

Secuencia estratigráfica de las paleodunas y paleosuelos de Ventanas II en la costa de Chile Central (32°) y su implicancia paleoclimática¹

Stratigraphic sequence of the paleodunes and paleosols of Ventanas II in the coast of central Chile (32°) and its paleoclimatic implication

Misael Cabello² , Juan Luis García³ , Andrea Quilamán⁴ 
y Marco Pfeiffer⁵ 

RESUMEN

La costa de Chile central mantiene un amplio registro sedimentario eólico con un potencial como registro paleoambiental que ha permanecido sin mayor atención. En la ensenada de Quintero (32°S) sector de Ventanas se han descrito campos de paleodunas extensos con una estratigrafía que incluye secuencias de arenas intercaladas con paleosuelo, actualmente desconociendo el detalle de la morfogénesis y pedogénesis de estos registros y su significado paleoambiental. El objetivo de este trabajo es determinar las características sedimentológicas y pedogénicas, y las respectivas implicancias paleoambientales del sitio estratigráfico Ventanas II. Se aplican descripciones sedimentológicas, análisis de laboratorio, estadísticas y ambiente depositacional para reconocer facies sedimentarias e intensidad pedogenética. Se identificaron 13 unidades sedimentarias, clasificadas en cuatro facies: paleodunas, paleosuelos, paleohumedal y paleoplaya. Las unidades inferiores de la secuencia corresponden a un ambiente de humedal costero y playa, mientras que las unidades superiores a cinco paleosuelos intercalados con paleodunas, denotando un cambio en la paleogeografía dentro de la secuencia estratigráfica. La unidad 13 hacia la base es un paleosuelo desarrollado sobre material retrabajado de la Formación Horcón. Los paleosuelos y las paleodunas sugieren condiciones similares y recurrentes de humedad y sequía, respectivamente, causados por la migración latitudinal de los vientos del oeste durante el último periodo glacial en Chile central.

Palabras claves: Pleistoceno superior, paleodunas, paleosuelos, paleogeografía, paleoambiente, vientos del oeste.

¹ Este artículo se enmarca dentro del Proyecto Fondecyt N° 1200935 "Did Andean glaciers drive coastal dune formation during the last glacial cycle in central Chile?"

² Tesista programa de Magíster en Geografía y Geomática del Instituto de Geografía, Facultad de Historia, Geografía y Ciencia Política, Pontificia Universidad Católica de Chile. Correo electrónico: mecabello@uc.cl

³ Instituto de Geografía, Facultad de Historia, Geografía y Ciencia Política, Pontificia Universidad Católica de Chile. Correo electrónico: jgarciab@uc.cl

⁴ Tesista programa de Doctorado en Geografía del Instituto de Geografía, Facultad de Historia, Geografía y Ciencia Política, Pontificia Universidad Católica de Chile. Correo electrónico: Equilaman@uc.cl

⁵ Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Correo electrónico: mpfeiffer@uchile.cl

ABSTRACT

The coast of central Chile maintains an extensive eolian sedimentary record that has remained without much attention and has potential as a paleoenvironmental record. In the Quintero Bay (32°S), Ventanas sector, extensive paleodune fields have been described with a stratigraphy that includes sand sequences intercalated with paleosols, but details on the morphogenesis and pedogenesis of these records and their paleoenvironmental evolution remain unknown. This paper aims to determine the paleogeographic and paleoenvironmental implications of the Ventanas II stratigraphic site. By applying field, laboratory, statistical, and depositional environment descriptions we recognize sedimentary facies and pedogenetic intensity. In Ventanas II site, 13 sedimentary units were identified, which we classified into four facies: paleodune, paleosol, paleowetland, and paleobeach. The lower units of the sequence correspond to a coastal wetland and beach and the upper units (Units 10 to Unit 1) to five paleosols intercalated with paleodunes, denoting a change in the paleogeography within the stratigraphic sequence. The Unit 13 towards the base of the section is a paleosol developed on reworked sediments from the Horcón Formation. The paleosols and the paleodunes suggest similar and recurrent humid and dry conditions, respectively, caused by the latitudinal oscillation of the southern westerly winds during the last glacial period in central Chile.

Keywords: Late Pleistocene, paleodunes, paleosols, paleogeography, paleoenvironment, southern westerly winds.

Introducción

La depositación y acumulación de los actuales campos dunares en la costa de Chile central (31-35°S) es recurrente al norte de las desembocaduras de ríos y al interior de bahías lobuladas (Fuenzalida, 1956, Paskoff, 1970, Araya-Vergara, 1976, Paskoff y Manríquez, 2004). Las paleodunas descritas para estas áreas tienen una mayor extensión que las dunas actuales, lo que testimonia condiciones morfogenéticas eólicas más favorables durante el Pleistoceno (Araya-Vergara, 2001, Chase y Thomas, 2007, Castro, 2015, Veit *et al.*, 2015, García *et al.*, 2019 y Ellerton *et al.*, 2020). La presencia de paleosuelos intercalados entre las paleodunas demuestra cambios ambientales significativos en la costa de Chile Central (Fuenzalida, 1956, Veit *et al.*, 2015 y García *et al.*, 2019). Para la costa de Chile central, Veit *et al.*, (2015) y luego García *et al.* (2019) establecieron que entre los Estadios Isotópicos Marinos (MIS por sus siglas en inglés) 6 y 2 (180ka y 22ka), la depositación y acumulación eólica estuvo favorecida por el desplazamiento hacia el sur del Anticiclón del Pacífico Sur y del cinturón de vientos del oeste (SWW). Al contrario, el desplazamiento hacia el norte de los SWW favoreció la pedogénesis de las arenas y la consiguiente formación de suelos. Las secuencias de suelos y dunas enterradas demostrarían entonces los cambios ambientales en frecuencias temporales a escala orbital (decenas de miles de años) y sub-orbital (miles de años) (Veit *et al.*, 2015; García *et al.*, 2019). No obstante, aún se desconocen detalles de la morfogénesis y pedogénesis de estos registros eólicos que permitan mayor precisión en su interpretación ambiental y paleoclimática, siendo esto una tarea pendiente. Por ello, el objetivo de esta investigación es determinar las características sedimentológicas y pedogénicas y las respectivas implicancias paleoambientales del sitio estratigráfico Ventanas II, Comuna de Puchuncaví, Región de Valparaíso.

Dentro de los componentes que favorecen la formación de paleodunas, destacan el aporte de sedimentos, el clima y el nivel del mar (Veit *et al.*, 2015). La disponibilidad de sedimentos puede determinar la acumulación de arenas y la construcción de dunas (Londoño *et al.*, 2012). El clima juega un rol importante al establecer las condiciones climáticas que determinan la efectividad

de deflación (García *et al.*, 2019). La presencia de mayor humedad a lo largo de la costa de Chile central durante periodos discretos de los últimos 150 ka se debe, como señalan Pfeiffer *et al.*, (2011), Veit *et al.* (2015) y García *et al.* (2019) a la influencia de los vientos SWW. Veit *et al.* (2015) sugiere que el ciclo de oblicuidad tendría un efecto en los periodos húmedos de Chile central a través de una menor insolación en las altas latitudes (60°S), aumentando la masa de hielo marino en la Antártida, especialmente en los inviernos australes (Kidston *et al.*, 2011), vinculado también al debilitamiento del Anticiclón de Pacífico Sur, permitiendo que los vientos SWW se desplacen al norte transportando precipitaciones a latitudes menores. A lo anterior García *et al.* (2019) señala que las precipitaciones asociadas a los vientos del SWW tendrían el mismo un efecto climático y pedogenético en este segmento de la costa, pero recurrente cada miles de años dentro del último periodo glacial. Así mismo el nivel del mar condiciona la extensión de la plataforma costera y el área efectiva para la deflación, permitiendo el desplazamiento de las arenas medias y finas por saltación y suspensión (Pye y Tsoar, 1990, Lamy *et al.*, 1999, Veit *et al.*, 2015 y Nash *et al.*, 2018). Durante las regresiones marinas la plataforma continental queda expuesta a la acción del viento permitiendo el transporte de las arenas (Veit *et al.*, 2015), lo que es concordante con lo expuesto por Paskoff *et al.* (2002 citado en García *et al.*, 2019), al señalar que en costas rocosas la formación de paleodunas están relacionados a un bajo nivel del mar durante un periodo glacial, como evidencia Veit *et al.* (2015) para el último máximo glacial (UMG). Sin embargo, Veit *et al.* (2015) aclaran que los niveles bajos del mar no explican totalmente la ciclicidad en la formación de las paleodunas y paleosuelos, siendo una plausible explicación la presencia de terrazas marinas, ya que como indica Nash *et al.* (2018) las terrazas marinas aumentan las áreas disponibles para que el viento actúe, contribuyendo a la deflación eólica durante periodos más ventosos, posibilitando la depositación de arenas sobre los distintos niveles de las terrazas marinas.

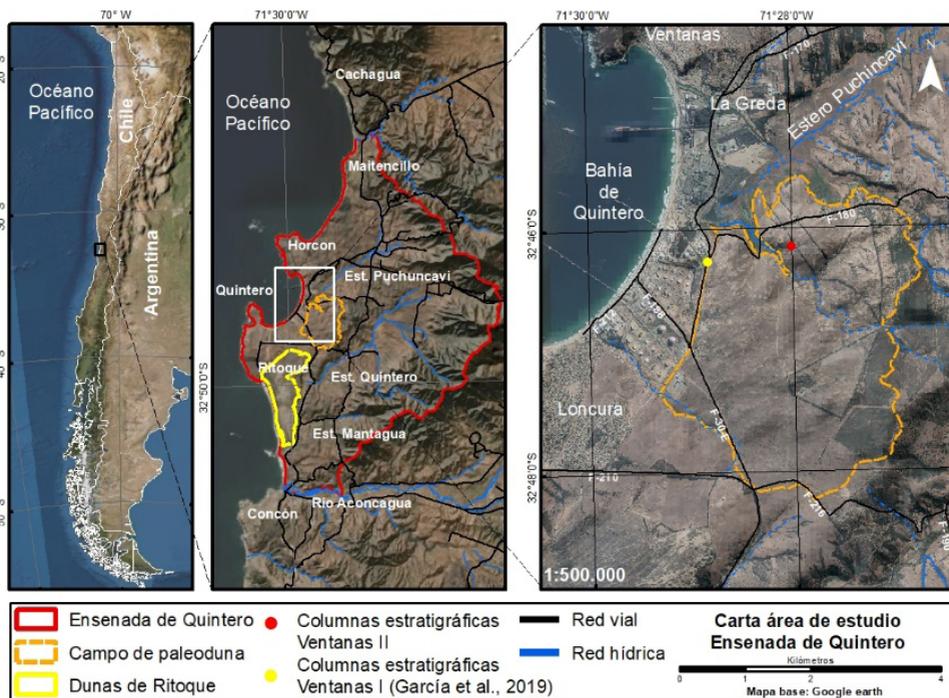
Área de estudio

En este estudio se presenta la descripción de atributos sedimentológicos y pedogenéticos de la sección estratigráfica denominada Ventanas II (32°46' S – 71°28' O), ubicada en la comuna de Puchuncaví, región de Valparaíso (Punto rojo - Figura N° 1). Esta columna estratigráfica se localiza dentro del campo de paleodunas del Pleistoceno superior (Rivano *et al.*, 1993; García *et al.*, 2019). El clima se caracteriza por ser de tipo mediterráneo con tendencia a la escasez de precipitaciones, pero con alta humedad atmosférica costera. La oscilación del viento ($\pm 10^\circ$) junto con el cinturón de lluvias producen inviernos fríos/húmedos con precipitaciones 400 a 600 mm anuales, y veranos cálidos/secos con temperatura promedio anuales de 14.8°C, valores de precipitaciones y temperaturas que varían interanualmente como respuesta a El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) (Garreaud y Falvey, 2008).

