



Impacto de los pingüinos patagónicos (*Spheniscus magellanicus*) en la dinámica geomorfológica de Punta Estrada (Patagonia austral, Argentina)

*Impact of Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) on the geomorphological dynamics of Punta Estrada (Southernmost Patagonia, Argentina)*

Ercolano, B. ⁽¹⁾; Cruz, I. ⁽¹⁾ Marderwald, G. ⁽¹⁾

(1) Instituto Ciencias del Ambiente, Sustentabilidad y Recursos Naturales, Unidad Académica Río Gallegos, Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Av. Gregores y Piloto Lero Rivera s/n, 9400, Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina. Correo electrónico: bercolano@yahoo.com.ar

Resumen

Punta Entrada, en la boca del estuario del río Santa Cruz (Patagonia, Argentina), sufre un intenso proceso de erosión eólica que está cambiando el paisaje y afectando el patrimonio arqueológico de la localidad. Se buscó establecer la o las causas del inicio de este proceso a través de un enfoque que integra diversas líneas de evidencia: análisis multitemporal de registros teledetectados, datos climáticos del siglo XX y zooarqueológicos, así como información histórica, la evaluación del impacto de la ganadería y del comportamiento de la fauna silvestre. Se concluye que la instalación de la colonia reproductora de pingüinos patagónicos (*Spheniscus magellanicus*) en la localidad a partir de la década de 1970 fue el principal detonante de la erosión. A partir de ese momento, la excavación de miles de nidos y el pisoteo desencadenaron una secuencia irreversible de pérdida de vegetación y deflación del material arenoso de las dunas que, una vez iniciada, progresó activamente hasta el presente.

Palabras clave: zoogeomorfología; *Spheniscus magellanicus*; erosión eólica; registro arqueológico; costa patagónica.

Abstract

Punta Entrada, a coastal territory located at the Santa Cruz river mouth (Patagonia, Argentina), is undergoing an intense process of aeolian erosion that is both, changing the landscape and affecting the archaeological heritage deposited there. To establish the cause or causes underlying this process multiple lines of evidence are considered here: multitemporal analysis of vertical aerial photographs and satellite images, climate and zooarchaeological data, as well as historical information, and the impact assessment of sheep farming and



wildlife. It is concluded that the installation of the Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) breeding colony in Punta Entrada in the 1970s was the main trigger factor for that erosion. The excavation of thousands of nests and the trampling by these birds generated a sharp and irreversible sequence of vegetation loss and deflation of dune materials since that time onwards.

Key words: zoogeomorphology; *Spheniscus magellanicus*; aeolian erosion; archaeological record; patagonic coast.

1. Introducción

Los animales pueden tener un rol importante en la modificación del paisaje a través del pisoteo, el pastoreo, la excavación de madrigueras, la construcción de diques o los movimientos de suelos, entre otros ejemplos. La disciplina que trata los cambios que ocurren en los ambientes como resultado de la acción de los animales es la zoogeomorfología, que ha cobrado gran impulso durante las últimas décadas (Butler, 1995; Cavin y Butler, 2015; entre otros). Dentro de estos estudios, un caso particular es el de las aves marinas debido a que la agregación de cientos o miles de individuos en las áreas de nidificación puede resultar en la transformación de grandes extensiones de tierra por la remoción de la cubierta vegetal, la construcción de los nidos o la acumulación de depósitos orgánicos —guano, plumas, regurgitaciones— (Butler, 1995; Tatur *et al.*, 1997; Tatur, 2002; Bancroft *et al.*, 2005; Butler *et al.*, 2013; Emslie *et al.*, 2014). Los pingüinos (Spheniscidae) son aves marinas que nidifican en grandes colonias y que, según la especie, construyen sus nidos excavando madrigueras, acumulando rocas o bajo arbustos (Williams, 1995; García Borboroglu y Boersma, 2013). Como no son aves voladoras, los desplazamientos dentro de sus áreas de nidificación son efectuados por tierra a lo largo de senderos recurrentemente utilizados. El intenso pisoteo puede remover y exponer el material superficial a la erosión eólica y dar inicio a la formación de drenajes que resultan en la exacerbación de la erosión fluvial (Butler, 1995). Este aspecto de su conducta puede resultar en modificaciones ambientales poco observadas en áreas de nidificación de otras aves.

La especie *Spheniscus magellanicus*, conocida comúnmente como pingüino patagónico, tiene una distribución actual que incluye el extremo sur de las costas de los océanos Pacífico y Atlántico de Sudamérica (Schiavini *et al.*, 2005; García Borboroglu y Boersma, 2013). En la margen atlántica, la costa de Patagonia se extiende por unos 3.000 km y cuenta con una amplia plataforma, que alcanza hasta 800 km de ancho en el extremo sur. El mar patagónico es uno de los más productivos del hemisferio austral, donde la corriente de Malvinas, rica en nutrientes, es fuente de alimento para grandes concentraciones de peces e invertebrados que sustentan una notable biodiversidad de aves y mamíferos marinos (Foro para la conservación del mar patagónico y áreas de influencia, 2008). En este contexto, los pingüinos patagónicos son las aves marinas más abundantes y su distribución reproductiva en Argentina abarca desde la provincia de Río Negro —41°26'S, 65°01'O— hasta Tierra del Fuego —54°42'S, 64°14'O— (Schiavini *et al.*, 2005).

Como todos los Spheniscidae, estos pingüinos son aves eminentemente pelágicas que pasan mucho tiempo en tierra durante el período de apareamiento y cría. En la costa atlántica, este período incluye la primavera y verano del hemisferio austral, entre septiembre y abril (Williams, 1995; Frere *et al.*, 1996; García Borboroglu *et al.* 2002; Schiavini *et al.*, 2005; García Borboroglu y Boersma, 2013; entre otros). Las áreas de nidificación reúnen miles de individuos que anualmente se reproducen y mudan su plumaje. Como estas aves son filopátricas (retornan al lugar de su nacimiento para reproducirse), el uso recurrente del espacio promueve gran cantidad de modi-

ficaciones ambientales, especialmente por la construcción de los nidos. Para protegerse de los predadores y del estrés térmico, estos pingüinos nidifican en oquedades bajo arbustos o en madrigueras subterráneas que pueden alcanzar un metro de profundidad (Scolaro, 1978; Frere *et al.*, 1992; Stokes y Boersma, 1998; García Borboroglu *et al.*, 2002). La densidad de nidos es variable, con valores que fluctúan entre 2 - 17 nidos/100 m² según el área de nidificación (Schiavini *et al.*, 2005).

La ubicación de las áreas de nidificación sobre la costa atlántica es bastante estable y varias de ellas se hallan en la misma localidad desde principios del siglo XX (Boersma *et al.*, 1990; Gandini *et al.*, 1996; Cruz *et al.*, 2010). Se ha propuesto que las grandes áreas continentales de nidificación son un fenómeno reciente ligado a la expansión de los establecimientos ganaderos en el sur de Patagonia desde fines del siglo XIX (Cruz *et al.*, 2010; García Borboroglu y Boersma, 2013; Cruz *et al.*, 2014). En momentos previos, los nidos se habrían ubicado en islas para evitar los predadores terrestres —principalmente pumas y zorros—, cuyas poblaciones fueron posteriormente diezmadadas por los ganaderos.

Esta especie utiliza el mismo nido por gran parte o toda su vida reproductiva (Stokes y Boersma, 1998; Rebstock *et al.*, 2016) y su hábitat preferido para nidificar presenta características particulares de sustrato y cobertura vegetal (Stokes y Boersma, 1991; García Borboroglu *et al.*, 2002; Rebstock *et al.*, 2016). La acción de los pingüinos patagónicos como promotores de erosión ha sido mencionada en estudios efectuados en Tierra del Fuego (Argentina), en los que se señaló el alto grado de alteración que sufren el suelo y la vegetación durante el período reproductivo (Santos González *et al.*, 2006).

En este trabajo se analizan las consecuencias de la actividad de los pingüinos patagónicos en Punta Entrada (Figura 1), un sector de la costa del sur de Patagonia continental de Argentina (Figura 2). En el marco de un proyecto arqueológico que tiene como uno de



Figura 1: Pingüinos patagónicos (*Spheniscus magellanicus*) en la costa del sur de Patagonia.

Figure 1: Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) in the southern Patagonian coast.

sus objetivos conocer la evolución del paisaje en ese tramo costero, el análisis se abordó a partir de varias líneas de evidencia. La acción de los pingüinos resultó de interés para este proyecto porque disparó un proceso de erosión eólica que no sólo tiene derivaciones ambientales sino que, además, está afectando al registro arqueológico de la localidad. Como ésta es una especie con una distribución amplia y sus áreas de nidificación coinciden a menudo con zonas en donde se observan depósitos arqueológicos (Cruz, 2006; Cruz, 2007; Borella y Cruz, 2012), el estudio de este caso puede ser de utilidad para aportar nuevos datos referidos a una especie poco conocida como agente geomórfico y, en el futuro, para dimensionar el impacto de su conducta de nidificación a lo largo de toda la costa patagónica.

