas durante el periodo glacial y actualmente sumergidas bajo el mar, es cada vez más considerada dados los hallazgos arqueológicos en el conjunto del continente americano (Gruhn, 2020). En este trabajo se realiza una propuesta metodológica para la búsqueda de sitios sumergidos en el margen tectónicamente activo de la costa oeste de Sudamérica, con resultados que permiten un mayor conocimiento del fondo marino de la bahía de Taltal en el norte de Chile, favoreciendo así el diseño de estrategias para la exploración arqueológica subacuática.

Los sitios arqueológicos asociados al complejo cultural Huentelauquén se ubican usualmente próximos a la línea de costa, en las escasas aguadas costeras o cerca de las quebradas que drenan el abrupto relieve aledaño, y si bien son escasos, los fechados disponibles hasta ahora evidencian que su máxima antigüedad sería del orden de los 12000 años cal. AP (Llagostera *et al.* 2000; Jackson *et al.* 2011; San Francisco y Ballester, 2018; Salazar *et al.* 2018). Así, las ocupaciones más tempranas hasta ahora estudiadas de este complejo son varios milenios posteriores a las más tempranas de Sudamérica, tales como en la costa semiárida y serranías interiores del Norte Chico (~13000 años cal. AP en el sitio Santa Julia; Jackson *et al.*, 2007; 12630 años cal. AP en el sitio Valiente; Méndez *et al.* 2018), en las pampas, precordillera y puna altiplánica (~13000 años cal. AP; Núñez *et al.* 2002; Santoro *et al.* 2011; 2019; Latorre *et al.* 2013; Rademaker *et al.* 2014), en el centro-sur de Chile (14600 años cal. AP en Monte Verde; Dillehay 1989; Meltzer *et al.* 1997; Dillehay *et al.* 2015; 15600 años cal. AP, correspondiente a una huella humana en Pilauco; Moreno *et al.* 2019), e incluso en las costas peruanas (15000 años cal. AP en el sitio Huaca Prieta; Dillehay *et al.* 2017). Méndez (2013), por su parte, a partir del análisis estadístico de un conjunto de 326 fechas radiocarbono del período comprendido entre los ~16500 y 7700 años cal. AP, propone que alrededor de ~13000 años cal. AP puede considerarse como una fecha apropiada para el poblamiento inicial de la mayor parte de Chile, sugiriendo, además, que en la costa árida y semiárida las evidencias más tempranas datarían sólo de ~11800-8500 años cal. AP.

Lo anterior nos ha llevado a plantear dos hipótesis alternativas (Salazar *et al.* 2018); o bien la costa del norte de Chile se pobló varios milenios más tarde que zonas adyacentes en el continente sudamericano, o bien existen ocupaciones más antiguas en estas costas, las cuales aún no han sido identificadas, posiblemente a causa, entre otras, de la transgresión marina que siguió al final de la última glaciación durante el Pleistoceno tardío.

La segunda hipótesis es coherente con las evidencias de la costa peruana (Dillehay *et al.* 2017), con la presencia de recursos costeros en los sitios más tempranos de las pampas y precordillera andina fechados en ~13000 años cal. AP (Latorre *et al.* 2013; Santoro *et al.* 2019), así como con

las propuestas acerca de un temprano poblamiento costero del continente (Gruhn, 2020). En este último sentido, se ha postulado que la plataforma marina, con una superficie expuesta al ambiente subaéreo más extensa que en la actualidad debido al bajo nivel marino durante la glaciación, pudo conformar un corredor por el cual los primeros grupos humanos migraron tempranamente a lo largo del margen occidental del continente americano (Fladmark 1979; Erlandson *et al.* 2007; Dillehay *et al.* 2015; 2017). La hipótesis anterior cobra fuerza especialmente al considerar que, por una parte, la aridez a hiperaridez de las costas de este desierto, predominantemente rocoso, junto al relieve abrupto que lo caracteriza, condiciona una escasez y menor disponibilidad de recursos en el continente (Figura 1). Por otro lado, en cambio, el océano Pacífico adyacente a la costa occidental de Sudamérica, con el sistema de la corriente de Humboldt y los centros de surgencia costera, es uno de los más productivos de nuestro planeta y se constituye como una fuente rica en abundancia y diversidad de recursos marinos (Strub *et al.* 1998), disponibles ya desde los primeros poblamientos costeros en adelante. Así lo han demostrado resultados de investigaciones arqueológicas realizadas en la costa de la región de Taltal, que sugieren una extraordinaria capacidad adaptativa de las poblaciones tempranas a este ambiente de aridez extrema, junto a un desarrollo de estrategias y tecnologías específicas (Salazar *et al.* 2015; 2018). Los estudios muestran que este desarrollo adaptativo por parte de las comunidades costeras continuó durante el resto del Holoceno, manifestándose también un vínculo profundo con el mar notablemente expresado, por ejemplo, en las pinturas rupestres de El Médano (Contreras *et al.* 2008; Niemeyer 2010; Castelleti 2017; Ballester 2018).

Luego, es posible plantear que la escasez de sitios arqueológicos del Pleistoceno tardío-Holoceno temprano a lo largo de la costa del Desierto de Atacama, tenga su razón de ser, más que en un desinterés de las primeras poblaciones en habitarlas, en nuestra inhabilidad para explorarlos, encontrarlos y estudiarlos. Lo anterior, dado que es plausible que algunos de estos sitios pudiesen haber sido preservados de la erosión litoral en ambientes protegidos, durante el rápido incremento del nivel del mar como producto de la transgresión marina que siguió al final de la última glaciación pleistocena (Figura 2), encontrándose actualmente sumergidos, tal como ha sido sugerido a partir del estudio de sitios del complejo cultural Huentelauquén en la costa hiperárida del Norte Grande (Llagostera *et al.* 2000; Salazar *et al.* 2015; 2018).

La región costera de Taltal, ubicada en la costa arreica del Norte Grande de Chile (Figura 1), ha experimentado un rápido desarrollo en la investigación arqueológica desde los inicios del siglo XX, pero sobre todo en las últimas décadas. En las discusiones arqueológicas de la primera mitad del siglo pasado, a partir de los trabajos pioneros realizados por Augusto Capdeville, esta región se constituyó como un referente importante particularmente respecto de las poblaciones de cazadores, recolectores y pescadores tempranos de Sudamérica, como también respecto de la presencia o ausencia de un período “paleolítico americano”. Luego, a partir de la década de 1940 la investigación arqueológica fue prácticamente abandonada, a excepción de algunos trabajos aislados. Es durante la primera década del presente siglo XXI, cuando se retomaron las investigaciones arqueológicas con el trabajo de Castelleti (2007), quien propone la primera secuencia cronológica-cultural de Taltal respaldada por una cronología absoluta, a partir de sitios habitacionales y funerarios.

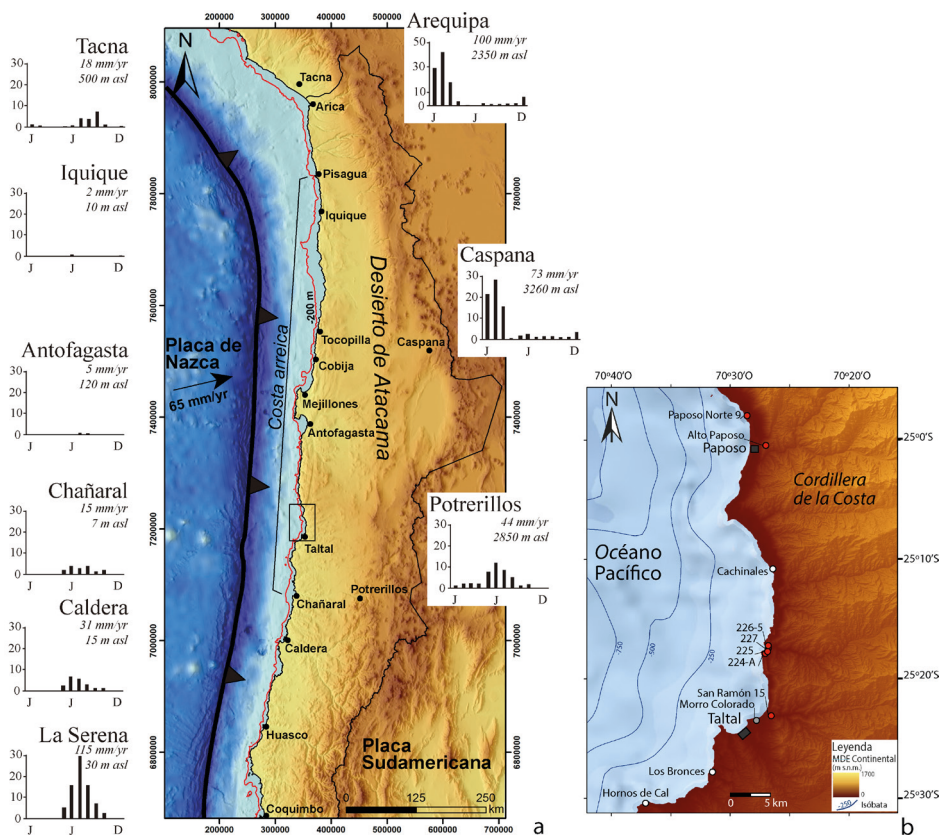


Figura 1. (a) Contexto geodinámico del Desierto de Atacama en el norte de Chile. La costa del Desierto de Atacama se caracteriza por una drástica disminución de sur a norte de las precipitaciones provenientes del Pacífico, mientras que por otro lado la cordillera andina bloquea las precipitaciones estivales altiplánicas cuya humedad proviene, en última instancia, desde el Atlántico. Lo anterior condiciona una hiperaridez a lo largo de la costa arreica del Norte Grande, dominada por la subsidencia atmosférica del anticiclón subtropical del Pacífico suroriental, y reforzada por las aguas frías subantárticas del sistema de Humboldt y las surgencias costeras (Strub et al. 1998). En el largo plazo, la construcción del relieve de la vertiente occidental de la ladera andina se asocia a la convergencia de la placa de Nazca, que subducta en forma oblicua bajo la placa Sudamericana a una velocidad de unos 65 mm/año (Angermann et al. 1999), implicando la ocurrencia de grandes terremotos y tsunamis. A lo largo de este margen, la plataforma continental es estrecha, con profundidades de ~ 200 m bajo el nivel del mar a sólo algunos kilómetros de la costa. (b) Ubicación de sitios arqueológicos costeros del Pleistoceno tardío-Holoceno temprano asociados a la cultura Huentelauquén en la región de Taltal. Se indica también la ubicación del sitio Morro Colorado del Holoceno medio (Castelleti et al. 2010; Salazar et al. 2015; 2018). También se indican sitios geológicos y arqueológicos en donde se han encontrado evidencias de grandes tsunamis holocenos, correspondientes a Cachinales, Los Bronces y Hornos de Cal (León et al. 2019).