El campo de paleodunas, el sitio Ventanas II (Figura N° 2), se caracteriza por superficies suavemente onduladas de arenas poco consolidadas ocreas, muy bien seleccionadas, con estratificación cruzada asociada a dunas tipo barjanoide y con visibles efectos pedogenéticos de espesor variable decimétrico a métrico (García *et al.*, 2019). Bajo las paleodunas se encuentran dos unidades del Neógeno (Mioceno – Plioceno), la Fm. Confluencia, caracterizada por depósitos continentales aluviales aterrazados de 50 a 100 m de espesor, discordantes sobre el intrusivo de la Unidad Cavilolén y lateralmente indentada con la Fm. Horcón, conformada por depósitos marino-transicionales semiconsolidados que forman terrazas marinas sedimentarias de 45 a 100 m de

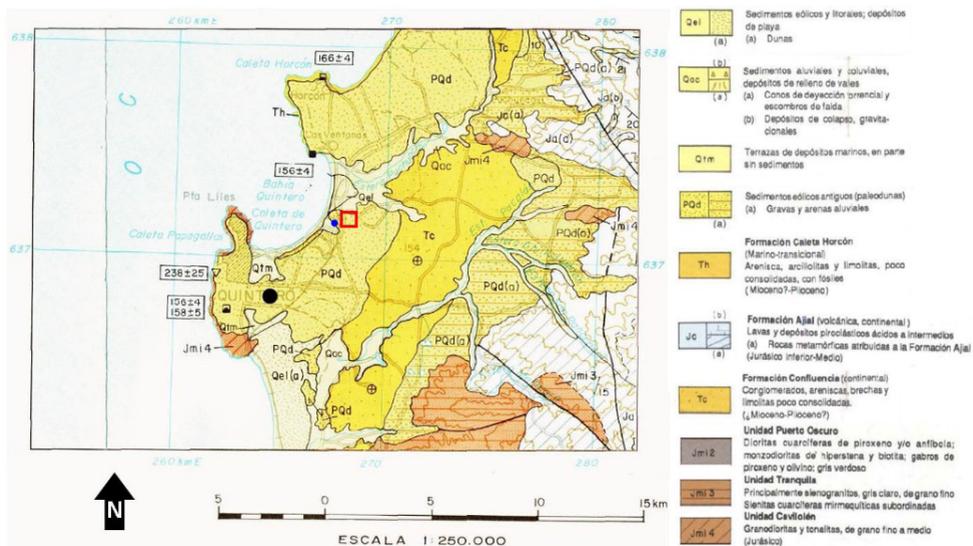
espesor de areniscas, limolitas, arcillolitas, conglomerados y coquinas con fósiles marinos (Figura N° 2). Esta formación ocurre con una discordancia erosiva sobre las rocas intrusivas y extrusivas (Mesozoica y Paleozoica) de las unidades Puerto Oscuro, Tranquila, Cavilolén y la Fm. Ajjal (Rivano *et al.*, 1993). Correlacionados al campo de paleodunas están los depósitos Holocénicos del campo de dunas de Ritoque y playas actuales (Rivano *et al.*, 1993 y Cuevas, 2017). Geomorfológicamente se observa una línea de costa rocosa baja e irregular entre secuencias de entradas y salientes, hacia el interior se extienden terrazas marinas escalonadas hasta los primeros contrafuertes de la cordillera de la Costa, las cuales se encuentran indentadas con las terrazas fluviales en las desembocaduras de ríos (Araya-Vergara, 1976). En particular, Ventanas II (punto rojo - Figura N° 1), es una secuencia estratigráfica expuesta en una cárcava de unos 15 m de profundidad y a 1,9 km de la bahía de Quintero y al norte de la desembocadura del río Aconcagua. La línea de costa esta segmentada por el *headland* donde está la ciudad de Quintero (Castro, 1987, Castro *et al.*, 2001 y Paskoff y Manríquez, 2004), el que provoca cambios en la dinámica depositacional asociada al tipo de zona de rompiente o TZR (Short, 1999 y Bird, 2008); al norte del *headland* (bahía de Quintero) el TZR es reflectiva, lo que marca una menor capacidad de transferencia sedimentaria reflejado en una costa estrecha y de alta pendiente; al sur (bahía de Ritoque) la costa es disipativa e intermedia, lo que se refleja en una costa más amplia y de baja pendiente, permitiendo una mayor transferencia de sedimentos (Castro, 1987; Castro *et al.*, 2001; Paskoff y Manríquez, 2004 y Soto y Arriagada, 2007). La deflación se ve favorecida por el régimen de los vientos SWW, que son impulsado por la circulación anticiclónica subtropical (Veit *et al.*, 2015 y García *et al.*, 2019).

Figura N° 1
Área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 2
Carta geológica



Recuadro rojo ubicación de Ventana II. Fuente: Rivano et al. (1993).

Material y Métodos

Sedimentología

En el campo se describieron las características sedimentarias y edafológicas, que incluyen espesor, estructuras, tipo de contactos, color y presencia de materia orgánica, que permitieron diferenciar dos tipos de unidades arenosa y areno-arcillosas. Estas características se definieron usando a la guía de campo de rocas sedimentarias (Stow, 2005), el Soil Survey Staff (Wieder et al., 2008), el Manual de Edafología de Casanova et al. (2004), el Manual de suelo de la FAO (2009), el libro de campo de Schoeneberger et al. (2012), la guía sedimentológica para el reconocimiento, descripción y clasificación de paleosuelos de Tabor et al. (2017) y la clasificación del tipo de horizonte exclusiva para paleosuelos de Marck et al. (1993). En terreno se evaluó la materia orgánica (H_2O_2) y los carbonatos (HCl) (Hall y Goble, 2012; Faust et al., 2015; García et al., 2019 y Bruno et al., 2020), obteniendo una nula presencia de ambos componentes. En el laboratorio de Geografía Física del Instituto de Geografía de la P. Universidad Católica de Chile, se determinaron las características texturales y densidad aparente.

Para las unidades arenosas las muestras se tamizaron y parametrizaron estadísticamente de acuerdo a Folk y Ward de 1957 usando Gradistat V9.1 (Blott y Pye, 2001 y Forman et al., 2014). También se elaboraron curvas de frecuencia acumulada (Visher, 1969) usando DPLLOT v2.3.4.4. Estos datos permitieron realizar interpretaciones del ambiente depositacional usando la Función Discriminante Lineal (FDL) de Sahu (1964), entre un ambiente Eólico o Playa.

La descripción textural de las unidades areno-arcillosas se aplicó el Método de Bouyoucos (Hall y Goble, 2012; Faust et al., 2015; García et al., 2019 y Bruno et al., 2020). Se utilizan 100 gr de

muestra y 10 ml de Hexametáfosfato de sodio al 5% (Araya-Vergara, 2011). La primera medición, a los 40 segundos corresponde al valor de la densidad (g/l) de la suspensión de los limo y arcillas, ya que a los 40 segundos decantan las arenas (Ley de Stokes), inmediatamente se toma la temperatura (°C), para corregir los valores del densímetro, donde se suman 0,3 g/l por cada grado mayor a 20°C o se restan 0,3 g/l por cada grado menor a 20°C. Dos horas después se repite la medición y se obtiene el valor de la densidad de suspensión de las arcillas.

Intensidad de Pedogénesis

Junto con la textura, para establecer la intensidad pedogenética se obtuvieron las características de las unidades areno-arcillosas como la densidad aparente (Schaetzl y Anderson, 2005, FAO, 2009 y Pfeiffer, 2011) y el Índice de Desarrollo de Suelo (IDS) de Harden (1982). La densidad aparente, propiedad física que busca establecer el estado de compactación y la cantidad de espacios porosos del suelo, cuantificando el volumen del material ocupado por los granos, el cual aumenta con la profundidad. La variación en la densidad aparente depende de la cantidad de materia orgánica, la textura y el empaquetamiento de los sedimentos (Schaetzl y Anderson, 2005, FAO, 2009 y Pfeiffer, 2011). Los suelos arcillosos y limosos tienden a una baja densidad aparente al tener una mayor cantidad de microporos, a diferencia de los suelos franco arenosos y franco arcillo arenosos, que son más densos (compactos) por las arcillas y limos que llenan más poros entre las arenas; los suelos orgánicos tienen menor densidades por la gran cantidad de macro poros (Schaetzl y Anderson, 2005 y FAO, 2009). La mayoría de los suelos en su estado natural tienen una densidad entre los 1,1 a 1,6 g/cm³ (Schaetzl y Anderson, 2005 y FAO, 2009). La densidad aparente se obtuvo con el método del cilindro (Sandoval et al, 2012) usando muestras de suelo con volumen conocido secados al horno por 24 horas (100 ó 105 °C). El peso en seco es dividido por el volumen de la muestra (volumen del cilindro), obteniendo así el valor de la densidad aparente (Schaetzl y Anderson, 2005, FAO, 2009 y Sandoval et al., 2012).

El Índice de Desarrollo de Suelo (IDS) es el índice morfológico de campo más utilizado para establecer las características de desarrollo de los perfiles de suelo o paleosuelos, al comparar la evolución de los horizontes con respecto a su material parental (Schaetzl y Anderson, 2005). Para ello se utilizaron siete de las ocho propiedades establecidas por el IDS: Película de arcilla, textura, rubefacción, estructuras, consistencia en húmedo y seco y melanización (Harden, 1982); no se consideró el pH al variar por distintos motivos y no sólo por su temporalidad. Al ser “abierto” este índice permite agregar o eliminar propiedades por parte de los investigadores (Knuepfer 1988 citado en Schaetzl y Anderson, 2005). Su cuantificación se realizó asignando puntos por cada grado de variación entre el horizonte y su material parental. Posteriormente los valores de cada propiedad son normalizados, al dividir por el valor máximo que puede variar cada propiedad, obteniendo un rango entre 0 y 1 (0 a 100%). Las propiedades normalizadas por cada horizonte se suman, el total se divide por el número de propiedades obteniendo el Índice de Horizonte (IH). El IH se multiplica por el espesor del horizonte, y el producto de cada horizonte se suma para así finalmente obtener el IDS, donde los valores más altos son los suelos de mayor desarrollo (Harden, 1982 y Schaetzl y Anderson, 2005). La primera propiedad es la textura, se evalúa en húmedo para dar cuenta del contenido de arcilla, asignando puntos por cada cambio en textura, plasticidad y adherencia. La segunda propiedad es la rubefacción, se utiliza el HUE y CROMA de la tabla Munsell, se mide en seco y húmedo y se asignan puntos por cada cambio en que se hace más rojizo. La melanización, se entiende como el oscurecimiento del horizonte por la acumulación de material orgánica, se usa el dato del *Value* (Valor) de la tabla Munsell y los puntos se asignan por cada vez

que decrece el *Value*. La cuarta y quinta propiedad son la consistencia en seco y húmedo, evalúa el grado en que los suelos se vuelven más duros y firmes a medida que los agregados se unen con más fuerza por las arcillas, los compuestos de óxido y orgánicos formados en el suelo, se asignan puntos por cada aumento en la dureza (seco) y firmeza (húmeda) de cada horizonte. La estructura cuantifica el grado (cohesión) y el tipo (forma) de los agregados que se han formado, asignando puntos para la variación en el tipo y el aumento en el grado de la estructura. Finalmente, la propiedad de película de arcilla, es un buen indicador de la presencia de arcillas pedogenéticas desarrolladas, se asignan puntos por cada variación en base a la abundancia, espesor y ubicación de las arcillas observadas a ojo desnudo.

