



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
ESCUELA DE GEOGRAFÍA

## **ANALISIS DE SUELOS DESARROLLADOS EN DUNAS LITORALES ANTIGUAS DE CHILE CENTRAL**

**SISTEMAS EL YALI, PUTÚ Y CHANCO**

**Memoria para optar al título profesional de Geógrafo**

**Cecilia Andrea Aqueveque González**

**Profesor Guía**

Sr. José F. Araya Vergara  
Departamento de Geografía  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo

**Profesor Informante**

Sr. Oscar R. Seguel Seguel  
Departamento de Ingeniería y Suelos  
Facultad de Ciencias Agronómicas

**SANTIAGO-CHILE**

**2008**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO**  
**ESCUELA DE GEOGRAFÍA**

**ANALISIS DE SUELOS DESARROLLADOS EN DUNAS**  
**LITORALES ANTIGUAS DE CHILE CENTRAL**  
**SISTEMAS EL YALI, PUTÚ Y CHANCO**

**Memoria para optar al título profesional de Geógrafo**

**Cecilia Andrea Aqueveque González**

**SANTIAGO-CHILE**

**2008**

Dedicado

A mis padres...  
y Mai...

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su fuerza y apoyo necesario para seguir adelante...

A mis padres y Mai, a quienes dedico este trabajo; especialmente a mi madre, cuyo amor y fortaleza me han enseñado a ser perseverante en esta vida y así poder lograr mis metas...

A mi familia, amigos y compañeros de escuela, gracias por su incondicional amistad y confianza, y especialmente a Pablo Iribarren y Daniel Acuña, ya que de alguna u otra forma me empujaron a este logro...

Mención especial son aquellas personas que colaboraron en la realización de esta memoria a través de sus conocimientos. A mi profesor guía, Sr. José Francisco Araya Vergara, gracias por su interés, entusiasmo y exigencias mostradas en el desarrollo de esta investigación...

Finalmente quiero agradecer al Sr. Oscar Seguel S. Muchas gracias por creer en mí y tratar de ampliar mis conocimientos y exigir al máximo mis capacidades y posibilidades; además de tu interés, confianza y apoyo brindado hacia mi persona y este proyecto, de modo tan desinteresado...

Gracias por creer en mí... a todos Uds. va dedicado este fruto...

“Si piensas que estás vencido, lo estás.  
Si piensas que no te atreves, no lo harás.  
Si piensas que te gustaría ganar pero no puedes,  
no lo lograrás.  
Si piensas que perderás, ya has perdido,  
porque en el mundo encontrarás  
que el éxito comienza con la voluntad del hombre.  
Piensa en grande y tus hechos crecerán.  
Piensa en pequeño y quedarás atrás.  
Piensa que puedes y podrás.  
La batalla de la vida no siempre la gana  
el hombre más fuerte, o el más ligero,  
porque tarde o temprano, el hombre que gana,  
es aquél que cree poder hacerlo”.

(Rudyard Kipling)

## INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO	N° DE PÁGINA
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1. ESTADO DEL ASUNTO	1
Condiciones que favorecen la formación de suelos en dunas	3
Características de los suelos arenosos	4
1.2. PROPÓSITO	7
1.3. HIPÓTESIS	8
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>9</b>
2.1. ÁREA DE ESTUDIO	9
Emplazamiento de los sistemas	9
2.2. PROCEDIMIENTOS	14
Principios de clasificación de las generaciones dunares	14
Análisis de las características físicas y morfológicas de los suelos	15
Relación pedogénesis - morfogénesis	17
<b>III. RESULTADOS</b>	<b>19</b>
3.1. CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS	19
Generaciones dunares antiguas y posición geomorfológica de los pedones	19
3.2. CARACTERISTICAS PEDOLOGICAS	27
Descripción de suelos	27
Resultados analíticos	37
<i>Textura</i>	37
<i>Contenidos de agua del suelo</i>	41
<i>Densidad aparente</i>	41

Clasificación de los suelos	43
3.3. RELACION PEDOGÉNESIS-MORFOGÉNESIS	44
<b>IV. DISCUSION DE LOS RESULTADOS</b>	<b>47</b>
Antigüedad de las formas y desarrollo de suelos	47
Características físicas y morfológicas en los suelos arenosos	47
Suelos arenosos y clasificación taxonómica	50
Complejidad de sistemas y relación pedogénesis - morfogénesis	51
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>54</b>
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>55</b>
<b>VII. APENDICE</b>	<b>59</b>

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura</i>		<i>N° Página</i>
1.	Situación geográfica sistemas dunares El Yali, Putú y Chanco	2
2.	Evolución continuum dunar	3
3.	Situación geográfica sistema El Yali	9
4.	Situación geográfica sistema Putú	11
5.	Situación geográfica sistema Chanco	13
6.	Corte geomorfológico sector El Convento	19
7.	Corte geomorfológico sector central de El Yali	21
8.	Corte geomorfológico sector norte del sistema Putú	22
9.	Corte geomorfológico sector central del sistema Putú	22
10.	Corte geomorfológico sector sur del sistema Putú	23
11.	Corte geomorfológico sector norte del sistema Chanco	24
12.	Corte geomorfológico sector centro-norte del sistema Chanco	25
13.	Corte geomorfológico sector sur del sistema Chanco	26
14.	Estructura bloques subangulares, pedón P <sub>2</sub> , La Capellanía	27
15.	Rasgos redoximórficos y perfil haploide en suelos arenosos, Quivolgo-Junquillar	28
16.	Diagrama de perfiles sistema El Yali y sistema Chanco	29
17.	Diagrama de perfiles, sistema Putú	30
18.	Corte pedón P <sub>2</sub> sector La Capellanía (a), P <sub>4</sub> sector Putú (b)	36
19.	Clases texturales presentes en los suelos estudiados (Triángulo textural USDA)	37
20.	Curvas de acumulación textural sistema El Yali	40
21.	Curvas de acumulación textural sistema Putú	40
22.	Curvas de acumulación textural sistema Chanco	40
23.	Carta Subgrupos de suelos y geomorfología, sistema El Yali	45
24.	Carta Subgrupos de suelos y geomorfología, sistema Putú	46
25.	Carta Subgrupos de suelos y geomorfología, sistema Chanco	46

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla</i>		<i>N° Página</i>
1.	Clasificación de familias o continuum dunares	15
2.	Descripción de los perfiles de suelos pertenecientes a los sistemas El Yali.	31
3.	Descripción de los perfiles de suelos pertenecientes al sistema Putú.	32
4.	Descripción de los perfiles de suelos pertenecientes a los sistemas Chanco.	34
5.	Distribución (%) de la fracción fina del suelo, sistema El Yali	38
6.	Distribución (%) de la fracción fina del suelo, sistema Putú	38
7.	Distribución (%) de la fracción fina del suelo, sistema Chanco	38
8.	Contenidos de agua del suelo (%), sistema Putú	41
9.	Valores Da, horizontes superficiales sistema Putú	42
10.	Clasificación taxonómica de suelos arenosos sistema El Yali, Chanco y Putú	43
11.	Unidades geomorfológicas y clasificación taxonómica	44

## RESUMEN

Se analizan las características físicas y morfológicas de suelos desarrollados en dunas antiguas de tres sistemas litorales de Chile Central. El sistema El Yali, ubicado en el sur-oeste de la Región de Valparaíso y los sistemas Chanco y Putú, ambos localizados al sur-oeste de la Región del Maule. Se estudió la relación suelo-geomorfología, la identificación de dunas antiguas y la descripción morfológica de los perfiles de suelos que fueron realizados de acuerdo al USDA.

Las dunas parabólicas, upsiloidales y longitudinales antiguas se caracterizan por no poseer actividad y presentar suaves pendientes, logrando un equilibrio natural con la vegetación. Poseen un tipo de horizonte preferentemente A-C, con profundidades no superiores a los 40 cm., estructura granular a bloques subangulares débiles. La clase textural es arenosa (a) a arena francosa (aF) y el color grada de pardo grisáceo a pardo grisáceo oscuro en profundidad en un matiz 10 YR. En profundidad existen moteados comunes de hierro difusos.

La clasificación taxonómica es dominada por los suelos Typic Ustipsamment, no obstante, el sistema Putú y Chanco presenta una cantidad de suelos más variable, donde es posible encontrar suelos Aquic Ustipsamment.

**Palabras claves:** dunas antiguas, suelos arenosos, pedogénesis-morfogénesis, Entisoles.

## **ABSTRACT**

### **Analysis of developed soils in coastal old dunes of Central Chile El Yali, Putú and Chanco Systems**

The physical and morphologic characteristics of soils developed in three coastal systems old dunes of Central Chile are analyzed. The studied systems are El Yali, located in the south-western of Valparaíso Region and the systems Chanco and Putú, both located in the south-western of Maule Region. Also, the relationship soil-geomorphology was studied. Stabilized dunes were identified and morphological description of soil profiles were made according to USDA.

The old dunes, are parabolic, upsiloidal and longitudinal, and are characterized by their lack of activity and gently slopes, achieving a natural equilibrium with the vegetation. These dunes have a kind of sequence horizon preferentially A-C, with depths not no more than 40 cm., and weak granular to subangular blocky structure. The textural class is sandy to loamy sand and the colors, light brownish gray to very dark gray in 10 YR Hue. In depth, iron mottles are common and diffuse.

The taxonomic classification is dominated for Typic Ustipsamment; nevertheless, Putú and Chanco system present more variable kinds of soils, being possible to find Aquic Ustipsamment.

**Key words:** old dunes, sandy soils, pedogenesis-morphogenesis, Entisols.

## CAPITULO I. INTRODUCCION

### 1.1. ESTADO DEL ASUNTO

Los suelos desarrollados en dunas son una componente básica de los ecosistemas litorales estabilizados, situación que ha sido estudiada mediante mediciones y modelos numéricos (Holz *et al.* 1996; 1998; Álvarez-Rogel *et al.* 2006).

El análisis de estos suelos y su relación con la geomorfología es un área relativamente nueva en los estudios científicos; comenzando por Daniels & Gamble (1978), con el estudio de suelos y su relación entre estratigrafía y geomorfología en las costas de U.S.A.; posteriormente, Anthony (1985), realizó un análisis de la relación entre geomorfología, suelos y nivel freático en playas holocénicas en el sureste de Sierra Leona. Phillips *et al.* (1996), estudiaron un complejo pedogenético en dunas pleistocénicas y Holz *et al.* (1996; 1998) observaron la vegetación y la geomorfología como factores formadores de suelos en dunas costeras.

Más recientemente, Zhenghu *et al.* (2004; 2007) analizaron los patrones espaciales de la formación de suelos, midiendo sus características morfológicas y propiedades físicas y químicas en suelos desarrollados en dunas estabilizadas ubicadas en el noreste y noroeste de China.

Simultáneamente Holliday & Rawling (2006), consideraron la relación existente entre suelos y geomorfología en las dunas estabilizadas de las altas planicies de Texas, Nuevo México. Ben-Dora *et al.* (2006) a través de un sensor hiperespectral aéreo identificaron procesos de rubificación en suelos arenosos de la costa central israelí. Álvarez-Rogel *et al.* (2006) investigaron los suelos arenosos de la costa del SE de España y su relación con la microtopografía y vegetación bajo un clima semiárido mediterráneo y Geissert & Dubroeuq (2007), estudiaron la influencia de la geomorfología en la evaluación de suelos en dunas costeras de Veracruz, México.

Bajo estos antecedentes, en Chile el conocimiento de los suelos arenosos es muy generalizado y escaso, siendo una de las primeras aproximaciones la realizada por Trujillo (1958) para las dunas

de Chanco, Guevara & Van Bebber (1987) para el sistema Putú y más recientemente Araya Vergara (1989) y Caldichoury (1990; 2000) para el sistema El Yali (Fig. 1).

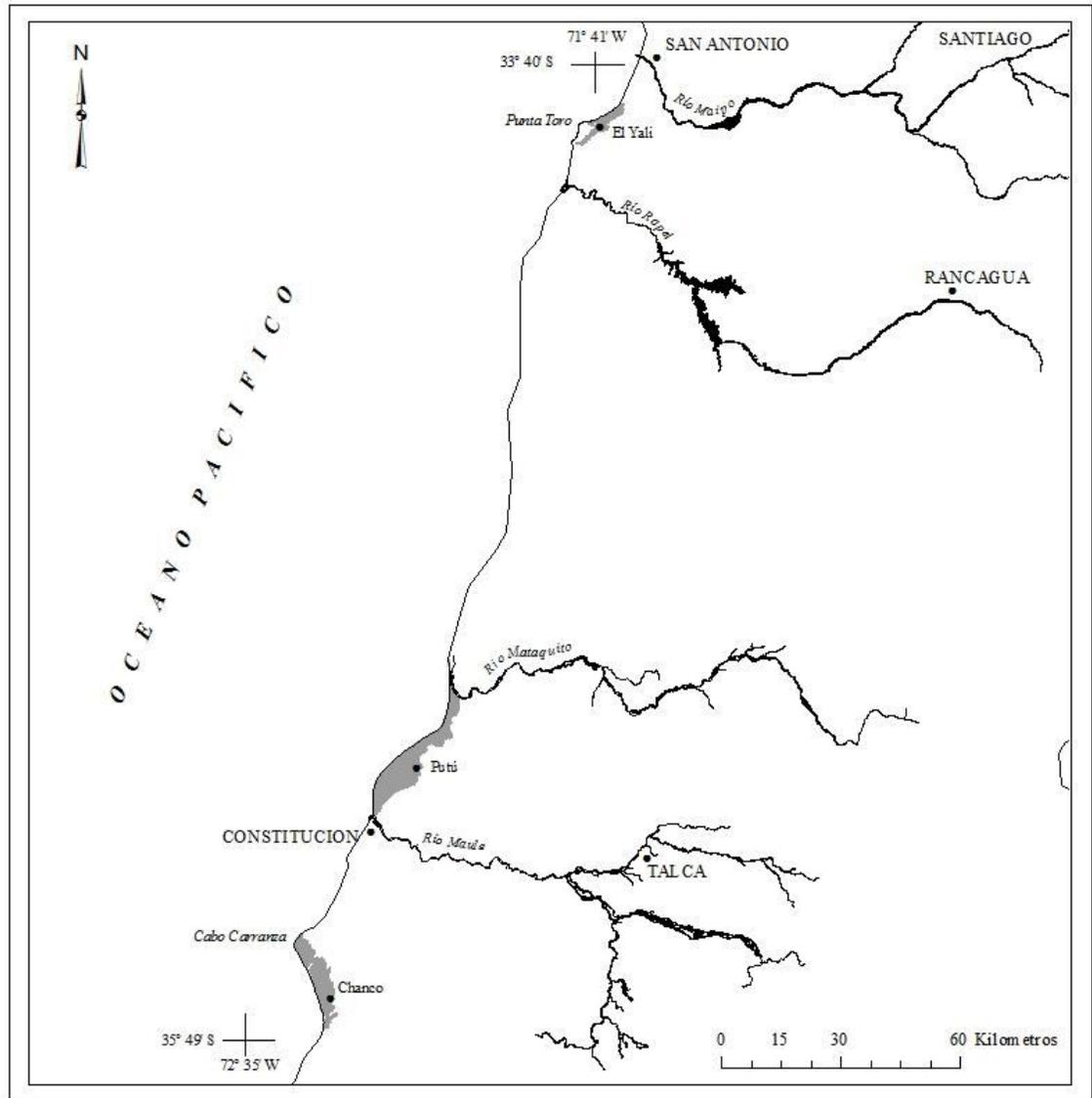


Fig. 1. Situación geográfica sistemas dunares El Yali, Putú y Chanco.