2. Caracterización del área de estudio

En el extremo sur de Patagonia continental la costa presenta un diseño rectilíneo como resultado de una dinámica de olas enérgica asociada a una litología poco resistente y un rango de marea que, en eventos extraordinarios, llega a los 12 m (Kokot y Codignotto, 2002). A lo largo de vastos tramos se reconocen acantilados activos e inactivos, a veces de más de un centenar de metros de altura, precedidos por playas de grava e interrumpidos ocasio-

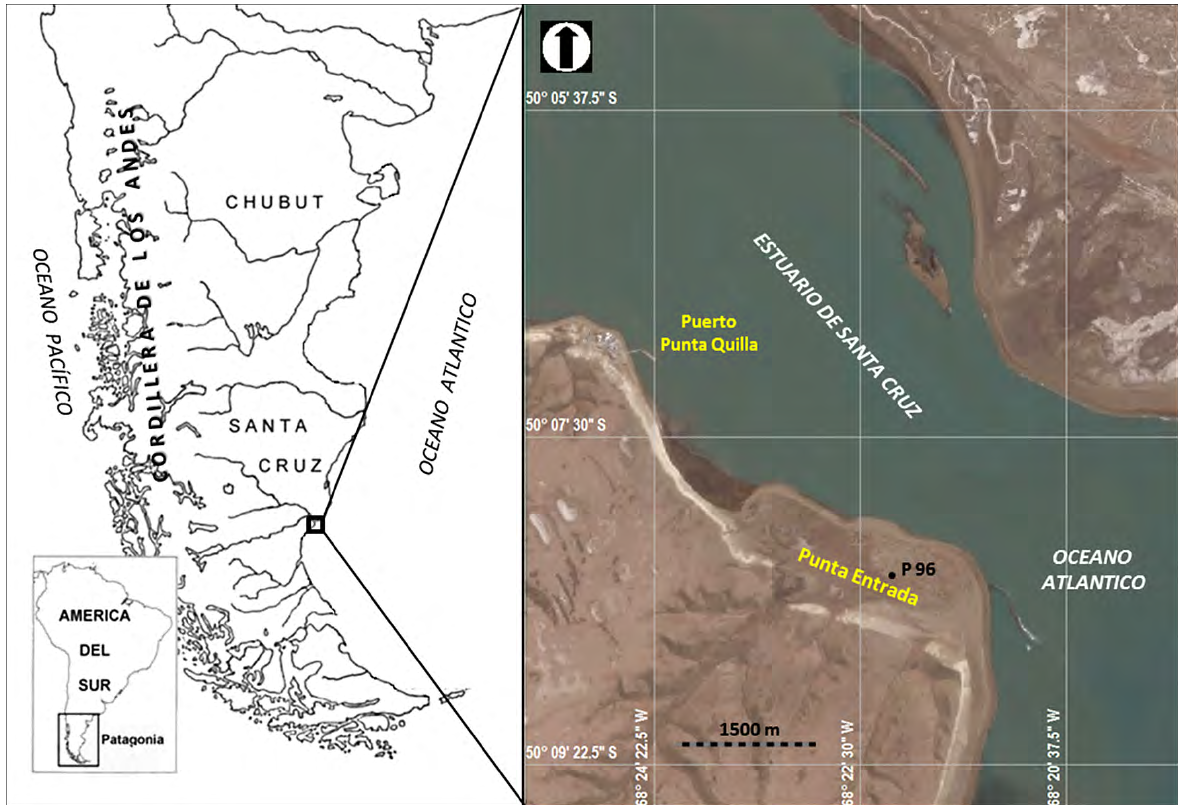


Figura 2: Ubicación de Punta Entrada en Patagonia austral y del depósito arqueológico P 96.
 Figure 2: Location of the study area in southernmost Patagonia, showing P 96 archaeological deposit.

nalmente por la desembocadura de amplios ríos procedentes de la cordillera de los Andes.

Punta Entrada, ubicada en la boca del estuario del río Santa Cruz (Figura 2), es un territorio de acreción marino-litoral del Holoceno tardío, de 3 km de largo y 1 km de ancho, que progradó hacia el Norte a partir de un acantilado marino inactivo de aproximadamente 130 m de altura. Está constituida por varios sistemas de cordones litorales gravo-arenosos parcialmente cubiertos por dunas activas, semi-estabilizadas e inactivas que alcanzan hasta 4 m de potencia (Ercolano, 2012). Las dunas están integradas por estratos de arenas medianas con estratificación entrecruzada, que se hallan parcialmente compactados en la parte basal de las secciones. Dentro de la secuencia eólica los períodos de calma están representados por paleosuelos de escaso desarrollo.

Los sedimentos eólicos son la matriz de numerosos depósitos arqueológicos, muchos de ellos “conchales” (acumulaciones de valvas de origen antrópico), que incluyen restos de vertebrados y de artefactos líticos, con una cronología que abarca los últimos 2600 años radiocarbónicos (Muñoz *et al.*, 2009; Cruz *et al.*, 2015a; entre otros). La mayor parte de los depósitos que actualmente se advierten en superficie se concentra en el flanco oriental de Punta Entrada, mientras que hacia el Oeste se registran depósitos en estratigrafía, sólo observables cuando son expuestos en hoyadas de deflación (Cruz *et al.*, 2016).

El clima actual de la región es templado frío y semiárido. La temperatura media anual es de 8,1°C, con mínimas medias de 1° C y máximas medias de 13,5° C. La precipitación media anual es de 186 mm. Predominan los vientos

del cuadrante Oeste durante todo el año. En los meses de noviembre y diciembre los vientos adquieren mayor intensidad y llegan a una velocidad media de $24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Las velocidades máximas registradas son de $86 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ con ráfagas de $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. En este contexto, el viento es el principal agente modelador del paisaje. Adaptada a estas condiciones extremas, la vegetación de Punta Entrada es una estepa arbustivo-graminosa (Oliva *et al.*, 2001). La fauna silvestre, tanto marina como terrestre, es abundante y varias especies cumplen su ciclo reproductivo en la localidad. Además de los pingüinos patagónicos, es habitual la presencia de uno de los camélidos silvestres sudamericanos, el guanaco (*Lama guanicoe*), además de aves como ñandúes (*Rhea pennata*) y martinetas (*Eudromia elegans*), armadillos (*Zaedyus pichiy* y *Chaetophractus villosus*), félidos como el puma (*Puma concolor*), y zorros (*Lycalopex culpaeus*). Ocasionalmente se avistan lobos marinos (*Otaria flavescens*) en el estuario.

3. Metodología

Para comprender cuál fue el origen del proceso erosivo registrado en Punta Entrada se tuvieron en cuenta diversas líneas de evidencia: análisis multitemporal de registros teledetectados, datos climáticos y zooarqueológicos. Esta evidencia se discute en conjunto con datos históricos sobre la zona, la evaluación del impacto de la ganadería y el comportamiento de la fauna silvestre, en particular de los pingüinos patagónicos.

3.1. Análisis evolutivo del paisaje

Este estudio fue llevado a cabo mediante el análisis de material provisto por sensores remotos y un exhaustivo relevamiento en campo siguiendo los lineamientos tradicionales de los estudios geomorfológicos. Con el fin de adquirir información detallada de la dinámica del paisaje, se llevó a cabo un sistemático registro fotográfico digital del área.

El análisis multitemporal de fotografías aéreas verticales e imágenes satelitales comprendidas entre los años 1968 y 2012 permitió detectar cambios en el paisaje entre las fechas de referencia. El tratamiento de esta información se realizó a través de plataformas SIG (ArcView v.3.2 y Global Mapper v.17) donde se siguieron procedimientos estándar de realce (contraste, ecualización de histogramas, etc.) que permitieron mejorar la intensidad de la señal de las geoformas para su comparación visual. Las fotografías aéreas a escala 1:20.000 correspondientes a los años 1968 y 1987, provistas por el Servicio de Hidrografía Naval de Argentina, fueron escaneadas, georreferenciadas (Datum: WGS 84; sistema de proyección: Gauss Kruger Argentina; margen de error: 1,5 %) y controladas en campo. Del sitio web Google Earth™ se capturó una imagen satelital multispectral de fecha 6/4/2005 (resolución espacial: 1,15 m), año que coincide con el inicio de las observaciones de campo en Punta Entrada. De los servidores incluidos en el sitio web SAS. Planet se descargó la imagen satelital multispectral de alta resolución (1,15 m) más reciente disponible para el área, correspondiente al 21/10/2012.

3.2. Análisis de los datos climáticos

A fin de estimar la variabilidad climática en las últimas décadas y su posible influencia sobre la morfodinámica eólica, se analizaron los datos meteorológicos disponibles para la estación de Puerto Santa Cruz ($50^{\circ} 01'S - 68^{\circ} 56'O$; 113 m.s.n.m.), ciudad más cercana al área de estudio y representativa de las condiciones climáticas que allí se suceden. Las bases de datos que se utilizaron pertenecen a los servidores del *Goddard Institute for Space Studies* (NASA) y *Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut* (KNMI Climate Explorer). La información obtenida fue cotejada y depurada a fin de obtener una mayor calidad de información.

Las variables meteorológicas analizadas fueron los valores medios mensuales de tem-

peratura del aire (°C), precipitación (mm) y viento ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$), cuyo tratamiento estadístico se efectuó a través de gráficos de tendencia anual. Las series de datos comprenden el periodo 1901 a 1990. Los años de información meteorológica recopilada, si bien presentan algunos períodos sin mediciones, incluyen un lapso de más de 60 años continuos, lo suficientemente prolongado como para permitir que el análisis de las variables tenga peso estadístico (WMO, 2008).

3.3. Análisis zooarqueológico

Durante los trabajos de campo de noviembre de 2006 se detectó un depósito arqueológico ubicado en un sector de dunas activas a unos 500 m de la costa Norte de Punta Entrada, que fue denominado P 96 (Cruz *et al.*, 2015b). Para su posterior análisis en laboratorio, se procedió a la recolección de los materiales arqueológicos de este depósito a través de diez cuadrículas de 2 x 1 m en el sector de mayor concentración, hasta que no quedaron restos visibles en superficie. La misma metodología de recuperación se implementó en marzo de 2007, cuando se registraron nuevamente materiales expuestos en el sector de cuadrículas. En marzo de 2008 se efectuó la última recolección, momento en que los materiales apoyaban sobre el sustrato de grava característico de los cordones litorales que se consideró el fin del depósito. Se utilizó a P 96 como caso testigo para evaluar el impacto de la erosión sobre los huesos arqueológicos debido a su buen estado de preservación al momento de la primera observación y a que a través de las sucesivas recolecciones se pudo registrar la evolución de la porción orgánica del depósito hasta la completa desaparición de la matriz arenosa.