Resultados

Estratigrafía

La identificación de las unidades geomorfológicas (Figura N° 3) permite comprender la evolución de la ensenada de Quintero. Donde una de las principales unidades geomorfológicas que está presente en toda la ensenada y que han configurado las distintas paleolíneas de costa, son las 5 terrazas marinas sobre la Fm. Horcón, especialmente T1 a ~45 msnm donde se encuentra depositado el campo paleodunar y se emplaza Ventanas II. El *headland* donde está la ciudad de Quintero, general al sur de este una línea de costa más efectiva para la acumulación de las arenas, primero por el TZR entre disipativa e intermedia y una mayor transferencia de arenas hacia la costa y una posición más activa para la acción del viento del SWW, como lo evidencia la extensión de las dunas (barjanoides) y playa de Ritoque. Configuración no presente al norte del *Headland*, por la ausencia de duna y una playa más acotada.

La secuencia estratigráfica completa incluye 13 unidades sedimentarias las que se encuentran en contacto erosivo y sobreyacente a la Fm Horcón (Cuadro N° 1; Figura N°3). Estas unidades fueron identificadas en cuatro columnas estratigráficas A1-A4 (Figura N° 4).

Cuadro N° 1

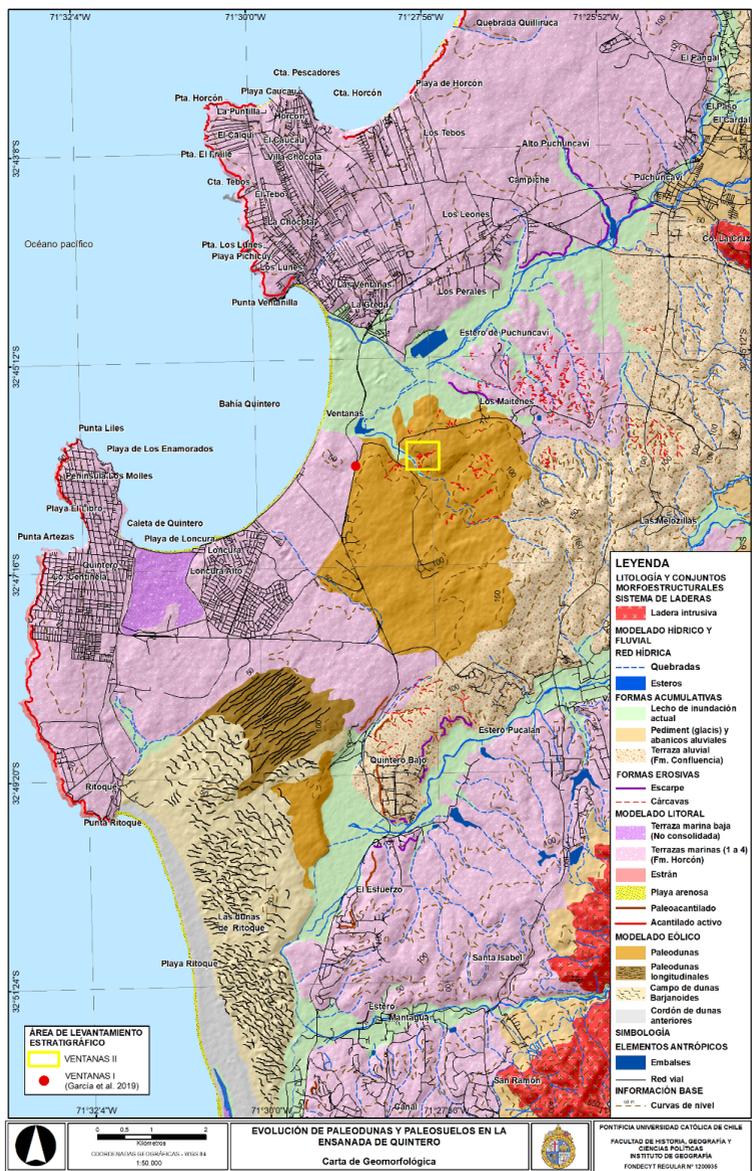
Columnas estratigráficas y unidades asociadas a Ventanas II

COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	COORDENADAS UTM		ESPESOR TOTAL COLUMNA (m)	UNIDADES	ESPESOR DE UNIDADES* (m)
	ESTE (X)	NORTE (Y)			
COLUMNA A1	269092,5	6371649,2	2,91	VEN_20_01 VEN_20_02	1,30 1,61
COLUMNA A2	269085,3	6371641,9	1,10	VEN_20_03 VEN_20_04	0,45 0,65
COLUMNA A3	269099,4	6371628,1	10,74	VEN_20_01 VEN_20_02 VEN_20_03 VEN_20_04 VEN_20_05 VEN_20_06 VEN_20_07 VEN_20_08 VEN_20_09 VEN_20_10	1,10** 0,90** 0,50** 1,60** 0,60 3,42 0,92 0,87 0,33 0,50

COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	COORDENADAS UTM		ESPESOR TOTAL COLUMNA (m)	UNIDADES	ESPESOR DE UNIDADES* (m)
	ESTE (X)	NORTE (Y)			
COLUMNA A4	269982,3	6371540	3,2	VEN_20_10 VEN_20_11 VEN_20_12 VEN_20_13	1,00** 0,30 1,60 0,30**

*Donde se describió; ** Espesores aproximados usados de referencia para unidades no medida en el lugar. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3
Carta geomorfológica Ensenada de Quinteros



Fuente: Elaboración propia.

Debido a la repetición cuasi-cíclica de las unidades sedimentarias identificadas es que la descripción sedimentaria se realiza en conjunto para evitar redundancia y así poder diferenciar las facies sedimentarias representativas. En terreno se reconocieron seis unidades sedimentarias que presentan características similares, especialmente el predominio de las arenas y falta de cohesión, lo que permite identificarlas como unidades arenosas asociadas a los códigos con números pares: de VEN_20_02 a VEN_20_12 (Cuadro N° 1). Las siete unidades restantes presentan como principal característica y que las diferencia con las unidades arenosas es la presencia significativa de arcillas, lo que permite una cohesión entre los sedimentos y cambio de color; estas unidades se identifican con unidades areno-arcillosas vinculadas a los códigos impares de VEN_20_01 a VEN_20_13, siendo VEN_20_11 una variante como se describe más abajo (Cuadro N° 1). Otra de las características que permitieron diferenciar a las unidades fue el tipo de contactos (Figura N° 4). Todas las unidades excepto VEN_20_11 y VEN_20_12, tienen la misma alternancia de contacto; entre las unidades areno-arcillosas y las arenosas (infrayacen) sus contactos son graduales (líneas segmentadas), entre las unidades areno-arcillosas y las arenosas (sobreyacen) sus contactos son netos (líneas continuas). Entre las unidades VEN_20_11 y VEN_20_12, hay un contacto nítido (Techo y base).

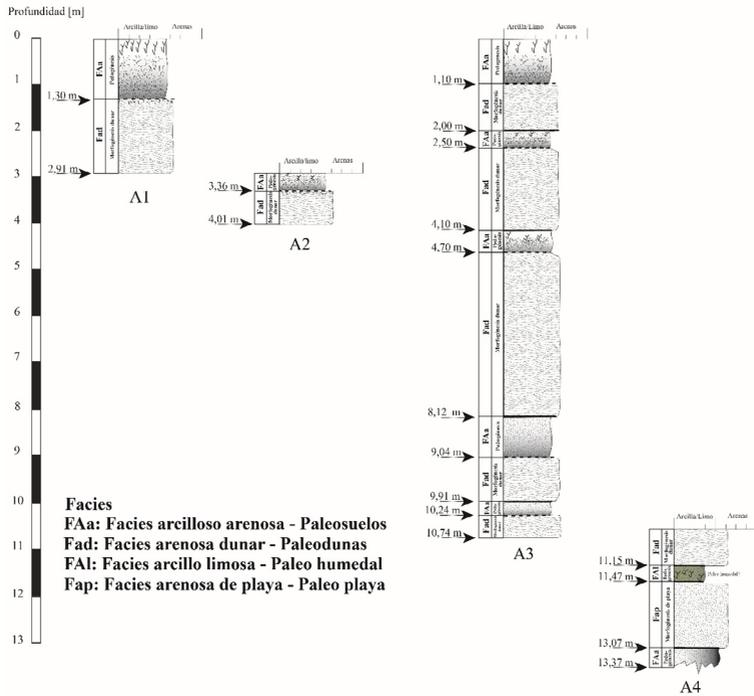
Dada la distancia de solo algunas decenas de metros entre A1 y A2 su relación estratigráfica lateral fue fácil de determinar. En la columna A1 (Figura N° 5) se reconocen dos unidades, la unidad arcillosa (VEN_20_01) y la unidad arenosa (VEN_20_02), en la superficie de esta columna se encuentra un horizonte orgánico (HO) que se caracteriza por sostener vegetación actual, bajo el contacto de VEN_20_01 y VEN_20_02 se aprecian láminas que corresponde a Lamelas (*Clay lamellae*) de espesor menor a 2 cm. En cuando a la columna A2 (Figura N° 5), también se identifican dos unidades, VEN_20_03 mayormente arcillosa y VEN_20_04 más arenosa. Estas unidades se conectan lateralmente por VEN_20_03.

En un brazo paralelo a las columnas A1 y A2, se encuentra la columna estratigráfica A3 (Figura N° 6), en la cual desde techo a base se identifican 10 unidades, desde VEN_20_01 hasta VEN_20_10, en aproximadamente 10,74 m de potencia. La relación entre estas tres columnas se debe a la presencia de la unidad VEN_20_04, que funciona como unidad o capa guía. Por acceso, aquí se describieron solo seis unidades, desde VEN_20_05 a VEN_20_10, donde tres se clasifican como unidades areno-arcillosas (VEN_20_05, VEN_20_07 y VEN_20_09) y tres como unidades arenosas (VEN_20_06, VEN_20_08 y VEN_20_10). La unidad arenosa VEN_20_06, es la de mayor potencia de Ventanas II. Una característica importante a destacar es la presencia de estratificación cruzada en las unidades arenosas VEN_20_02 y VEN_20_04 en A3. La unidad VEN_20_10, tiene un espesor desconocido por el material que cubre la base de A3.

En cuanto a la columna estratigráfica A4 (Figura N° 7), ésta se localiza a aproximadamente a 146 m de la columna A3. La conexión estratigráfica entre ambas columnas se pudo realizar siguiendo VEN_20_09 y VEN_20_11, ambas unidades areno-arcillosas y que se identifican a lo largo del eje principal de la cárcava. En la columna A4 se identifican cuatro unidades, dos unidades arenosas como VEN_20_10 y VEN_20_12 y dos areno-arcillosas, VEN_20_11 y VEN_20_13. En la base de A4 no se pudo identificar el espesor de la unidad VEN_20_13 (enterrado), pero de acuerdo con lo observado en terreno esta sobreyace directamente a la Fm. Horcón.