Sin embargo, y pese a la importancia de estos estudios para comprender la dinámica y morfología dunar, sus aproximaciones sobre el desarrollo de suelos, análisis de la relación suelo-geomorfología y conocimiento detallado de sus características físico-químicas y morfológicas son insuficientes. No obstante, Araya Vergara (1989) y Caldichoury (1990) realizaron algunos avances para una futura clasificación taxonómica, además de identificar ciertas características

pedológicas, como la determinación del número de horizontes, contenidos de limo y arcilla, estructura y color.

De acuerdo a Araya Vergara (1989), se expone que existe el desarrollo de tres principales generaciones dunares: dunas antiguas, medias y modernas, destacando la existencia de suelos sólo en las generaciones dunares antiguas. En este sentido, el desarrollo de suelos parece estar condicionado con los tipos de generaciones dunares, su evolución y morfología; generaciones que a su vez se encuentran dominados por los grados de evolución en el *continuum* dunar (Fig. 2).

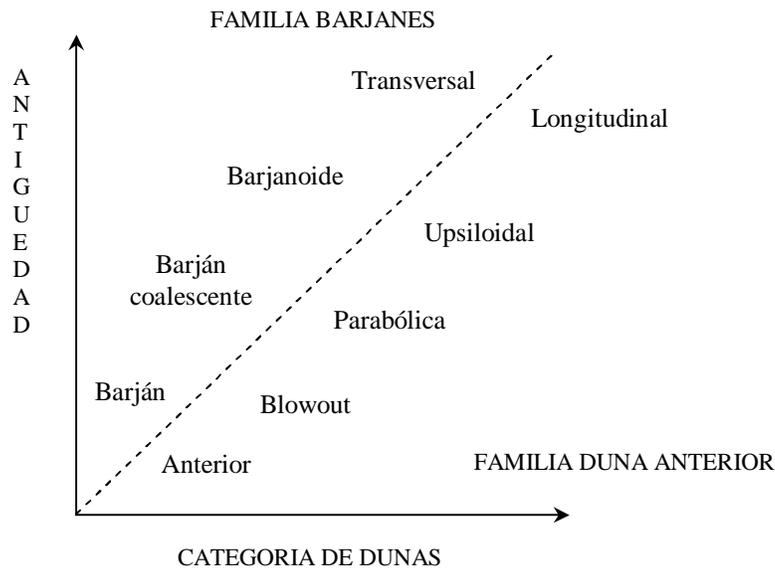


Fig. 2. Evolución *continuum* dunar, (Araya Vergara, comunicación personal 2007).

Vale decir, la presencia de suelos se desarrolla principalmente en las generaciones dunares que contengan las categorías de dunas con mayor evolución dentro de sus familias, esencialmente en las dunas parabólicas, upsilonoidales y longitudinales antiguas.

### Condiciones que favorecen la formación de suelos en dunas

Para que se generen procesos pedogenéticos en los sistemas dunares, es necesario que estos presenten un ambiente de estabilidad que disminuya los procesos geomorfológicos (Holz *et al.*

1998), acumulación de partículas finas y material orgánico que sustenten una cubierta vegetal y condiciones climáticas que permitan la estabilidad de los granos (Zhenghu *et al.* 2007).

A su vez, dentro del concepto de *continuum* dunar (Araya Vergara, 1989), las dunas más evolucionadas son las que se vuelven inactivas y colonizadas por vegetación, constituyendo un elemento fundamental a la hora de determinar procesos pedogenéticos en dunas.

En este sentido, la dinámica entre dunas y formación de suelos puede ser expresada entonces en términos de procesos geomorfológicos y biológicos. Los primeros comprenden a la acción del viento y del agua, mientras que los segundos consisten principalmente en el establecimiento y desarrollo de vegetación, incluyendo aportes de materia orgánica al suelo y la producción de biomasa. El balance entre ambos tipos de procesos queda reflejado en el perfil del suelo (Junjerius & Van Der Meulen, 1988 en Holz *et al.* 1998).

Holz *et al.* (1996) observaron que los ambientes más estables son los sectores interdunares o aquellos que presenten escasas o nulas formas erosivas, ya que existe una menor exposición a los vientos y, por lo tanto, menor remoción de sedimentos y mayores porcentajes de cobertura vegetal, permitiendo así el entrapamiento y retención de partículas, además del aporte de importantes cantidades de materia orgánica al sustrato.

### **Características de los suelos arenosos**

Los suelos formados bajo estos ambientes se caracterizan por ser poco evolucionados, sin clara diferenciación de horizontes y sin incorporación íntima de la materia orgánica al sustrato mineral (Zhenghu *et al.* 2007). No obstante, presentan ciertas particularidades que hacen que posean características diferentes en sus propiedades físico-químicas y morfológicas, y que son el resultado de las diferencias en las precipitaciones medias anuales y la mineralogía del material parental, vegetación y topografía donde ellos se encuentren (Zhenghu *et al.* 2004; 2007).

Al estar formados principalmente por arena, poseen texturas gruesas, que varían desde muy arenosas (a) y sin estructura (grano simple) a texturas arenosas medias (aF, Fa), con estructura del tipo bloques subangulares débiles a moderados (Buol *et al.* 1990).

En estos suelos, la materia orgánica es, en general, escasa (Brady & Weil, 2000); no obstante, ésta, con mayor frecuencia que en suelos con texturas finas, recubre las partículas, generando la presencia de hidrofobia, vale decir, suelos con repelencia al agua debido a un recubrimiento orgánico de las partículas (Chenu *et al.* 2000).

La parte mineral está constituida fundamentalmente por partículas de arena (diámetros entre 2 y 0,05 mm). La escasez de partículas finas (limos y arcillas) impide la formación de un verdadero complejo de cambio iónico, similar al de los suelos más evolucionados, donde el material coloidal, orgánico y mineral, se unen íntimamente, constituyendo el sistema regulador de la retención y cesión de nutrientes a la planta (Brady & Weil, 2000). Es así como la fertilidad natural es muy pobre, con capacidad de intercambio catiónico (CIC) muy bajo (6 cmol kg<sup>-1</sup> de suelo) y saturación de bases baja a muy baja (menor a 30%) (Brady & Weil, 2000).

Las partículas de cuarzo, constituyente fundamental en estos suelos, son una nula fuente de nutrientes. Por este motivo, los niveles de elementos asimilables por las plantas (N, P, K, etc.) alcanzan valores muy bajos. El nivel de nutrientes también se ve afectado por la enorme facilidad de lavado de los suelos arenosos y su escaso poder de retención, dada la falta de material coloidal, afectando principalmente al N y K (Rubio *et al.* 1998).

La presencia de un escaso y rudimentario complejo de cambio iónico es una de las características diferenciadoras de estos suelos. Sin embargo, son las propiedades físicas las que más fuertemente condicionan sus relaciones con la vegetación. En este sentido, la textura arenosa (propiedad diagnóstico de estos suelos), repercute en otras muchas características; entre éstas, facilidad de infiltración, buena permeabilidad, escasa capacidad de retención de agua y bajos contenidos de agua del suelo (Moral *et al.* 2002). Por esto, la vegetación de estos suelos puede estar sometida a constantes periodos de estrés hídrico (Hillel, 1998). Sin embargo, la rápida infiltración y el escaso poder de retención de agua pueden verse parcialmente compensados si existiesen niveles freáticos no muy profundos, permitiendo con eso, un cierto

ascenso capilar del agua hasta la zona de las raíces. No obstante, este ascenso capilar se limita a unos pocos centímetros en estos suelos (Hillel, 1980).

La porosidad del suelo también se ve afectada por la textura. Cuanto más arenoso es un suelo, mayor es su densidad aparente y menor su volumen de poros (Brady & Weil, 2000). Si bien el espacio poroso es menor que en los suelos de texturas más finas, el tamaño de los poros es mayor. Ello repercute en una gran facilidad de aireación que acelera la oxidación y mineralización de la materia orgánica (Kutilek & Nielsen, 1994).

El color de estos suelos es variable, dependiendo de las características mineralógicas y origen del material parental, variando del amarillo y pardo claros a grises oscuros. No obstante, en circunstancias de mal drenaje pueden presentar moteados pardo grisáceos y rojos fuertes, asociados a condiciones de óxido-reducción (Casanova *et al.* 2006).

Otra característica física importante deriva del bajo calor específico del cuarzo, componente fundamental de calentamiento que, indudablemente, repercute en el régimen térmico del suelo y, por tanto, en el de la vegetación que sobre él se desarrolla (Jury *et al.* 1991).

## 1.2. PROPÓSITO

Los ambientes costeros pertenecientes a dunas estabilizadas constituyen zonas de considerable interés, tanto científico y turístico, como por el rol que juegan en la génesis y mantenimiento de los sistemas ecológicos (Álvarez-Rogel *et al.* 2006). Los suelos que se desarrollan en estas superficies son una componente básica de los ecosistemas litorales, ya que no sólo sirven como sustrato para el crecimiento de las plantas, sino que por la influencia de sus propiedades pedológicas, influyen en las características y evolución de estos ambientes.

El conocimiento de la dinámica de estos suelos resulta fundamental para establecer políticas de manejo adecuadas y desarrollar correctas medidas de protección y mitigación de impactos ambientales, especialmente en los sitios donde el ecosistema se presenta más frágil, como lo son las áreas de menor estabilidad, vale decir, áreas donde los procesos geomorfológicos sean más activos y los procesos biológicos menos importantes (Holz *et al.* 1998).

Actualmente los estudios desarrollados en Chile sobre esta temática son escasos y muy generalizados, desconociéndose aún antecedentes sobre su taxonomía y sus características físicas y morfológicas, además de no reconocer el valor que tienen estos suelos como parte de un ecosistema.

En este sentido, en el presente trabajo se analizan comparativamente las características físicas y morfológicas de suelos desarrollados en las generaciones dunares antiguas de tres sistemas litorales de Chile Central, indagando además en las características geomorfológicas de estos, con el fin de identificar el rol que presenta la relación pedogénesis-morfogénesis en estos ambientes litorales.

### 1.3. HIPÓTESIS

Estudios realizados en diferentes contextos geográficos (Engel *et al.* 1996; Llona, 2000; Birkeland *et al.* 2003 y Singh *et al.* 2006), indican que existe una estrecha relación entre las características físicas y morfológicas de los suelos y la edad relativa de las formas en que estos se desarrollan, siendo esta relación advertida a través del análisis de características del suelo como la textura, estructura, color y diversos horizontes diagnósticos.

A su vez, Zhenghu *et al.* (2004; 2007) en estudios acerca de suelos desarrollados en dunas, demuestran que los cambios en las propiedades físico-químicas y morfológicas son el resultado de las diferencias en la precipitación media anual, material parental, vegetación y topografía donde ellos se encuentren. Además señalan que los procesos que forman estos suelos arenosos se caracterizan por la acumulación de partículas finas y material orgánico y la formación de una superficie estabilizada.

Tomando en consideración estos antecedentes y la teoría de la evolución del continuum dunar, se plantea que, en las áreas estudiadas, existirá un desarrollo de horizontes, que si bien será escaso, poco diferenciado y gradacional hacia estratas en profundidad y con contenidos de limo y arcilla bajos, permitirá encontrar las características que permitan clasificarlos como Entisoles.

## CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDIO

#### Emplazamiento de los sistemas

a. Sistema El Yali

El sistema dunar El Yali se inserta en el sector suroccidental de la región de Valparaíso (Provincia de San Antonio, Comuna de Santo Domingo), específicamente en los  $33^{\circ} 44' S - 71^{\circ} 41' W$  y  $33^{\circ} 45' S - 71^{\circ} 45' W$  (Fig. 3), al sur de una extensa bahía de forma cóncava que se



Fig. 3. Situación geográfica sistema El Yali. En la imagen se muestra la ubicación de las dunas y cordones litorales antiguos, además de los transectos correspondientes a los cortes geomorfológicos de las Figs. 6 y 7.

presenta en forma abierta y expuesta a la acción del oleaje y los vientos predominantes del SW (Berasaluce, 1987) siendo su límite sur la saliente rocosa Punta Toro y su límite norte el Estero Tricao.