En el laboratorio, los restos óseos de P 96 se analizaron siguiendo los lineamientos comúnmente utilizados para el estudio de los conjuntos zooarqueológicos (Binford, 1981; Lyman, 1994; entre otros). La determinación taxonómica se efectuó en el nivel de especie, género o familia en todos aquellos casos en los que fue posible; en los que no lo fue, los especímenes

se incluyeron en categorías taxonómicas más amplias, como aves, mamíferos, pinnípedos o vertebrados. Para cuantificar los especímenes se utilizó el NISP (Number of Identified Specimens; *sensu* Lyman, 1994), medida de abundancia taxonómica apropiada para evaluar la proporción de modificaciones sobre la superficie ósea. Aunque se relevó una gran cantidad de modificaciones, para este trabajo se consideran relevantes sólo tres: la meteorización ósea, el grado de articulación de los huesos al momento de recuperación y las trazas producidas por raíces. La meteorización es el proceso por el cual los componentes orgánicos e inorgánicos se separan unos de otros y se destruyen por la acción de los agentes físicos y químicos que operan sobre el hueso, especialmente mientras se encuentra en la superficie terrestre (Behrensmeyer, 1978). Para estimarla se utilizaron los seis estadios propuestos por Behrensmeyer (1978) y Behrensmeyer *et al.* (2003), que representan puntos a lo largo del proceso continuo de deterioro del tejido óseo. Esta variable se consideró clave para evaluar la erosión debido a que los huesos son altamente sensibles a los agentes atmosféricos, lo cual permite monitorear el paso del tiempo a partir de modificaciones que pueden mostrar el deterioro en un lapso de exposición estimable en meses y años. Por su parte, el grado de articulación de los huesos en los conjuntos zooarqueológicos puede vincularse con el tiempo de su permanencia en superficie, antes de ser cubiertos por sedimentos (Behrensmeyer, 1991). Por último, las trazas de raíces en la capa externa del tejido óseo (*sensu* Lyman, 1994) son indicadoras de que, al menos durante un lapso de su historia, los huesos estuvieron sepultados en un sustrato con vegetación.

4. Resultados

4.1. La dinámica eólica en Punta Entrada

Al analizar el paisaje de Punta Entrada se identifican dos situaciones contrastantes en términos de dinámica eólica. A partir de una línea imaginaria NO-SE, ubicada aproximadamente en el centro de este territorio, pueden

circunscribirse los siguientes sectores (Figura 3): a) Sector Occidental, en el que la cobertura vegetal es la suficiente como para controlar el movimiento de las partículas de arena y b) Sector Oriental que, por carecer de un tapiz vegetal continuo, es mucho más dinámico.

En el Sector Occidental, las acumulaciones eólicas se presentan bajo diferentes tipos morfológicos de dunas y en forma de manto. Alrededor de un 85 % del sector está cubierto por vegetación, hecho que contribuye a mantener la estabilidad de las formas eólicas. La arena que entra al área desde el Oeste es retenida en parte por el relieve sobreelevado de los cordones litorales que forman las espigas estuarinas recientes, cuyo crecimiento es transversal a la dirección del viento (Ercolano, 2012). En el entrapamiento de la arena interviene además la vegetación arbustiva que, en forma incipiente, se desarrolla sobre los cordones. Al Este de las espigas recientes, otras más antiguas cuentan con una cobertura arenosa mantiforme más homogénea como resultado de la acumulación de arena en las depresiones intercordón, donde se desarrolla una

densa cobertura vegetal predominantemente gramínea (*Festuca* sp. y *Stipa* sp.). La escasa potencia del manto eólico no alcanza a disimular, sin embargo, la topografía original de estas espigas. Las dunas de más desarrollo de toda Punta Entrada ocurren en el centro y sur de este Sector. Se trata de un pequeño campo de dunas simétricas inactivas, con crestas sinuosas, alineadas en promedio en dirección O-E que coincide con el sentido de transporte de la arena. Las crestas son colonizadas por árboles y arbustos, entre los que se destacan por su frecuencia los “molles” (*Schinus molle*), “mata negra” (*Junellia tridens*), “mata verde” (*Lepidophyllum cupressiforme*) y “calafate” (*Berberis* sp.).

En el Sector Oriental alternan zonas de erosión y acumulación cuya localización varía muy rápidamente. La gran movilidad de la arena es consecuencia de una pérdida generalizada de la cobertura vegetal. En efecto, gran parte de los árboles y arbustos de mayor porte tienen sus raíces casi totalmente desnudas mientras que el avance del proceso ya ha provocado la muerte de muchos de



Figura 3: Punta Entrada, límite entre los Sectores Oriental (primer plano) y Occidental.
Figure 3: Punta Entrada, boundary between Eastern (foreground) and Western Sectors.

ellos. Los corredores entre dunas están casi desprovistos de vegetación, razón por la cual asoman los cantos rodados de los cordones litorales subyacentes. Localmente, la morfología de dunas es irreconocible y da paso a un manto arenoso de potencia cercana al metro, con una topografía monticular vinculada al desarrollo de *nebkas* (Figura 4a). Como resultado de la constante remoción de arena, las secuencias eólicas más antiguas del área se hallan expuestas cerca del acantilado que enmarca el Sur de Punta Entrada. Los paleosuelos que se desarrollaron sobre ellas limitan transitoriamente la erosión eólica y por su mayor resistencia conforman pequeñas planicies de deflación donde evolucionan hoyos de voladura (Figura 4b). No obstante, se ha observado que estas formas son transitorias, ya que durante el período 2014 - 2015 fue notorio el incremento de sectores con sustrato desnudo, donde es claramente visible la litología de los cordones litorales.

Dadas las diferencias observadas entre ambos Sectores y el corrimiento hacia el Oeste que fue experimentando el límite entre ellos desde que se iniciaron los trabajos de campo en 2005, es que se decidió detectar cuándo y por qué comenzó la erosión eólica. La com-

paración de aerofotografías e imágenes satelitales permitió establecer que este proceso comenzó en algún momento posterior a 1968. En la aerofotografía correspondiente a ese año se observan dunas estabilizadas por vegetación arbustiva, particularmente en las zonas delimitadas por rectángulos en la Figura 5a. En la fotografía aérea de 1987 esas mismas zonas muestran cambios morfológicos en la estructura de las dunas, denotados por una variación en el patrón textural (Figura 5b). En la imagen satelital correspondiente a 2005, los cambios son aún más notorios. En el campo fue posible constatar la ausencia de dunas en las zonas correspondientes a los dos rectángulos superiores, así como la exposición de depósitos arqueológicos que se destacan en la imagen en tonos de gris claro (Figura 5c, flecha). Además se verificó el desarrollo de una planicie de deflación (Figuras 4b y 5c, PD en rectángulo inferior). Desde ese momento al presente, las observaciones en campo permitieron determinar que hubo una aceleración de la tendencia erosiva, evidenciada principalmente por la exposición subaérea de otros depósitos arqueológicos (Figura 5d, flecha), cuyas características son consistentes con su reciente exposición (véase 4.3. *Características del conjunto zooarqueológico*).

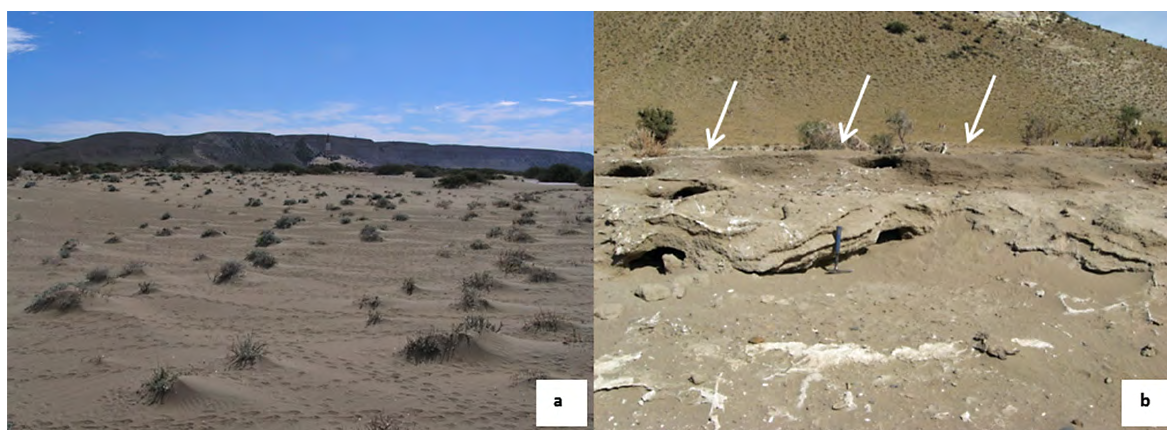


Figura 4: a) Nebkas en el Sector Oriental de Punta Entrada. Nótese las pisadas de pingüinos patagónicos; b) Planicie de deflación en el Sector Oriental de Punta Entrada (flechas) vista desde una hoyada de deflación. Obsérvese la falta de cobertura gramínea y los escasos arbustos así como los nidos de pingüinos excavados en los depósitos eólicos más antiguos del área.

Figure 4: Nebkas at Eastern Sector, Punta Entrada. Note Magellanic penguin tracks; b) Deflation plain at Eastern Sector, Punta Entrada, seen from a blowout. The arrows indicate the surface of the plain. Note the lack of grassy cover and scarce shrubs as well as nests of penguins dug in the oldest aeolian deposits of the area.