Figura N° 4

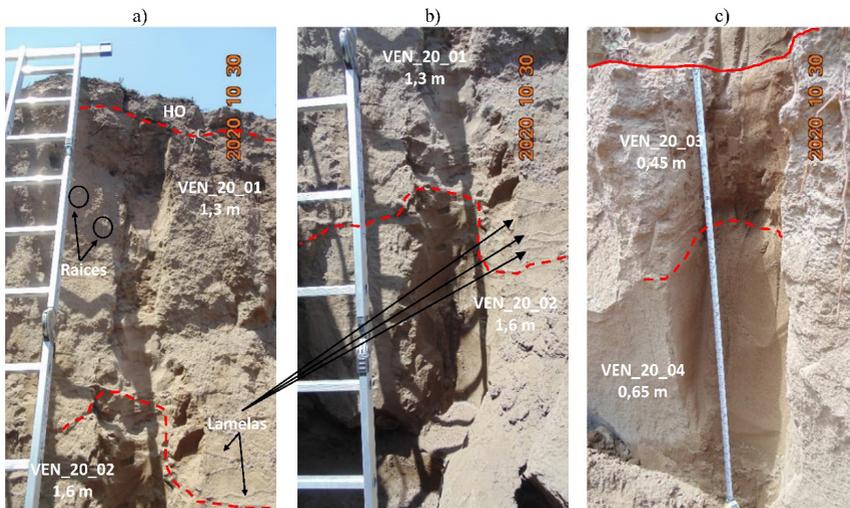
Columnas estratigráficas A1-A4 que conforman la secuencia estratigráfica tipo del sitio de Ventanas II.



Fuente: Elaboración propia.

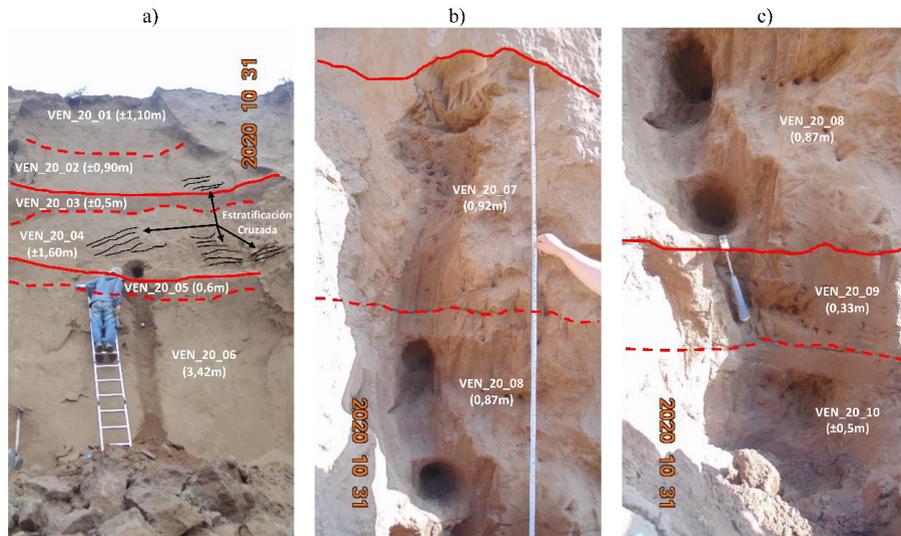
Figura N° 5

Columnas estratigráficas A1 (a y b) y A2 (c).



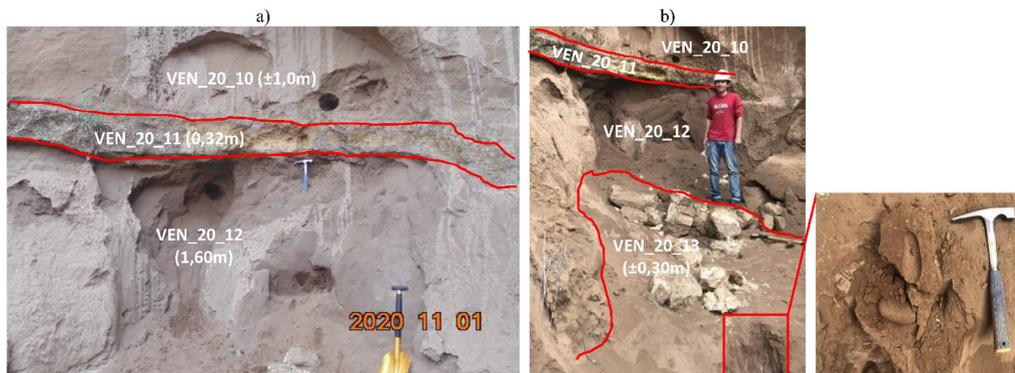
Las imágenes (a) y (b), se observan las unidades VEN_20_01 (areno-arcillosa) y VEN_20_02 (arenosa). Sobre VEN_20_01 se observa un horizonte orgánico (HO). Bajo el contacto de VEN_20_01 y VEN_20_02 se aprecian Lamelas (*Clay lamellae*) de espesor menor a 2 cm (Flechas negras). En la imagen (c) se presentan las unidades VEN_20_03 (areno-arcillosa) y VEN_20_04 (arenosa). Las líneas continuas corresponden a los contactos nítidos y las líneas segmentadas identifican a los contactos graduales. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6
Columna estratigráfica A3



La imagen (a), (b) y (c) se observan 10 unidades entre las unidades areno-arcillosas (impares) y arenosas (pares) desde VEN_20_01 a VEN_20_10. Las unidades de las imágenes (b) y (c) se describieron hacia el costado derecho debido a material que cubre la base de A3. Las líneas continuas corresponden a los contactos nítidos y las líneas segmentadas identifican los contactos graduales. Los espesores de las unidades VEN_20_01 al VEN_20_04 dentro de esta A3 son de referencia. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 7
Columna estratigráfica A4



En la imagen (a) se observan tres unidades, dos arenosas (VEN_20_10 y VEN_20_12) y VEN_20_11 (areno-arcillosas); esta última corresponde a una capa guía, donde su techo y base presentan un contacto nítido (línea continua). La imagen (b) muestra a VEN_20_13 (areno-arcilloso) con aparente grado de alteración y presencia de cantos rodados probablemente de la Fm. Horcón subyacente, (ver impronta en el sedimento areno-arcilloso VEN_20_13 en el detalle de la imagen inferior derecha). Fuente: Elaboración propia.

Unidades arenosas

Las seis unidades arenosas (VEN_20_02, VEN_20_04, VEN_20_06, VEN_20_08, VEN_20_10 y VEN_20_12) tienen un predominio de arenas finas a arenas muy finas (Figura N° 8), y VEN_20_02, la unidad con la mayor concentración de arenas medias (38,34%). Todas las muestras presentan un porcentaje residual de finos (limos y arcillas) inferior al 7%. Desde VEN_20_02 hasta VEN_20_08 hay una disminución en la proporción de las arenas con la profundidad desde un 99,3% a un 92,3%, pero la proporción vuelve a aumentar en las VEN_20_10 (96,7%) y VEN_20_12 (99,4%) (Figura N° 8). Cinco de las seis unidades se clasifican como arenas finas bien seleccionadas y solo la unidad VEN_20_02 como moderadamente seleccionada. Cinco de las seis unidades son sub redondeadas a sub angulosas con moderada esfericidad, aunque VEN_20_12 es redondeada. A simple vista presentan una estructura masiva, sin embargo, VEN_20_02 y VEN_20_04 presentan estratificación cruzada (Figura N° 6). El color de las arenas en húmedo muestra que cinco de las seis unidades son pardo oscuro (10 YR 3/3) y VEN_20_12, pardo muy oscuro (7,5 YR 2,5/2). En seco, cuatro de las seis unidades son pardo (10 YR 4/3) y VEN_20_04 pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) y VEN_20_12 pardo oscuro (10 YR 3/3).

De acuerdo con las curvas de frecuencia acumulada (Figura N° 8) se observan que cuatro de las seis unidades predominan el transporte de saltación y suspensión, y las unidades VEN_20_08 y VEN_20_12 presentan tracción. En VEN_20_02, la saltación comprende a arenas gruesas y medias y la suspensión a las arenas finas y muy finas. Las unidades VEN_20_04, VEN_20_06 y VEN_20_10 la saltación abarca a las arenas medias y finas y la suspensión a las arenas muy finas. Para VEN_20_08 y VEN_20_12 el transporte de tracción abarca las arenas gruesas y medias, la saltación a las arenas finas y la suspensión a las arenas muy finas (Figura N° 8).

La Función Discriminante Lineal (FDL) caracteriza el ambiente depositacional mediante la estadística de Folk y Ward (1957) (Cuadro N° 2), donde el primer resultado entre un ambiente depositacional de "Playa" o "Eólico", muestra que VEN_20_02, VEN_20_06, VEN_20_08 y VEN_20_10 responden a un ambiente eólico. La muestra VEN_20_04, sugiere un ambiente de playa, pero la presencia de estratificación cruzada evidencia su ambiente eólico. VEN_20_12 sugiere un ambiente depositacional de Playa.

Cuadro N° 2

Función Discriminante Lineal a las unidades arenosas

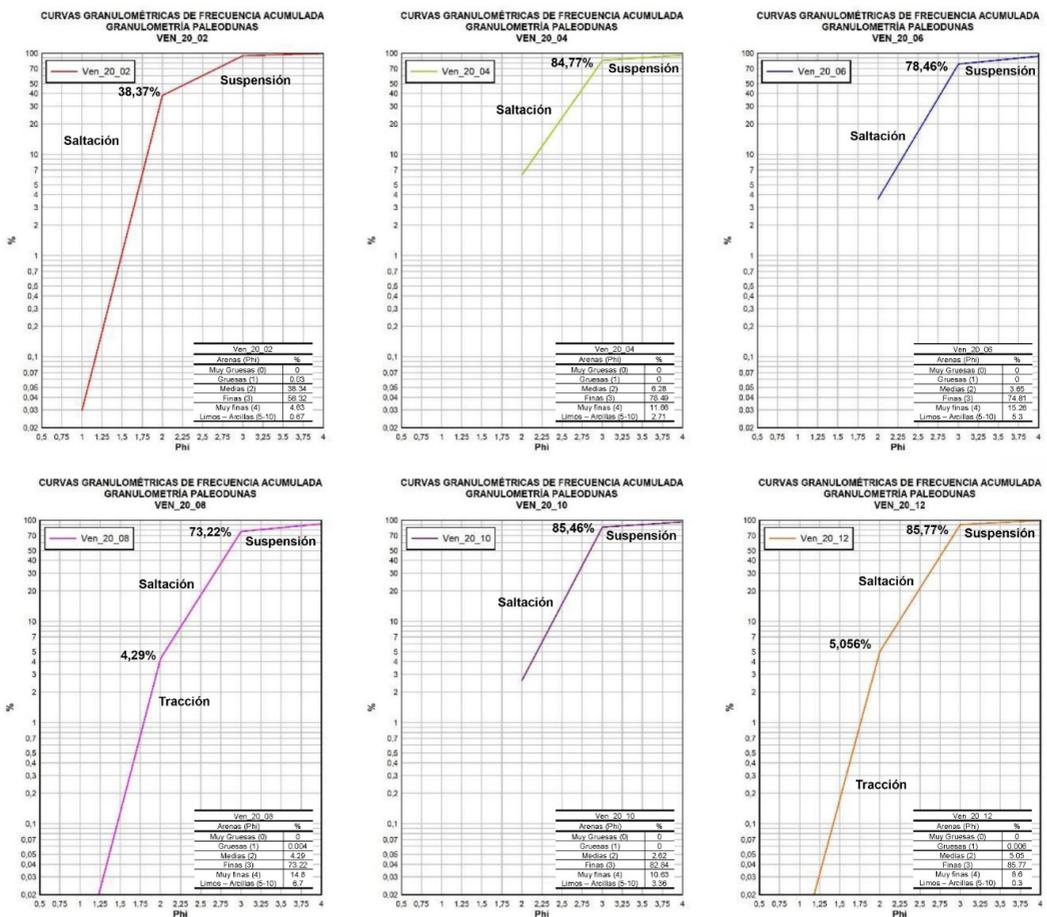
MUESTRAS UNIDADES ARENOSAS	ESTADÍSTICAS SEGÚN FOLK Y WARD (1957)				FUNCIÓN DISCRIMINANTE LINEAL (SAHU, 1964)
	Media (M _c)	Desviación Estándar (σ_c)	Asimetría (Sk _c)	Curtosis (K _c)	Eólico V/S Playa
VEN_20_02	2.393 Arenas finas	0.516 Moderadamente bien seleccionada	-0.445 Muy asimétrica negativa	0.595 Muy platicurtica	-4.778
VEN_20_04	2.755 Arenas finas	0.397 Bien seleccionada	0.039 Simétrica	2.401 Muy Leptocurtica	-1.854
VEN_20_06	2.938 Arenas finas	0.437 Bien seleccionada	0.539 Muy asimétrica positiva	1.678 Muy Leptocurtica	-10480.322

MUESTRAS UNIDADES ARENASAS	ESTADÍSTICAS SEGÚN FOLK Y WARD (1957)				FUNCIÓN DISCRIMINANTE LINEAL (SAHU, 1964)
	Media (M_z)	Desviación Estándar (σ_z)	Asimetría (Sk_z)	Curtosis (K_z)	Eólico V/S Playa
VEN_20_08 Arenas finas	2.933	0.436	0.536	1.671	-5.674
VEN_20_10 Arenas finas	2.762	0.296	0.283	1.703	-4.818
VEN_20_12 Arenas finas	2.748	0.361	0.055	2.284	-2.328

Valores expresados en Phi. En amarillo: ambiente depositacional eólico; en rojo, ambiente depositacional de playa. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 8

Curvas de frecuencia acumulada de unidades arenosas



Fuente: Elaboración propia.