El clima preponderante en esta área corresponde, de acuerdo a Fuenzalida (1950) a templado cálido con estación seca prolongada (6 a 8 meses), donde tanto la temperatura como la humedad se encuentran bajo el dominio marítimo, siendo esta última representada por precipitaciones acuosas y neblinas bajas. Las temperaturas se presentan moderadas, con un promedio anual de 14,5°C y precipitaciones concentradas principalmente en los meses de invierno, con un promedio entre los 380-500 mm (Santibáñez & Uribe, 1993).

Desde un punto de vista geomorfológico, se reconocen dos unidades sobre las que se desarrolla este sistema; la primera, una planicie marina de dos a tres metros de altitud, en la que se encuentran la gran mayoría de las dunas actuales y antiguas; la segunda, una terraza costera compuesta de areniscas marinas, con una altitud promedio entre los 50 y 60 metros (Caldichoury, 2000).

b. Sistema Putú

El sistema Putú, se encuentra ubicado en la Región del Maule, en los 35° 09' S - 72° 16' W y 35° 17' S - 72° 23' W (Fig. 4), en una amplia área costera convexa de acreción asociada a una baja superficie de terraplenamiento (inferior a los 10 metros de altitud), sobre la cual se asientan depósitos eólicos del Cuaternario (SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA, 2003).

Se encuentra delimitado en su extremo sur por la desembocadura del río Maule (Constitución), en su extremo norte por el estuario del río Huenchullamí y en su sector oriental, por la presencia de acantilados abandonados.



Fig. 4. Situación geográfica sistema Putú. En la imagen se muestra la ubicación de las dunas y cordones litorales antiguos, además de los transectos correspondientes a los cortes geomorfológicos de las Figs. 8 -10.

Este sistema, se enmarca en un clima templado cálido con estaciones seca y lluviosa semejantes (Fuenzalida, 1950), donde las precipitaciones se concentran en los meses de otoño e invierno, siendo el promedio anual de 943 mm., con una estación seca que dura entre 5 a 7 meses. El promedio anual de temperatura fluctúa entre los 11,7 y 13,4°C (Santibáñez & Uribe, 1993).

Respecto a los vientos predominantes, estos son de dirección SW y W y se encuentran dominados por los vientos de dirección SW en verano y del NW en invierno (Fuenzalida, 1950).

c. Sistema Chanco

El área de estudio corresponde al sector suroccidental de la Región del Maule, comprendido en los 35° 35' S - 72° 39' W y 35° 49' S - 72° 35' W (Fig. 5), abarcando el territorio ubicado en la localidad de Chanco, Provincia de Cauquenes.

El sector comprende una extensa franja litoral de aproximadamente 24 Km. de largo, entre el Cabo Carranza, el que actúa como una saliente, constituida por depósitos litorales (arena y gravas de playas actuales) del Cuaternario (SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA, 2003), y el estero Rahue, desarrollada en una amplia bahía de forma cóncava dispuesta transversalmente a los vientos dominantes del SW (Araya Vergara, 1982).

Climáticamente esta área se encuentra localizada de acuerdo a Fuenzalida (1950), en una zona sometida a un clima templado con estaciones seca y lluviosa semejantes, no obstante, la estación lluviosa tiene mayor consideración. Geográficamente este sector se desarrolla al sur del río Maule. De acuerdo a Santibáñez & Uribe (1993), presenta una temperatura media anual de 13,9°C, y un promedio de precipitaciones entre 1000 a 1300 mm.

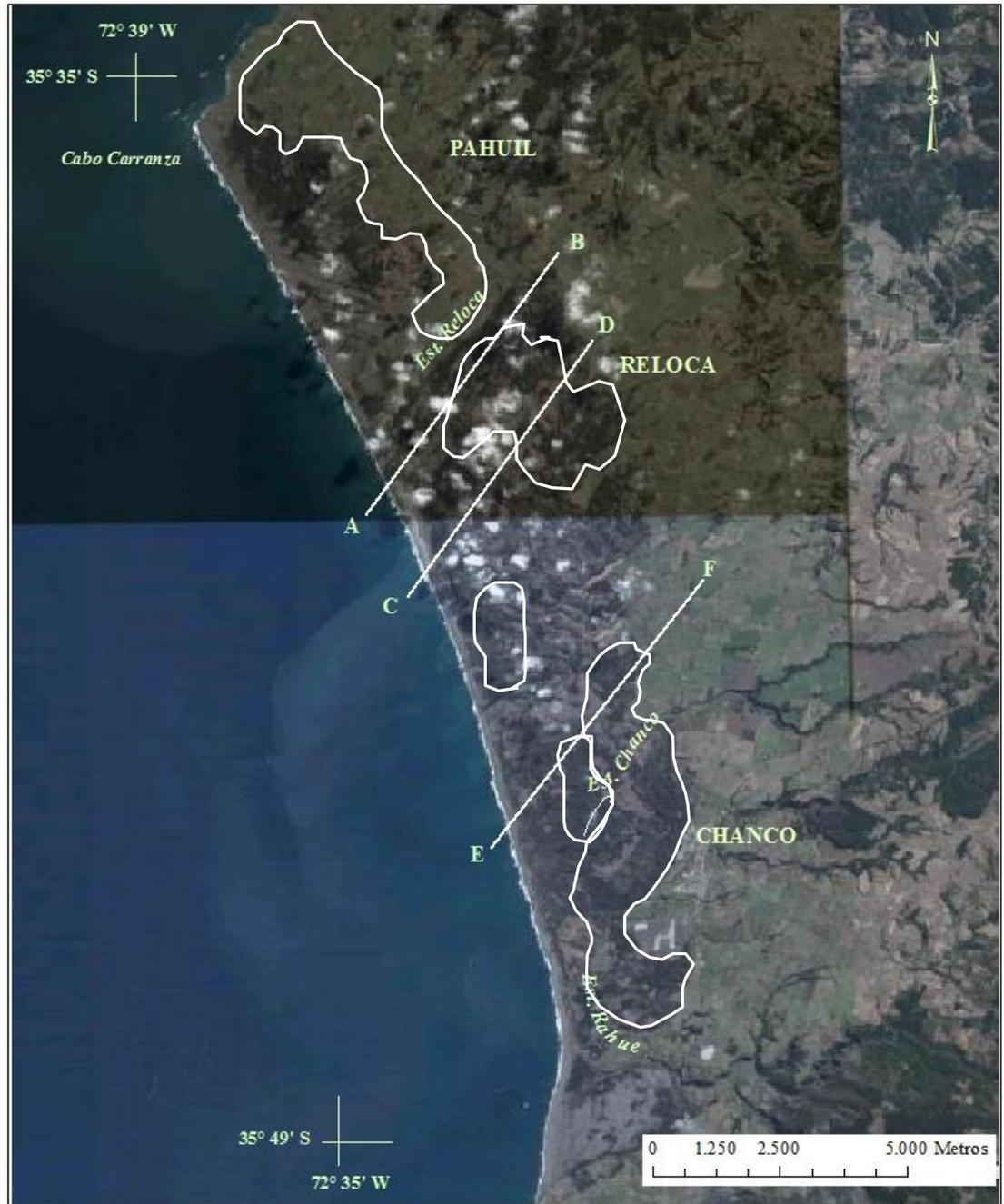


Fig. 5. Situación geográfica sistema Chanco. En la imagen se muestra la ubicación de las dunas antiguas, además de los transectos correspondientes a los cortes geomorfológicos de las Figs. 11-13.

## 2.2. PROCEDIMIENTOS

La identificación y descripción de las unidades geomorfológicas antiguas se enfocó básicamente en la clasificación de familias o *continuum* dunares, determinación de los grados de estabilidad de las formas y la susceptibilidad de los sistemas antiguos para generar determinados procesos que favorezcan la generación y desarrollo de suelos.

Para el desarrollo de estos fines se trabajó con información de índole geomorfológica (Araya Vergara, 1976; 1982; Soto, 1987; Guevara & Van Bebber, 1987; Berasaluce, 1987; Caldichoury, 1990; 2000).

### **Principios de clasificación de las generaciones dunares**

La determinación de las generaciones dunares tiene como propósito identificar la generación de dunas más antiguas, ya que es en ellas donde se sustenta el desarrollo de suelos, debido principalmente a la estabilidad de sus formas.

Se tomaron en cuenta en este proceso las formas deposicionales de acuerdo a los diferentes tipos y *continuum* dunares (Araya Vergara, 1986 en Kong, 2004) y la relación del grado de cobertura vegetal respecto a la antigüedad de la forma (Caldichoury, 1990).

#### a. Clasificación dunar

Para determinar y diferenciar las generaciones antiguas de las jóvenes y medias, se consideraron los diferentes tipos y *continuum* dunares y su modo de asociación entre sí. Este análisis puede deducirse de la clasificación de familias o *continuum* dunares propuesta por Araya Vergara (1986 en Kong, 2004), que distingue dos familias eólicas: (a) originadas de la anteduna y (b) de origen barjánico (Tabla 1). Esta clasificación resalta el proceso de avance de las dunas y su coalescencia, ya sea entre formas similares o distintas entre sí, generando en algunos casos variantes más complejas que las formas originales.

Tabla 1.  
Clasificación de familias o *continuum* dunares

ORIGEN	TIPO DE DUNA	CARACTERÍSTICAS
<b>ANTEDUNA</b>	Anteduna	Se presenta paralela a la línea de playa, manteniendo una estrecha relación con la vegetación que la coloniza, ya que ésta determina su origen y su forma.
	Blowouts	Son el resultado de la ruptura de un cordón de anteduna, producto de la formación de un corredor de viento, siendo la primera fase de formación de una duna parabólica.
	Duna Parabólica	Proveniente de la transformación de blowouts, en donde sus flancos apuntan a barlovento
	Duna Upsilonoidal	Deriva de la duna parabólica, en la que sus flancos se alargan a tal punto que se transforman en largas y estrechas alineaciones paralelas entre sí.
	Duna Longitudinal	Deriva de una duna upsilonoidal, la cual se desarrolla a tal extremo que uno de sus flancos muestra un alargamiento de tipo lineal.
<b>BARJÁN</b>	Barján	Se genera a partir de manchas de arena húmeda. Su forma es de media luna poseyendo la particularidad de que la vertiente barlovento posee una pendiente menor que la vertiente de precipitación.
	Barján coalescente	Deriva de la coalescencia de barjanas pero que conservan aún sus formas individuales.
	Barjanoide	Forma resultante de la asociación entre dunas barjánicas donde dos o más vertientes de sotavento se unifican, perdiendo por lo tanto, su individualidad.
	Duna transversal	Forma de acumulación que posee una disposición de sus crestas en forma transversal a la dirección del viento efectivo, por unificación de barjanoides.

(Araya Vergara, Comunicación Personal 2007).

En la identificación de las generaciones dunares antiguas, se considera la metodología propuesta por Araya Vergara (1989), en donde el autor clasifica las generaciones de dunas basándose en rasgos de diferenciación temporal, como lo son la estabilidad de las formas, cobertura vegetal y naturaleza y color de los sedimentos; para la relación existente entre las asociaciones vegetales y la antigüedad de las generaciones dunares, se consideran los antecedentes aportados por Caldichoury (1990; 2000).

### **Análisis de las características físicas y morfológicas de los suelos**

El análisis morfológico y textural de los suelos fue realizado en conjunto con material preexistente pertenecientes a la colección y archivos de Araya Vergara (1987) para los tres sistemas estudiados y las observaciones y tomas de muestras realizadas por la autora en terreno para el sistema Putú.

El análisis de densidad aparente y contenidos de agua del suelo, en tanto, corresponden netamente al procesamiento de las muestras en laboratorio extraídas en terreno por la autora en

el sistema Putú.

a. Reconocimiento de suelos

Para el reconocimiento de los suelos se utilizó información elaborada a través del análisis de muestras recogidas en terreno, las que en conjunto con información obtenida del análisis de pedones preexistentes para los tres sistemas, sirvió para determinar las características físicas y morfológicas de estos suelos.

La selección de los sitios de muestreo se dirigió a las generaciones de dunas antiguas que sustenten suelos, basándose la descripción de cada pedón en los criterios del Soil Survey Manual (SOIL SURVEY STAFF, 1993).

En la etapa de terreno se definieron propiedades morfológicas, como lo son el número y espesor de horizontes, material parental, estructura, clase textural, porosidad, color y raíces. Otras características como textura, contenidos de agua del suelo y densidad aparente, fueron determinadas por medio del análisis de las muestras en laboratorio.

b. Análisis de laboratorio

En el análisis de laboratorio se contempló la distribución del tamaño de partículas (textura), la cual se realizó por el método de la sedimentación de partículas o densímetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962), el que arroja los resultados de la granulometría a través de los porcentajes de arena, limo y arcilla para cada horizonte. La distribución del tamaño de arenas se realizó mediante tamizaje de acuerdo a los tamaños propuestos por USDA (SOIL SURVEY STAFF, 1993). Con estos resultados se realizaron las curvas de acumulación textural, que permiten interpretar procesos de depositación y evolución del suelo. Finalmente, se determinó la clase textural a través del triángulo textural del USDA (SOIL SURVEY STAFF, 1993).

La densidad aparente se determinó por el método del cilindro y en las muestras que lo permitieron el método del terrón con parafina (Grossman & Reinsch, 2002). La retención de agua se determinó con olla y plato de presión (Dane & Hopmans, 2002) a tensiones equivalentes

de 33 y 1.500 KPa.

c. Clasificación de suelos

De la observación de las características físicas y morfológicas de los suelos y posteriores resultados, se procedió al análisis de sus propiedades, para ello se consideraron los antecedentes aportados por Zhenghu *et al.* (2007), quienes estudiaron los patrones espaciales de la formación de suelos, estableciendo sus características morfológicas y propiedades físicas y químicas.

Se consideraron además, las características geomorfológicas y sedimentológicas propias de los sistemas dunares y climáticas de los tres sistemas estudiados, con el fin de comparar los suelos que en ellos se desarrollan. Se determinó así si existen diferencias en sus propiedades físicas y morfológicas debido a la mayor o menor influencia de ciertos factores de formación del suelo.