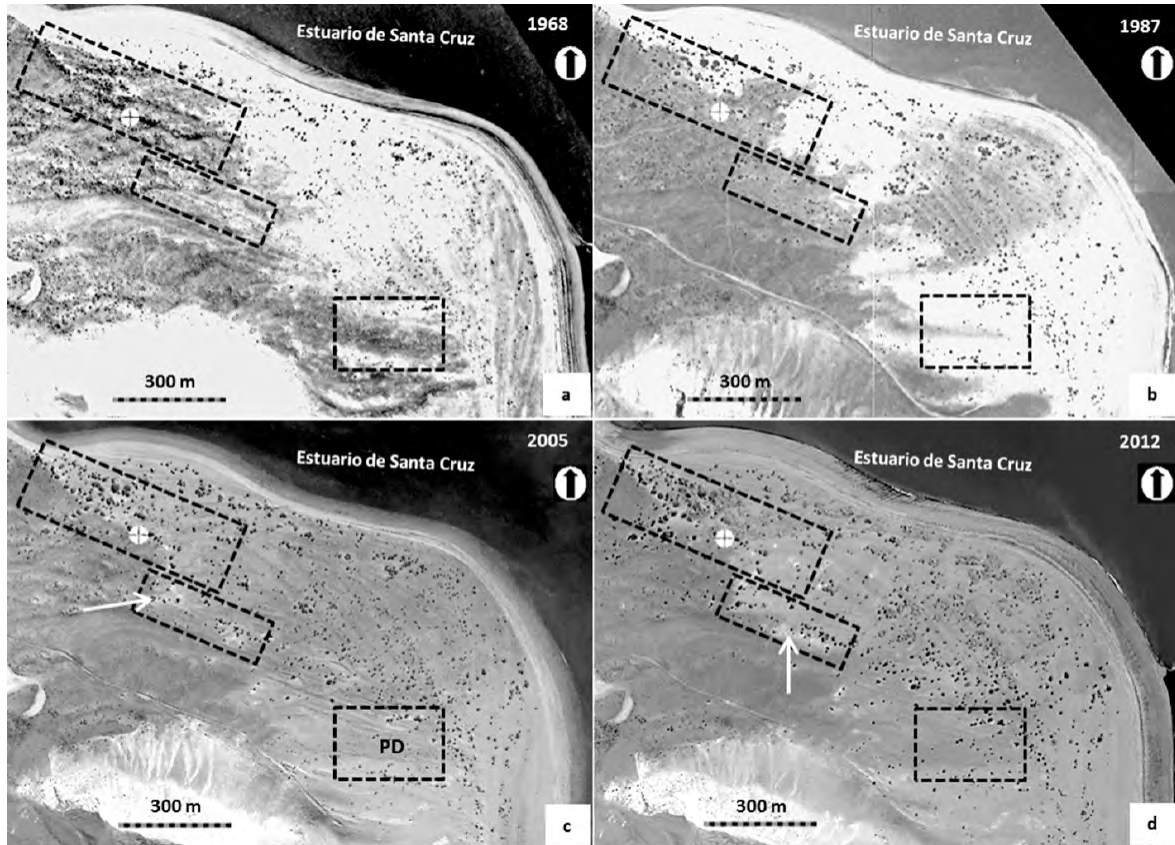


Figura 5: Evolución del paisaje en Punta Entrada. Los rectángulos delimitan zonas altamente modificadas. La cruz indica la ubicación de una baliza que sirve como referencia para comparar visualmente las distintas escenas de la Figura. PD: planicie de deflación; las flechas señalan la posición de depósitos arqueológicos. Para mayores detalles ver texto.

Figure 5: Landscape evolution at Punta Entrada. Rectangles enclose areas highly modified. Cross shows the position of the lighthouse that serves as a reference to visually compare between subscenes. PD: deflation plain; arrows indicate archaeological deposits. See text for further details.

4.2. Variabilidad climática de la región durante el siglo XX

Las condiciones climáticas del área, donde se combinan precipitaciones inferiores a 200 mm con una intensidad de viento siempre superior al umbral para la movilización de arenas (Bagnold, 1941), han sido una característica de casi todo el siglo pasado y el actual. La vegetación y, por ende, la estabilidad de las dunas eólicas dependen en primera instancia de la precipitación, la temperatura y el viento. Por lo tanto, para determinar cuál pudo ser la incidencia del clima en la desestabilización de las geoformas eólicas de Punta Entrada se examinó el comportamiento de estos elementos del clima durante las últimas décadas.

El gráfico de precipitación media anual para el período comprendido entre 1903-1990 (Figura 6a), pone de manifiesto una leve tendencia al incremento de este parámetro a lo largo del siglo XX, con un aumento de casi 40 mm. La evolución de la temperatura media a lo largo de casi el mismo periodo, 1901-1990, muestra una variabilidad levemente positiva en los valores, con un aumento algo menor a 1° C (Figura 6b). Este valor es acorde a lo encontrado por Barros y Scasso (1994) para toda la Patagonia desde mediados del siglo XX. La serie de datos correspondiente al viento comprende el lapso 1973-1990. Durante este período se verifica una media anual de 27 km·h⁻¹ y una disminución en la tendencia de 3 km·h⁻¹ (Figura 6c). Sobre la base de datos corres-

pendientes al lapso 1941-2006, en la zona de Comodoro Rivadavia —unos 500 km al Norte de Punta Entrada— se detectó una tendencia similar de marcada disminución en la intensidad media de los vientos del cuadrante Oeste (lantanos y Villán 2012).

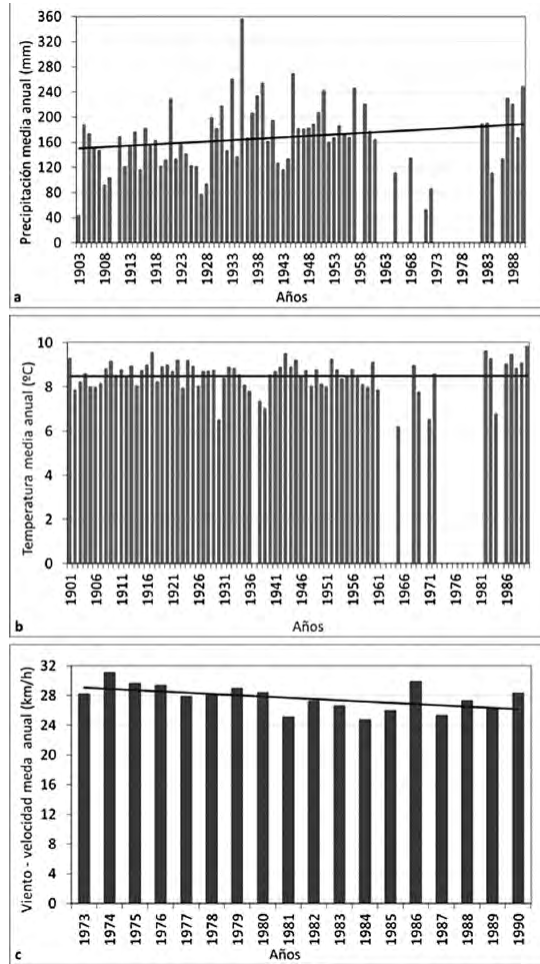


Figura 6: Valores medios anuales y línea de tendencia de: a) precipitación (mm), b) temperatura (°C) y c) velocidad del viento ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) para Puerto Santa Cruz (Argentina). Los valores nulos corresponden a años sin mediciones.

Figure 6: Values of annual mean precipitation (mm), temperature (°C), and wind speed ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) for Puerto Santa Cruz (Argentine). Tendency line is shown. Null values are for years without measurements.

Es posible que el incremento de las precipitaciones en unas pocas decenas de milímetros hacia el final del siglo, que podría haber re-

fundado en una disminución del déficit hídrico, se haya visto atenuado por el aumento en casi 1° C de la temperatura media anual. Si a los factores analizados se les suma la incidencia del viento, su leve tendencia negativa no habría sido de una magnitud suficiente como para modificar las condiciones hídricas. En síntesis, sobre la base de los datos analizados no se ha podido detectar una modificación significativa en las condiciones climáticas del área durante cerca de 100 años.

4.3. Características del conjunto zooarqueológico

Los trabajos arqueológicos en Punta Entrada incluyeron observaciones e intervenciones en campo desde noviembre de 2005. El objetivo inicial fue monitorear la exposición o entierro de restos y el grado de deterioro de depósitos particulares antes de proceder a su recuperación. Uno de estos depósitos es P 96 (Figura 2), ubicado próximo a varios bosquetes de “molles” con numerosos nidos de pingüinos patagónicos (Cruz *et al.*, 2015b), que fue el seleccionado para su análisis y seguimiento. En la elección se tuvo en cuenta que P 96 se observó por primera vez en noviembre de 2006, a pesar que el equipo de investigación había realizado un exhaustivo relevamiento de depósitos arqueológicos en toda Punta Entrada desde fines de 2005. Se consideró entonces que era una buena oportunidad para ver la evolución del conjunto zooarqueológico frente a los procesos naturales. Se estimó que el buen estado de preservación que presentaban los restos de vertebrados era consistente con su reciente exposición en superficie (Cruz *et al.*, 2015b). Los registros satelitales confirmaron que hasta 2005 todo el sector en que se ubica P 96 aparecía cubierto por arenas.