En los últimos años se han realizado importantes nuevos hallazgos de sitios tempranos en la zona (Castelleti et al. 2010; Salazar et al. 2018; San Francisco y Ballester 2018), y se han estudiado importantes yacimientos, tales como San Ramón 15, el cual, junto con el reciente hallazgo de las actualmente sumergidas minas de ocre en Yucatán (MacDonald et al. 2020), registran las evidencias

más tempranas descubiertas hasta ahora de actividad minera sistemática en América, con edades tan antiguas como 11800–10500 años cal. AP (Salazar *et al.* 2011). Este sitio es una mina en la que se explotaron óxidos de hierro (hematita y goetita) y probablemente óxidos de manganeso (pirolusita) desde la transición Pleistoceno terminal-Holoceno temprano hasta los 4000 años cal. AP. Se encuentra emplazado a unos 3,5 km al noreste de la ciudad de Taltal, y a menos de 1,5 km de la actual línea de costa (Salazar *et al.* 2018). Además de este sitio, se conocen 7 aleros con ocupaciones domésticas correspondientes al complejo cultural Huentelauquén en la costa de Taltal-Paposo: Alero 224A, Alero 225, Alero 226–5 o Alero Cascabeles, Alero 227, Paposo Norte 9, Loreto y Miguel Díaz (Salazar *et al.* 2018; San Francisco y Ballester 2018; Figura 1). Los primeros cuatro se encuentran a los pies de la Cordillera de la Costa, muy cerca de la desembocadura de la quebrada de Cascabeles, unos 12 km al norte de Taltal y a menos de 150 m de la línea de costa (Castelleti 2007; Castelleti *et al.* 2010; Galarce y Santander 2013; Salazar *et al.* 2013; 2015). Los aleros de Paposo Norte 9, Loreto y Miguel Díaz se encuentran aproximadamente a 60, 80 y 110 km al norte de Taltal, y a una distancia de entre 20 y 200 m de la línea de costa (Salazar *et al.* 2015; San Francisco y Ballester 2018). Estos sitios presentan depósitos del Pleistoceno tardío-Holoceno temprano que consisten en conchales y desechos domésticos, intercalándose fogones y capas de cenizas con restos de moluscos, huesos de peces, aves y mamíferos, así como desechos y herramientas líticas (Salazar *et al.* 2018; San Francisco y Ballester 2018), que dan cuenta de ocupaciones poco prolongadas en el tiempo.

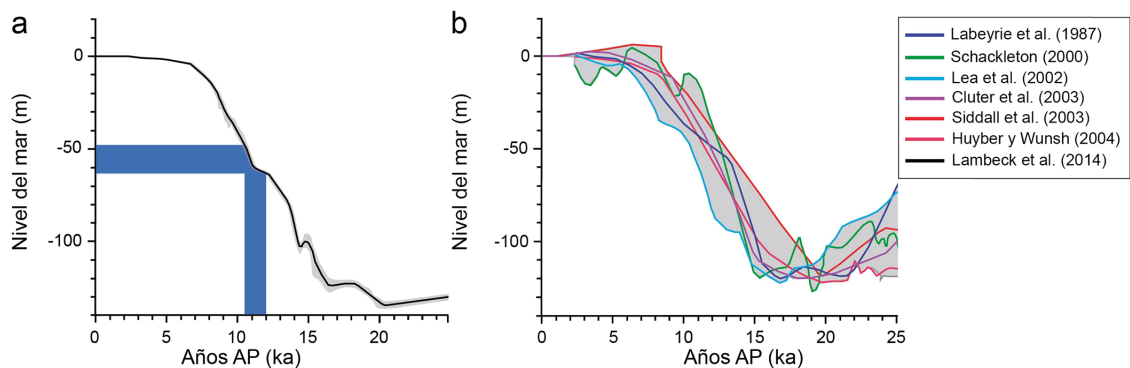


Figura 2. (a) Variación del nivel del mar para los últimos 25 ka, según las estimaciones de agua transferida entre los volúmenes de hielo y los océanos, plasmadas en la curva de Lambeck et al. (2014). La línea negra corresponde a la curva del nivel del mar junto a su incertidumbre asociada (en gris). Se observa un incremento del nivel del mar posterior a 20 ka y una tendencia a la estabilización de éste a partir de ~7 ka. La zona rectangular indica la posición global del nivel del mar durante el periodo concomitante a la ocupación más temprana de la mina San Ramón 15 (Salazar et al. 2011), para el cual no se han encontrado asentamientos contemporáneos en la costa aledaña de la bahía de Taltal. (b) Variación del nivel del mar para los últimos 25 ka a partir de una recopilación de estimaciones realizadas por varios autores. Cada línea representa el nivel del mar estimado según cada autor, y la zona gris sombreada corresponde a la incertidumbre que se genera a partir de la consideración de todas las curvas. En la mayoría de los casos se observa un rápido aumento del nivel del mar posterior a 20 ka, el cual tiende a estabilizarse a partir de ~7 ka. La incertidumbre es mínima a partir de ~2 ka, cuando el mar se posiciona en su nivel actual.

Muy cerca del sitio San Ramón 15 se encuentra Morro Colorado, uno de los sitios arqueológicos más conocidos y estudiados de la costa de Taltal (Capdeville 1921; Andrade y Salazar 2011, Salazar *et al.* 2015; Flores *et al.* 2016). Corresponde a un conchal y basural antrópico depositado sobre una

puntilla donde destaca un promontorio rocoso con una elevación de poco más de 20 m s.n.m. El depósito más antiguo, correspondiente al denominado Arcaico II (Salazar *et al.* 2015), se encuentra fechado en alrededor de los ~8000 cal.AP. Esta ocupación habría durado poco menos de 1000 años (aunque el sitio siguió siendo ocupado posteriormente durante toda la secuencia correspondiente al Holoceno medio); el fechado más temprano disponible para este sitio arroja una edad de 8261 ± 30 años cal.AP, a partir de carbón. Considerando que la edad más tardía de la mina San Ramón 15 es de 10301 ± 80 años cal.AP (carbón), existiría un hiato cronológico de al menos 1500 años entre estos dos sitios y los períodos que representan (Arcaico I y Arcaico II), ya que en toda la región no hay fechados intermedios (Salazar *et al.* 2015).

Considerando la evolución global del nivel del mar desde el final de la última glaciación (Lambeck *et al.* 2014; Figura 2), junto a los antecedentes anteriormente expuestos, es posible entonces que los sitios más antiguos del período de transición Pleistoceno tardío-Holoceno temprano en la costa del Desierto de Atacama del norte árido y semiárido de Chile, y en particular en la región de Taltal, se encuentren mayoritariamente sumergidos bajo el mar en la plataforma continental adyacente a la costa (Llagostera *et al.* 2000; Salazar *et al.* 2015; 2018).

De esta forma, las sucesivas regresiones y transgresiones marinas que han modelado el paisaje costero habrían permitido primero el asentamiento humano varios metros por debajo de la línea de costa actual, las que posteriormente habrían sido inundadas por el mar. Esta realidad ya ha sido evidenciada en otros lugares del mundo, como en la costa de Florida donde se ha registrado el hallazgo de sitios Clovis sumergidos con antigüedades del orden de los 10 mil años (Faught 2004; 2006), y también las minas de ocre en cuevas de la península de Yucatán en México, con evidencias de ocupación entre los ~12000 y 10000 años cal.AP, las cuales se encuentran actualmente inundadas debido al ascenso de las aguas subterráneas asociado al incremento del nivel del mar durante el Holoceno temprano (MacDonald *et al.* 2020). Por esto la hipótesis de asentamientos humanos contemporáneos o incluso anteriores al complejo cultural Huentelauquén (Salazar *et al.* 2018), es interesante de ser testeada. Para esto se ha implementado una metodología sustentada en la combinación de técnicas geológicas, geofísicas y arqueológicas para la exploración geoarqueológica submarina del área costera próxima a la desembocadura de la quebrada San Ramón y al sitio de Morro Colorado, en la bahía de Taltal.

Experiencias previas de este tipo en nuestro país han abordado la componente de arqueología subacuática fundamentalmente a través de la exploración por medio del buceo autónomo, tanto en la isla de Chiloé (Ocampo y Carabias com. pers), donde se realizaron prospecciones submarinas en la costa del golfo de Quetalmahue-Bahía de Ancud, como en el sitio GNLQ1 (GNL Quintero 1), donde se han excavado restos de fauna extinta con posibles evidencias de acción antrópica (Cartajena *et al.* 2013). Estos son antecedentes que demuestran la relevancia que esta disciplina está adquiriendo, para lo cual se hace necesario una revisión y planteamiento metodológico sistemático con un enfoque multidisciplinario, como el que aquí se propone a través de la prospección y estudio del fondo marino adyacente a Taltal, en particular.

La Plataforma Continental del Norte Grande

El margen occidental de América del Sur se caracteriza por una estrecha plataforma de sólo algunos kilómetros de ancho, con profundidades de 130 a 200 m a distancias variables de unos

2-7 kilómetros en general desde la línea de costa a lo largo del norte de Chile, que pronto da lugar al talud continental y finalmente a la fosa tectónica, ubicada unos 80-90 km mar adentro, alcanzando localmente más de 8000 m de profundidad (Figura 1). Su evolución geomorfológica cuaternaria ha sido condicionada fundamentalmente por procesos tectónicos, que dependen de la subducción de las placas de Nazca bajo la Sudamericana (Figura 1), con la ocurrencia de fuertes terremotos y tsunamis, y modelada a su vez por procesos erosivos y localmente sedimentarios, como producto de la influencia de cambios eustáticos, es decir, de variaciones globales del nivel del mar. Evidencias de este modelado lo constituyen las terrazas marinas, depósitos litorales y otros rasgos geomorfológicos emergidos que dan cuenta del alzamiento tectónico a largo plazo del margen continental, a velocidades o tasas estimadas en rangos tan amplios como 0,2-0,5 m/ka (Ortlieb *et al.* 1996a; Victor *et al.* 2011) a 1,4-1,7 m/ka (González-Alfaro *et al.* 2018), en este último caso para el Cuaternario tardío, como producto más probablemente de la ocurrencia de grandes terremotos de subducción, tal como se observó para los sismos M_w 8,1 de Antofagasta en 1995 CE (Ortlieb *et al.* 1996b) y M_w 7,7 de Tocopilla en 2007 CE (González-Alfaro *et al.*, 2018). El fechado reciente de depósitos litorales emergidos en la costa de Pan de Azúcar (unos 20 km al norte de Chañaral; Figura 1), que sugieren una tasa de levantamiento tectónico cercana a 1 m/ka para el Cuaternario tardío en esa zona (Izquierdo *et al.* 2020), junto al hallazgo reciente de depósitos de tsunamis holocenos en la costa hiperárida de Taltal, sobreyaciendo capas litorales que dan cuenta de tasas de alzamiento similares (León *et al.* 2019), tiende a reafirmar la relevancia de los procesos tectónicos, y en particular de los grandes terremotos tsunamigénicos tales como el M_w 8,6-8,8 de Iquique en 1877 CE (Kausel, 1986), en el modelado del paisaje costero (González-Alfaro *et al.* 2018).