A través de la interpretación de las características físicas y morfológicas de los perfiles de suelos para cada sistema, se procedió a realizar una clasificación taxonómica de éstos, considerando como base la nomenclatura del USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2003), alcanzando hasta la categoría de Subgrupo. Finalmente y como resultado de esta clasificación, se procedió a confeccionar una cartografía representativa.

### **Relación pedogénesis - morfogénesis**

a. Análisis de las características morfológicas y pedológicas

Del análisis y clasificación de los suelos estudiados y de la definición de las características geomorfológicas de las generaciones dunares antiguas, se procedió a establecer la relación entre la génesis de los suelos y la geomorfología de las áreas de estudio. Esta relación además, se complementó por medio del análisis de la cartografía de superposición de las variables geomorfológicas y pedológicas.

b. Confección de la carta relación pedogénesis-morfogénesis

La confección de la carta de superposición entre las unidades geomorfológicas y de Subgrupos de suelos, se realizó tomando como base la leyenda, criterios y unidades consideradas en las preexistentes cartografías geomorfológicas de los tres sistemas (Soto, 1987; Guevara & Van Bebber, 1987; Berasaluce, 1987), con especial interés en lo que respecta a las formas pertenecientes a las generaciones dunares antiguas.

Respecto a la cartografía de Subgrupos de suelos, esta se realizó considerando los antecedentes aportados por el análisis de las muestras recogidas en terreno para el sistema Putú y la información obtenida del análisis de pedones ya existentes para los tres sistemas (Araya Vergara, 1987) y complementada con la clasificación taxonómica designada para estos suelos.

Finalmente, se confeccionó la carta de superposición de estas dos variables, siendo el objetivo principal tratar de representar las características morfológicas de las formas deposicionales reconocidas como generaciones antiguas y la clasificación taxonómica representativa de los Subgrupos de suelos.

## CAPITULO III. RESULTADOS

### 3.1. CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

#### Generaciones dunares antiguas y posición geomorfológica de los pedones

##### a. Sistema El Yali

Las generaciones dunares antiguas tienden a destacarse poco por sobre el terraplenamiento, siendo los casos mejor expuestos, las dunas parabólicas, upsiloidales y longitudinales que se ubican al norte del estero El Yali. Las parabólicas y upsiloidales dominan en la parte centro-norte del sistema (Fig. 6), en cambio las longitudinales, principalmente en el sector sur del sistema, siendo de modo general, ambas formas dunares muy degradadas y estabilizadas y cubiertas totalmente por vegetación herbácea.

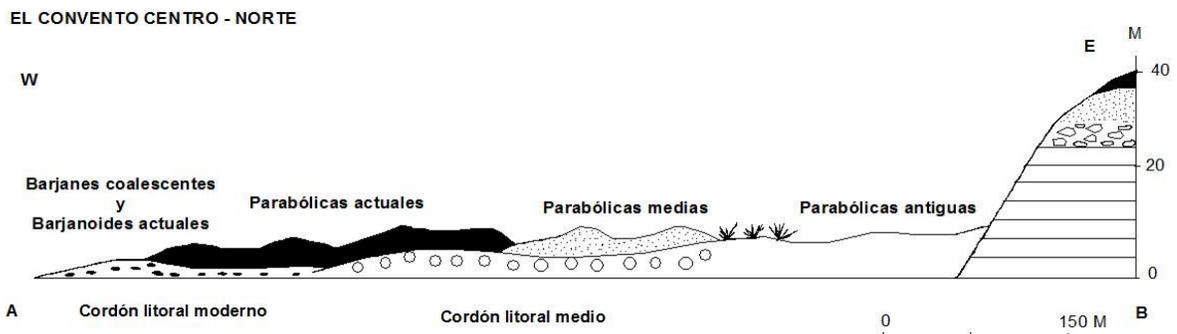


Fig. 6. Corte geomorfológico A-B correspondiente al sector El Convento, donde se muestran las generaciones dunares antiguas (parabólicas antiguas) sobreyaciendo a los cordones litorales antiguos (Araya-Vergara, 1986).

En las dunas parabólicas antiguas se emplazan los pedones  $Y_1$  e  $Y_4$  (Fig. 23), estas dunas se ubican específicamente en el área centro-norte y sur del sistema, inmediatamente al norte del estero El Yali, entre el acantilado inactivo interior y un pequeño sector de dunas parabólicas medias que delimitan su lado este y dunas parabólicas medias y dunas actuales (barjanas, parabólicas, blowouts y dunas anteriores) su lado poniente. Caracterizándose por poseer un modelado aplanado que hace difícil su diferenciación, especialmente en los sectores más cercanos a la playa, donde se encuentran parcialmente cubiertas por dunas actuales del tipo barjanas coalescentes de onda corta.

En el subsistema perteneciente a dunas upsiloidales antiguas, desarrolladas entre la laguna litoral El Yali, y el acantilado estable interior se ubica Y<sub>5</sub>. Aquí, estas dunas se presentan de forma degradada y disminuida, asimilándose al nivel de terraplenamiento, debido a que gran parte de la superficie ha disminuido a causa de la existencia de marismas litorales debido a las crecidas del estero El Yali en las estaciones húmedas, constituyendo de este modo una forma aplanada, situación que se ha exagerado producto del proceso de estabilización natural de gran cantidad de especies herbáceas, gramíneas y psamnófitas, que se han fijado definitivamente al terreno, provocando que esta unidad, a través del poblamiento vegetacional, haya variado su configuración.

Al sur de la desembocadura del estero El Yali, en el subsistema correspondiente a las dunas longitudinales antiguas, se ubica Y<sub>3</sub>. Estas dunas sólo se encuentran relegadas al extremo sur del sistema dunar, entre las riberas norte y sur del estero El Yali, encontrándose alternadas con los antiguos cordones de rodados en la ribera norte. Constituyen una pequeña superficie, suavizada y dispersa, inserta entre las dunas pertenecientes al subsistema upsiloidal antiguo y los antiguos cordones de rodados. Se caracterizan por estar completamente estabilizadas y asimiladas al nivel de terraplenamiento, lo que junto a la rápida descomposición de sus materiales originales y la colonización de una cubierta herbácea y de gramíneas, permiten un incipiente desarrollo de suelo.

Finalmente, en la unidad correspondiente a los cordones litorales de rodados antiguos se encuentra Y<sub>2</sub>. Esta unidad sólo se encuentra en el sector central del sistema, donde es posible distinguirlos claramente subyaciendo a las dunas transversales actuales al norte del estero El Yali (Fig. 7). Se distinguen tan sólo tres secuencias de baja altitud, separados entre sí por distancias de aproximadamente 200 metros, siendo más antiguas hacia el interior y que en algunos sectores se encuentran bastante suavizados y recubiertos por hierbas con una rudimentaria capa orgánica.

Estos cordones litorales se disponen en orientación N-S, siendo paralelos a la línea de costa actual, caracterizándose por estar formados principalmente por gravas; no obstante, son los

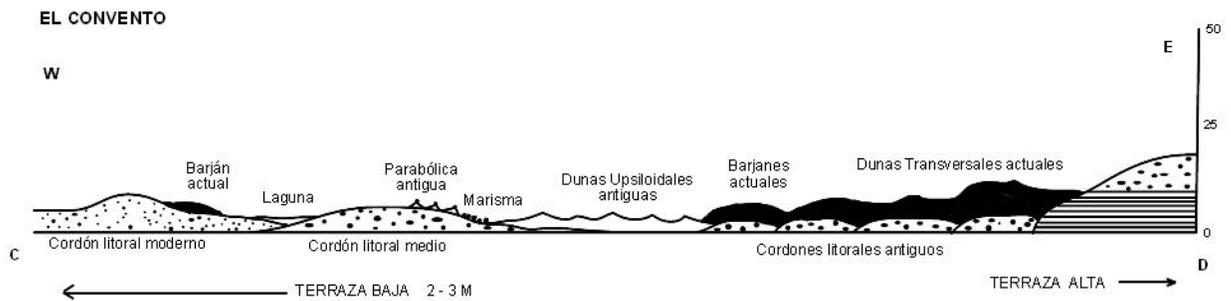


Fig. 7. Corte geomorfológico C-D correspondiente al sector central de El Yali, donde se muestran los cordones litorales antiguos infrayaciendo a las dunas transversales actuales (Araya-Vergara, 1989).

cordones que presentan la mayor cantidad de arena, en comparación con los de las generaciones medias y actuales; las gravas tienen un notorio grado de eolización, la que es revelada por su superficie rugosa, aún cuando su redondez se encuentra poco alterada y la presencia de pátinas de oxidación sean frecuentes en superficie.

#### b. Sistema Putú

Geomorfológicamente el sistema Putú se encuentra conformado por generaciones dunares de diferentes edades, siendo a simple vista las dunas paralelas las más antiguas dentro del sistema, esto debido a su grado de estabilidad y evolución, situación que ha posibilitado la formación de suelos y cubierta vegetal herbácea, arbustiva y arbórea.

Las dunas paralelas antiguas se localizan en tres sectores diferentes dentro del sistema, sin embargo su mayor desarrollo se encuentra en el sector centro-sur en las cercanías de Putú. Corresponden de modo general, a sucesivos cordones de dunas anteriores antiguas estabilizadas que poseen actualmente una forma homogénea de largos y angostos cordones dunares anteriores, de modelado bajo y plano, estabilizadas con vegetación e irregulares en su forma debido principalmente, a la acción del agua acumulada en época de precipitaciones.

Es en esta unidad (dunas paralelas antiguas) donde se encuentran los pedones P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> y P<sub>4</sub>. En el caso de P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> éstos se emplazan en las cercanías de La Capellanía (sector norte del sistema) y P<sub>3</sub> y P<sub>4</sub> en Putú (sector centro) (Fig. 24). En el área norte estas dunas, constituyen un sector ubicado entre el acantilado inactivo, las dunas transversales actuales y marismas (Fig. 8). Aquí

se presentan como una pequeña sucesión de secuencias de dunas anteriores, con una fuerte interacción antrópica (forestadas con pinos), constituyendo de este modo, un modelo aplanado y muy camuflado, donde se pueden encontrar suelos moderadamente desarrollados.

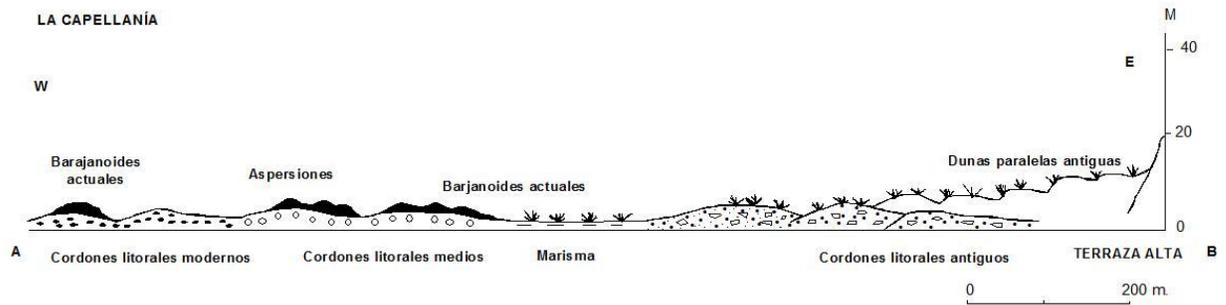


Fig. 8. Corte geomorfológico A-B correspondientes a la zona norte del sistema (La Capellanía), donde se muestran las dunas paralelas antiguas y cordones litorales antiguos (Araya-Vergara, 1984).

En Putú, se encuentra la mayor superficie de dunas paralelas antiguas. Las más cercanas a la playa, conforman la parte más compacta y el modelado de mayor notoriedad. Presentan abundante vegetación, la que va desapareciendo progresivamente hacia el extremo sur, donde entran en contacto con las dunas actuales y con sectores de marismas. Las fases más internas se presentan desalineadas con respecto a las primeras, adquiriendo casi una dirección perpendicular a la línea de costa. Se trata de cordones dunares desmembrados, con una alternancia de cordones y terraza baja en el sector norte de la forma y como un modelado de cordones dunares aplanados alternados con sectores de marismas en la parte sur (Fig. 9). El tercer y el cuarto pedón se ubican en estos sectores. P<sub>3</sub> se emplaza en las fases más internas de estas dunas, en dirección perpendicular al pueblo de Putú, mientras que P<sub>4</sub>, en el sector sur, donde estas formas se alternan con sectores depresionarios correspondientes a las zonas de marismas o pajonales del Dóllimo.

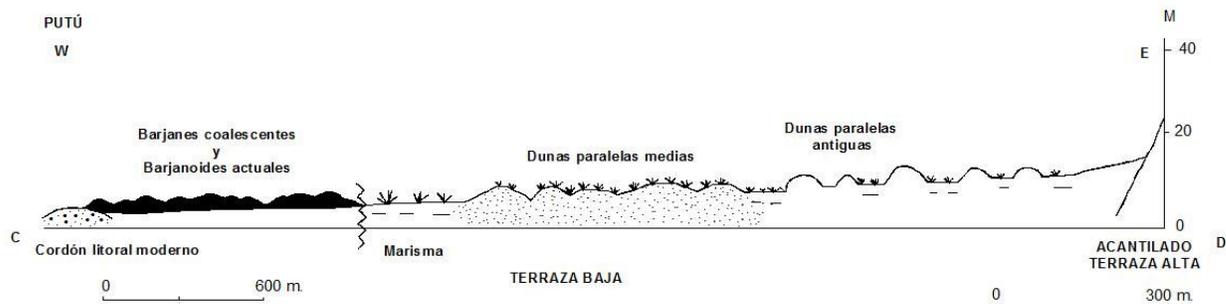


Fig. 9. Corte geomorfológico C-D correspondiente a la zona central del sistema, donde se muestran las dunas paralelas antiguas (Araya-Vergara, 1984).