El conjunto óseo de este depósito comprende 3411 especímenes, cuya diversidad taxonómica abarca gran parte del repertorio faunístico de la región, con predominio de huesos de lobos marinos (*Otaria flavescens* y *Arctocephalus australis*) y cormoranes (*Phalacrocorax* sp.) (Cruz *et al.*, 2015a). Entre los huesos hay un

7% de especímenes de pingüinos patagónicos que, en función de sus características, fueron considerados como intrusivos en el depósito (Cruz *et al.*, 2015b). La mezcla de huesos actuales de pingüinos con restos arqueológicos se ha detectado en varias localidades costeras de la Patagonia (Cruz, 2004, 2007, 2015). La mayor mortalidad de pingüinos se produce en los sectores de nidificación durante el período reproductivo (Cruz, 2007). Por lo tanto, la mezcla de sus huesos con los materiales arqueológicos aumenta cuando hay nidos activos cerca o sobre los depósitos, como es el caso en P 96. Los huesos de pingüinos de este conjunto son, por lo tanto, un indicador de su impacto sobre el patrimonio arqueológico de la localidad.

Muchas de las características del conjunto zooarqueológico son consistentes con una escasa exposición previa a la cobertura por sedimentos. En primer lugar, el perfil de meteorización ósea (Figura 7) incluye un alto porcentaje de especímenes en estadios 0 (huesos no meteorizados), 1 y 2 (huesos levemente meteorizados). Sólo un 11% se encuentra en estadios 3 y 4 (huesos meteorizados) mientras que no se registraron especímenes en estadio 5. La meteorización ha sido caracterizada como uno de los principales procesos que determinan la desaparición de restos de vertebrados en la superficie terrestre (Behrensmeyer, 1978; Lyman, 1994). Las tasas de meteorización varían entre ambientes y para el sur de Patagonia se ha determinado que los huesos expuestos en superficie pueden alcanzar los estadios 1 y 2 en un lapso de pocos meses a 3 años y los estadios 3 y 4 entre 2 a 15 años (Borrero, 2007; Cruz, 2014; entre otros). Las diferencias dependen de la unidad anatómica considerada y del taxón de que se trate. Los especímenes en estadios 3 y 4 de P 96 pueden entenderse en el marco de la historia del depósito, que involucró momentos de exposición de parte de los materiales durante los inicios de su formación (Cruz *et al.*, 2015b). Sin embargo, el predominio general de especímenes con escasos indicios de meteorización (89%) permite sostener que la mayor parte del depósito tuvo poca exposición a los agentes atmosféricos tanto antes

del sepultamiento inicial como previamente a su recuperación.

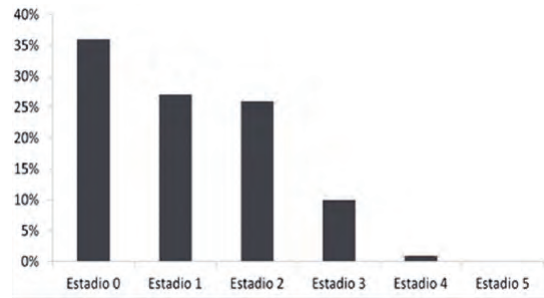


Figura 7: Perfil de meteorización ósea, P 96 (Punta Entrada).

Figure 7: Bone weathering profile, P 96 (Punta Entrada).

En segundo lugar, se registraron modificaciones producidas por raíces en el 57% de los especímenes, que son visibles en la superficie ósea debido a la baja meteorización (Cruz *et al.*, 2015b). Estas modificaciones indican que al menos parte de los especímenes estuvo cubierta por sedimentos y permaneció sepultada por un tiempo que no puede determinarse pero que seguramente se extendió hasta momentos cercanos a su recolección. Tercero, la recuperación de huesos articulados *in situ*, con coloraciones que denotaban la reciente exposición de algunos especímenes (Figura 8) es otra característica que apoya la hipótesis de la reciente desaparición de la matriz arenosa que los contenía. En efecto, como la dispersión de huesos comienza al desarticularse las carcasas —tanto por causas naturales como por la intervención humana— y se detiene o se hace más lenta con la cobertura por sedimentos, la presencia de estos huesos articulados también da idea de un sepultamiento temprano y poco tiempo de exposición. En síntesis, las características del conjunto óseo de P 96 muestran que la exposición a los agentes atmosféricos es relativamente reciente, lo que permitió su detección y recuperación debido a la voladura de la matriz arenosa antes de que avanzase la destrucción de la porción orgánica del depósito. Lo mismo ha sido registrado en otros depósitos arqueológicos de Punta Entrada (Cruz *et al.*, 2016; Muñoz, 2017), confirmando que ésta es una tendencia que se verifica en toda la localidad.



Figura 8: Huesos articulados de lobo marino (*Otaria flavescens*) de P 96.

Figure 8: Articulated sea lion (*Otaria flavescens*) bones at P 96.

4.4. El comportamiento de nidificación de los pingüinos patagónicos en Punta Entrada

En Punta Entrada hay unas 48.000 parejas reproductoras de pingüinos patagónicos (Schiavini *et al.*, 2005), cuyos nidos son excavados preferentemente en sectores de arenas finas compactadas (Figura 9a) o ubicados bajo “molles” u otros arbustos (Figura 9b). Los sustratos con grandes cantidades de grava y arena resultan fáciles de remover pero son inestables y sólo pueden ser utilizados para excavar los nidos cuando las raíces de pastos y arbustos mantienen el techo estable (García Borboroglu *et al.*, 2002). En cambio, los limo-arcillosos son más difíciles de excavar por ser más cohesivos. Por lo tanto, los sustratos que contienen cantidades intermedias de arena, limo y arcilla son los más favorables para la construcción de los nidos (Stokes y Boersma, 1991; Stokes y Boersma, 1998). La vegetación también influencia la ubicación de los nidos, ya que cuando árboles y arbustos están disponibles son los lugares más elegidos para nidificar (García Borboroglu *et al.*, 2002; Rebstock *et al.*, 2016).

Si se considera la cantidad de parejas reproductoras en Punta Entrada y el área donde se observan nidos (1.160.000 m², gran parte del Sector Oriental), la densidad promedio aproximada es de 2,5 nidos/100 m². Sin embargo, hay sectores en los que la densidad es mucho mayor. Esta gran densidad se verifica, por ejemplo, en el Sudeste del Sector Oriental, donde

las secuencias eólicas más antiguas y más compactadas quedaron expuestas (Figura 4b y 9c). También se observa en los bosquetes de “molles”, en los que la actividad durante el período reproductivo es tan intensa que, a lo largo de los años, puede resultar en la caída y muerte del árbol por la exposición de las raíces (Figura 9d). Durante las observaciones de campo a lo largo de 10 años se pudo establecer que, en algunos casos, esto condujo al abandono del lugar por los pingüinos nidificantes. En estos sectores de gran densidad de nidos, el intenso tránsito puede resultar en mayores modificaciones, especialmente en los senderos por los que los pingüinos circulan hasta el mar. El uso recurrente de estos senderos impactó la vegetación, que desapareció completamente en los sectores más pisoteados (Figura 9e). A lo largo de grandes extensiones se observan amplios parches de terreno densamente horadados como consecuencia de la excavación de nidos, en los que el pisoteo (antrópico y animal) provocó el colapso de los techos de algunas cuevas, dando la apariencia de “campo minado”.

5. Discusión

Para establecer la o las causas que desencadenaron los cambios registrados en el paisaje de Punta Entrada se consideraron diversas posibilidades. En primer lugar, dado que la estabilidad de la vegetación y de las dunas eólicas depende de factores climáticos, se evaluaron las variaciones en la temperatura, las precipitaciones y el viento a lo largo del siglo XX. Los datos analizados no sugieren que se haya producido una modificación significativa de estos factores y, por consiguiente, el clima no puede ser considerado como causa de la pérdida de vegetación.

La segunda posibilidad que se consideró fue el rol de la ganadería, que también puede iniciar y/o intensificar la erosión eólica (Butler, 1995, Butler *et al.*, 2013; entre otros). En Patagonia la principal actividad ganadera es la ovina, de suma importancia económica para la región durante gran parte del siglo XX (Oliva *et al.*, 2001). Punta Entrada forma parte del establecimiento ganadero “Estancia