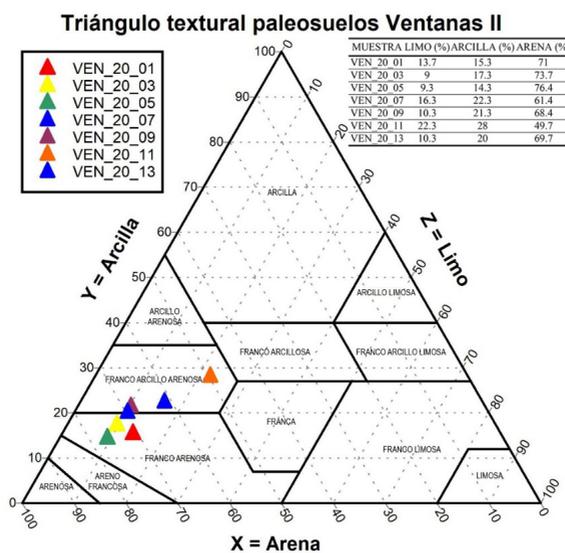
Unidades areno-arcillosas

Las siete unidades areno-arcillosas (VEN_20_01, VEN_20_03, VEN_20_05, VEN_20_07, VEN_20_09, VEN_20_11 y VEN_20_13), denominadas así por su relativa abundancia de arcillas dentro de la dominancia de arenas, se determinó su granulométrica y clase textural según la clasificación de la USDA mediante el Método de Bouyoucos. Seis de las siete unidades presentan en la primera lectura (40 seg.) una concentración menor al 40% de limos y arcillas y sólo VEN_20_11 un 50,3% de limos y arcillas (Figura N° 9). A las dos horas la suspensión muestra una concentración de arcillas entre 14,3 y 28% (Figura N° 9), donde VEN_20_11 es la unidad con la mayor cantidad de arcillas (28%). Con estos porcentajes se obtuvo la clase textural (Figura N° 9), donde VEN_20_01, VEN_20_03 y VEN_20_05 son FRANCO ARENOSA y VEN_20_07, VEN_20_09, VEN_20_11 y VEN_20_13 son FRANCO ARCILLO ARENOSA.

En cuanto a su estructura, seis de las siete unidades se clasifican como bloques sub angulares medios a gruesos, sin poros y raíces aparentes (rizolitos). VEN_20_11 posee estructura de gránulos medios con un 15 a 20% de marca de raíces y poros (Figura N° 10). En cuanto al color en seco, cinco unidades son pardo, 7,5YR 5/3 (VEN_20_01, VEN_20_05 y VEN_20_07) y 7,5YR 5/4 (VEN_20_03 y VEN_20_13), VEN_20_06 es pardo claro (7,5YR 6/3) y VEN_20_11 pardo pálido (2,5 Y 8/3). En húmedo seis de las siete unidades son pardo oscuro, entre 7,5 YR 3/3 (VEN_20_01, VEN_20_05, VEN_20_07, VEN_20_09 y VEN_20_13) y 7,5 YR 3/4 (VEN_20_03). En húmedo VEN_20_11 muestra una graduación desde el techo a su base entre Amarillo oliva (2,5 Y 6/6) a pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4).

Una característica distintiva solo apreciable de manera evidente hacia las bases de VEN_20_01 y VEN_20_03, es la presencia de lamelas (*clay lamellae*), con espesores de 2 a 0,3 cm que disminuyen con la profundidad hacia la unidad infrayacente (Figura N° 11).

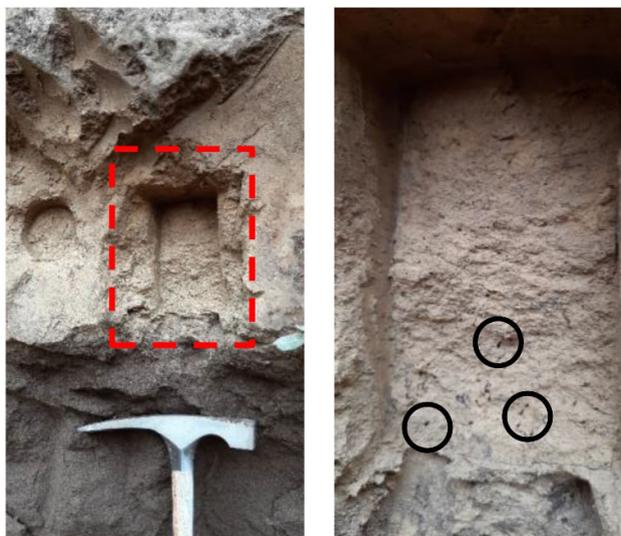
Figura N° 9
Clasificación textural a las unidades areno-arcillosas



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10

Rizolitos (círculos negros) en la unidad VEN_20_XX.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 11

Intercalaciones de lamelas de arcillas, hacia la base del paleosuelo VEN_20_01 en la columna A1. (a) Se aprecian las diferencias en el color pardo o café de las lamelas. (b) Mismo sector donde se observan las lamelas que se conservan por la concentración de arcillas. En ambas imágenes las lamelas tienen un espesor de 2 a 0,3 cm de disminuye con la profundidad.



Fuente: Elaboración propia.

Facies sedimentarias

Las características sedimentológicas descritas para las 13 unidades de las cuatro columnas estratigráficas, permiten agruparlas en cuatro facies: **(a)** Facie Arenosa Dunar (VEN_20_02, VEN_20_04, VEN_20_06, VEN_20_08 y VEN_20_10), que se interpretan como **Paleodunas**, al ser texturalmente arenosa con alto contenido de arenas finas (>90%), casi nula presencia de arcillas (<7%), con estratificación cruzada (Ej. VEN_20_04) y un ambiente depositacional eólico de acuerdo a la FDL, pese a que VEN_20_02 arrojó un ambiente de playa, la presencia de estratifica-

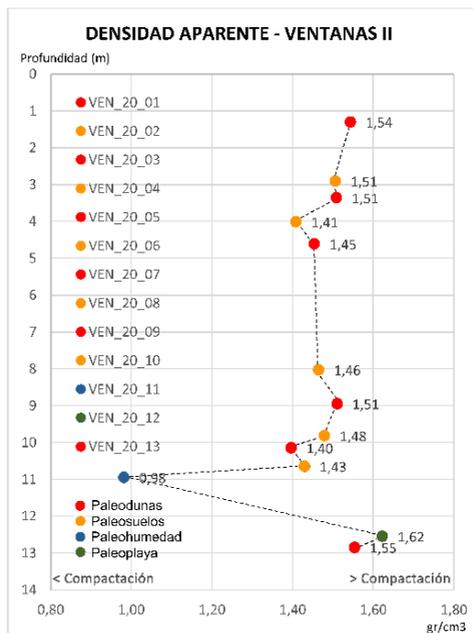
ción cruzada refuerza que es una paleoduna; **(b)** Facie Arcillo Arenosa (VEN_20_01, VEN_20_03, VEN_20_05, VEN_20_07, VEN_20_09 y VEN_20_13), se interpretan como *Paleosuelos*, por su alto contenido de arcilla (15 – 22%), texturalmente son franco arenosa y franco arcillo arenosa de tonos pardos, estructuralmente son bloque sub-anguloso, escasa presencia de poros y raíces (rizolitos); **(c)** Facie Arcillo Limosa, correspondiente a la unidad VEN_20_11, se interpreta como un posible *Paleohumedal*, es la unidad con el mayor contenido de arcilla (28%) y limo (22,3%), texturalmente es franco arcillo arenosa, en seco de color pardo, pero en húmedo grada desde el techo a la base y estructuralmente granular con una clara presencia de poros y raíces. Finalmente, **(d)** Facie Arenosa de Playa, corresponde a VEN_20_12, se interpreta como una *Paleoplaya*, ya que acuerdo a la FDL su ambiente depositación es “Playa”, lo que es reforzado al presentar un predominio de arenas fina con escasa presencia de arcillas y limos, con estructura masiva de consistencia suelta y de tonos pardos.

Estas cuatro facies quedan distribuidas y expresadas en la Figura N° 4, que contiene a las cuatro columnas estratigráficas que componen el sitio Ventanas II.

Pedogénesis en paleosuelos

El grado evolutivo de los paleosuelos (unidades areno-arcillosas) se obtiene comparándolo con su material parental mediante la densidad aparente y el Índice de Desarrollo de Suelos (IDS). Este último se aplicó a los paleosuelos (menos VEN_20_13) y sus respectivos materiales parentales (Paleo dunas).

Figura N° 12
Densidad aparente paleosuelos Ventanas II



Fuente: Elaboración propia.

Densidad aparente

La densidad aparente para las diez primeras unidades y el paleosuelo VEN_20_13, muestran muy poca variabilidad en el grado de compactación a medida que aumenta la profundidad, oscilando entre 1,40 a 1,55 g/cm³ (Figura N° 12). Al comparar la densidad aparente entre los paleosuelos y sus respectivos materiales parentales (unidades arenosas), se observan valores levemente mayores en los primeros respecto de los segundos (Figura N° 12). Esta condición cambia con los valores de VEN_20_11 (paleohumedal) con 0,98 gr/cm³, lo que equivale a una menor compactación y mayor porosidad; en cuanto a VEN_20_12 (paleoplaya), su valor es de 1,62 gr/cm³ es el valor de mayor densidad (Figura N° 12).