En la unidad correspondiente a dunas parabólicas antiguas se emplazan P<sub>5</sub> y P<sub>6</sub>. La mayor extensión de estas dunas se localiza al sur del sistema (Fig. 10). De modo general, constituyen un modelado aplanado, fijo por una vegetación de hierba baja y densa, que permite el desarrollo incipiente de suelos.

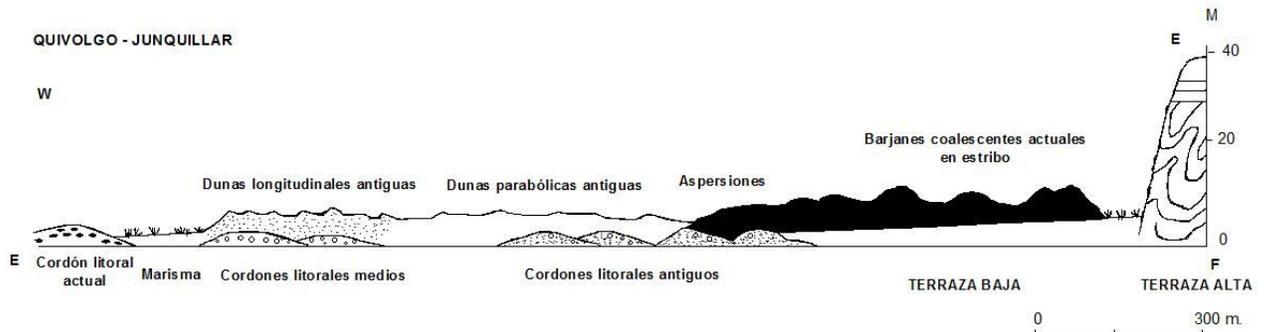


Fig. 10. Corte geomorfológico E-F correspondiente a la zona sur del sistema (Quivolgo-Junquillar), donde se muestran las dunas parabólicas y longitudinales antiguas sobreyaciendo a los cordones litorales antiguos (Araya-Vergara, 1987).

Los cordones litorales antiguos que se desarrollan en el sector de La Capellanía, corresponden a la ubicación de P<sub>7</sub>. Esta unidad se caracteriza por estar constituida por cordones planos y muy disimulados en el paisaje, siendo sus alturas no superiores a los 50 cms. Sedimentológicamente se encuentran constituidos por gravas y rodados, que gradan desde los cordones más internos hacia fuera aumentando en densidad, y arenas las cuales son más importantes sus proporciones en los cordones más internos. Los cordones más antiguos se encuentran colonizados por pastos y gramíneas, lo que en conjunto con la presencia de un suelo poco evolucionado, hacen que la cubierta de rodados en las fases más antiguas sea poco densa.

Los cordones litorales antiguos, ubicados en el sector sur del sistema, corresponden a la ubicación de P<sub>9</sub>. Estos cordones se caracterizan por poseer un relieve aplanado y cubierta herbácea, con suelos incipientes y abundantes rodados, siendo en algunos sectores más cercanos a la playa sepultados por las dunas actuales.

Finalmente, en las dunas longitudinales antiguas, ubicadas en el sector de Quivolgo-Junquillar, se encuentran P<sub>8</sub> y P<sub>10</sub>. Aquí estas dunas se caracterizan por estar constituidas por una serie de largos cordones dunarios de modelado bajo y plano y estabilizados por vegetación (Fig. 10).

c. Sistema Chanco

Las generaciones dunares antiguas se encuentran escasamente representadas en el sistema y de forma discontinua. Corresponden básicamente a formas remanentes de antiguos sistemas estabilizados, con una dinámica actual nula y una topografía de suaves ondulaciones, situación que ha favorecido el desarrollo y mantenimiento de vegetación natural y la realización de labores agrícolas y forestales, lo que estaría evidenciando el desarrollo incipiente de suelos.

Las principales formas dunares antiguas que es posible encontrar en este sistema, corresponden a dunas del tipo upsiloidal y longitudinal, las que actualmente poseen un grado de enmascaramiento y erosión de las formas que se manifiesta en su gran cantidad de variaciones.

Las dunas upsiloidales antiguas del área centro-norte del sistema son fácilmente distinguibles a pesar de tener un patrón de recurrencia discontinuo (Fig. 11), desarrollándose dos principales tipos de unidades las que se diferencian principalmente por su antigüedad y grado de enmascaramiento, las primeras corresponden a dunas upsiloidales con ciertos rasgos longitudinales ubicadas sobre la terraza del estero Reloca y las segundas a dunas upsiloidales con ciertos rasgos parabólicos emplazadas a barlovento de las primeras.

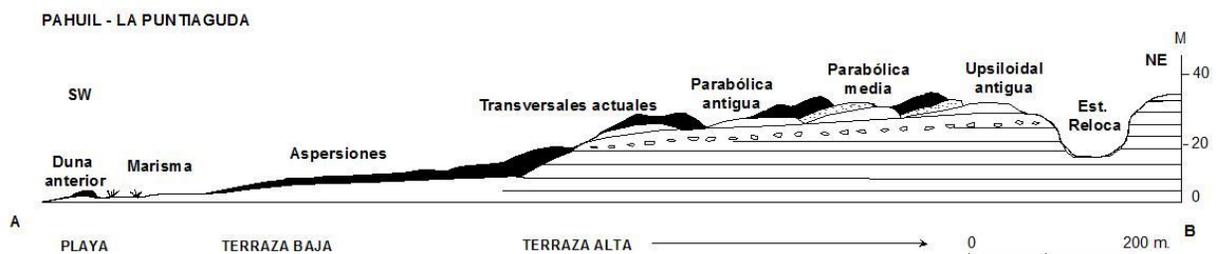


Fig. 11. Corte geomorfológico A-B correspondiente al sector norte del sistema, donde se muestran las dunas parabólicas y upsiloidales antiguas sobre la terraza del estero Reloca (Araya-Vergara, 1984).

En la unidad correspondiente a dunas upsiloidales antiguas desarrolladas en el sector norte del sistema (Pahuil), se encuentra  $Ch_1$  (Fig. 25). Esta unidad se caracteriza por presentar rasgos fácilmente distinguibles, ya que morfológicamente son abruptas y bien perceptibles en el terreno, colonizadas con matorral arbustivo esclerófilo, con predominio de boldo en asociación boldo-

litre (*Peumus boldus* - *Lithraea caustica*).

En el sector Rinconada de Reloca, se ubican Ch<sub>2</sub> y Ch<sub>3</sub>. Ch<sub>2</sub> se emplaza dentro de la unidad de dunas antiguas del tipo upsiloidal, no obstante estas presentan ciertos rasgos longitudinales y Ch<sub>3</sub>, se ubica en los sectores interdunares pertenecientes a las dunas upsiloidales antiguas con ciertos rasgos parabólicos.

Las primeras formas dunares (upsiloidales-longitudinales), al igual que en Pahuil son fácilmente distinguibles, siendo bastante abruptas. Estas dunas se caracterizan por encontrarse desarrolladas sobre la superficie con mal drenaje de la terraza baja (ciénaga) del estero Reloca (Fig. 12). La vegetación que las cubre es herbácea, preponderando la chépica. Finalmente, se trata de un área con mucha interacción antrópica (pastoreo) dentro del valle del estero.

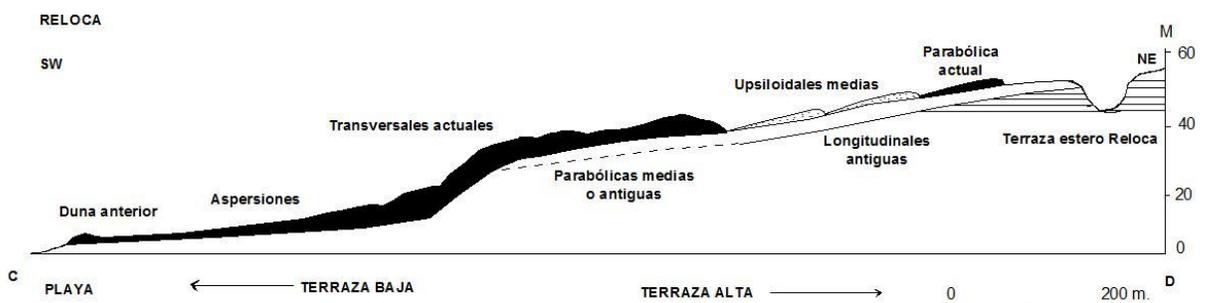


Fig. 12. Corte geomorfológico C-D correspondiente al sector centro-norte del sistema, donde se muestran las dunas upsiloidales-longitudinales antiguas infrayaciendo a las dunas transversales actuales (Araya-Vergara, 1984).

Las dunas upsiloidales antiguas, correspondientes a la ubicación del tercer pedón (upsiloidales-parabólicas), no obstante son más jóvenes que las upsiloidales-longitudinales, se presentan muy rebajadas y camufladas en el paisaje, además de presentar también en algunos sectores ciertos rasgos de dunas parabólicas. De modo general, corresponden a un paisaje suave y camuflado de dunas upsiloidales con rasgos parabólicos en juego de zig-zag con barjanes antiguos.

En la unidad de dunas longitudinales antiguas ubicadas en el sector de Chanco (Fig. 13) se emplaza Ch<sub>4</sub>. Este suelo se ubica específicamente en un sector depresionario entre dunas transversales modernas y dunas longitudinales antiguas, en un terreno con mucha interacción antrópica, ya que se encuentra forestado con renovales de pinos.

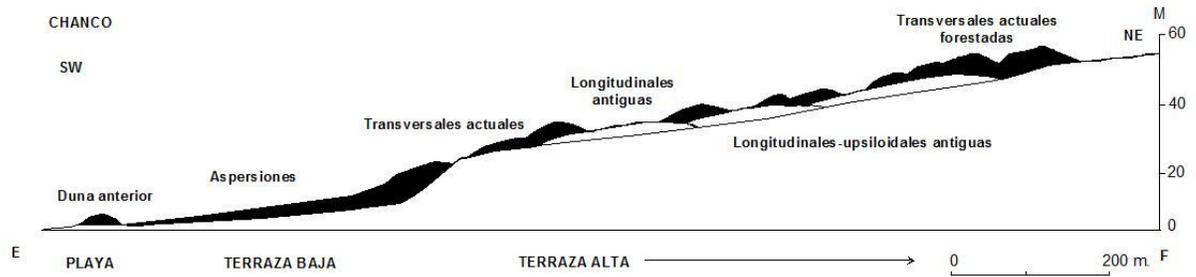


Fig. 13. Corte geomorfológico E-F correspondiente al sector sur del sistema, donde se muestran las dunas longitudinales antiguas con ciertos rasgos upsiloidales infrayaciendo a las dunas transversales actuales (Araya-Vergara, 1984).

### 3.2. CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS

#### Descripción de suelos

Los suelos muestran escaso desarrollo, con un tipo de secuencia preferentemente A-C, 2 a 3 horizontes y profundidades entre 20- 40 cm. (Tablas 2 – 4) (Figs. 16 - 17).

De modo general, los suelos presentan texturas arenosas (a) y arena francosas (aF), caracterizándose por estar compuestas esencialmente de arenas medias y finas con una clara presencia de limo en los horizontes superficiales y, arenas medias y gruesas en los horizontes profundos; destacan además, la mayor cantidad de arenas oxidadas, respecto a las demás generaciones dunares.

Por sus características texturales, la estructura es de bloques subangulares y granular, con un grado estructural preferentemente moderado a débil en los horizontes superficiales (Fig. 14), y sin grado estructural (grano simple) en los horizontes más profundos.



Fig. 14. Estructura bloques subangulares, pedón P<sub>2</sub>, La Capellanía.

En algunos casos, se presentan rasgos redoximórficos (RRM) contrastantes en los horizontes subsuperficiales (Fig. 15a), aunque predominan los perfiles haploides (Fig. 15b). La oxidación de las partículas de Fe aparece representada por concentraciones redox, en formas de masas de  $Fe^{+3}$  no superiores al 50% de la masa total en los matices 7,5 y 5 YR (valores superiores a 4 y cromas mayores a 6) y moteados de color negro (N 3/0), esto indicaría procesos de oxidación-reducción, además de la presencia frecuente u ocasional de humedad en algunos horizontes.

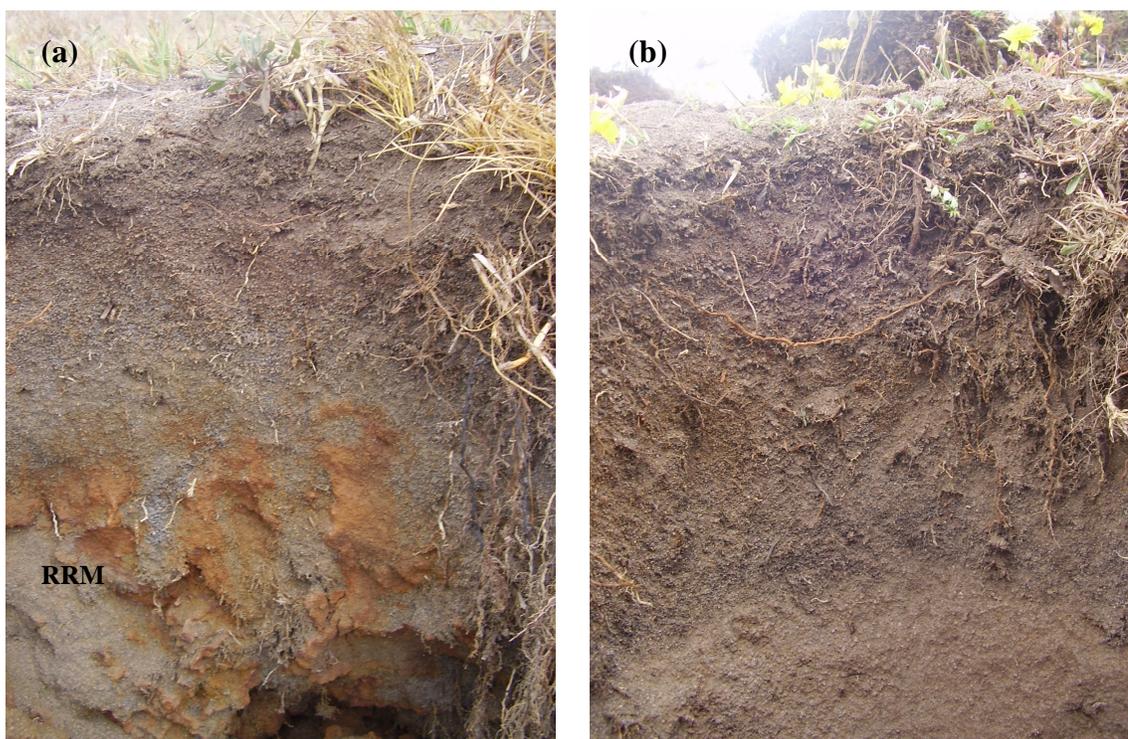


Fig. 15 a y b. Rasgos redoximórficos y perfil haploide en suelos arenosos, Quivolgo-Junquillar.