La angosta franja costera ubicada a los pies del Gran Escarpe Costero del Norte Grande (Paskoff 1979), se caracteriza por un ancho que varía desde inexistente, al norte de Iquique, a algunos cientos de metros y hasta unos 2-3 km, con altitudes de hasta unos 100-200 m s.n.m. (localmente hasta 300-350 m s.n.m.), con sendos abanicos aluviales dispuestos a los pies del farellón costero. Estos últimos constituyen unidades geomorfológicas generadas por la sedimentación de flujos aluviales cuyos depósitos se disponen sobre terrazas marinas emergidas (Vargas *et al.* 2000). La ocurrencia de estos flujos, que bajan por las quebradas mayormente desprovistas de agua en su superficie, tiene usualmente un carácter catastrófico, tal como aquellos acaecidos en el año 1991 y más recientemente en 2015, generados por lluvias torrenciales que interrumpen sólo efímeramente la condición de hiperaridez de estas costas, asociadas preferentemente, en tiempos históricos y desde hace unos 5500-5300 años cal. AP, a eventos El Niño/Oscilación del Sur (Garreaud y Rutllant 1996; Vargas *et al.* 2000; 2006; Easton *et al.*, 2018). Así, las intensas lluvias que esporádicamente se dejan caer sobre la vertiente occidental de la ladera andina, y particularmente sobre la Cordillera de la Costa, adquieren una relevancia aún mayor pues, además de estar usualmente desconectadas de aquellas que afectan al Altiplano y la zona precordillerana durante el periodo estival (Figura 1), constituyen una fuente de recarga hídrica casi exclusiva para los sistemas hidrogeológicos costeros, favoreciendo la escorrentía de aguas subterráneas, a través de acuíferos contenidos en fracturas o superficies de estratificación del substrato rocoso que conforma esta cordillera (Herrera y Custodio 2014). Este proceso recarga y alimenta las escasas aguadas ubicadas en la franja costera (Herrera y Custodio 2014), las que han sido cruciales para sostener la vida humana a lo largo de las costas hiperáridas del Desierto de Atacama desde el Pleistoceno terminal y durante el Holoceno (Salazar *et al.* 2018).

En estas condiciones de aridez extrema (Figura 1), sólo la camanchaca, una nubosidad baja atrapada a la capa de inversión térmica ubicada en general a unos 1000 m de altitud (Rutllant *et al.* 2003), se constituye como una fuente casi perenne pero limitada de humedad, constriñendo

fuertemente el desarrollo de vegetación y ecosistemas terrestres (Rundel *et al.* 1991; Marquet *et al.* 1998; Cereceda *et al.* 2008).

A lo largo de la línea de costa, en cambio, el sistema de la corriente de Humboldt torna al mar aledaño en uno de los más productivos del planeta, cuya condición se ve reforzada por la surgencia de aguas frías ricas en nutrientes, como producto de los vientos del sur-suroeste asociados al anticiclón subtropical del Pacífico suroriental, dominantes durante la mayor parte del año y reforzados en primavera (Strub *et al.* 1998). Esto, junto con las aguadas costeras, sustenta una disponibilidad de recursos que hace de la línea de costa, o sus cercanías, un ambiente propicio para los asentamientos de las poblaciones tempranas, tal como se sugiere en la mayoría de los casos de sitios arqueológicos asociados al complejo Huentelauquén, en particular en la región de Taltal (Castelleti *et al.* 2010; Salazar *et al.* 2018).

Pero la línea de costa, lejos de constituir un rasgo estable, ha estado sujeta a variaciones extraordinarias desde el fin de la última glaciación, y especialmente durante la transición Pleistoceno terminal-Holoceno temprano (Figura 2). Reconstrucciones basadas en las estimaciones de agua transferida entre volúmenes de hielo y el reservorio marino (Lambeck *et al.* 2014), cotejadas con observaciones de campo en distintos océanos del mundo, sugieren que la posición del nivel del mar varió globalmente entre unos -130 m bajo el nivel del mar (b.n.m.), durante el Último Máximo Glacial (ca. 20000 años AP), hasta la situación moderna. Recopilaciones realizadas por distintos autores tienden a coincidir en estas estimaciones, redundando en una incertidumbre considerable en cuanto a la posición del nivel del mar global, sobretodo en el periodo comprendido entre el final del Pleistoceno e inicios del Holoceno (Figura 2). En todas ellas se observa un aumento del nivel del mar post-20 ka AP, el cual se estabiliza cerca de su posición actual a partir de ~7 ka AP, con una incertidumbre mínima a partir de ~2 ka (Figura 2). El incremento del nivel del mar fue particularmente rápido entre ~15000 años AP, cuando éste se encontraba a unos -120 a -130 m, y ~7000 años AP (Figura 2), dando cuenta de un aumento o cambio eustático ocurrido a una velocidad o tasa promedio de unos 15-16 m/ka (equivalente a unos 15-16 cm por cada 10 años). Lo anterior es relevante si se considera, como parangón, que producto del Cambio Climático se ha estimado un incremento del nivel global del mar en unos 20 cm durante todo el siglo XX (IPCC 2014; UNEP, 2017), con efectos regionales que comienzan a intensificarse, tales como inundaciones de las costas durante tormentas o marejadas extremas, incluyendo aquellas ocurridas recientemente a lo largo de las regiones del centro y norte de Chile (Carvajal *et al.* 2017).

Propuesta Metodológica

Los antecedentes anteriormente descritos hacen extremadamente desfavorable la posibilidad del hallazgo de registros arqueológicos en la plataforma submarina, por lo que su búsqueda, más allá del azar, debe obedecer a una estrategia que se haga cargo de la complejidad de este desafío. En efecto, por una parte, la incertidumbre en la magnitud del levantamiento tectónico de una determinada porción del margen occidental sudamericano (Ortlieb *et al.* 1996a; González-Alfaro *et al.* 2018), induce a una incertidumbre en cuanto a la posición de la línea de costa en la plataforma submarina, especialmente en el Pleistoceno terminal-Holoceno temprano, aun cuando la variación global del mismo sea relativamente conocida para dicho periodo (Lambeck *et al.* 2014; Figura 2). A esto se suma la incertidumbre asociada a la variación relativa del nivel del mar en cada región, como producto del rebote isostático continental post-glaciación, cuyos efectos se han estimado, fundamentalmente a través de modelos, inicialmente entre 1 y 3 m, y hasta un máximo de 4-5 m en las costas del centro y norte de Chile para el Holoceno temprano-medio (Dura *et al.* 2016; Garrett

et al. 2020), con rangos menores a latitudes más bajas en las costas de Sudamérica (Khan *et al.* 2015). Finalmente, se debe considerar el efecto de la sedimentación litoral asociada a la propia evolución de la línea de costa, dado el incremento del nivel del mar desde el fin de la última glaciación, como también por posibles aportes aluviales o deslizamientos submarinos que pudiesen obliterar el fondo marino e incluso sepultar potenciales sitios arqueológicos.

Por otro lado, el rápido incremento del nivel del mar, con un aumento global a una tasa de 15-16 m/ka entre el Pleistoceno terminal y el Holoceno temprano, podría haber favorecido la preservación de potenciales sitios arqueológicos asociados a asentamientos humanos de grupos situados en o cerca de la línea de costa, en ambientes protegidos y en posiciones similares a aquellos del Holoceno medio y tardío, tal como se ha reportado en las costas de Taltal (Salazar *et al.* 2018). En efecto, bahías protegidas de la deriva litoral y de los vientos dominantes del suroeste en la región, ofrecen condiciones geomorfológicas locales en donde sería potencialmente más factible encontrar registros arqueológicos que hayan quedado preservados, sepultados rápidamente por depósitos litorales, y por ende protegidos de la erosión marina.

Es así como el fondo marino ubicado en la prolongación de la península en donde se sitúa el sitio de Morro Colorado (Figura 3), parece ofrecer condiciones favorables para la prospección subacuática de potenciales sitios arqueológicos de la transición Pleistoceno-Holoceno. Lo anterior, debido a que este sector se encuentra dentro de la bahía de Taltal, protegido de la acción directa de la deriva litoral y vientos del suroeste por la península homónima, cerca de la quebrada San Ramón (Figura 3), en donde a sólo algunos kilómetros se ubica la mina San Ramón 15, y a la vez lo suficientemente alejado de la desembocadura de esta quebrada como para ser demasiado afectado por procesos de erosión o sedimentación asociados a flujos aluviales que esporádicamente bajan por la misma.

Para la prospección de potenciales sitios arqueológicos sumergidos hemos aplicado una metodología basada en estudios geológicos, prospección geofísica y exploraciones arqueológicas submarinas a través del buceo autónomo, teniendo como premisa la búsqueda, en profundidades del fondo marino en donde habría estado la línea de costa durante la transición Pleistoceno-Holoceno, de áreas favorables con ambientes similares a aquellos en los cuales se encuentran los sitios cercanos en tierra, como es el caso de Morro Colorado, considerando también la cercanía a la quebrada y la mina San Ramón 15.

En los últimos años se han realizado dos campañas de adquisición de datos geológicos y geofísicos y tres campañas de buceo, con el objeto de proponer una reconstrucción para la evolución pleistocena terminal-holocena temprana de la línea de costa, definiendo además el área frente a punta Morada, o de El Hueso, como aquella con mayor potencial para esta búsqueda. La estrategia desplegada hasta ahora ha consistido en un levantamiento batimétrico de la bahía, el estudio de facies sedimentarias superficiales del fondo marino, la obtención y estudio de testigos de sedimento marino, la visualización del subsuelo del fondo marino con un perfilador acústico (*subbottom profiler*) de 3,5 kHz, la exploración en detalle de la morfología del fondo con un sonar de barrido lateral (*side scan sonar*), y la exploración de zonas específicas a través del buceo autónomo con aire comprimido.



Figura 3. (a) Vista hacia el norte desde el sitio Morro Colorado en la costa de Taltal. Se pueden observar la quebrada San Ramón y la ubicación de la playa Tierra del Moro, en donde se han observado depósitos litorales emergidos con respecto a la línea de costa actual (b). Se indica también el Gran Escarpe Costero del Norte Grande y la camanchaca.

Batimetría y prospección del subsuelo del fondo marino

El primer paso en un estudio de este tipo ha sido realizar un levantamiento batimétrico con la precisión adecuada, según la escala del trabajo a efectuar, para estudiar y modelar el fondo marino en el área de interés. Esto se efectuó a través de mediciones de la profundidad del mar por medio de una sonda en transectos predefinidos. Si bien existen cartas hidrográficas para la zona, preparadas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), éstas no tienen la precisión y resolución que se requiere para un estudio de esta naturaleza. Modelar y visualizar la forma del fondo marino se hace esencial en un caso como éste, en que se busca determinar la posición de la línea de costa cuando el nivel del mar se encontraba más bajo que su posición actual, durante la transición Pleistoceno-Holoceno (Figura 2), así como para determinar la geomorfología asociada a ese momento y en particular la posición de las quebradas, tal como la prolongación de la quebrada San Ramón. Lo anterior, puesto que el reconocimiento de rasgos como paleo-desembocaduras de quebradas puede ayudar también, junto a la paleo-línea de costa, a delimitar con mayor precisión áreas de exploración subacuática. Una metodología similar ha sido propuesta por Faught (2004; 2006) en las costas de Florida, quien pudo reconstruir los paleo-cursos de agua para proponer áreas con mayor potencial para la exploración de asentamientos humanos.