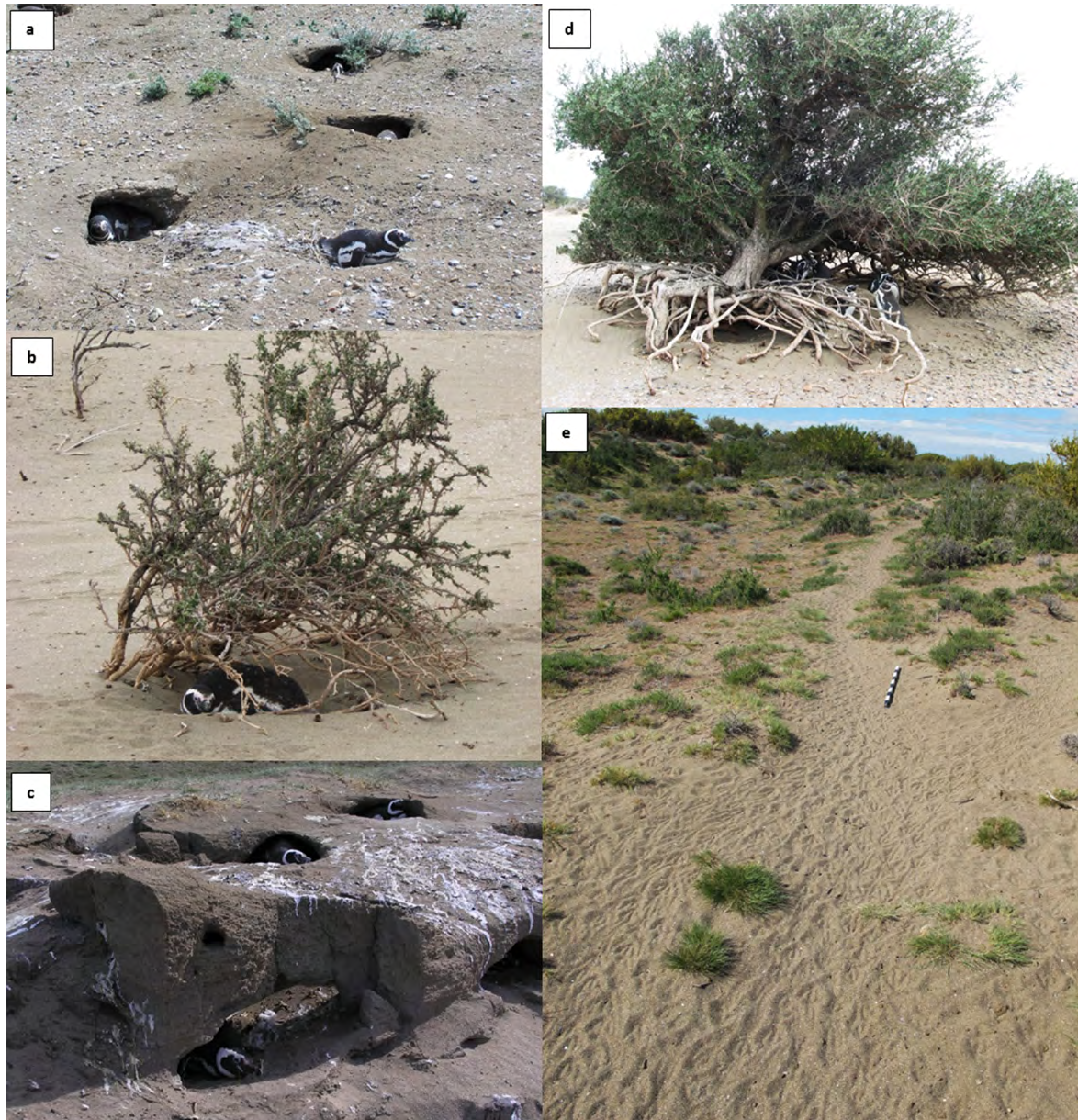


Figura 9: Impacto de la colonia de nidificación de pingüinos patagónicos (*Spheniscus magellanicus*) en Punta Entrada: a) nidos excavados en el sustrato; b) nidos bajo árbol de molle (*Schinus marchandii*); c) nidos excavados en arenas consolidadas; d) árbol de molle con raíces expuestas por la excavación de nidos; e) impacto del pisoteo en senderos hacia el mar.

Figure 9: Impact of Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) nesting activities at Punta Entrada. a) burrows dug into the substrate; b) nests under "molle" (*Schinus marchandii*) tree; c) nests excavated in consolidated sands; d) "molle" tree with exposed roots due to nesting activities; e) trampling along paths to the sea .

Monte Entrance" de 22.000 ha, que hasta la década de 1960 contaba con unos 7.000 ovinos y se destacaba por no presentar evidencia de sobrepastoreo (Argentina Austral,

1963). Si bien se carece de información posterior, Punta Entrada está incluida actualmente en el sector de la Patagonia que presenta una desertificación moderada a severa, resultado

de prácticas ganaderas inadecuadas llevadas a cabo en un ambiente frágil (Mazzoni y Vázquez, 2010). Este establecimiento está activo desde 1931 y la cantidad de ovinos se redujo considerablemente desde fines del siglo XX. Aunque no puede descartarse que el inicio del proceso erosivo responda al impacto del pastoreo, no se considera que sea su principal causa, como se discute más abajo.

Tercero, se evaluó si la fauna silvestre tuvo un papel importante en el proceso erosivo que afecta a este sector costero. Los guanacos pudieron haber generado focos de erosión a través del pisoteo en senderos y en los sectores utilizados para revolcarse, tal como señala Butler (1995) para otros herbívoros. Pero por otro lado, a diferencia de los ovinos, el guanaco corta los pastos para alimentarse, lo que permite que las plantas rebroten y continúen reteniendo los suelos, por lo que esta acción no favorece la erosión (Cajal, 1989). Como la población de guanacos de Punta Entrada es pequeña y sólo se observan tropillas en contadas ocasiones, puede considerarse que estas actividades no habrían impactado el ambiente de manera significativa. Si se descarta a los guanacos como los principales responsables de las modificaciones ocurridas en Punta Entrada, sólo resta considerar las actividades de nidificación de los pingüinos patagónicos. De acuerdo con el análisis del material teledetectado, después de 1968 se producen grandes cambios en el paisaje. Por lo tanto, en función de las transformaciones que estas aves pueden producir en un corto plazo, puede suponerse que hasta ese momento no había un gran número de parejas reproductoras o bien que el área de nidificación no se localizaba en Punta Entrada.

Como un medio para establecer si efectivamente hubo cambios en la ubicación del área de nidificación se utilizó una fotografía del Padre Alberto María de Agostini (1945) que, según su epígrafe, fue tomada en la desembocadura del río Santa Cruz (Figura 10a). La observación de fotos históricas es un recurso frecuentemente utilizado para analizar los cambios en los paisajes (Sawyer y Butler,

2006). Esta fotografía es la más antigua concerniente a los pingüinos disponible para la zona. En la imagen se observa una gran cantidad de estas aves en un sector que claramente corresponde a la margen sur del río, como surge de comparar las siluetas de los acantilados que se observan al fondo con una fotografía actual de Punta Entrada (Figura 10b). La fotografía del Padre de Agostini sólo pudo ser obtenida desde un lugar ubicado aguas arriba, e indica que en ese momento los pingüinos utilizaban una zona en la que no se los observa desde hace varias décadas. Según la perspectiva lograda con el programa Google Earth™, el único lugar posible para capturar una imagen similar a la publicada en 1945 es el que actualmente ocupa el puerto de Punta Quilla (Figura 10c). Las obras de construcción de este puerto empezaron a comienzos de la década de 1970 y, luego de algunas interrupciones, se inauguró en 1978. Es factible que la perturbación vinculada con las obras provocara el traslado de los pingüinos hacia Punta Entrada, lo cual se ajusta cronológicamente a lo establecido como el inicio de la erosión. Si efectivamente hubo un desplazamiento del área de nidificación durante la década de 1970, la excavación de miles de nidos y el constante pisoteo durante seis meses al año pudo desencadenar una secuencia irreversible de pérdida de vegetación y deflación del material arenoso de las dunas que, una vez iniciada, progresó activamente hasta el presente. Aunque no puede descartarse completamente al ganado, resulta sintomático que este proceso comenzara poco después del inicio de las obras portuarias, mientras que la ganadería ovina en la zona data de inicios del siglo XX. Algo similar puede argumentarse sobre la acción de los guanacos que, según el registro arqueológico, están presentes en Punta Entrada desde hace al menos unos 2.500 años. Un argumento en favor del potencial que tienen estos pingüinos para generar un proceso como el detallado proviene del estudio efectuado en Tierra del Fuego (Santos González *et al.*, 2006), donde se describe una situación similar a la de Punta Entrada pero en una isla en la que no hay ovinos.

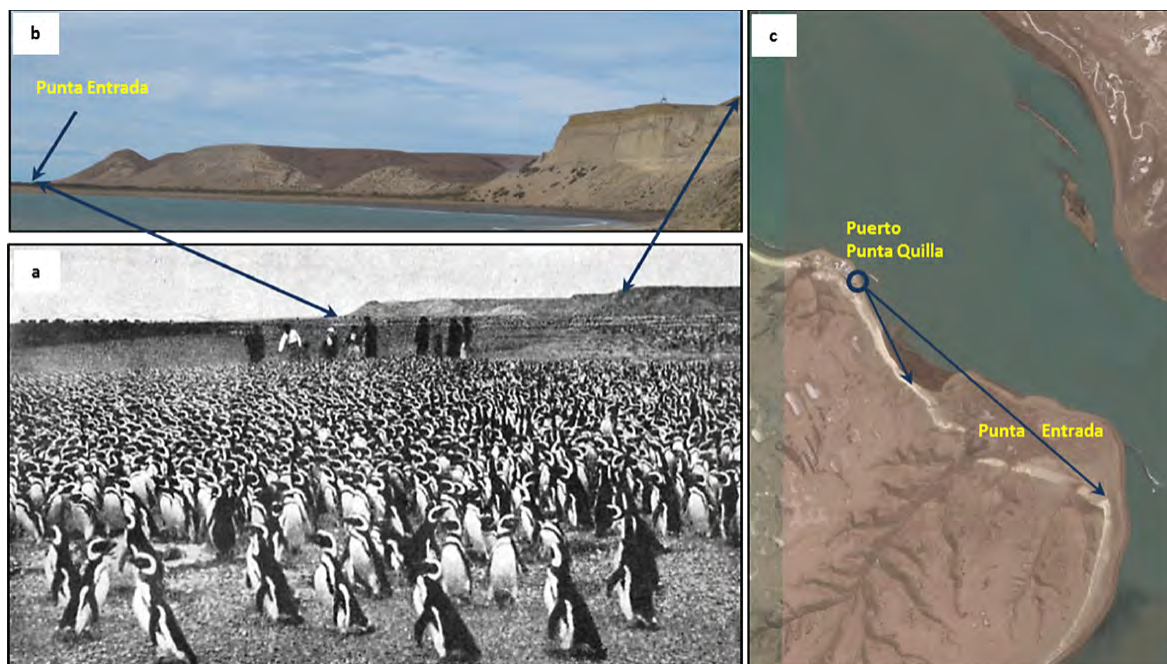


Figura 10: a) fotografía de la margen sur del río Santa Cruz tomada por el Padre M. de Agostini, publicada en 1945; b) fotografía actual de Punta Entrada indicando el sector del acantilado que se observa en 10.a; c) imagen satelital que muestra el posible lugar de toma de la fotografía de 1945.