Índice de desarrollo de suelo (IDS)

Con la descripción morfológica de los paleosuelos y sus respectivos materiales parentales, se procedió a la cuantificación, donde el material parental al ser el estado inicial para la comparación se le asignan 0 puntos. Respecto de la rubefacción el Cuadro N° 3 muestra los puntajes del HUE y CROMA que representan cambios en el grado de enrojecimiento. Los cinco paleosuelos tienen en seco y húmedo un HUE de 7.5 YR, lo que equivale asignar 10 puntos de variación con respecto al material parental que en seco y húmedo tienen un HUE de 10YR. Respecto del CROMA, cuatro de los cinco paleosuelos no muestran cambios en seco y húmedo (/3), y solo en húmedo VEN_20_03 varía el CROMA de /3 (material parental) a /4 (10 puntos). Como resultado, se obtiene que cuatro de los cinco paleosuelos suman 20 puntos y sólo VEN_20_03 suma 30 puntos. Al dividir por los 190 puntos máximos que pueden variar, se obtiene como normalización un 11 y 16% (Cuadro N° 4), lo que se infiere como un bajo grado de enrojecimiento para los suelos estudiados. La melanización (Cuadro N° 3), en húmedo y seco, todos los paleosuelos no muestran una disminución en el *Value* para evidenciar la presencia de materia orgánica, asignando 0 puntos todos. Como resultado, la suma en seco y húmedo es 0 puntos y al dividirlos por los 70 puntos máximos, se obtiene que la normalización es 0% (Cuadro N° 4).

La clase textural (Cuadro N° 3), se obtiene en base a la *Textura*, el grado de *Pegajosidad* (adherencia) y *Plasticidad*. Texturalmente los paleosuelos VEN_20_01; VEN_20_03 y VEN_20_05, son francos arenosos y los paleosuelos VEN_20_07 y VEN_20_09, franco arcillo arenosos. La *Pegajosidad* para los cinco paleosuelos se clasifica como *Pegajosa* y la *Plasticidad* como *Plástica*, las muestras de paleosuelos en húmedo se agrietan por la cantidad de arena. Como resultado, se obtiene que los paleosuelos franco arenosos suman 60 puntos y los francos arcillo arenosos 70 puntos. Al dividirlos por 90 puntos máximo la normalización es entre 67 y 78%, respectivamente, lo que se infiere como un alto grado de variación en relación con el material parental (Cuadro N° 4).

La clase de estructura (Cuadro N° 3) evalúa el tipo de agregados (*peds*) en función del *Grado* de cohesión y el *Tipo* o forma del ped. Todos los paleosuelos tienen un *Grado Moderado* de cohesión, asignando 20 puntos. Al tener todos los paleosuelos la misma estructura de *Bloques sub angulosos*, se asignan 10 puntos. Como resultado al tener el mismo *Grado* y *Tipo* la suma es de 30 puntos. Al dividir este valor por 60 puntos máximos, la normalización representa un 50% de variación de los suelos con respecto al material parental (Cuadro N° 4).

La consistencia en seco y húmedo (Cuadro N° 3), evalúa si los *agregados* se vuelven más *Duros* (seco) y *Firmes* (húmedo) con el tiempo. La consistencia en seco para el paleosuelo VEN_20_05 se clasifica como *Duro* (30 puntos); el resto como *Muy duros* (40 puntos), por su alta resistencia a la ruptura. Respecto de la consistencia en húmedo, tres de los cinco paleosuelos se clasifican como *Muy friables* (10 puntos), ya que se deforman fácilmente y VEN_20_07 y VEN_20_09 se clasifican como *Friables* (20 puntos), ya que al presionarlos presentan más dificultad para deformarse. Como resultado de cada consistencia se procede a dividir los valores por los 100 puntos máximos, obteniendo como normalización valores de 30 y 40% para seco y 10 y 20% en húmedo (Cuadro N° 4).

La última propiedad, la película de arcilla, se evalúan mediante la *Abundancia*, *Grosor* y *Ubicación* de la película de arcilla en superficie del agregado. Todos los paleosuelos tienen las mismas clasificaciones para las tres clases (Cuadro N° 3). La *Abundancia*, se clasifica como *Mucho*, al tener un 20 a 80% de películas de arcilla en la superficie del agregado, identificados como un parche discreto de arcilla o una red continua de arcillas. El *Grosor*, se clasifica como *Moderadamente grueso*, al tener un grosor aprox. 0.05 – 0.5 mm, con superficies suaves, visibles a simple vista en una sección transversal del corte y las arenas finas están envueltas por la película como otros contornos. Y la *Ubicación*, se clasifica como *agregado con recubrimiento superficial*, al estar recubierto de arcillas. Al sumar las tres clases, se obtiene como resultado 80 puntos. Este resultado al ser mayor a 0 puntos se sustraen 20 puntos, esto se debe a que el mínimo de película de arcilla sobre cero es 25 puntos y así recibir valores positivos. Los 60 puntos finales se dividen por los 130 puntos máximos, obteniendo como normalización una variación para los paleosuelos de 46% con respecto al material parental (Cuadro N° 4).

Con la cuantificación y normalización de los paleosuelos se obtiene el Índice de Horizonte (IH), consiguiendo como resultado que los paleosuelos oscilan entre 0,31 a 0,35, equivalente al 31 a 35% (Cuadro N° 4), lo que implica que los paleosuelos han tenido una evolución pedogenética muy similar. Posteriormente el IH se multiplica por el espesor de cada paleosuelo, obteniendo así el IDS (Cuadro N° 4). Como cada paleosuelo corresponde a un solo horizonte, el valor del IDS es el mismo que el producto del IH por su espesor. Los paleosuelos con mayor IDS son VEN_20_01 (41.5) y VEN_20_07 (32.1), siendo los de mayor espesor, factor influyente al observar los porcentajes de los otros tres paleosuelos VEN_20_03 (14.7%), VEN_20_05 (18.31%) y VEN_20_09 (11.54%).

Cuadro N° 3

Propiedades y puntuación del Índice de Desarrollo de Suelo para Ventanas II

Clasificación del grado de Rubefacción de las unidades areno-arcillosas									
PALEOSUELO	GRADO DE RUBEFACCIÓN				PUNTAJES DE RUBEFACCIÓN				RESULTADO (Seco + Húmedo)
	SECO		HÚMEDO		SECO		HÚMEDO		
	HUE	CRO	HUE	CRO	HUE	CRO	HUE	CRO	
VEN_20_01; VEN_20_05; VEN_20_07 y VEN_20_09	7.5YR	/3	7.5YR	/3	10/80*	0/80	10/80	0/80	20
MATERIAL PARENTAL	10YR	/3	10YR	/3					
VEN_20_03	7.5YR	/4	7.5YR	/4	10/80	0/80	10/80	10/80	30
MATERIAL PARENTAL	10YR	/4	10YR	/3					
Clasificación de la Clase Textural de las unidades areno-arcillosas									
PALEOSUELO	CLASE TEXTURAL (CLASS) Y PUNTAJE				RESULTADO (TT + S + P)				
	TRIÁNGULO TEXTURAL (PTOS.)				PEGAJOSIDAD (PTOS.)	PLASTICIDAD (PTOS.)			
VEN_20_01; VEN_20_05; VEN_20_07 y VEN_20_09	FRANCO ARENOSA (20/60)				PEGAJOSA (20/30)	PLÁSTICA (20/30)	60		
VEN_20_03	FRANCO ARCILLO ARENOSA (30/60)				PEGAJOSA (20/30)	PLÁSTICA (20/30)	70		
MATERIAL PARENTAL	ARENOSA, SIN PEGAJOSIDAD NI PLASTICIDAD (Op.)								
Clasificación de la Clase Estructural de las unidades arcillosa									
PALEOSUELO	CLASE ESTRUCTURAL			PUNTAJE CLASE ESTRUCTURAL		RESULTADO (G + T)			
	GRADO	TIPO		GRADO	TIPO				
VEN_20_01; VEN_20_03; VEN_20_05; VEN_20_07 Y VEN_20_09	MODERADO	BLOQUE SUB ANGULOSO		20/30	10/30	30			
MATERIAL PARENTAL	SIN ESTRUCTURA (Op.)								
Clasificación de la Consistencia en Seco y Húmedo de las unidades arcillosa									
PALEOSUELOS	CONSISTENCIA EN SECO Y PUNTAJE			CONSISTENCIA EN HÚMEDO Y PUNTAJE					
	DUREZA	PUNTAJE DE DUREZA		FIRMEZA	PUNTAJE DE FIRMEZA				
VEN_20_01 y VEN_20_03	MUY DURO	40/50		MUY FRIABLE	10/50				
VEN_20_05	DURO	30/50		MUY FRIABLE	10/50				
VEN_20_07 y VEN_20_09	MUY DURO	40/50		FRIABLE	20/50				
MATERIAL PARENTAL	SUELTA/O			SUELTA/O					
Clasificación de la Melanización en seco y húmedo de las unidades areno-arcillosas									
PALEOSUELO	GRADO DE MELANIZACIÓN			PUNTAJE DE MELANIZACIÓN					
	SECO	HÚMEDO		SECO	HÚMEDO	RESULTADO (Seco + Húmedo)			
	VALUE	VALUE		VALUE	VALUE				
VEN_20_01; VEN_20_03; VEN_20_05 y VEN_20_07	5/	3/		0/100	0/100	0			
MATERIAL PARENTAL	4/	3/							
VEN_20_09	6/	3/		0/100	0/100	0			
MATERIAL PARENTAL	4/	3/							
Clasificación de la Clase de Películas de Arcilla de las unidades areno-arcillosas									
PALEOSUELO	CLASE DE PELÍCULA DE ARCILLA			PUNTAJE CLASE DE PELÍCULA DE ARCILLA					
	ABUNDANCIA	GROSOR	UBICACIÓN	ABUND.	GROS.	UBICA.	RESULTADO (A+T+L)		
VEN_20_01; VEN_20_03; VEN_20_05; VEN_20_07 Y VEN_20_09	MUCHO	MODERADAMENTE GRUESA	RECUBRIMIENTO CARA DEL AGREGADO	40/50	20/30	20/20	80		
MATERIAL PARENTAL	SIN PELÍCULA DE ARCILLA								

*Puntaje asignado/Puntaje máximo.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4

Índice de Desarrollo de Suelo (IDS) de las unidades areno-arcillosas

Normalización de las propiedades ordenadas por unidad arcillosa					
PROPIEDADES	MUESTRAS				
	VEN_20_01 (130 cm)	VEN_20_03 (45 cm)	VEN_20_05 (60 cm)	VEN_20_07 (92 cm)	VEN_20_09 (33 cm)
RUBEFACCIÓN	0.11	0.16	0.11	0.11	0.11
TEXTURA	0.67	0.67	0.67	0.78	0.78
ESTRUCTURA	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CONSISTENCIA EN SECO	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
CONSISTENCIA EN HÚMEDO	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
MELANIZACIÓN	0	0	0	0	0
PELÍCULA DE ARCILLAS	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
Cálculo del Índice de Desarrollo de Suelo (IDS)					
SUMA PROPIEDADES NORMALIZADAS (A)	2.24	2.29	2.14	2.44	2.45
ÍNDICE DE HORIZONTE (B) (Dividido por las 7 propiedades) (A*7)	0.32 (32%)	0.33 (33%)	0.31 (31%)	0.35 (35%)	0.35 (35%)
MULTIPLICA POR EL ESPESOR DEL HORIZONTE (B*Espesor)	41.54	14.70	18.31	32.11	11.54
ÍNDICE DESARROLLO DE SUELO (Sumar productos a través del perfil de suelo)	41.54	14.70	18.31	32.11	11.54