La batimetría de la bahía de Taltal fue obtenida a partir de 46 perfiles georeferenciados adquiridos en marzo de 2012 por medio del perfilador acústico tipo *chirp* (*subbottom profiler*) Bathy2010, operando en una frecuencia cercana a 3,5 kHz (Figura 4a). Los datos obtenidos a lo largo de estos perfiles fueron interpolados para así generar una carta batimétrica de la bahía, la cual es descrita con detalle en el trabajo de León (2014).

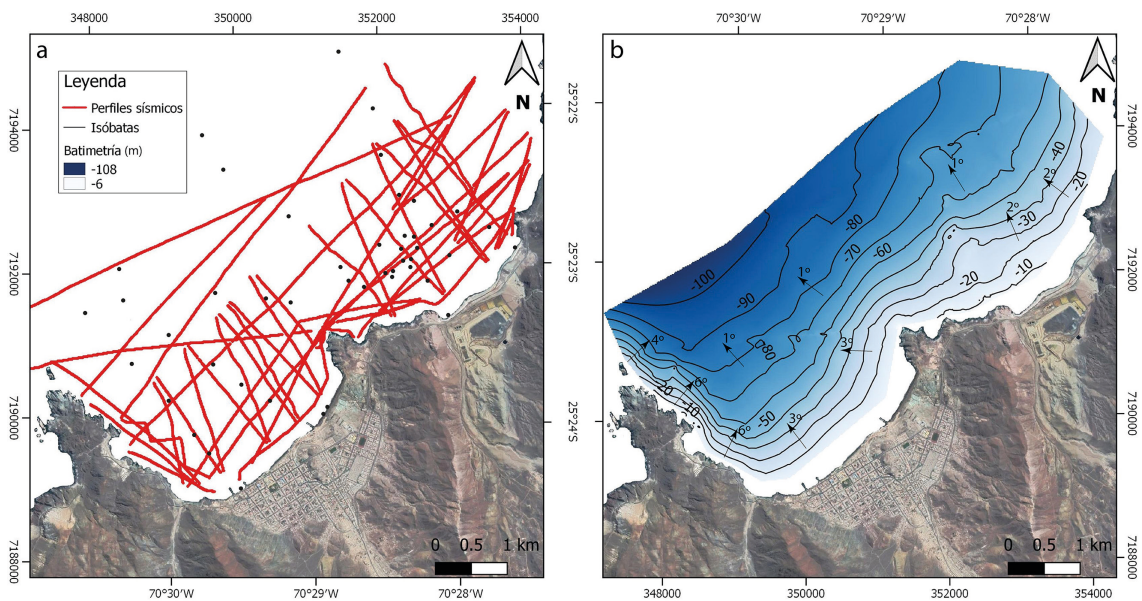


Figura 4. (a) Ubicación de perfiles realizados para la confección de una carta batimétrica actualizada de la bahía de Taltal, junto con la prospección del subsuelo del fondo marino, obtenidos a través de un perfilador acústico (subbottom profiler) de 3,5 kHz. Se indica también la ubicación de muestras obtenidas para el estudio de facies sedimentarias superficiales del fondo marino (puntos). (b) Carta batimétrica actualizada de la bahía de Taltal, con isóbatas cada 10 m, y flechas que indican la pendiente del fondo marino. Imagen satelital de la costa a partir de Google Earth.

Los perfiles entregan además información del subsuelo del fondo marino, puesto que al trabajar el sonar en la frecuencia ya señalada, con un nivel máximo de potencia de 600 watts, en el caso del sensor utilizado, la señal es capaz de penetrar en fondos sedimentarios hasta algunos cientos de metros, en material fangoso, o algunas decenas de metros en el caso de arenas y sedimento grueso. Experiencias previas de prospección geológica del subsuelo superficial del fondo marino con este tipo de herramientas con el fin de estudiar la arquitectura del relleno sedimentario y la tectónica de fallas geológicas activas, se han realizado por ejemplo en Mejillones (Vargas *et al.* 2011). Por otro lado, Gusick y Faught (2011) destacan la relevancia de esta herramienta para el estudio de paisajes sumergidos, incluyendo la detección de rasgos como quebradas o ríos rellenos con sedimento, que pudiesen constituir zonas de interés para la prospección arqueológica subacuática.

Recolección y análisis de muestras sedimentológicas superficiales

La recolección y el estudio de muestras de sedimento superficial se hace esencial para entender el funcionamiento del sistema sedimentario, con el fin de reconstruir la historia de estos procesos en función de los cambios eustáticos y apoyar la interpretación de los perfiles acústicos de subsuelo del fondo marino, antes mencionados.

Para la toma de muestras de sedimento superficial se utilizó una draga con dos muelas que se cierran al momento de ser recuperada luego de tocar el fondo. La campaña de recolección de muestras superficiales del fondo de la bahía de Taltal fue realizada entre los días 28 y 29 de

noviembre de 2013, recuperándose un total de 49 muestras a partir de las cuales se realizaron análisis granulométricos por medio de difracción láser. La mineralogía del fondo sedimentario fue estudiada por medio de la técnica de FTIR (*Fourier-Transformed Infrared Spectroscopy*) a partir de 37 de estas muestras. En ambos casos, la metodología es descrita en detalle en el trabajo de León (2014).

Sonar de barrido lateral

El sonar de barrido lateral (*side scan sonar*) emite pulsos acústicos de alta frecuencia con un perfil cónico o en abanico hacia el fondo marino, en un ángulo amplio y de modo perpendicular a la trayectoria en la que se desplaza el sensor por el agua. Permite obtener imágenes de la superficie que, combinadas con el reconocimiento de los materiales y texturas que lo conforman, facilitan la exploración subacuática de vastas extensiones, incluyendo la detección de promontorios o afloramientos rocosos, eventualmente interesantes para la posterior exploración con arqueólogos buzos (Gusick y Faught 2011).

Para la prospección del fondo de la bahía de Taltal se utilizó un sensor AquaScanHD, el cual trabaja en una frecuencia en torno a 200 kHz, con una resolución espacial que puede llegar a 1 cm.

Esta exploración fue realizada entre los días 24 y 26 de enero de 2018, focalizadas fundamentalmente en la zona comprendida frente a la península de El Hueso, en donde se ubica el sitio de Morro Colorado (Figura 5a). En conjunto con la batimetría y el estudio de sedimentos superficiales, esto permitió detallar la contextura y relieve del fondo, en particular concerniente a la presencia de promontorios submarinos o farellones, que en su momento pudiesen haber sido ocupados como aleros (Figura 5b).

Prospecciones arqueológicas a través de buceo autónomo

Una vez identificadas las áreas con mayor potencial para la exploración de sitios arqueológicos correspondientes a antiguos asentamientos humanos, se procedió a la prospección arqueológica subacuática a través del buceo autónomo. En los años 2012, 2014 y 2018 se realizaron en total tres campañas de buceo de 7 días cada una, con el fin de inspeccionar visualmente el fondo marino en búsqueda de estos restos, hasta una profundidad de 49 m. Las trayectorias fueron registradas a través de un sensor GPS montado en una carcasa estanca y conectado por un cable reforzado a su antena montada en una boya, tal como es descrito y discutido por Schories y Niedzwiedz (2011). Además, se profundizó el reconocimiento del material que compone el sustrato del fondo, junto a formaciones con un mayor potencial de ocupación como aleros y cuevas submarinas.

Toma y estudio de testigos

A través del buceo del área de interés, junto al reconocimiento visual ya señalado, se tomaron además 21 testigos de sedimento marino por medio de percusión, de entre 40 y 100 cm de largo, distribuidos en las campañas antes señaladas (Figura 5a). A partir de estos testigos se ha estudiado su estratigrafía, junto a la granulometría, mineralogía y composición general de los sedimentos, determinándose las facies que componen el mismo.

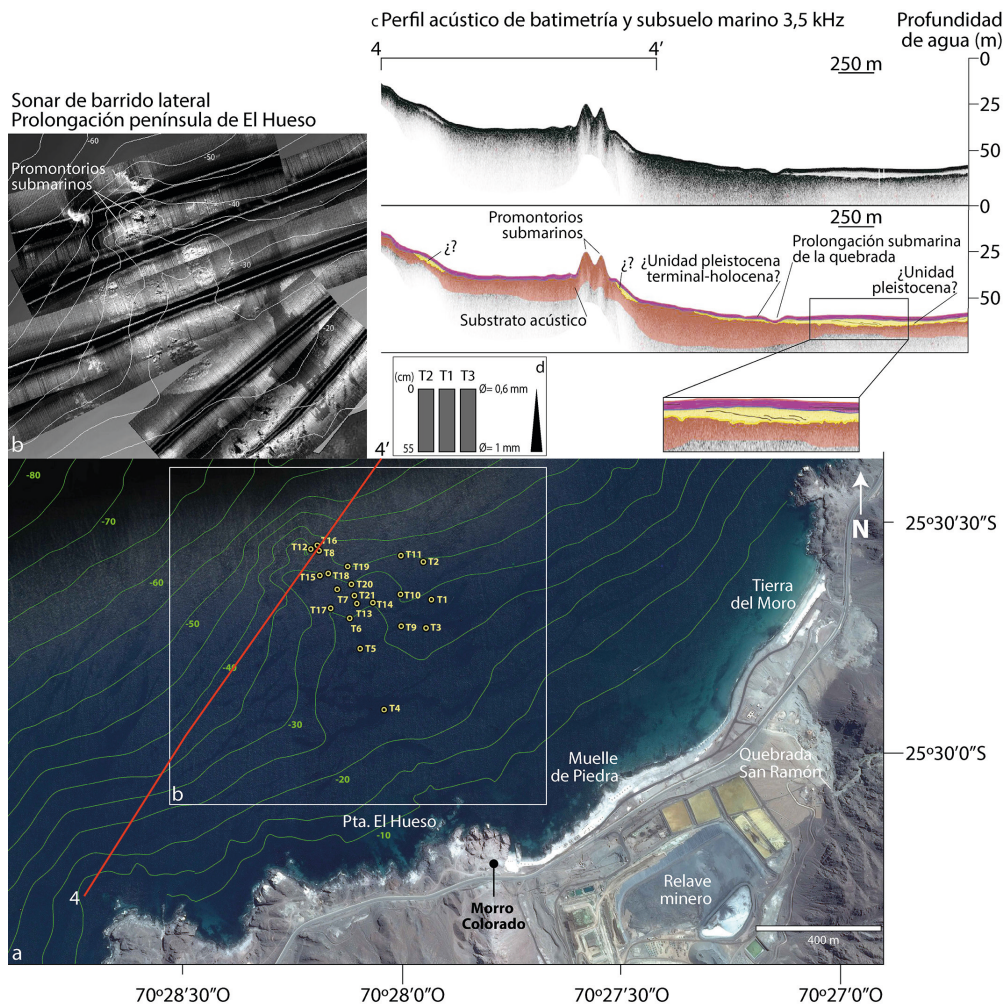


Figura 5. (a) Batimetría (isóbatas cada 5 m) y testigos (sondajes) de fondo marino, obtenidos por arqueólogos y geólogos buzos frente a la península de El Hueso, en donde se ubica el sitio Morro Colorado, sobreimpuesta a la imagen satelital de la costa obtenida a partir de GoogleEarth. Las isóbatas permiten apreciar promontorios que se prolongan desde la península de El Hueso hacia mar adentro, hasta unos 50 m de profundidad. Se muestra también la ubicación de la quebrada San Ramón, en donde se ubica el sitio San Ramón 15 (fuera de la imagen). (b) Imágenes obtenidas por medio de un sonar de barrido lateral (side scan sonar), sobreimpuestas a las isóbatas (cada 5 m). Se indican algunos promontorios submarinos. (c) Perfil acústico de subsuelo (subbottom) del fondo marino, obtenidos con un perfilador de 3,5 kHz a través de los promontorios submarinos, con su interpretación sismoestratigráfica. Sobre un substrato acústico se dispone una unidad de forma lenticular, de probable edad pleistocena, originada más posiblemente como producto de los aportes aluviales desde la quebrada San Ramón, sobre la cual se dispone a su vez una capa ubicua de espesor relativamente constante, que podría asociarse a la transgresión y el alto estadio del nivel marino durante el Pleistoceno terminal-Holoceno. Se muestra además la prolongación submarina del eje de la quebrada. (d) Resultados de análisis de granulometría a partir de tres testigos de sedimento marino que indican una disminución del tamaño del grano hacia el techo, compatible con facies transgresivas.