Figure 10: a) Father M. de Agostini photograph of the South margin of Santa Cruz River, published in 1945; b) Recent picture of Punta Entrada showing the cliff section indicated in 10.a; c) Satellite image showing the possible location where the 1945 photograph was taken.

Las características de los restos arqueológicos, en especial los perfiles de meteorización, permitieron establecer que en muchos depósitos la pérdida de la matriz arenosa —y por lo tanto, la exposición de los materiales orgánicos— fue reciente, lo cual muestra el dinamismo de los procesos en una escala temporal y espacial más acotada que la brindada por el análisis de aerofotografías e imágenes satelitales. Como se mencionó, P 96 perdió entidad en aproximadamente tres años (entre 2005 y fines de 2008). Los huesos recuperados durante ese período se encontraban escasamente meteorizados, mientras que aquellos que quedaron fuera del área de cuadrículas —y que por lo tanto continuaron expuestos en la superficie— se encuentran en estadios 4 y 5 de meteorización luego de unos siete años desde la última recolección. Esta progresión permite suponer una pronta desaparición de los huesos, lo que confirma la rapidez con que este proceso puede afectarlos. Tanto P 96 como gran parte

de los depósitos de la localidad pudieron ser observados y registrados debido a la erosión eólica que los expuso. Aunque en una primera instancia esto fue beneficioso para los objetivos de la investigación, es posible que en un corto plazo gran parte del patrimonio arqueológico de la localidad desaparezca o se transforme. La estrategia implementada frente a esta realidad fue la recuperación de los restos a medida que fueron exponiéndose, de manera de minimizar la pérdida de información.

El análisis zooarqueológico también permitió detectar variaciones en la vegetación del Sector Oriental. Las trazas de raíces registradas en gran parte de los especímenes de P 96 —y de otros depósitos— indican que estuvieron sepultados en un sustrato con vegetación, que seguramente fue similar al que se observa actualmente en el Sector Occidental. De acuerdo con esto, es posible plantear que el paisaje de esta localidad fue más homogé-

neo antes del inicio de la erosión, al menos en términos de cobertura vegetal.

6. Conclusiones

Las investigaciones que se desarrollan en Punta Entrada desde 2005 permitieron detectar el intenso proceso erosivo que está cambiando el paisaje de este tramo de la costa patagónica. Además, está afectando el patrimonio arqueológico de la localidad y modificando el hábitat reproductivo de los pingüinos patagónicos. El análisis efectuado reveló los drásticos cambios ocurridos y permitió evaluar sus posibles causas. En efecto, a lo largo de 48 años se produjeron los siguientes cambios: pérdida de cobertura vegetal gramínea, descalce y muerte de árboles y arbustos, cambios en la estructura de las dunas y desarrollo de planicies y hoyadas de deflación. Esto condujo a la exposición de numerosos depósitos arqueológicos por la desaparición de la matriz arenosa, lo que ocasionó el inicio del deterioro del material óseo. Por último, a lo largo de los años muchos lugares aptos para la nidificación de pingüinos fueron cambiando, principalmente por la desaparición de árboles y arbustos y por la exposición de secuencias arenosas consolidadas. En el primer caso, esto provocó el abandono de sectores previamente utilizados y en el segundo la afectación de otros lugares por la instalación de nuevos nidos.

La actividad de los pingüinos patagónicos durante el período reproductivo, en un ambiente frágil y ya afectado por la ganadería como el que caracteriza a la región, constituye un claro ejemplo de las modificaciones ambientales que puede producir la fauna. El alto impacto de estas aves se debe principalmente a las características de sus colonias, que agrupan miles de individuos que excavan y acondicionan sus nidos simultáneamente durante seis meses todos los años. El tamaño de la colonia de Punta Entrada implica la existencia de unos 48.000 nidos en un territorio poco extenso, por lo que las consecuencias tienen la magnitud registrada.

Muchos animales pueden transformar sus hábitats o incluso crear nuevos (Butler, 1995; Gutiérrez y Jones, 2008; entre otros). Este trabajo es un aporte para discutir un aspecto poco conocido hasta ahora: el rol de los pingüinos patagónicos como agentes geomórficos y su capacidad para perturbar el hábitat en que se reproducen. Las modificaciones que se están produciendo en Punta Entrada debido a la conducta de estos pingüinos seguramente también ocurren en otros lugares de la costa atlántica. Esta especie es particularmente valorada por su atractivo turístico y considerada como emblemática en Patagonia. Por lo tanto, tiene importancia evaluar si, en el mediano o largo plazo, los cambios ambientales pueden culminar en el abandono de las áreas de nidificación. Por último, queremos destacar que varias especies de pingüinos tienen conductas de nidificación como la de los pingüinos patagónicos (Williams, 1995; García Borboroglu y Boersma, 2013), por lo que en el futuro deberá evaluarse si en los diferentes puntos del hemisferio sur en los que haya áreas de nidificación se producen modificaciones similares a las detectadas en Punta Entrada.

Agradecimientos

Los trabajos de campo de arqueología se diseñaron y desarrollaron en conjunto con Sebastián Muñoz y María Soledad Caracotche. La Municipalidad de la ciudad de Puerto Santa Cruz brindó apoyo logístico y alojamiento a lo largo de los años en que se desarrollaron las investigaciones. A Carolina Moreno y todos los que participaron en los trabajos de campo. Clara R. Lemaire colaboró en el análisis zooarqueológico de P 96. Agradecemos los comentarios y sugerencias de Juan B. Belardi, Luis A. Borrero, Flavia Carballo Marina, Claudio Chehebar, Elizabeth Mazzoni, Sebastián Muñoz, Eduardo Ramilo, Pedro Tiberi y dos evaluadores, que ayudaron a mejorar el trabajo. Este es un resultado de los proyectos UNPA 29/A364 y PIP-CONICET 112-201201-00359.

Bibliografía

- Argentina Austral (1963). Un establecimiento modelo. La estancia "Monte Entrance". *Argentina Austral*, 377, 11-12.
- Bagnold, R.A. (1941). *The physics of blown sand and desert dunes*. Chapman & Hall, London, 265 pp.
- Bancroft, W.J.; Garkaklis, M.J.; Roberts, J.D. (2005). Burrow building in seabird colonies: a soil-forming process in island ecosystems. *Pedobiología*, 49,149-165. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2004.10.002>
- Barros, V.; Scasso, L. (1994). Pressure and temperature anomalies in Argentina in connection with the Southern Oscillation. *Atmósfera*, 7, 159-171.
- Behrensmeyer, A.K. (1978). Taphonomic and Ecological Information from Bone Weathering. *Paleobiology*, 4, 150-162. <https://doi.org/10.1017/S0094837300005820>
- Behrensmeyer, A.K. 1991. Terrestrial Vertebrate Accumulations. En: *Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record*. (P.A. Allison; D.E.G. Briggs, eds.). Plenum Press, New York, 291-335. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-5034-5_6
- Behrensmeyer, A.K.; Stayton, C.T.; Chapman, R.E. (2003). Taphonomy and ecology of modern avifaunal remains from Amboseli Park, Kenya. *Paleobiology*, 29, 52-70. [https://doi.org/10.1666/0094-8373\(2003\)029<0052:TAEOMA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0094-8373(2003)029<0052:TAEOMA>2.0.CO;2)
- Binford, L.R. (1981). *Bones. Ancient Men and Modern Myths*. Academic Press, New York, 320 pp.
- Boersma, P.D.; Stokes D.L.; Yorio P.M. (1990). Reproductive variability and historical change of Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) at Punta Tombo, Argentina. *Penguin Biology*, Academic Press, San Diego, 15-43. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-057106-5.50008-5>
- Borella, F.; Cruz I. (2012). Taphonomic evaluation of Penguin (*Spheniscidae*) remains at a shell-midden on the northern coast of Patagonia (San Matías Gulf, Río Negro, Argentina). *Quaternary International*, 278, 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.04.023>
- Borrero, L.A. (2007). Longitudinal Taphonomic Studies in Tierra del Fuego, Argentina. En: *Taphonomy and Archaeozoology in Argentina* (M.A. Gutierrez, L. Miotti, G. Barrientos, G. Mengoni Goñalons, M. Salemme, eds.). British Archaeological Reports International Series S1601, Oxford, 219-233.
- Butler, D.R. (1995). *Zoogeomorphology. Animals as geomorphic agents*. Cambridge University Press, UK, 231 pp. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511529900>
- Butler D.R.; Whitesides, C.J.; Wamsley, J.M.; Tsikalas, S.G (2013). The Geomorphic Impacts of Animal Burrowing and Denning. En: *Treatise on Geomorphology* (J. F. Shroder, D.R. Butler, C.R. Hupp, eds.), Vol. 12: Ecogeomorphology, Academic Press, San Diego, 271-280.
- Cajal, J.L. (1989). Uso de hábitat por vicuñas y guanacos en la Reserva de Biosfera de San Guillermo. *Vida Silvestre Neotropical*, 2, 21-31.
- Cavin, R.M.; Butler, D.R. (2015). Patterns and trends in the fields of bioturbation, faunal-turbation, and zoogeomorphology. *Physical Geography*, 36 (3), 178-187. <https://doi.org/10.1080/02723646.2015.1026763>
- Cruz, I. (2004). Tafonomía de huesos de aves en Punta Medanos (Depto. Puerto Deseado, Santa Cruz, Argentina). En: *Contra viento y marea. Arqueología de la Patagonia* (M. T. Civalero; P. M. Fernández; A. G. Guraieb, eds.). Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano y Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires, 455-468.
- Cruz, I. (2006). Los huesos de pingüinos (*Spheniscidae*) de los sitios de Cabo Blanco (Santa Cruz, Patagonia Argentina). Análisis tafonómico y perspectivas arqueológicas. *Intersecciones en Antropología*, 7,15-26.
- Cruz, I. (2007). Avian Taphonomy: observations at two Magellanic penguin (*Spheniscus magellanicus*) breeding colonies and their implications for the fossil record. *Journal of Archaeological Science*, 34, 1252-1261. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.10.016>
- Cruz, I. (2014). Estudios sobre meteorización de huesos en Patagonia. *Revista Chilena de Antropología*, 29, 89-94.
- Cruz, I. (2015). Las investigaciones sobre preservación de huesos de aves y mamíferos en Patagonia (Argentina). *Archaeofauna*, 24, 189-204.
- Cruz, I.; Astete, F.; Nauto, G.; Borrero, L.A. (2010). La colonia de nidificación de pingüinos de Magallanes de Cabo Vírgenes a través del tiempo. En: *Arqueología de Pali Aike y Cabo Vírgenes* (L. A. Borrero; J. Charlin, eds.). Dunken, Buenos Aires, 137-145.