Los matices que presentan estos suelos, corresponden a 10 YR con valores (value) que fluctúan entre 5 a 3 y cromas (chromas) entre 2 y 1, vale decir presentan colores principalmente grises, variando de los pardos grisáceos (10 YR 5/2) en superficie, a pardo grisáceos muy oscuros (10 YR 3/2), pardos muy oscuros (10 YR 2/2) o grises oscuros (10 YR 4/1) en profundidad.

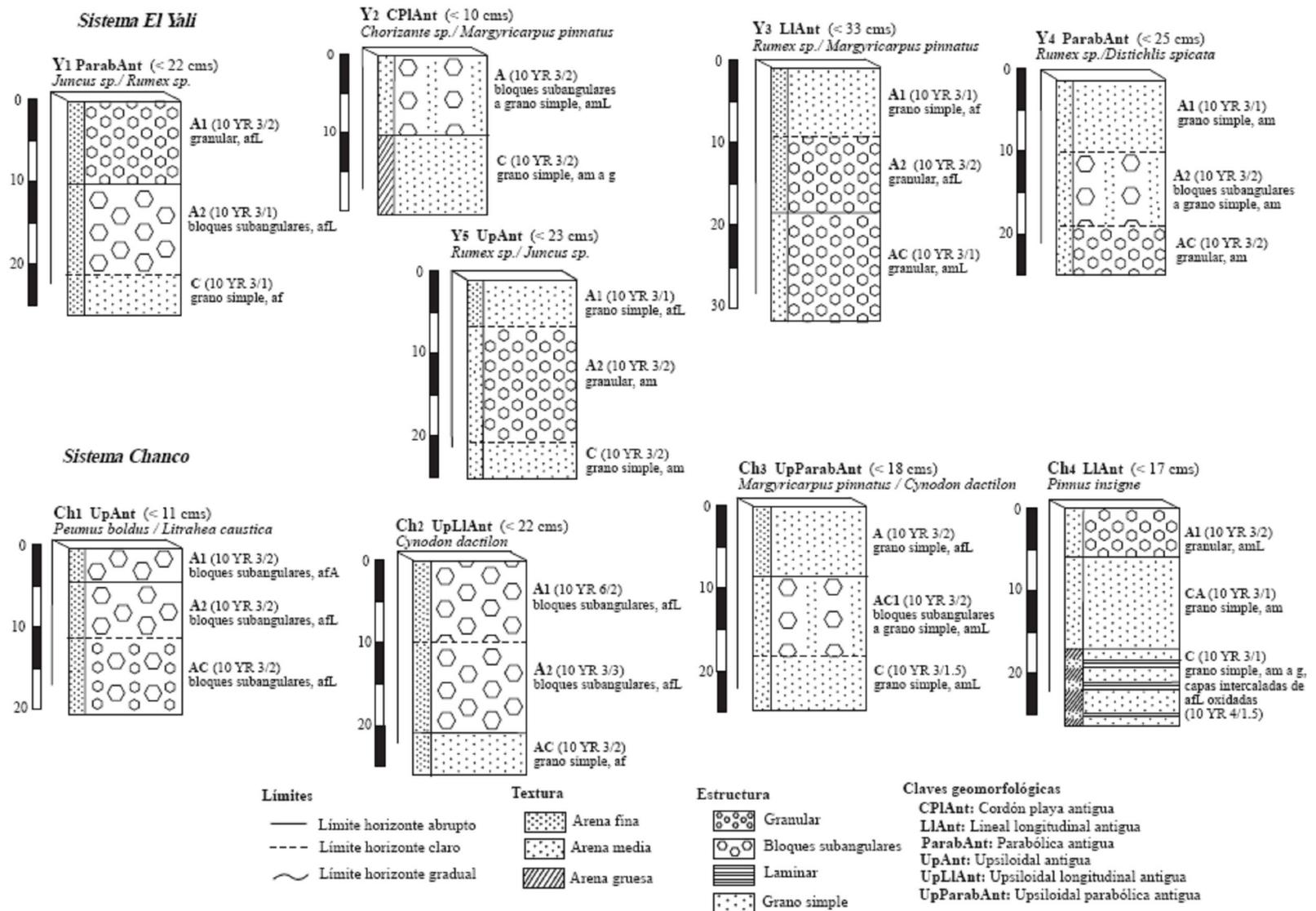


Fig. 16. Diagrama de perfiles Y<sub>1</sub> – Y<sub>5</sub> del Sistema El Yali, y perfiles Ch<sub>1</sub> - Ch<sub>4</sub> del Sistema Chanco.

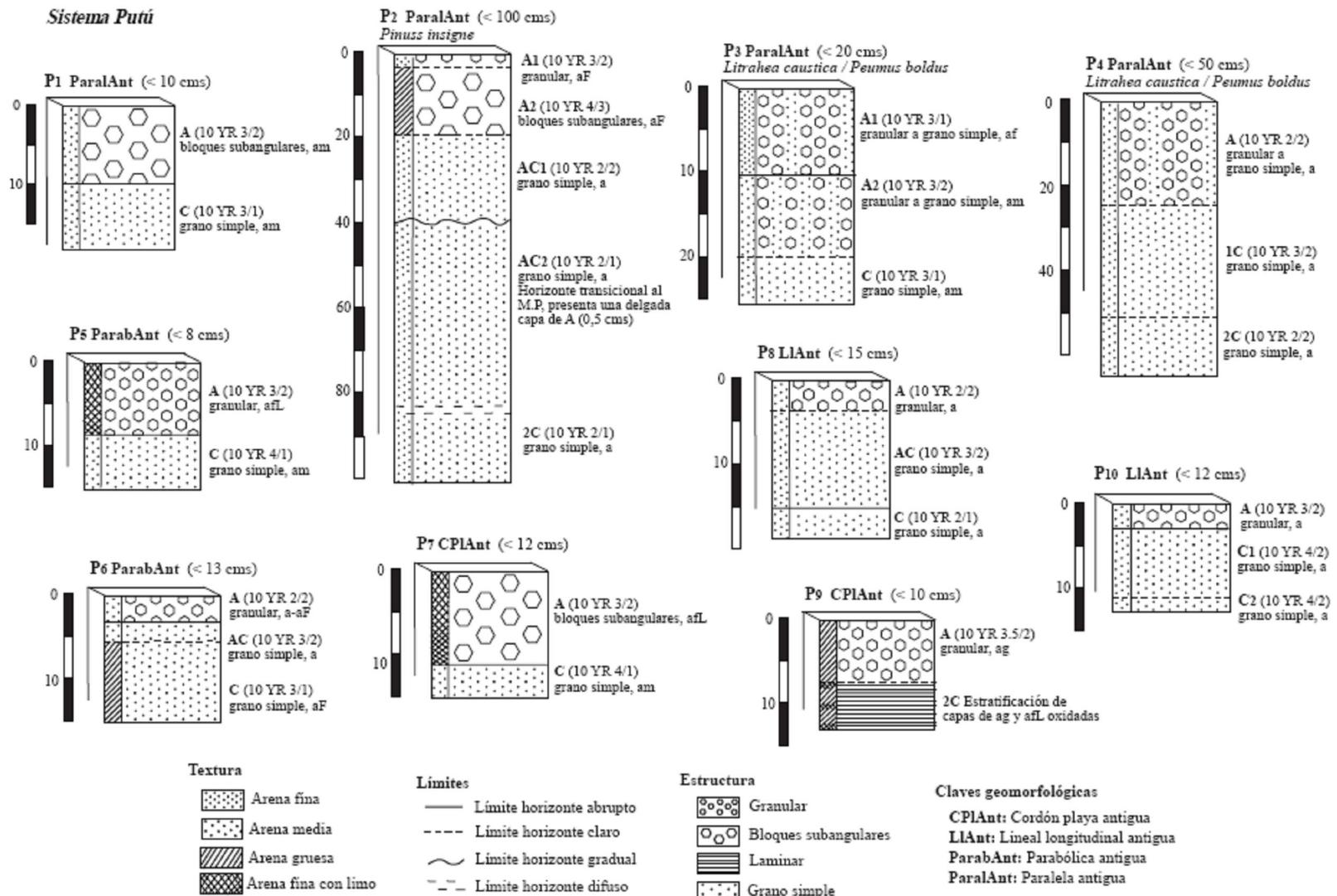


Fig. 17. Diagrama de perfiles P<sub>1</sub> a P<sub>10</sub> del sistema Putú.

ANÁLISIS DE SUELOS DESARROLLADOS EN DUNAS LITORALES ANTIGUAS DE CHILE CENTRAL

Tabla 2. Descripción de los perfiles de suelos pertenecientes a los sistemas El Yali.  
Descripción de nomenclatura<sup>1</sup>

Espesor (cms.)	Horizonte	Color	s	h	Textura	Estructura	Límite	M.O	Poros	Comentarios
<i>El Yali</i>										
<b>Y<sub>1</sub> Parabólica antigua</b>										
<i>El Convento Norte</i>										
0-10	A <sub>1</sub>	10 YR	6/2	3/2	afL	g d	a	rf mf a		
10-22	A <sub>2</sub>	10 YR	3/2	3/1	afL	bsa d	cl	rf a, m c		
< 22	C	10 YR	3/2	3/1	af	gs		rmf e		
<b>Y<sub>2</sub> Cordón litoral antiguo</b>										
<i>El Convento Centro</i>										
0-10	A	10 YR	6/2	3/2	am	bsa d a gs	a	rf mf a		presencia de gravas
< 10	C	10 YR	3/1	3/2	am a g	gs				matriz de arena m a g con gravas
<b>Y<sub>3</sub> Longitudinal antigua</b>										
<i>El Convento Centro-Norte</i>										
0-8	A <sub>1</sub>	10 YR		3/1	af	gs	cl	rf mf; m a		
8-18	A <sub>2</sub>	10 YR		3/2	afL	g m	a	rf mf a		materia orgánica parcialmente descompuesta
< 33	AC	10 YR		3/1	amL	g m		rf mo		materia orgánica más descompuesta
<b>Y<sub>4</sub> Parabólica antigua</b>										
<i>El Convento Centro-sur</i>										
0-10	A <sub>1</sub>	10 YR		3/1	am, afL	gs	cl	rf mf; m a		materia orgánica bruta en superficie
10-18	A <sub>2</sub>	10 YR		3/2	am	gs a g d	cl	rf a; m g e		materia orgánica semidescompuesta
< 25	AC	10 YR		3/2	am	g d		rf m c		materia orgánica descompuesta
<b>Y<sub>5</sub> Upsiloidal antigua</b>										
<i>El Convento Sur</i>										
0-6	A <sub>1</sub>	10 YR		3/1	afL	gs	cl	rf mf mo		restos aéreos de plantas en superficie
6-19	A <sub>2</sub>	10 YR		3/2	am afL	g f		rf mf e		abundante materia orgánica descompuesta
< 23	C	10 YR		3/2	am	gs		rf mf e		

<sup>1</sup> Abreviación de la descripción de las características en las tablas: **Color (Munsell):** s=seco, h=húmedo; **Textura:** a=arenosa, af=areno francosa; **Tamaño de las partículas:** af=arena fina, am=arena media, ag= arena gruesa, afL=arena fina con limo, amL= arena media con limo; **Estructura:** gs=grano simple, g=granular, bsa=bloques subangulares, l=laminar; **Grado estructural:** d=débil, m=moderado, f=fuerte; **Límite:** d= difuso, g=gradual, cl=claro, a=abrupto; **M.O:** raíces, mf=muy finas, f= finas, m=medias; g= gruesas; **Cantidad:** a=abundantes, c=comunes, mo=moderadamente pocas, p=pocas, e=escasas; **Poros:** mf= muy finos, f= finos, m= medios, g= gruesos; **Cantidad:** a= abundantes, c= comunes, e= escasos.