Resultados y Discusión

Los resultados permiten precisar el conocimiento de la bahía de Taltal, la cual tiene un ancho de unos 3 km medidos desde la línea de costa, en donde se encuentra el muelle, hasta los islotes ubicados en el extremo de la punta homónima, con profundidades de 90 a 100 m. La configuración geomorfológica de esta bahía, abierta en dirección al noroeste, es tal que queda protegida de la influencia directa de los vientos dominantes del sur-suroeste, y por ende de la deriva litoral así como del oleaje dominante que proviene también desde esa dirección, favoreciendo condiciones de abrigo y sedimentación tranquila en su interior, encontrándose sedimentos finos (arena fina y de modo similar a lo observado en la bahía de Mejillones (Vargas *et al.* 2004).

En general, desde la línea de costa el fondo de la bahía profundiza suavemente constituyendo una plataforma con pendientes de 2-3° hasta los 50-70 m, y cercanas a 1° hasta los 100 m de profundidad (León 2014). El fondo marino de la zona aledaña a la península de la punta Taltal en cambio, se caracteriza por profundizar rápidamente con pendientes entre 4 y 7° hasta los 60-90 m, con las mayores profundidades ubicadas costa afuera del extremo noroeste de la península (Figura 4b).

Las facies granulométricas se distribuyen con una dominancia general de arenas medias a gruesas en las zonas más someras, cerca de la línea de costa (alcanzando 1 mm de diámetro), a arenas finas, limos y arcillas a partir de 60-70 m de profundidad, en el sector más protegido de la bahía (León 2014). Hacia el noreste de esta, en cambio, frente a la punta de El Hueso, dominan las arenas gruesas e incluso muy gruesas, con gravilla y gravas más cerca de la costa, disminuyendo a arena gruesa y luego arena media a partir de los 60-70 m de profundidad. Lo anterior, debido a una mayor influencia del aporte de las quebradas cercanas, como también de los detritos compuestos por restos calcáreos generados por la fragmentación de conchas de organismos, abundantes en los roqueríos de la punta de El Hueso. Esto es particularmente evidente en la zona inmediatamente aledaña a esta punta, frente al sitio de Morro Colorado, en que las facies del fondo marino se caracterizan por una gran abundancia de estos restos. Resultados de análisis mineralógicos a partir de muestras superficiales sustentan lo anterior, con la ocurrencia de máximos locales de contenido de carbonatos en los sedimentos de esa zona, como también en zonas más profundas en donde su aporte relativo es mayor, respecto del total sedimentario. Los minerales litogénicos en cambio son más abundantes en general en las zonas más someras, cerca de la línea de costa, y especialmente cerca de la desembocadura de las quebradas (León 2014).

El levantamiento batimétrico reveló la prolongación en el fondo marino de la península de punta de El Hueso, hasta unos 50 m de profundidad, configurando lo que pudo haber sido una paleopenínsula, en la actualidad sumergida, expuesta al ambiente subaéreo durante el bajo estadio eustático del periodo glacial global (Figuras 5 y 6).

El análisis de los perfiles batimétricos y de subsuelo del fondo marino aledaño a esta zona, muestra un substrato acústico (Figura 5c), que en su mayor parte corresponde a afloramientos rocosos, más posiblemente de rocas volcánicas y sedimentarias cretácicas de la Formación Aeropuerto, que afloran en la costa aledaña (Naranjo y Puig 1984). Sobre este substrato, frente a la quebrada San Ramón, se ubica una unidad de forma lenticular de unos 4-5 m de potencia máxima observada, interpretada preliminarmente como una unidad progradacional litoral, producto de los aportes de la quebrada San Ramón, de probable edad pleistocena, asociada al bajo estadio del nivel del mar

(Figura 5c). Ésta a su vez es sobreyacida por una unidad bastante ubicua en la zona, de unos 2–3 m de potencia, que podría asociarse a la posterior transgresión y alto estadio marino holoceno (Figura 5c). Los perfiles muestran también el eje de la prolongación en el mar de esta quebrada, así como otras unidades indeterminadas ubicadas cerca de promontorios submarinos ubicados en la paleopenínsula sumergida (Figura 5c).

Perfiles acústicos obtenidos con el sonar de barrido lateral evidenciaron en detalle tanto la ubicación de la paleopenínsula como la morfología de los promontorios submarinos antes descritos (Figura 5a), junto a formas como escarpes y farellones que podrían haber constituido, en su momento, aleros que se encuentran actualmente sumergidos (Figura 5b). Testigos cortos de sedimento marino confirmaron la ocurrencia de arenas gruesas de conchilla y fragmentos de roca, así como un descenso del tamaño de grano de forma normal con la estratigrafía, sugiriendo también facies transgresivas (Figura 5d).

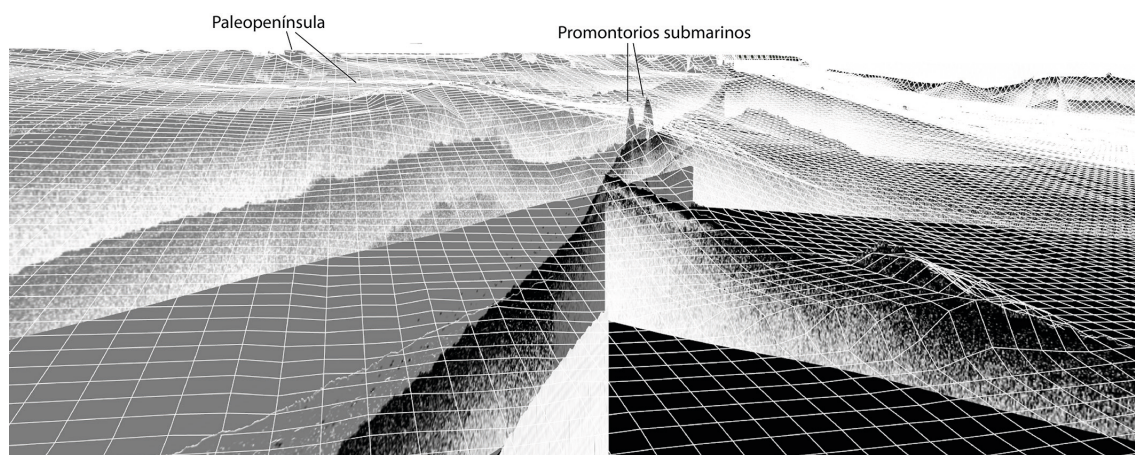


Figura 6. Vista en tres dimensiones, desde el NNE al SSO, de la batimetría y perfiles acústicos del fondo marino (subbottom), del sector de la paleopenínsula y promontorios submarinos frente a la punta de El Hueso, en donde se sitúa el sitio de Morro Colorado, en la bahía de Taltal.

A partir de los antecedentes geológicos y geofísicos recabados en la bahía de Taltal, considerando las variaciones eustáticas del nivel del mar (Lambeck *et al.* 2014), el conocimiento regional de la magnitud de la tasa del levantamiento tectónico cuaternario de la costa con valores reportados entre 0,2 m/ka y 1,6 m/ka (Ortlieb *et al.* 1996a; González-Alfaro *et al.* 2018; León *et al.* 2019; Izquierdo *et al.* 2020), y los procesos de sedimentación estudiados a partir tanto de las muestras de sedimento superficial y testigos sedimentarios, como de perfiles acústicos de subsuelo del fondo marino, es posible estimar rangos batimétricos en los cuales habría estado situada la línea de costa entre los 12000 y los 10500 años cal.AP (Figura 7), concomitantemente a la ocupación más antigua conocida hasta la fecha en la zona de Taltal-Paposo y la costa del norte de Chile en general.

Considerando la posición global del nivel del mar hace 12000 años cal. AP (Lambeck *et al.* 2014), y una tasa de levantamiento tectónico de unos 1,6 m/ka desde el Pleistoceno tardío al Holoceno (González-Alfaro *et al.* 2018), es posible estimar que la línea de costa se habría situado a una profundidad cercana a los -40 m b.n.m. en ese entonces (Figura 7). Si se considera en cambio una tasa de levantamiento tectónico del orden de 0,2 m/ka para el mismo periodo (Ortlieb *et al.*

1996a), la línea de costa se habría situado a una profundidad de unos -60 m b.n.m. A lo anterior se suma la incertidumbre asociada a la arquitectura sedimentaria, que podría implicar una diferencia de unos 2 a 7 m, de acuerdo con las potencias de las unidades observadas en los perfiles acústicos de subsuelo (*subbottom*) de fondo marino. Esto implica una incerteza, en términos de distancia horizontal, de unos 500 m para la determinación de la línea de costa en dicho momento. Un ejercicio similar se puede realizar para la estimación de la ubicación de la línea de costa hace 10500 años cal. AP, encontrándose también un amplio rango de incertidumbre para su localización (Figura 7). De lo anterior se deduce que la línea de costa habría estado situada en general entre unos 1700 y 1000 m mar adentro con respecto a su posición actual, hace 12000 años cal AP, y entre 1000 y 700 m hace 10500 años cal. AP.

De los antecedentes expuestos anteriormente se desprende que el conocimiento de la tasa de levantamiento –o subsidencia– tectónico en cada región de estudio es fundamental para entender mejor la evolución de la línea de costa, con el fin de emprender exploraciones de arqueología subacuática con menores grados de incertidumbre. La datación de depósitos litorales y su posicionamiento preciso, junto a la comprensión de los sistemas sedimentarios costeros, resulta necesaria para constreñir de mejor manera la evolución pleistocena tardía–holocena de la línea de costa en la bahía de Taltal.