- Cruz, I., Lemaire, C.R.; Nauto, G.; Astete, F. (2014). Historia natural de pingüinos y lobos marinos en Patagonia. Desde la Patagonia. *Difundiendo saberes*, 11(17), 2-9.
- Cruz, I.; Muñoz, A.S.; Ercolano, B.; Lemaire, C.R.; Pretto, A.; Nauto, G.; Moreno, C. (2015a). Apostaderos de pinnípedos en Punta Entrada (Santa Cruz, Patagonia Argentina). Explotación humana e historia natural. *Magallania*, 43 (1), 291-308. <https://doi.org/10.4067/S0718-22442015000100016>
- Cruz, I.; Ercolano, B.; Cañete Mastrángelo, D.; Caracotche, M.S.; Lemaire, C.R. (2015b). Tafonomía y procesos de formación en Punto 96 (Punta Entrada, Santa Cruz, Argentina). *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano*, 24 (1), 96-115.
- Cruz I., Ercolano, B.; Muñoz, A.S.; Lemaire, C.R. (2016). Procesos de formación del registro arqueológico en dunas costeras: el caso de Punta Entrada (Santa Cruz, Argentina). *Actas del XIX Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, Universidad Nacional de Tucumán, S. M. de Tucumán, 1610-1615.
- de Agostini, A.M. (1945). *Guía Turística de los Lagos Australes Argentinos y Tierra del Fuego*. Buenos Aires, 58 pp.
- Emslie, S.D.; Polito, M.J.; Brasso, R.; Patterson, W.P.; Sun, L. (2014). Ornithogenic soils and the paleoecology of pygoscelid penguins in Antarctica. *Quaternary International*, 352, 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.07.031>
- Ercolano, B. (2012). Esquema evolutivo de Punta Entrada, desembocadura del río Santa Cruz. *Resúmenes de las VIII Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, XVI Coloquio de Oceanografía*. EDUPA, Comodoro Rivadavia, 106.
- Foro para la Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia (2008). Estado de conservación del Mar Patagónico y áreas de influencia – [on line]. *Edición del Foro*, Puerto Madryn, Argentina. Disponible en: <http://www.patagoniansea.org>.
- Frere, E.; Gandini, P.; Boersma, P.D. (1992). Effects of Nest Type and Location on Reproductive Success of the Magellanic Penguin *Spheniscus magellanicus*. *Marine Ornithology*, 20, 1-6.
- Frere, E.; Gandini, P.; Boersma, P.D. (1996). Aspectos particulares de la biología de reproducción y tendencia poblacional del pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) en la colonia de Cabo Vírgenes, Santa Cruz, Argentina. *El Hornero*, 14, 50-59.
- Gandini, P.; Frere, E.; Boersma, P. D. (1996). Status and conservation of Magellanic penguins *Spheniscus magellanicus* in Patagonia, Argentina. *Bird Conservation International*, 6, 307-316. <https://doi.org/10.1017/S0959270900001787>
- García Borboroglu, P.; Boersma, P.D. (2013). *Penguins: Natural History and Conservation*. University of Washington Press, Seattle, 360 pp.
- García Borboroglu, P.; Yorio, P.; Boersma, D.P.; del Valle, H.; Bertellotti, M. (2002). Habitat Use and Breeding Distribution of Magellanic Penguins in Northern San Jorge Gulf, Patagonia, Argentina. *The Auk*, 119(1), 233-239. [https://doi.org/10.1642/0004-8038\(2002\)119\[0233:HUABDO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1642/0004-8038(2002)119[0233:HUABDO]2.0.CO;2)
- Goddard Institute for Space Sciences – NASA (08/06/2012). Disponible en: http://data.giss.nasa.gov/tmp/gistemp/STATIONS/tmp_301879120000_14_0/station.txt
- Gutiérrez, J.L.; Jones, C. (2008). Ecosystem Engineers. In: *Encyclopedia of Life Sciences*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1-6. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0021226>
- Iantanos, N.; Villán, R. (2012). Cambio climático y geomorfología costera en Comodoro Rivadavia, provincia del Chubut, Patagonia argentina. En: *Libro de Resúmenes de las VIII Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, XVI Coloquio de Oceanografía*. EDUPA, Comodoro Rivadavia, Argentina, 106.
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut – KNMI Climate Explorer (06 de junio de 2012). Disponible en: http://climexp.knmi.nl/getprcpall.cgi?id=someone@somewhere&WMO=87912&STATION=SANTA_CRUZ_AERO&extraargs
- Kokot, R.; Codignotto, J.O. (2002). Geomorfología de la faja litoral de la Provincia de Santa Cruz. En: *Actas del XV Congreso Geológico Argentino* (N. Cabaleri; C.A. Cingolani; E. Linares; M.G. López de Luchi; H.A. Oстера; H.O. Panarello, eds.). Buenos Aires, Tomo II, 524-528.
- Lyman, R.L. (1994a). *Vertebrate Taphonomy*. Cambridge University Press, Cambridge, 576 pp. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139878302>
- Mazzoni, E.; Vázquez, M. (2010). Desertification in Patagonia. En: *Developments in Earth Surface Processes* (E. Latrubesse, ed.). Elsevier, Netherlands, 13, 351-377.
- Muñoz, A.S. (2017). Taphonomy of surface bone assemblages in coastal Patagonia, a case stu-

- dy. En: *Zooarchaeology in the Neotropics, Environmental diversity and human-animal interactions* (M. Mondini; A. S. Mu-oz; P. Fernández, eds.). Springer, Cham, en prensa.
- Muñoz, A.S.; Caracotche, M.S.; Cruz, I. (2009). Cronología de la costa al sur del río Santa Cruz: nuevas dataciones en Punta Entrada y Parque Nacional Monte León (Provincia de Santa Cruz, Argentina). *Magallania*, 37(1), 39-43.
- Oliva, G.; González, L.; Rial, P.; Livraghi, E. (2001). El ambiente en la Patagonia Austral. En: *Ganadería ovina sustentable en la Patagonia Austral* (P. Borelli; G. Oliva, eds.). INTA, Buenos Aires, 17-80.
- Rebstock, G.A.; Boersma, P.D.; García Borboroglu, P. (2016). Changes in habitat use and nesting density in a declining seabird colony. *Population Ecology*, 58, 105-119. <https://doi.org/10.1007/s10144-015-0523-0>
- Santos González, J.; Coronato, A.; Ghys, M.; Schiavini, A. (2006). Procesos erosivos generados por una colonia de pingüino magallánico (*Spheniscus magellanicus*), Isla Martillo, Canal de Beagle, Argentina. *Resúmenes de las VI Jornadas Nacionales de Geografía Física*, UARG-UNPA, Santa Cruz, Argentina, 56.
- Sawyer, C.F.; Butler, D.R. (2006). The Use of Historical Picture Postcards as Photographic Sources for Examining Environmental Change: Promises and Problems. *Geocarto International*, 21 (3), 73-80. <https://doi.org/10.1080/10106040608542395>
- Scolaro, J.A. (1978). El pingüino de Magallanes (*Spheniscus Magellanicus*). IV Notas biológicas y de comportamiento. *Publicaciones Ocasionales del Instituto de Biología Animal. Serie Científica*, 10, 1-6.
- Schiavini, A.; Yorio, P.; Gandini, P.; Raya Rey, A.; Boersma, P. D. (2005). Los pingüinos en las costas argentinas: estado poblacional y conservación. *El Hornero*, 20 (1), 5-23.
- Stokes, D.L.; Boersma, P.D. (1991). Effects of substrate on the distribution of Magellanic Penguin (*Spheniscus magellanicus*) burrows. *The Auk*, 108, 923-933.
- Stokes, D.L.; Boersma, P.D. (1998). Nest-Site characteristics and reproductive success in Magellanic Penguins (*Spheniscus magellanicus*). *The Auk*, 115, 34-49. <https://doi.org/10.2307/4089109>
- Tatur, A. (2002). Ornithogenic Ecosystems in the Maritime Antarctic. Formation, Development and Disintegration. En: *Geoecology of Antarctic Ice-Free Coastal Landscapes* (L. Beyer; M. Bölter, eds.). Ecological Studies, 154, 161-184. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56318-8_10
- Tatur, A.; Myrcha, A.; Niegodzisz, J. (1997). Formation of Abandoned Penguin Rookery Ecosystems in the Maritime Antarctic. *Polar Biology*, 17, 405-417. <https://doi.org/10.1007/s0030000050135>
- World Meteorological Organization (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observations*. Publication N° 8.
- Williams, T. D. (1995). *The Penguins. Spheniscidae*. Oxford University Press, UK, 298 pp.