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Paleoambiente

Las 13 unidades de Ventanas II se reagrupan en cuatro facies sedimentarias: *Paleodunas* (facies Arenosa Dunar); *Paleosuelos* (facies Arcilloso Arenosa); *Paleohumedal* (facies Arcillo Limosa) y la *Paleoplaya* (facies Arenosa de Playa). Los paleosuelos se caracterizan por su alto contenido de arcillas iluviales (14-28%), que otorgan un color pardo, estructuras en bloques sub angulosos, alto grado de cohesión y plasticidad y ausencia de marcas de vegetación, lo que permite inferir que son horizontes sub superficiales (Veit *et al.*, 2015), características comunes en paleosuelos enterrados en diferentes condiciones climáticas y geográficas (Chase y Thomas, 2007, Wieder *et al.*, 2008, Hall y Goble, 2012, Veit *et al.*, 2015, Tabor *et al.*, 2017 y García *et al.*, 2019). La presencia de lamelas horizontales en la base de los paleosuelos VEN_20_01 y VEN_20_03, permite inferir que son lamelas pedogenéticas (Rawling, 2000), formadas en dunas con arcillas iluviales (Van Reeuwijk y Villiers, 1985 y Holliday y Rawling, 2006), donde la cantidad (10 a 20) y grosor (0,5 a 3 cm), permiten inferir periodos de pedogénesis estables con más humedad que interrumpen la morfogénesis dunar (Rawling, 2000 y Holliday y Rawling, 2006). Las paleodunas tienen una buena

selección, principalmente arenas finas y forma sub redondeada y moderadamente esférica, a lo cual se suma la predominancia del transporte de saltación y suspensión, propias de ambientes dunares como las identificadas para Chile central (Paskoff, 1970, Paskoff y Manríquez, 2004 y Sepúlveda, 2013). La FDL (Sahu, 1964) como la presencia de estratificación cruzada (Pye y Tsoar, 1990, Veit *et al.*, 2015 y Nash *et al.*, 2018) permiten reforzar que estas unidades corresponden a un ambiente eólico. El paleohumedal se reconoce como un horizonte superficial clasificado como un suelo de tipo Mollisol (Marck *et al.*, 1993), por su estructura granular, mayor contenido de arcillas y limo (50,3%), mayor capacidad de retención de humedad y la marcada presencia de rizolitos y poros. Posee las características de suelos mineral con alto contenido de materia orgánica de humedales (Mitsch y Gosselink, 2007) afectados por un nivel freático somero debido a un nivel del mar elevado (Semeniuk y Semeniuk, 1995; Schaetzl y Anderson, 2005; Tsatskin *et al.*, 2015 y Nash *et al.*, 2018) como ocurre con los actuales humedales costeros (ej., Estero Puchuncavi) en la zona. Por último, la facies paleoplaya se caracteriza por presentar características granulométricas similares a las paleodunas, por lo cual difícil de diferenciar, sin embargo existen diferencias que permiten interpretar a esta facies por su estructura sedimentaria masiva al no contar con estratificación cruzada, lo que es corroborado por la FDL de Sahu (1964) al señalar que pertenece a un ambiente depositacional de tipo playa, lo que evidencia un mayor grado de viscosidad que las arenas eólicas (Sepúlveda, 2013). Así mismo, sus arenas algo más ferromagnesianas y su posición estratigráfica infrayaciendo el paleohumedal parecen ayudar esta interpretación.

La columna estratigráfica de Ventanas II registradas en el campo de paleodunas pone de manifiesto una historia ambiental que parece tener dos etapas. La primera de ellas representada por las unidades basales (VEN_02_11 a VEN_20_13), y la segunda, el resto de las unidades superiores donde se intercalan paleosuelos y paleodunas de manera cíclica e ininterrumpida. Estas dos etapas identifican un cambio paleogeográfico en la posición de la paleolínea de costa, donde las unidades basales se interpretan con la evolución del paleohumedal costero (VEN_20_11) sobre la paleoplaya (VEN_20_12), permitiendo inferir su cercanía a la paleolínea de costa, suposición concordante al estar depositadas a pocos metros sobre la T1 (Fm. Horcón), terraza marina que sería probablemente el material parental donde evolucionó el paleosuelo VEN_20_13, pedogénesis favorecida por un nivel bajo del nivel del mar. La evolución de las unidades basales (VEN_20_12 y VEN_20_13) se interpreta producto de una transgresión marina que primero interrumpe la pedogénesis con la depositación de la paleoplaya sobre el paleosuelo VEN_20_13. Un aumento súbito del nivel freático, evidenciado por contacto nítido en base de la unidad VEN_20_11, posibilitó la formación de un paleohumedal costero. Es posible que este cambio súbito se asocie a un descenso cosísmico (Nash *et al.*, 2018). Este cuerpo de agua desapareció de forma abrupta cuando fue enterrado bajo una paleoduna, posiblemente en respuesta a una regresión de la línea de costa.

Las unidades superiores incluyen cinco parejas de paleodunas/paleosuelos (VEN_20_10-VEN_20_01) que evidencian una mayor distancia con la línea de costa respecto de las unidades basales. La recurrencia de estas unidades implica cambios ambientales que se repiten cuasi-cíclicamente en el tiempo. Los contactos superficiales difusos inferiores de los paleosuelos y las paleodunas a partir de las cuales se formaron, reflejan un proceso de estabilidad y pedogénesis, mientras que los contactos nítidos superiores aluden a un cambio abrupto de las condiciones ambientales que refleja un nuevo periodo de actividad morfogénica eólica.

Pedogénesis

Los componentes de la pedogénesis que permiten diferenciar los paleosuelos de su material parental (paleodunas) y evaluar el grado de evolución, son el mayor porcentaje de arcillas por la alteración, iluviación y meteorización *in situ* de las arenas, el cambio de color, el desarrollo de estructura, textura y la presencia de vegetación (Harden, 1982, Muhs, 2007, Wieder *et al.*, 2008, Pfeiffer, 2011, Pfeiffer *et al.*, 2011, Hall y Goble, 2012, Tsatskin *et al.*, 2015, Faust *et al.*, 2015, Veit *et al.*, 2015 y García *et al.*, 2019, Bruno *et al.*, 2020). La densidad aparente evidencia una compactación media (1,4 a 1,54 g/cm³) de los paleosuelos (FAO, 2009) con respecto a su material parental, lo que permite inferir condiciones muy similares durante su formación, sumado al tipo de estructura de bloque sub redondeado, son acuerdo a la FAO (2009) equivalentes a un grado intermedio de pedogénesis. Por su parte, el paleohumedal (VEN_20_11) al tener una compactación de 0,98 g/cm³, con una estructura granular con muchos poros y raíces visibles, la FAO (2009) señala que estas características corresponden a un horizonte superficial.

Los IDS de los paleosuelos de Ventanas II con mayor desarrollo pedogenético son VEN_20_01 y VEN_20_07, con mayor espesor, factor clave para comprender la intensidad y/o duración de la pedogénesis. No obstante, las propiedades de los paleosuelos no arrojan diferencias significativas, reforzando la similitud en cuanto a las condiciones pedogenéticas durante la formación de los paleosuelos, ya que las propiedades que mejor reflejan el grado evolutivo de los paleosuelos no varían significativamente a medida que aumenta la profundidad, como son la textura (67-78%), estructura (50%), consistencia en seco (30-40%) y la película de arcilla (46%), grado de desarrollo dado por la concentración y aumento de las arcillas (Wieder *et al.*, 2008, Pfeiffer, 2011, Hall y Goble, 2012, Tsatskin *et al.*, 2015, Veit *et al.*, 2015 y García *et al.*, 2019). Estas características son semejantes a los paleosuelos Bt identificados por Veit *et al.* (2015) y García *et al.* (2019) en Ventanas I para horizontes sub-superficiales con escasa presencia de materia orgánica, lo que es coherente con Marck *et al.* (1993) y la clasificación aplicada a los de paleosuelos de Ventanas II al inferir que son Alfisoles, con un horizonte de diagnóstico Argílico y la acumulación de arcillas iluviales (Veit *et al.*, 2015 y García *et al.*, 2019). La rubefacción a pesar de tener una baja variabilidad con respecto al material parental, entrega valiosa información sobre las condiciones paleoambientales, donde el empardecimiento (pardo) en el color de los paleosuelos, es característico de regiones templadas húmedas y de buen drenaje asociados a escasos periodos de sequías (Schaetzl y Anderson, 2005 y Tabor *et al.*, 2017).

Cronoestratigrafía y paleoclima

Mediante correlación con los rangos de las edades OSL obtenidas por Veit *et al.* (2015) y García *et al.* (2019) en sectores aledaños, es posible inferir que la secuencia estratigráfica de Ventanas II se habrían depositado durante el Pleistoceno superior, en particular durante el último período glacial. De acuerdo a las edades de Veit *et al.* (2015) y García *et al.* (2019), probablemente la secuencia intercalada de paleodunas y paleosuelos de Ventanas II habría comenzado aproximadamente hace unos 60 ka, es decir desde el final del MIS 4 hasta el MIS 2 (27 a 11 ka), comprendiendo el UMG. No obstante, es necesario datos geocronológicos específicos para la sección Ventanas II para poder determinar el rango temporal de la secuencia estratigráfica y sus implicancias paleoclimáticas.

En la región costera de Chile central los paleosuelos desarrollados en paleodunas han sido interpretados como períodos de mayor humedad y precipitaciones que se intercalan con períodos secos (Veit *et al.*, 2015; García *et al.*, 2019). Entonces la secuencia reiterada de paleosuelos y paleodunas asociadas de Ventanas II permiten definir cinco fases húmedas durante en el registro. Estas fases húmedas fueron de una intensidad y duración suficiente para formar suelos tipo Bt, no existentes durante el Holoceno de Chile central cuando el clima ha sido más cálido y seco (Villagrán y Varela, 1990, Veit *et al.*, 1996, Lamy *et al.*, 2001, Valero-Garcés *et al.*, 2005, Maldonado y Villagrán, 2006). Lo anterior indica que cambios climáticos multi-mileniales ocurrieron durante toda la última era glacial en Chile central, cómo ha sido propuesto a partir de sedimentos del océano Pacífico y paleodunarios en esta latitud (Lamy *et al.*, 1999; Lamy *et al.*, 2001; García *et al.*, 2019). De esta forma, es posible entender la estratigrafía de Ventanas II, y la de Ventanas I (García *et al.*, 2019), como un registro terrestre de migraciones latitudinales del cinturón de vientos SWW en Chile central. Así, en cada una de las fases húmedas representadas por paleosuelos, los vientos del SWW migraron hacia latitudes menores transportando sistemas frontales con anomalías positivas de precipitación respecto del presente.

Conclusión

La secuencia estratigráfica Ventanas II, se compone de 13 unidades sedimentarias (VEN_20_01 - VEN_20_13) que incluyen cuatro facies: paleoduna, paleosuelo, paleohumedal costero y paleoplaya. Los paleosuelos se desarrollaron partir de paleodunas de las que se diferencian por características de estructura, textura, color, presencia de arcillas iluviales, contactos superficiales, entre otros. Las tres unidades basales, paleohumedal (VEN_20_11), paleoplaya (VEN_20_12) y paleosuelo VEN_20_13, respecto de las unidades superiores de Ventanas II, evidencian cambios dinámicos en la paleogeografía.

La densidad aparente y el Índice de Desarrollo de Suelo (IDS) de los paleosuelos denotan cuasi-identicas características pedogenéticas, permitiendo inferir que las condiciones ambientales responsables de la pedogénesis para cada suelo fueron similares a lo largo del tiempo representado en Ventanas II. Las propiedades del IDS que reflejan el mayor grado de pedogénesis, están directamente ligadas a la formación de las arcillas iluviales e *in situ*, permitiendo clasificar a los paleosuelos como horizontes sub-superficiales Bt. El empardecimiento de los paleosuelos es característico de regiones templadas húmedas, condiciones inexistentes en Chile central al menos durante el Holoceno.

Se concluye que los sistemas dunarios costeros de Chile central a través de los paleosuelos son archivos relevantes para la reconstrucción del clima del Pleistoceno Superior en la región, donde estos son escasos. Las secuencias de paleodunas y paleosuelos enterrados en Ventanas II revelan la respuesta del ambiente costero de Chile central a las migraciones latitudinales de los SWW a escala temporal de miles de años (García *et al.*, 2019) y que estas migraciones son recurrentes durante las eras glaciales.