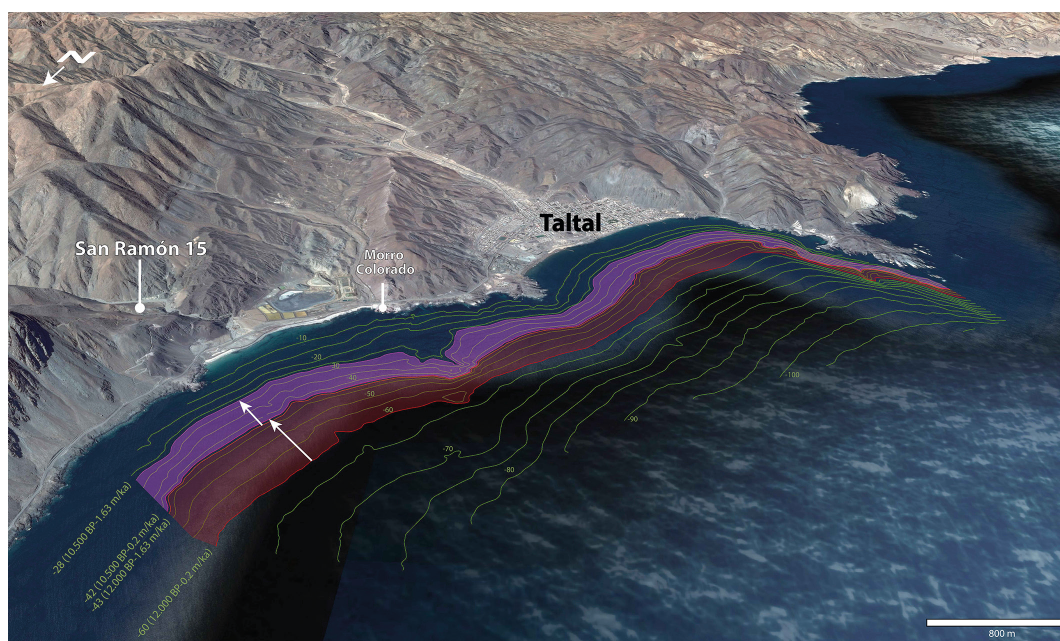


Figura 7. Batimetría de Taltal, con isóbatas cada 5 m sobreimpuestas a la imagen satelital de la zona obtenida a partir de Google Earth, indicando la ubicación de los sitios arqueológicos de Morro Colorado y San Ramón 15. Las flechas indican el cambio estimado en la posición de las líneas de costa correspondientes a 12000 años cal. AP (BP) y 10500 años cal. AP (BP), al asumir tasas de levantamiento tectónico bajas (0,2 m/ka), o altas (1,6 m/ka), lo cual genera una zona de incertidumbre con implicancias para el diseño estratégico de la exploración arqueológica subacuática. Tasas de levantamiento tectónico de acuerdo con trabajos previos a escala regional (Ortlieb et al. 1996a; González-Alfaro et al. 2018), junto a observaciones de campo y trabajos en curso en la costa de Taltal.

El foco de la prospección arqueológica subacuática ha sido puesto en la zona de la paleopenínsula frente a la punta de El Hueso (Figura 8), teniendo como hipótesis la búsqueda de potenciales sitios sumergidos en contextos similares a los de Morro Colorado. En este último, tal como se mencionó anteriormente, Augusto Capdeville estudió registros arqueológicos que posteriormente han arrojado fechas en torno a los 8200 años cal.AP como las más tempranas, y que presentan asociaciones estratigráficas de instrumentos líticos del complejo Huentelauquén, con anzuelos de concha característicos del Holoceno medio (Salazar *et al.* 2015; Flores *et al.* 2016). Junto con la consideración de morfologías submarinas similares a los aleros en donde se han encontrado sitios del complejo Huentelauquén, la elección de esta zona obedece también a la posibilidad que potenciales sitios arqueológicos se hayan dispuesto cerca de afloramientos de aguas subterráneas –aguadas– cuya ubicación, eventualmente bajo el nivel del mar actual, habría sido condicionada tanto por la geomorfología de las quebradas, como por la posición de la línea de costa durante el bajo estadio marino, que habría implicado un mayor gradiente hidráulico que el actual. A lo anterior se suma la posibilidad que potenciales sitios hayan sido preservados de la erosión litoral durante la rápida transgresión marina que siguió al fin de la última glaciación. Actualmente, aún es posible encontrar una aguada en las cercanías de la península de El Hueso, Morro Colorado, que sugiere el potencial acuífero de esta área. Así, en esta zona se han desplegado hasta ahora tres campañas de buceo autónomo que han permitido visualizar de mejor manera la geomorfología del fondo de la bahía de Taltal en el sector señalado, incluyendo la detección de morfologías tipo alero y la obtención de muestras adicionales de fondo y testigos de sedimento, cuyo análisis se encuentra en estudio (Figura 5).

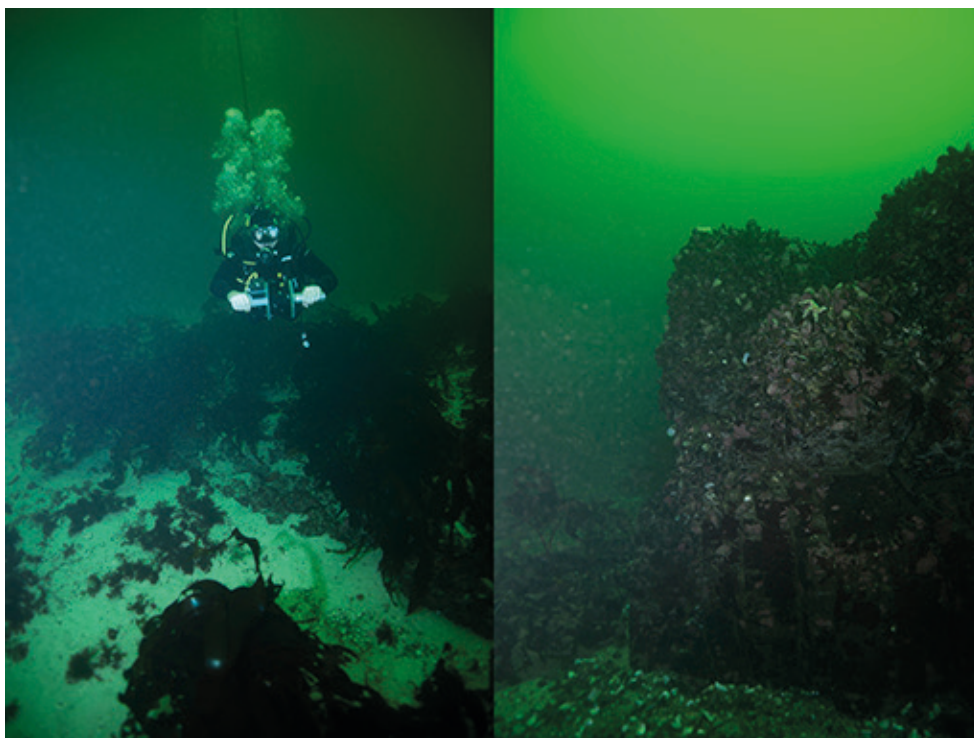


Figura 8. Fotografías del fondo marino en el sector de los promontorios frente a la punta de El Hueso, indicando el método de exploración arqueológica subacuática (izquierda), y la presencia de farellones de roca que podrían haber configurado aleros propicios para asentamientos del Pleistoceno terminal-Holoceno temprano.

Conclusiones

La exploración submarina de potenciales sitios arqueológicos requiere una aproximación sistémica, junto con el diseño de metodologías complejas a la vez que específicas para cada contexto o medio ambiente físico y social. Lo anterior, en función de factores como la tasa de levantamiento o subsidencia, en respuesta a la tectónica de cada margen como también a la isostasia post-glaciación, la tasa de aporte sedimentario al fondo marino desde los sistemas litorales, tanto continentales como costeros propiamente tal, los cambios eustáticos (globales) del nivel mar junto a la manifestación regional de éstos, la disponibilidad de agua, de recursos, los modos plausibles de habitabilidad y las prácticas de uso del espacio por parte de los grupos humanos en el pasado.

La exploración de potenciales sitios arqueológicos sumergidos del Pleistoceno tardío-Holoceno temprano, un momento crucial para entender el poblamiento de América, a lo largo de la vasta costa del Desierto de Atacama, ofrece dificultades propias asociadas a la incertidumbre en el conocimiento de las tasas o velocidades a las cuales ha ocurrido el levantamiento tectónico de la costa, entre otras. Lo anterior, evidenciado por sendos rasgos geomorfológicos como son las conspicuas terrazas marinas, junto a otros registros litorales emergidos a lo largo de esta porción del margen activo de la convergencia de las placas de Nazca bajo la Sudamericana.

La estrategia desplegada en la bahía de Taltal, con un levantamiento batimétrico, el estudio de facies sedimentarias superficiales del fondo marino, la obtención y estudio de testigos de sedimento, la visualización del subsuelo del fondo marino con un perfilador acústico (*subbottom profiler*) de 3,5 kHz, y la exploración en detalle de su morfología con un sonar de barrido lateral (*side scan sonar*), ha permitido constreñir áreas con mayor potencial para la exploración a través del buceo autónomo con aire comprimido, incrementando notablemente su conocimiento.

Aún con una amplia incertidumbre, los resultados obtenidos hasta ahora muestran que entre 12000 y 10500 años cal. AP, es decir, concomitantemente a la explotación más temprana de la mina San Ramón 15 (Salazar *et al.* 2011), la línea de costa en la bahía de Taltal estuvo situada entre aproximadamente -60 a -43 m b.n.m. y entre -42 a -28 m b.n.m., respectivamente, y a una distancia horizontal de entre unos 1700 m y 700 m respecto de su posición actual. Las prospecciones desplegadas permitieron identificar un rasgo geomorfológico conformado por la prolongación submarina de la punta de El Hueso, o Morada, en donde se sitúa el sitio de Morro Colorado con edades del Holoceno medio (Salazar *et al.* 2015), constituyendo lo que pudo ser una paleopenínsula, con promontorios sumergidos y formas que sugieren la posibilidad de aleros, lo cual pudo ser corroborado durante las exploraciones subacuáticas realizadas a través de buceo autónomo. La investigación en curso, con la disponibilidad de nuevos antecedentes radiométricos y de posicionamiento preciso de rasgos litorales emergidos con respecto a la actual línea de costa en la región de Taltal, debiera permitir constreñir de modo más preciso la tasa de levantamiento tectónico de esta porción del margen desde el Pleistoceno tardío, y así definir de mejor manera el área a explorar más intensamente en futuras campañas.

Finalmente, resulta interesante constatar en la práctica la relevancia y necesidad de avanzar en enfoques de carácter transdisciplinario, en pos del diseño metodológico y la aplicación de técnicas de prospección submarina que permitan abordar la pregunta, pendiente aún en nuestro margen, sobre la potencialidad de sitios tempranos sumergidos, cuyo hallazgo pudiera dar mayores luces

acerca del poblamiento temprano de América del Sur, a lo largo de plataformas más anchas durante la transición Pleistoceno-Holoceno que en buena medida se encuentran actualmente bajo el mar.