ANÁLISIS DE SUELOS DESARROLLADOS EN DUNAS LITORALES ANTIGUAS DE CHILE CENTRAL

Tabla 3. Descripción de los perfiles de suelos pertenecientes al sistema Putú.  
Descripción de nomenclatura<sup>2</sup>

Espesor (cms.)	Horizonte	Color	s	h	Textura	Estructura	Límite	M.O	Poros	Comentarios
<b>Putú</b>										
<b>P<sub>1</sub> Paralela antigua</b>										
<i>La Capellanía</i>										
0-10	A	10 YR	3/3	3/2	am	bsa d	a	rf e		
> 10	C	10 YR	3/2	3/1	am	gs				
<b>P<sub>2</sub> Paralela antigua</b>										
<i>La Capellanía</i>										
0-3	A <sub>1</sub>	10 YR	5/2	3/2	aF	g m a d	cl	rf mf a	f mf e, m c	arena media y fina
3-18	A <sub>2</sub>	10 YR	6/1	4/3	aF	bs m	cl	rf mf m, m e	f mf e, m c	20% arenas oxidadas
18-40	AC <sub>1</sub>	10 YR	4/2	2/2	a	gs	g	rf mf a, m c, g e	f mf e, m c	presenta fragmentos de corteza de pinos en descomposición, además de microorganismo (arañas, lombrices)
40-85	AC <sub>2</sub>	10 YR	5/1	2/1	a	gs	d	m c	m c, g e	horizonte transicional al material parental, presenta una delgada capa de A (> 0,5 cms.), con abundantes arenas de tamaño medio
85-104	2C	10 YR	4/1	2/1	a	gs		m a	m e, g c	
<b>P<sub>3</sub> Paralela antigua</b>										
<i>Putú</i>										
0-10	A <sub>1</sub>	10 YR	3/2	3/1	af	g d a gs	a	rf mf mo		
10-15	A <sub>2</sub>	10 YR	3/3	3/2	am	g d a gs	cl	rf e		
> 20	C	10 YR	4/1	3/1	am	gs				
<b>P<sub>4</sub> Paralela antigua</b>										
<i>Putú</i>										
0-24	A	10 YR	4/2	2/2	a	g d	cl	rf mf a, m c y g e	f y mf e, m c y g e	
24-51	1C	10 YR	5/2	3/2	a	gs	cl	rf mf c, m e	f y m c, g e	

<sup>2</sup> Abreviación de la descripción de las características en las tablas: **Color (Munsell):** s=seco, h=húmedo; **Textura:** a= arenosa, aF= areno francosa; **Tamaño de las partículas:** af=arena fina, am=arena media, ag= arena gruesa, afL=arena fina con limo; amL= arena media con limo; **Estructura:** gs=grano simple, g=granular, bsa=bloques subangulares, l=laminar; **Grado estructural:** d=débil, m=moderado, f=fuerte; **Límite:** d= difuso, g=gradual, cl=claro, a=abrupto; **M.O:** raíces, mf=muy finas, f= finas, m=medias; g= gruesas; **Cantidad:** a=abundantes, c=comunes, mo=moderadamente pocas, p=pocas, e=escasas; **Poros:** mf= muy finos, f= finos, m= medios, g= gruesos; **Cantidad:** a= abundantes, c= comunes, e= escasos.

ANÁLISIS DE SUELOS DESARROLLADOS EN DUNAS LITORALES ANTIGUAS DE CHILE CENTRAL

Espe­sor (cms.)	Horizonte	Color	s	h	Textura	Estructura	Límite	M.O	Poros	Comentarios
> 51	2C	10 YR	3/2	2/2	a	gs		rf m c, g e	g e	arenas ferruginizadas, horizonte permanentemente húmedo
<b>P<sub>5</sub> Parabólica antigua</b> <i>Quivolgo-Junquillar</i>										
0-8	A	10 YR	3.5/2	3/2	afL	g d	a	rf a mf e		
> 8	C	10 YR	3/1	4/1	am	gs		rf e		matriz arenosa estratificada con sesquióxidos
<b>P<sub>6</sub> Parabólica antigua</b> <i>Quivolgo-Junquillar</i>										
0-3	A	10 YR	3/2	2/2	a-aF	g d	a	rf mf a, m c, g e	f y m e	
3-5	AC	10 YR	5/2.5	3/1	a	gs	cl	rf mf a, m c	f e	
>13	C	10 YR	4/1	3/1	aF	gs		rf mf y m e		
<b>P<sub>7</sub> Cordón litoral antiguo</b> <i>La Capellanía</i>										
0-12	A	10 YR	6/2	3/2	afL	bsa m	a	rf mf mo		las arenas presentan rasgos de oxidación y existencia de rodados
> 12	C	10 YR	3/2	4/1	am	gs				
<b>P<sub>8</sub> Longitudinal antigua</b> <i>Quivolgo-Junquillar</i>										
0-4	A	10 YR	5/2	2/2	a	g m	cl	rf mf e	f e	
4-15	AC	10 YR	5/2.5	3/2	a	gs	g	mf m	f e	presenta 20% de moteados color 10 YR 4/6; 2/2
> 15	C	10 YR		2/1	a	bs f		rf m	f y m e	presenta 30% de moteados de Mn (N 3/0; N 2.5/0), 20% de 7.5 YR 4/6; 2.5/1, 30% de 10 YR 3/3; 2/1 y 20 % en seco mezcla de los anteriores en húmedo 10 YR 2/1
<b>P<sub>9</sub> Cordón litoral antiguo</b> <i>Quivolgo-Junquillar</i>										
0-7	A	10 YR	3/2	3.5/2	ag	g d	cl	rf; m mo		alto contenido de semillas
> 7	C									estratificación de capas de arena gruesa con poco limo y arena media a fina con abundante limo y escasa arcilla (oxidadas), estas últimas capas

ANÁLISIS DE SUELOS DESARROLLADOS EN DUNAS LITORALES ANTIGUAS DE CHILE CENTRAL

conservan humedad permanentemente

Espesor (cms.)	Horizonte	Color	s	h	Textura	Estructura	Límite	M.O	Poros	Comentarios
<i>P<sub>10</sub> Longitudinal antigua</i>										
<i>Quivolgo-Junquillar</i>										
0-3	A	10 YR	3/2	2/2	a	g m	a	rf mf a; m mo	m e	
3-12	C <sub>1</sub>	10 YR	4/2		a	gs	g	rf m a, g e	f e	presenta áreas ferruginizadas de colores 10 YR 2/2 (s); 10 YR 4/6 (h), 2,5 YR 3/3 con una masa preponderante de color 10 YR 4/2
> 12	C <sub>2</sub>	10 YR			a	gs				

ANÁLISIS DE SUELOS DESARROLLADOS EN DUNAS LITORALES ANTIGUAS DE CHILE CENTRAL

Tabla 4. Descripción de los perfiles de suelos pertenecientes a los sistemas Chanco.  
Descripción de nomenclatura<sup>3</sup>

Espesor (cms.)	Horizonte	Color	s	h	Textura	Estructura	Límite	M.O	Poros	Comentarios
<b>Chanco</b>										
<b>Ch<sub>1</sub> Upsiloidal antigua</b>										
<i>Pahuil</i>										
0-4	A <sub>1</sub>	10 YR	3/3	3/2	afL	bsa m	a	rf a, m c		
4-11	A <sub>2</sub>	10 YR	3/3	3/2	am	bsa d	cl	rf mo		
< 11	AC	10 YR	6/2	3/2	am	bsa d a gs		rf mf e		
<b>Ch<sub>2</sub> Upsiloidal-longitudinal</b>										
<i>Rinconada de Reloca</i>										
0-10	A <sub>1</sub>	10 YR	3/3	6/2	afL	bsa f	cl	rf a		
10-22	A <sub>2</sub>	10 YR		3/3	am	bsa d	a	rf c		presenta cierta humedad permanente
< 22	AC	10 YR		3/2	am	gs				
<b>Ch<sub>3</sub> Upsiloidal-parabólica</b>										
<i>Rinconada de Reloca</i>										
0-8	A	10 YR	3/3	3/2	afL	gs	a	rf mf c		arena f y m con limo, muy friable
8-18	AC	10 YR	6/2	3/2	am	gs bsa d	cl	rf mf e		
< 18	C <sub>1</sub>	10 YR	3/1	3/1.5	am	gs		rf e		
<b>Ch<sub>4</sub> Longitudinal antigua</b>										
<i>Chanco</i>										
0-6	A <sub>1</sub>	10 YR	3/3	3/2	am	g d	a	rf c		
6-17	CA	10 YR	4/1	3/1	am	gs	a	rf mf mo		
< 17	C	10 YR	4/1	3/1		gs		rf mf e		presenta capas intercaladas de arena con limo oxidado de color 10 YR 4/1.5

<sup>3</sup> Abreviación de la descripción de las características en las tablas: **Color (Munsell)**: s=seco, h=húmedo; **Textura**: a= arenosa, af= areno francosa; **Tamaño de las partículas**: af=arena fina, am=arena media, ag= arena gruesa, afL=arena fina con limo, amL= arena media con limo; **Estructura**: gs=grano simple, g=granular, bsa=bloques subangulares, l=laminar; **Grado estructural**: d=débil, m=moderado, f=fuerte; **Límite**: d= difuso, g=gradual, cl=claro, a=abrupto; **M.O**: raíces, mf=muy finas, f= finas, m=medias, g= gruesas; **Cantidad**: a=abundantes, c=comunes, mo=moderadamente pocas, p=pocas, e=escasas; **Poros**: mf= muy finos, f= finos, m= medios, g= gruesos; **Cantidad**: a= abundantes, c= comunes, e= escasos.

Destaca la presencia de remanentes semi-descompuestos de corteza de *Pinnus insignis* y restos de micro fauna, ubicada entre los 18 a 40 cms. de P<sub>2</sub> (La Capellanía), lo que estaría indicando la existencia de un incipiente horizonte A.

Respecto a la presencia de raíces, ésta es frecuente en todos los perfiles, a pesar de que varía y se hace más escasa a medida que se aumenta en profundidad. Preponderan, de modo general, las raíces medias, finas y muy finas, esto debido a que el tipo de vegetación dominante en las dunas es preferentemente herbácea y arbustiva.

La porosidad, a pesar de no ser abundante en este tipo de suelos, tiende a los tamaños gruesos y medios, con abundancia de bioporos (Fig. 18), característica común en estos suelos donde, al preponderar texturas gruesas, el espacio poroso total es bajo.



Fig. 18. Corte pedón P<sub>2</sub> sector La Capellanía (a), P<sub>4</sub> sector Putú (b).

La existencia de rodados y estratificación en capas de arena de granulometría distinta en algunos horizontes superficiales y subsuperficiales (Y<sub>2</sub>, P<sub>8</sub> y P<sub>10</sub>), denota el desarrollo de suelos sobre antiguos cordones litorales.

## Resultados analíticos

### Textura

De modo general, la textura de estos suelos corresponde a arenosa (a) y en menor cantidad areno francosa (aF) (Fig. 19), siendo los contenidos de las partículas de arcilla+limo relativamente escasos, no obstante significativos para estos suelos (Tablas 5-7).

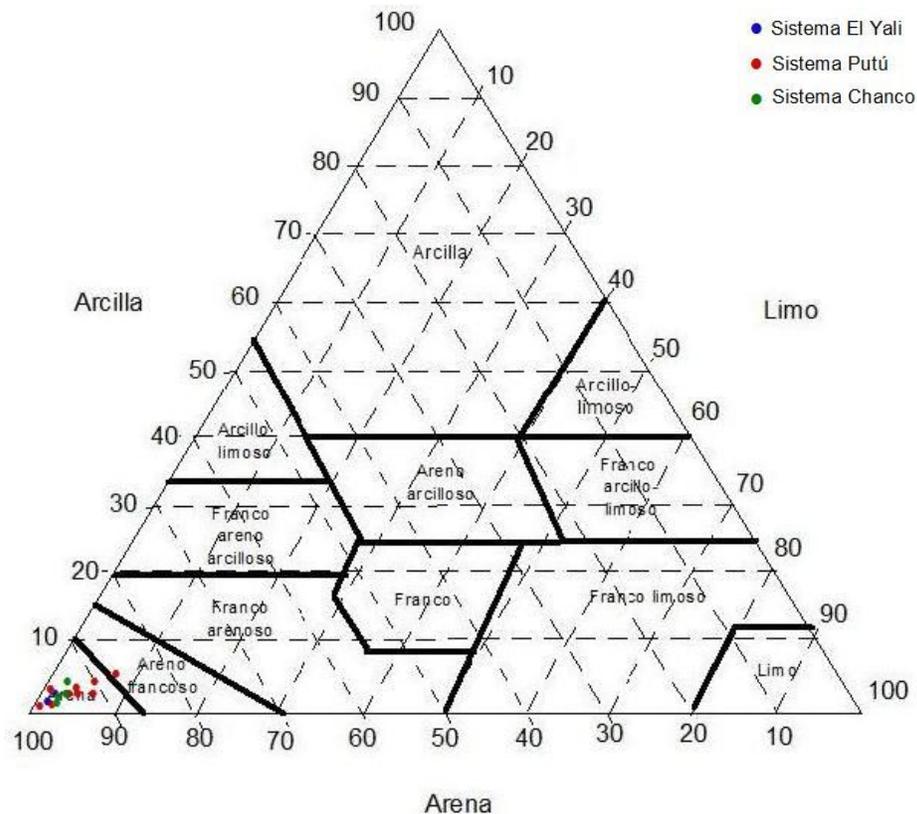


Fig. 19. Clases texturales presentes en los suelos estudiados (Triángulo textural USDA).

En el caso de cada horizonte, la textura arenosa domina por sobre la areno francosa también encontrándose esta última (aF) sólo en los horizontes superficiales de P<sub>2</sub> y P<sub>6</sub>, con porcentajes de A+L cercanos a 15%, mientras que en el resto de los pedones prevalecen las arenas, con porcentajes entre 83 al 90% e incluso próximos al 99%.

Tabla 5.  
Distribución (%) de la fracción fina del suelo; sistema El Yali.

	a			L			A		
	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
Y <sub>1</sub>	98,1	98,5	99,0	0,9	0,5	0,0	0,9	0,9	0,9
Y <sub>2</sub>	97,5	98,5	99,0	0,5	0,0	0,1	1,9	1,5	0,8

ND: no determinado; **a**: arena (2 –0,05 mm); **L**: limo (0,05 – 0,002 mm); **A**: arcilla (< 0,002 mm).

Tabla 6.  
Distribución (%) de la fracción fina del suelo; sistema Putú.

	a					L					A				
	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>
P <sub>1</sub>	97,8	99,4				1,6	0,4				0,5	0,2			
P <sub>2</sub>	83,1	83,4	94,3	94,1	96,3	8,6	8,7	3,0	2,7	2,0	8,2	7,7	2,6	3,1	1,6
P <sub>3</sub>	93,8	91,1	98,6			5,2	7,8	0,8			1,0	1,1	0,6		
P <sub>4</sub>	91,1	95,7	96,9			5,5	2,7	2,0			3,2	1,5	1,0		
P <sub>5</sub>	99,0	99,3				0,1	0,0				0,9	0,7			
P <sub>6</sub>	86,6	95,8	83,9			10,6	2,0	9,1			2,7	2,1	6,9		
P <sub>7</sub>	97,2	99,4				2,5	0,1				0,2	0,4			
P <sub>8</sub>	94,4	88,9	ND			4,4	8,8	ND			1,0	2,1	ND		
P <sub>9</sub>	ND	ND				ND	ND				ND	ND			
P <sub>10</sub>	94,1	94,3	93,0			2,7	3,5	4,3			3,1	2,1	2,6		

ND: no determinado; **a**: arena (2 –0,05 mm); **L**: limo (0,05 – 0,002 mm); **A**: arcilla (< 0,002 mm).