Agradecimiento

Esta investigación fue financiada por el Proyecto Fondecyt n° 1200935 (IR Juan-Luis García). Especial agradecimiento a Javier Yevenes por su apoyo en laboratorio.

Referencias bibliográficas

ARAYA-VERGARA, J.F. Reconocimiento de tipos e individuos geomorfológicos regionales en la costa de Chile. *Revista Informaciones Geográficas*, 1976, N°23, p. 9-30.

ARAYA-VERGARA, J.F. Los ergs del desierto marginal de Atacama, Chile. *Revista Informaciones Geográficas*, 2001, N°35, p. 27-66.

ARAYA-VERGARA, J.F. Laboratorio de análisis de sedimentos. Curso de Geomorfología y Cuaternario. Escuela de Geografía, Universidad de Chile, 2011.

BIRD, E. Coastal geomorphology: An introduction. *2nd edition. J. Wiley y Sons Ltd.* ISBN: 978-0-470-51729-1, 2008.

BLOTT, S. J. Y PYE, K. Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surfaces Processes and Landforms*, 2001, N°26, p. 1237-1248.

BRUNO, L., MARCHI, M., BERTOLINI, I., GOTTARDI, G., Y AMOROSI, A. Climate control on stacked paleosols in the Pleistocene of the Po Basin (northern Italy). *Journal of Quaternary Science*, 2020, N°35(4), p. 559-571.

CASANOVA, M, VERA, W, LUZIO, W Y SALAZAR, O. Manual de Edafología – Guía de clases prácticas. Facultad de Ciencias agronómicas. Universidad de Chile, 2004, p. 51.

CASTRO, C. Transformaciones geomorfológicas recientes y degradación de las dunas de Ritoque. *Revista de Geografía Norte Grande*, 1987, N°14, p. 3-13.

CASTRO, C., Calderón, M., y Zúñica, A. Indicadores geomorfológicos de la fragilidad de paleodunas. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2001, N°28, p.11-24.

Castro, C. Geografía de las dunas costeras de Chile: Instrumentos y pautas para su manejo integrado. Ediciones UC, 2015.

CUEVAS, R. Análisis de los depósitos sedimentarios Terciarios–Cuaternarios en el área de Quintero–Placilla (~33S) y sus implicancias paleogeográficas. Memoria para optar al título de geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile, 2017.

CHASE, B. M., Y THOMAS, D. S. Multiphase late Quaternary aeolian sediment accumulation in western South Africa: timing and relationship to palaeoclimatic changes inferred from the marine record. *Quaternary International*, 2007, N°166(1), p.29-41.

ELLERTON, D., RITTENOUR, T., SHULMEISTER, J., GONTZ, A., WELSH, K. J., Y PATTON, N. An 800 kyr record of dune emplacement in relationship to high sea level forcing, Cooloola Sand Mass, Queensland, Australia. *Geomorphology*, 2020, N°354, 106999.

FAUST, D., YANES, Y., WILLKOMMEN, T., ROETTIG, C., RICHTER, D., RICHTER, D., SUCHODOLETZ, H. Y ZÖLLER, L. A contribution to the understanding of late Pleistocene dune sand-paleosol-sequences in Fuerteventura (Canary Islands). *Geomorphology*, 2015, N°246, p.290-304.

FORMAN, S. L., TRIPALDI, A., Y CICCIOLO, P. L. Eolian sand sheet deposition in the San Luis paleodune field, western Argentina as an indicator of a semi-arid environment through the Holocene. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 2014, N°411, p.122-135.

FOLK, R. Y WARD, W. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of sedimentary petrology*, 1957, N°27(1), p.3-26.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Guía para la descripción de suelos, 2009.

FUENZALIDA, H. Campos de dunas en la costa de Chile central. Congress International de Geographie, Actes XVIII, Rio de Janeiro. 1956. p.234-240.

GARCÍA, J. L., ANDRADE, B., CALDERÓN, M., Y LÜTHGENS, C. Multi millennial scale climate variability during MIS 3 and MIS 2 inferred from luminescence dating of coastal sand dunes and buried paleosol sequences in central Chile, 32° S. *Journal of Quaternary Science*, 2019, N°34(3), p.203-214.

GARREAU RD, FALVEY M. The coastal winds off western subtropical South America in future climate scenarios. *International Journal of Climatology*, 2009 N°29, p.543-554.

HALL, S. A., Y GOBLE, R. J. Berino Paleosol, Late Pleistocene argillic soil development on the Mes-calero Sand Sheet in New Mexico. *The Journal of Geology*, 2012, N°120(3), p.333-345.

HARDEN, J. W. A quantitative index of soil development from field descriptions: Examples from a chronosequence in central California. *Geoderma*, 1982, N°28(1), p.1-28.

HOLLIDAY, V. T., Y RAWLING III, J. E. Soil-geomorphic relations of lamellae in eolian sand on the High Plains of Texas and New Mexico. *Geoderma*. 2006, 131(1-2), 154-180.

KIDSTON, J., TASCHETTO, A. S., THOMPSON, D. W. J., Y ENGLAND, M. H. The influence of Southern Hemisphere sea-ice extent on the latitude of the mid-latitude jet stream. *Geophysical Research Letters*, 2011, N°38(15).

LAMY, F., HEBBELN, D. Y WEFER, G. High resolution marine record of climatic change in mid-latitude Chile during the last 28,000 years based on terrigenous sediment parameters. *Quaternary Research*, 1999, N°51, p.83-93.

LAMY, F., HEBBELN, D., RÖHL, U., Y WEFER, G. Holocene rainfall variability in southern Chile: a marine record of latitudinal shifts of the Southern Westerlies. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, N°185(3-4), p.369-382.

LONDOÑO, A. C., FORMAN, S. L., EICHLER, T., Y PIERSON, J. Episodic eolian deposition in the past ca. 50,000 years in the Alto Ilo dune field, southern Peru. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2012, 12–24, p346–347.

MARCK, G., JAMES, W., MONGER, H. Classification of paleosols. *Geological Society of America Bulletin*, 1999, N°105, p.129-136.

MALDONADO, A. Y VILLAGRÁN, C. Climate variability over the last 9900 cal yr BP from a swamp forest pollen record along the semiarid coast of Chile. *Quaternary Research*, 2006, N°66(2), p.246-258.

MITSCH, W Y GOSSSELINK, JG. Wetlands. *John Wiley & Sons, Inc.* New York, NY, USA. 2007, p.582.

MUHS, R. Paleosols and wind-blown sediments: Overview. *Encyclopedia of Quaternary Science*, 2007, p. 2126-2137.

NASH, D. J., BATEMAN, M. D., BULLARD, J. E., Y LATORRE, C. Late Quaternary coastal evolution and aeolian sedimentation in the tectonically-active southern Atacama Desert, Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2018, N°490, p.546-562.

PASKOFF, R. Le Chili semi-aride, recherches géomorphologiques. Biscaye frères. Traducción al español por José Enrique Novoa Jerez en 1993. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena. 1970.

PASKOFF, R. Y MANRÍQUEZ, H. Las dunas de las costas de Chile. Santiago de Chile: *IGM*, 2004.

PFEIFFER, M. Evolución y génesis de calcretas pedogénicas en la paleobahía de Tongoy. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencia, Mención Geología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 2011.

PFEIFFER, M., LE ROUX, J., SOLLEIRO-REBOLLEDO, E., KEMNITZ, H., SEDOV, S., SEGUÉL, O. Preservation of beach ridges due to pedogenic calcrete development in the Tongoy paleobay, Chile. *Geomorphology*, 2011, N°132, p.234-242.

PYE, K. Y TSOAR, H. Aeolian sand and sand dunes. *Springer Science & Business. Unwin Hyman*, London, 1990.

RAWLING 3RD, J. E. A review of lamellae. *Geomorphology*, 2000, N°35(1-2), p.1-9.

RIVANO, S., SEPÚLVEDA, P., BORIC, R., Y ESPÍÑEIRA, D. Hojas Quillota y Portillo, V Región. *Servicio Nacional de Geología y Minería*. Carta Geológica de Chile, 1993, N°73(1).

SAHU, B. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1964, N°34(1), p.73-83.

Sandoval, M., J. Döner, O. Seguel, J. Cuevas, y J. C. Rivera. Métodos de análisis físicos de suelos. Chillán, Chile: Universidad de Concepción. Departamento de Suelos y Recursos Naturales Universidad de Concepción. Publicación. Chillán. Chile. 2012. N°5, p. 80.

SEPÚLVEDA, P. Condiciones de sedimentación de secuencias sedimentarias Holocenas en la Isla Robinson Crusoe y sus implicancias en el alzamiento debido al crecimiento del hot-spot. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, 2013.

SEMENIUK, C. A., Y SEMENIUK, V. A geomorphic approach to global classification for inland wetlands. In *Classification and Inventory of the World's Wetlands*. Springer, Dordrecht. 1995, p.103-124.

SCHAETZL, R. Y ANDERSON, S. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005, p. I-Vi.

SCHOENEBERGER, P. J., WYSOCKI, D. A., Y BENHAM, E. C. Soil Survey Staff. Field book for describing and sampling soils. Ver. 3.0. *Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center*, Lincoln, NE, 2012.

SHORT, A. Handbook of beach and shoreface morphodynamics. Ed. Andrew Short, Wiley, 1999, N° 551-468.

SOTO, M. V. Y ARRIAGADA, J. Características dinámicas de ensenadas estructurales de Chile central: Maitencillo-Cachagua y Papudo, Región de Valparaíso. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2007, N°38, p.99-112.

STOW, D. A. *Sedimentary Rocks in the Field: A color guide*. Gulf Professional Publishing, 2005.

TABOR, N. J., MYERS, T. S., Y MICHEL, L. A. Sedimentologist's guide for recognition, description, and classification of paleosols. In *Terrestrial Depositional Systems*, Elsevier, 2017, p.165-208.

TSATSKIN, A., SANDLER, A., Y AVNAIM-KATAV, S. Quaternary subsurface paleosols in Haifa Bay, Israel: a new perspective on stratigraphic correlations in coastal settings. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2015, N°426, p.285-296.

VALERO-GARCÉS, B. L., JENNY, B., RONDANELLI, M., DELGADO-HUERTAS, A., BURNS, S. J., VEIT, H., Y MORENO, A. Palaeohydrology of Laguna de Tagua Tagua (34 30' S) and moisture fluctuations in Central Chile for the last 46 000 yr. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 2005, N°20(7-8), p.625-641.

VAN REEUWIJK, P. Y VILLIERS, J. M. The origin of textural lamellae in Quaternary coast sands of Natal. *South African Journal of Plant and Soil*, 1985, N°2(1), p.38-43.

VEIT, H. Southern Westerlies during the Holocene deduced from geomorphological and pedological studies in the Norte Chico, Northern Chile (27–33 S). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1996, N°123(1-4), p.107-119.

VEIT, H., PREUSSER, F., Y TRAUERSTEIN, M. The Southern Westerlies in Central Chile during the two last glacial cycles as documented by coastal aeolian sand deposits and intercalating palaeosols. *Catena*, 2015, N°134, p.30-40.

VILLAGRÁN, C. Y VARELA, J. Palynological evidence for increased aridity on the central Chilean coast during the Holocene. *Quaternary research*, 1990, N°34(2), p.198-207.

VISHER, G. Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1969, N°39(3), p.1074-1106.

WIEDER, M., GVIRTZMAN, G., PORAT, N., Y DASSA, M. Paleosols of the southern coastal plain of Israel. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2008, N°171(4), p.533-541.