Agradecimientos. El presente trabajo ha sido financiado por los Proyectos Fondecyt #1151203 “Trayectoria histórica, cambios ambientales y eventos catastróficos durante el período Arcaico en la costa de Taltal, norte de Chile”, Fondecyt #1110196 “Cazadores-recolectores, pescadores y mineros del período Arcaico en la costa de Taltal”, y Fondecyt #1080666 “Aproximaciones a la historia de la actividad minero metalúrgica indígena de la costa desértica de la región de Antofagasta: localidades de Taltal y Paposo”. Agradecemos este financiamiento a través del tiempo para realizar nuestras investigaciones y prospecciones en la bahía de Taltal y alrededores. Asimismo, quisiéramos agradecer a todo el equipo de trabajo en terreno –en tierra– y laboratorio de estos proyectos, que han contribuido con sus ideas, trabajo y compromiso a la realización de esta investigación. En especial a César Borie, Manuel Escobar, Carola Flores, Jean Louis Guendón, Pedro Andrade, Hernán Salinas, Laura Olguín y Valentina Figueroa. Nuestro especial reconocimiento a quienes han conformado el equipo subacuático en terreno: Dirk Schories e Ignacio Garrido, quienes además facilitaron equipos de buceo autónomo, María José Díaz, Ignacio Torres, Francisco García Alvarido, Paulina Acuña, Camila García y Rocío Cervera. Así también a la tripulación de la lancha Matusalem I: su capitán Rubén Rojas, así como Bernardo Mardones y Guillermo Bravo, tripulantes de esta. También nuestro agradecimiento a Rodolfo Contreras, director del Museo Augusto Capdeville de Taltal, así como a Nevenka Conejeros y la señora Viviana Berríos por su inestimable ayuda y amistad durante nuestras campañas de terreno en Taltal.

Referencias Citadas

- Andrade, P. y D. Salazar. 2011. Revisitando Morro Colorado: comparaciones y propuestas preliminares en torno a un conchal arcaico en las costas de Taltal. *Taltalia* 4: 63–83.
- Angermann, D., J. Klotz y C. Reigber. 1999. Space-geodetic estimation of the Nazca–South America Euler vector. *Earth Planet. Sci. Lett.* 171: 329–334.
- Ballester, B. 2018. El Médano rock art style: Izcuña paintings and the marine hunter-gatherers of the Atacama Desert. *Antiquity* 92(361): 132–148.
- Ballester, B., D. Jackson, M. Carré, A. Maldonado, C. Méndez, R. Seguel. 2012. An Early Holocene task camp (~ 8.5 ka cal BP) on the coast of the semi-arid north of Chile. *Antiquity* 86(331): 88–98.
- Capdeville, A. 1921. Notas acerca de la arqueología de Taltal. I Civilización paleolítica de los pescadores primitivos del gran túmulo y conchal del Morro Colorado situados en la Punta del Hueso Parado. *Boletín de la Academia Nacional de Historia* 2(3–4).
- Cartajena, I., P. López, D. Carabias, C. Morales, G. Vargas, C. Ortega. 2013. First evidence of an underwater Final Pleistocene terrestrial extinct faunal bone assemblage from Central Chile (South America): Taxonomic and taphonomic analyses. *Quaternary International* 305: 45–55.
- Carvajal, M., M. Contreras-Lopez, P. Winckler, I. Sepúlveda. 2017. Meteotsunamis occurring along the southwest coast of south America during an intense storm. *Pure Appl. Geophys.* 174: 3313–3323.
- Castelleti, J. 2007. *Patrón de asentamiento y uso de los recursos a través de la secuencia ocupacional prehispana en la costa de Taltal*. Tesis de Magister, Universidad Católica del Norte–Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

- Castelleti, J. 2017. *Los Hijos de la Camanchaca: la 'otra' historia-prehistoria de la costa del Desierto de Atacama*. Tesis para optar al grado de Doctor en Estudios Arqueológicos, Escuela Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México. INAH.
- Castelleti, J., O.Reyes, G. Maltrain, I. Martínez, P. Galarce, H. Velásquez, J.P. Ugalde. 2010. Ocupaciones en abrigos rocosos en la costa de Taltal: Patrón de uso del espacio desde momentos holocénicos tempranos. *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena, Valdivia, Chile*, Tomo 2, pp. 685–695. Ediciones Kultrún, Valdivia.
- Cereceda, P., H. Larrain, P. Osses, M. Farías, I. Egaña. 2008. The climate of the coast and fog zone in the Tarapaca Region, Atacama Desert, Chile. *Atmos. Res.* 87: 301–311.
- Cluter, K.B., R.L. Edwards, F.W. Taylor. 2003. Rapid sea-level fall and deep-ocean temperature change since the last interglacial period. *Earth and Planetary Science Letters* 206(3–4): 253–271.
- Contreras, R., P. Núñez, O. Rodríguez. 2008. El Médano: Reflexiones antropológicas en torno a la cosmovisión de los habitantes prehispanos de la costa sur del Norte Grande. *Taltalia* 1: 87–122.
- Dillehay, T. D., S. Goodbred, M. Pino, V.F. Sánchez, T.R. Tham, J. Adovasio, D. Piperno. 2017. Simple technologies and diverse food strategies of the Late Pleistocene and Early Holocene at Huaca Prieta, Coastal Peru. *Science Advances* 3(5): e1602778.
- Dillehay, T.D., C. Ocampo, J. Saavedra, A. Sawakuchi, R. Vega, M., Pino, M., Collins, L. Scott Cummings, I. Arregui, X. Villagran, G. Hartmann, M. Mella, A. González, G. Dix. 2015. New Archaeological Evidence for an Early Human Presence at Monte Verde, Chile. *PLoS ONE* 10(11): e0141923.
- Dillehay, T. 1989. *Monte Verde: a Late Pleistocene settlement in Chile. Paleoenvironment and site context*, vol. 1. Smithsonian Institution, Washington.
- Dura, T., S. Engelhart, M. Vacchi, B. Horton, R. Kopp, W. Peltier, S. Bradley. 2016. The role of Holocene relative sea-level change in preserving records of subduction zone earthquakes. *Curr. Clim. Change Rep.* 2 (3): 86–100.
- Easton, G., S. Pérez Tello, P. Aldunce (eds.). 2018. Aluviones y resiliencia en Atacama. Construyendo saberes sobre riesgos y desastres. *Social Ediciones* <http://www.libros.uchile.cl/838>.
- Erlandson, J. M., M. Graham, B. Bourque, D. Corbett, J. Estes, R. Steneck. 2007. The Kelp Highway hypothesis: marine ecology, the coastal migration theory, and the peopling of the Americas. *Journal of Island and Coastal Archaeology* 2:161–174.
- Flores, C., V. Figueroa, D. Salazar. 2016. Middle Holocene Production of Mussel Shell Fishing Artifacts on the Coast of Taltal (25° Lat South), Atacama Desert, Chile. *The Journal of Island and Coastal Archaeology* 11: 411–424.
- Faught, M., 2006. Paleoindian Archaeology in Florida and Panama: Two Circum-Gulf Regions Exhibiting Waisted Lanceolate Projectile Points. En: *Paleoindian Archaeology: A Hemispheric Perspective*, editado por J. Morrow and C. Gnecco, pp. 164–183. University Press of Florida, Florida.
- Faught, M. 2004. The underwater archaeology of paleolandscapes, Apalachee Bay, Florida. *American Antiquity* 69(2): 275–289.
- Fladmark, K. 1979. Routes: Alternate Migration corridors for early man in North America. *American Antiquity* 44: 55–69.
- Galarce, P., Santander, G., 2013. Contextos líticos de asentamientos arcaicos en la costa de Taltal (II Región, Chile). *Estud. Atacameños* 46: 5–26.
- Garrett, E., D. Melnick, T. Dura, M. Cisternas, L. Ely, R. Wesson, J. Jara-Muñoz, P. Whitehouse. 2020. Holocene relative sea-level change along the tectonically active Chilean coast. *Quaternary Science Reviews* 236: 106281.

- Garreaud, R., Rutllant, J., 1996. Análisis meteorológico de los aluviones de Antofagasta y Santiago de Chile en el período 1991-1993. *Atmósfera* 9: 251-271.
- González-Alfaro, J., G. Vargas, L. Ortlieb, G. González, S. Ruiz, J. Báez, M. Mandeng-Yogo, S. Caquineau, G. Álvarez, F. Del Campo, I. Del Río. 2018. Abrupt increase in the coastal uplift and earthquake rate since ~40 ka at the northern Chile seismic gap in the Central Andes. *Earth and Planetary Science Letters* 502: 32-45.
- Gruhn, R. 2020. Evidence grows for early peopling of the Americas. *Nature* 584: 47-48.
- Gusick, A.E., Faught, M.K. 2011. Prehistoric Archaeology Underwater: A Nascent Subdiscipline Critical to Understanding Early Coastal Occupations and Migration Routes. En: *Trekking the shore: changing coastlines and the antiquity of coastal settlement, interdisciplinary contributions to archaeology*, editado por N.F. Bicho, J.A. Haws y L.G. Davis, pp. 27-50. Springer, New York.
- Herrera, C., E. Custodio. 2014. Origin of waters from small springs located at the northern coast of Chile, in the vicinity of Antofagasta. *Andean Geology* 41(2): 314-341.
- Huybers, P., C. Wunsch. 2004. A depth-derived Pleistocene age model: Uncertainty estimates, sedimentation variability, and nonlinear climate change. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 19(PA1028):1-24.
- IPCC. 2014. *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, editado por R.K. Pachauri y L.A. Meyer. IPCC, Ginebra.
- Iribarren, J., 1961. La cultura de Huentelauquén y sus correlaciones. *Contribuciones Arqueológicas* 1. La Serena, Chile.
- Izquierdo, T., G. Carrasco, J. Rodríguez Vidal, F. Ruiz, M. Abad. 2020. Geomorfología y evolución geológica reciente del litoral del Parque Nacional Pan de Azúcar (norte de Chile). *Geogaceta* 67: 2173-6545.
- Jackson, D., A. Maldonado, M. Carré, R. Seguel. 2011. Huentelauquén cultural complex: the earliest peopling of the Pacific coast in the South-American southern cone. En: *Peuplement et Préhistoire en Amériques*, editado por D. Vialou, pp. 221-231. Editions du Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, Paris.
- Jackson, D., C. Méndez, R. Seguel, A. Maldonado, G. Vargas. 2007. Initial occupation of the Pacific coast of Chile during late Pleistocene times. *Current Anthropology* 48(5): 725-731.
- Jackson, D., Méndez, C., 2005. Primeras ocupaciones humanas en la costa del Semiárido de Chile: patrones de asentamiento y subsistencia. *Actas XVI Congreso Nacional de Arqueología Chilena*, pp. 493-502. Ediciones Escaparate y Museo de Historia Natural de Concepción, Concepción.
- Jackson, D., R. Seguel, P. Báez, X. Prieto. 1999. Asentamientos y evidencias culturales del Complejo Cultural Huentelauquén en la comuna de Los Vilos, Provincia del Choapa. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso* 24: 5-28.
- Kausel, E. 1986. Los terremotos de Agosto de 1868 y Mayo de 1877 que afectaron el Sur del Perú y Norte de Chile. *Bol. Acad. Chil. Cs.* 3: 8-12.
- Khan, N.S., E. Ashe, T. Shaw, M. Vacchi, J. Walker, W. Peltier, R. Kopp, B. Horton. 2015. Holocene relative sea-level changes from near-, intermediate-, and far-field locations. *Curr. Clim. Change Rep.* 1: 247-262.
- Labeyrie, L., J. Duplessy, P. Blanc. 1987. Variations in mode of formation and temperature of oceanic deep waters over the past 125,000 years. *Nature* 327:477-482.
- Lambeck, K., H. Rouby, A. Purcell, Y. Sun and M. Sambridge. 2014. Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(43): 15296-15303.

- Latorre, C., C. Santoro, P. Ugalde, E. Gayo, D. Osorio, C. Salas-Egaña, R. De Pol-Holz, D. Joly, J. Rech. 2013. Late Pleistocene human occupation of the hyperarid core in the Atacama Desert, northern Chile. *Quaternary Science Reviews* 77: 19–30.
- Lea, D.W., P. Martin, D. Pak, H. Spero. 2002. Reconstructing a 350 ky history of sea level using planktonic Mg/Ca and oxygen isotope records from a Cocos Ridge core. *Quaternary Science Reviews* 21:283–293.
- León, T., G. Vargas, D. Salazar, J. Goff, J. Guendon, P. Andrade, G. Álvarez. 2019. Geo-archaeological records of large Holocene tsunamis along the hyperarid coastal Atacama Desert in the major northern Chile seismic gap. *Quaternary Science Reviews* 220: 335–358.
- León, T. 2014. *Geología marina de la bahía de Taltal e implicancias para la prospección arqueológica submarina*. Memoria para optar al título de Geólogo, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Llagostera, A., R. Weisner, G. Castillo, M. Cervellino, M. Costa-Junquera. 2000. El Complejo Huentelauquén bajo una perspectiva macroespacial y multi-disciplinaria. *Actas de XIV Congreso Nacional de Arqueología Chilena / Contribución Arqueológica* 5, Tomo I:461–482. Museo Regional de Atacama, Copiapó.
- Llagostera, A., 1979. 9,700 years of maritime subsistence on the Pacific: An analysis by means of bioindicators in the north of Chile. *Am. Antiq.* 44(2): 309–324.
- MacDonald, B., J. Chatters, E. Reinhardt, F. Devos, S. Meacham, D. Rissolo, B. Rock, Ch. Le Maillot, D. Stalla, M. Marino, E. Lo, P. Luna Erreguerena. 2020. Paleoindian ochre mines in the submerged caves of the Yucatán Peninsula, Quintana Roo, Mexico. *Sci. Adv.* 6: eaba1219.
- Marquet, P.A., F. Bozinovic, G. Bradshaw, C. Cornelius, H. Gonzalez, J. Gutierrez, E.R. Hajek, J. Lagos, F. López- Cortes, L. Núñez, E. Rosello, C. Santoro, H. Samaniego, V. Standen, J. Torres-Mura, F. Jaksic. 1998. Los ecosistemas del Desierto de Atacama y área Andina adyacente. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 71: 593–617.
- Meltzer, D.J., D. Grayson, G. Ardila, A. Barker, D. Dincauze, D. Haynes, F. Mena, L. Núñez, D. Stanford. 1997. On the Pleistocene antiquity of Monte Verde, Southern Chile. *American Antiquity* 62(4): 659–663.
- Méndez, C., A. Delaunay, R. Seguel, A. Maldonado, I. Murillo, D. Jackson, E. Aspillaga, R. Izaurieta, V. Méndez, M. Fernández. 2018. Late Pleistocene to early Holocene highquality quartz crystal procurement from the Valiente quarry workshop site (32°S, Chile, South America). *PLoS ONE* 13(11): e0208062.
- Méndez, C. 2013. Terminal Pleistocene/early Holocene 14 C dates form archaeological sites in Chile: Critical chronological issues for the initial peopling of the region. *Quaternary International* 301: 60–73.
- Moreno, K., J. Bostelmann, C. Macías, X. Navarro-Harris, R. De Pol-Holz, M. Pino. 2019. A late Pleistocene human footprint from the Pilauco archaeological site, northern Patagonia, Chile. *PLoS ONE* 14(4): e0213572.
- Naranjo, J.A., A. Puig. 1984. *Hojas Taltal y Chañaral*. Carta Geológica de Chile 62–63. SERNAGEOMIN, Santiago
- Niemeyer, H. 2010. Crónica de un descubrimiento. Las pinturas rupestres de El Médano, Taltal. *Museo Chileno de Arte Precolombino* ISBN 978-956-243-061-6.
- Núñez, L., M. Grosjean, I. Cartajena. 2002. Human Occupations and Climate Change in the Puna de Atacama, Chile. *Science* 298: 821–824.
- Ortlieb, L., S. Barrientos, N. Guzmán. 1996b. Coseismic coastal uplift and coralline algae record in northern Chile: the 1995 Antofagasta earthquake case. *Quat. Sci. Rev.* 15(8–9): 949–960.

- Ortlieb, L., C. Zazo, J. Goy, C. Hillaire-Marcel, B. Ghaleb, L. Cournoyer. 1996a. Coastal deformation and sea-level changes in the northern Chile subduction area (23°S) during the last 330 ky. *Quat. Sci. Rev.* 15(8): 819–831.
- Paskoff, R., 1979. Sobre la evolución geomorfológica del gran acantilado costero del Norte Grande de Chile. *Norte Grande* 6: 7–22.
- Rademaker, K., G. Hodgins, K. Moore, S. Zarrillo, Ch. Miller, G. Bromley, P. Leach, D. Reid, W. Yépez Álvarez, D. Sandweiss. 2014. Paleoindian settlement of the high-altitude Peruvian Andes. *Science* 346(6208): 466–469.
- Rundel, P.W., M. Dillon, B. Palma, H. Mooney, S. Gulmon, J. Ehleringer. 1991. The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian deserts. *Aliso* 13: 1–49.
- Rutllant, J.A., H. Fuenzalida, P. Aceituno. 2003. Climate dynamics along the arid northern coast of Chile: The 1997–1998 Dinámica del Clima de la Región de Antofagasta (DICLIMA) experiment. *Journal of Geophysical Research* 108(D17): 4538.
- Salazar, D., C. Arenas, P. Andrade, L. Olguín, J. Torres, C. Flores, G. Vargas, S. Rebolledo, C. Borie, C. Sandoval, C. Silva, A. Delgado, N. Lira, C. Robles. 2018. From the use of space to territorialisation during the Early Holocene in Taltal, coastal Atacama Desert, Chile. *Quaternary International* 473: 225–241.
- Salazar, D., V. Figueroa, P. Andrade, H. Salinas, X. Power, S. Rebolledo, S. Parra, H. Orellana, J. Urrea. 2015. Cronología y organización económica de las poblaciones arcaicas de la costa de Taltal. *Estudios Atacameños* 50: 7–46.
- Salazar, D., P. Andrade, C. Borie, M. Escobar, V. Figueroa, C. Flores, L. Olguín, H. Salinas. 2013. Nuevos sitios correspondientes al Complejo Cultural Huentelauquén en la costa de Taltal. *Taltalia* 6: 9–19.
- Salazar, D., D. Jackson, J. Guendon, H. Salinas, D. Morata, V. Figueroa, G. Manríquez, V. Castro. 2011. Early Evidence (ca. 12,000 BP) for Iron Oxide Mining on the Pacific Coast of South America. *Current Anthropology* 52(3): 463–475.
- San Francisco, A., B. Ballester. 2018. Antiguos aleros al norte de Paposo. *Taltalia* 11: 7–35.
- Sandweiss, D.H. 2008. Early Fishing Societies in Western South America. En: *Handbook of South American Archaeology*, editado por H. Silverman y W. Isbell, pp. 145–156. Springer, New York.
- Santoro, C., E. Gayo, J. Capriles, M. Rivadeneira, K. Herrera, V. Mandakovic, M. Rallo, J. Rech, L. Cases, L. Briones, L. Olguín, D. Valenzuela, L. Borrero, P. Ugalde, F. Rothhammer, C. Latorre, P. Szpak. 2019. From the Pacific to the tropical forests: networks of social interaction in the Atacama Desert, late in the Pleistocene. *Chungara* 51(1): 5–25.
- Santoro, C.M., P. Ugalde, C. Latorre, C. Salas, D. Osorio, D. Jackson, E. Gayó. 2011. Ocupación humana pleistocénica en el Desierto de Atacama: Primeros resultados de la aplicación de un modelo predictivo de investigación interdisciplinaria. *Chungara* 43(1): 353–366.
- Schories, D., G. Niedzwiedz. 2011. Precision, accuracy, and application of diver-towed underwater GPS receivers. *Environmental Monitoring and Assessment* 184(4): 2359–2372.
- Shackleton, N. 2000. The 100,000-Year Ice-Age Cycle Identified and Found to Lag Temperature, Carbon Dioxide, and Orbital Eccentricity. *Science* 289(5486): 1897–1902.
- Siddall, M., E. Rohling, A. Almogi-Labin. 2003. Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. *Nature* 423: 853–858.
- Strub, T., J. Mesías, V. Montecino, J. Rutllant, S. Salinas. 1998. Coastal ocean circulation off western South America. En: *The Sea* 11, editado por R. Robinson y B. Brink, pp. 273–313. Wiley, New York.
- UNEP, 2017. The Emissions Gap Report 2017. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi.

- Vargas, G., C. Palacios, M. Reich, S. Luo, C. Shen, G. Gonzalez, Y. Wu. 2011. U-series dating of co-seismic gypsum and submarine paleoseismology of active faults in Northern Chile (23°S). *Tectonophysics* 497(1-4): 34-44.
- Vargas, G., J. Rutllant, L. Ortlieb. 2006. ENSO tropical-extratropical climate teleconnections and mechanisms for Holocene debris flows along the hyperarid coast of western South America (17-24°S). *Earth and Planetary Science Letters* 249(3-4): 467-483.
- Vargas G., L. Ortlieb J. Pichon J. Bertaux M. Pujos. 2004. Sedimentary facies and high resolution primary production inferences from laminated diatomaceous sediments off northern Chile (23°S). *Marine Geology* 211: 79-99.
- Vargas, G., L. Ortlieb, J. Rutllant. 2000. Aluviones históricos en Antofagasta, Chile, y su relación con eventos El Niño/Oscilación del Sur. *Revista Geológica de Chile (Andean Geology)* 27(2): 157-176.
- Victor, P., M. Sobiesiak, J. Glodny, S. Nielsen, O. Oncken. 2011. Long-term persistence of subduction earthquake segment boundaries: evidence from Mejillones Peninsula, northern Chile. *J. Geophys. Res.* 116(B2): B02402.