Tabla 7.  
Distribución (%) de la fracción fina del suelo; sistema Chanco.

	a			L			A		
	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
Ch <sub>1</sub>	90,6	97,1	96,4	7,7	1,7	2,0	1,7	1,2	1,6
Ch <sub>2</sub>	98,5	98,6	98,6	0,3	0,0	0,0	1,2	1,3	1,3
Ch <sub>3</sub>	97,0	97,5	99,2	2,0	1,6	0,0	1,0	0,9	0,8
Ch <sub>4</sub>	96,8	98,8	98,9	2,0	0,3	0,2	1,2	0,9	0,9

ND: no determinado; **a**: arena (2 –0,05 mm); **L**: limo (0,05 – 0,002 mm); **A**: arcilla (< 0,002 mm).

De éstas, la mayor abundancia de partículas en el sistema El Yali se concentra en el rango entre 125-250  $\mu\text{m}$ , es decir, preponderan las arenas finas, alcanzando porcentajes promedios cercano al 77%. En el caso particular de cada pedón, las arenas muy finas (50-125  $\mu\text{m}$ ) alcanzan notables cantidades después de las arenas finas en Y<sub>1</sub>. En Y<sub>2</sub>, lo son las arenas medias (250-500  $\mu\text{m}$ ) con porcentajes entre 13-17% (Ver apéndice, Tabla 1).

En Chanco y Putú, a diferencia del sistema El Yali, la distribución es más variable, concentrándose mayoritariamente las arenas entre los rangos 125 a 500  $\mu\text{m}$ , vale decir preponderan las arenas finas y medias.

En Putú (Ver apéndice, Tabla 2), las arenas se concentran principalmente en el rango 250-500  $\mu\text{m}$  (arenas medias), con porcentajes que alcanzan hasta un 83% en profundidad (P<sub>4</sub>), no obstante existen pedones (P<sub>1</sub> y P<sub>8</sub>), donde los mayores porcentajes recaen en las arenas finas, los

que se mantienen abundantes en todo el perfil. Sólo en los pedones P<sub>7</sub> y P<sub>11</sub> aumenta la arena gruesa (500 – 1000 µm) en los horizontes más profundos.

En Chanco (Ver apéndice, Tabla 3), las arenas finas (125-250 µm) alcanzan significativas cantidades en Ch<sub>1</sub> y Ch<sub>2</sub>, siendo sus porcentajes cercanos al 70%, mientras que las arenas medias (250-500 µm), son las segundas en importancia. En Ch<sub>3</sub> y Ch<sub>4</sub>, si bien la distribución es más homogénea, existe la tendencia a presentar tamaños más gruesos, con casi 30% de arena gruesa en Ch<sub>4</sub>.

La Figura 20 presenta las curvas de acumulación textural por horizonte para el sistema El Yali. En ellas se puede observar que estos suelos son bastante homogéneos respecto al tamaño de partículas que los conforman. En el caso de los horizontes superficiales la mayor cantidad de arenas se concentra en el diámetro de partículas de 50 a 250 µm, vale decir preponderan las arenas finas y en menor cantidad las muy finas, mientras que para los horizontes subsuperficiales, las arenas se concentran en su gran mayoría en el rango 125 – 250 µm.

En Putú (Fig. 21), si bien las concentraciones son más heterogéneas para ambos horizontes (superficiales y profundos), en el primer caso, las arenas se concentran principalmente entre los rangos de 125 a 250 µm, es decir preponderan las arenas finas, mientras que en los horizontes más profundos, en el diámetro de partículas de 125 a 500 µm, dominando entonces, las arenas de tamaño medio y en menor proporción grueso.

En Chanco (Fig. 22), la distribución de las arenas en los horizontes superficiales se concentra para Ch<sub>1</sub> en las arenas finas, para Ch<sub>2</sub> en las arenas finas y medias. Para Ch<sub>3</sub> y Ch<sub>4</sub>, las mayores cantidades se encuentran en las arenas medias y gruesas. En el caso de los horizontes más profundos, las arenas se concentran entre los rangos 125 a 1000 µm, dominando entonces, las arenas medias principalmente y gruesas en menor proporción.

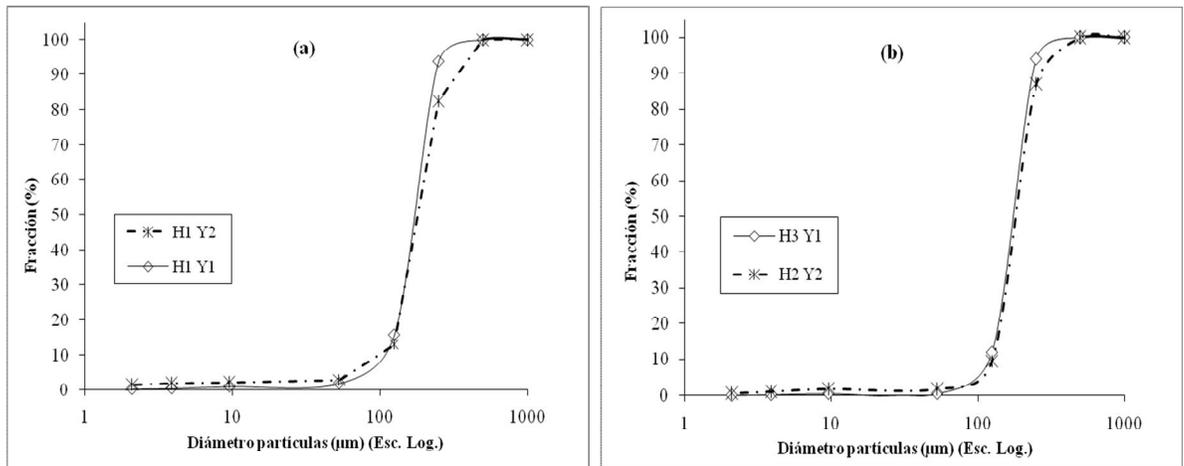


Fig. 20. Curvas de acumulación textural de los horizontes superficiales (a) y subsuperficiales (b) de los pedones correspondientes al sistema El Yali.

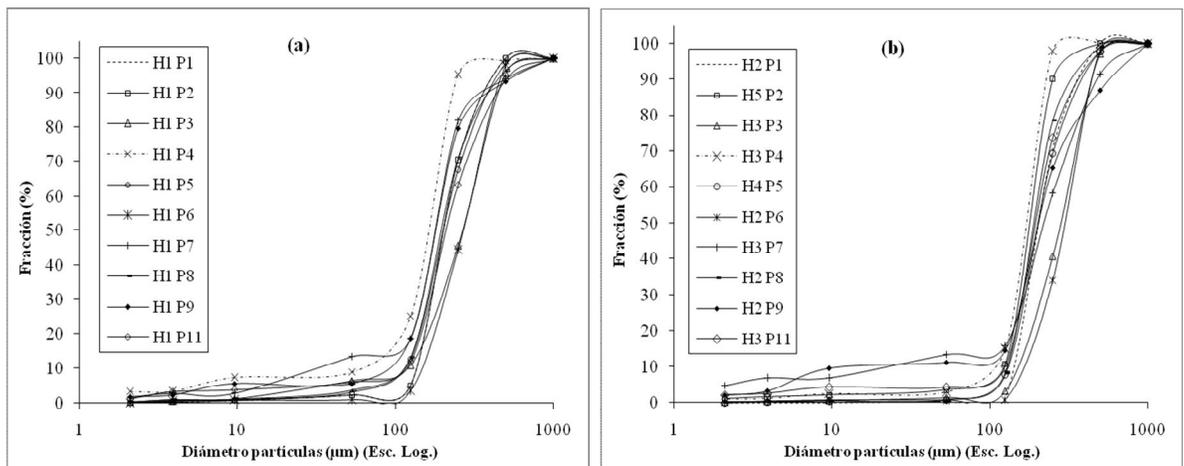


Fig. 21. Curvas de acumulación textural, horizontes superficiales (a) y subsuperficiales (b) de los pedones correspondientes al sistema Putú.

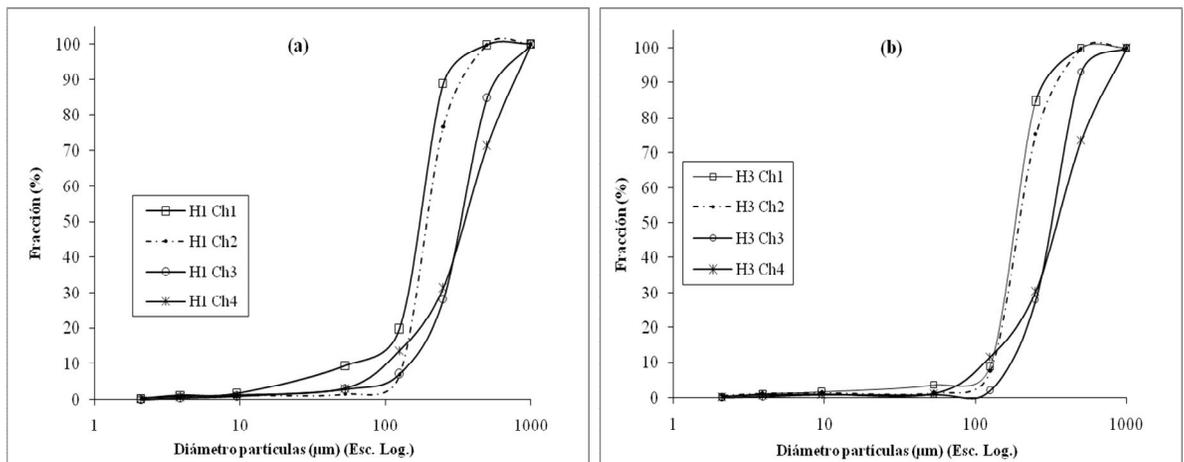


Fig. 22. Curvas de acumulación textural de los horizontes superficiales (a) y subsuperficiales (b) de los pedones correspondientes al sistema Chanco.

**Contenidos de agua del suelo**

Respecto a las constantes hídricas, los indicadores utilizados muestran que el contenido de agua en el suelo es escaso (Tabla 8). En este sentido, la humedad aprovechable por las plantas (HA) no supera el 5%, siendo el único caso excepcional el primer horizonte de P<sub>8</sub>, que presenta una HA de 9,6%.

Tabla 8.  
Contenidos de agua del suelo (%) para los perfiles estudiados en el sistema Putú

	CC					PMP					HA				
	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>
P <sub>2</sub>	9,2	11	4,2	3,2	2,1	5,3	6,1	2,7	1,8	1,3	3,9	4,9	1,5	1,4	0,8
P <sub>4</sub>	9,8	3,8	3,6			4,7	3,0	2,7			5,1	0,8	0,9		
P <sub>6</sub>	13,3	4,2	9,5			11,0	2,1	5,3			2,3	2,0	4,2		
P <sub>8</sub>	23,8	5,1	ND			14,2	3,4	ND			9,6	1,7	ND		
P <sub>10</sub>	7,0	3,8	4,6			5,9	2,2	3,4			1,1	1,6	1,2		

ND: no determinado

El contenido de agua retenida en el suelo en contra de la fuerza de gravedad (capacidad de campo, CC) en los horizontes superficiales alcanza porcentajes entre 7-13% para la mayoría de los pedones, disminuyendo en profundidad hasta valores menores al 10%. Destaca también el valor que presenta la CC para el H<sub>1</sub> en el pedón P<sub>8</sub>, que posee un 23,8%, dado posiblemente por el alto contenido de MO acumulado, favorecido por las restricciones de drenaje al ubicarse en las cercanías de una laguna impersistente.

Finalmente, los valores del punto de marchitez permanente (PMP) para estos suelos son variables, ya que hay porcentajes cercanos al 15% en superficie, y en otros horizontes superficiales bajan de 5%. En profundidad disminuye paulatinamente la retención, lo que también estaría asociado a la porosidad fina contenida por la MO en los horizontes superficiales.

**Densidad aparente**

La densidad aparente (D<sub>a</sub>) en estos suelos, de modo general es alta (Tabla 9), encontrándose sus valores preferentemente entre 1,4 a 1,79 g cm<sup>-3</sup>, vale decir dentro del rango de suelos con texturas arena francosas (1,4 - 1,7 g cm<sup>-3</sup>) y arenosas (1,5 - 1,8 g cm<sup>-3</sup>) (Narro, 1994).

Tabla 9.  
Valores  $D_a$ , horizontes superficiales, sistema Putú.

	$D_a$ (g cm <sup>-3</sup> ) por terrón	$D_a$ (g cm <sup>-3</sup> ) por cilindro
P <sub>2</sub>	1,74/1,76	1,44
P <sub>4</sub>	ND	ND
P <sub>6</sub>	ND	1,46
P <sub>8</sub>	ND	1,14
P <sub>10</sub>	ND/ND/1,79	1,36

ND: no determinado

Los valores de densidad aparente por cilindro son menores que los por terrón, esto debido a que la densidad por terrón no considera los espacios interpedos, vale decir sólo considera el espacio poroso existente dentro del terrón, despreciando el espacio inter-agregados fuera de éste. Destaca el bajo valor del horizonte superficial del P<sub>8</sub> (1,14 g cm<sup>-3</sup>) determinado por el método del cilindro, lo que confirma la fuerte influencia de la MO sobre las propiedades del suelo.

En el resto de los pedones, la densidad aparente por cilindro presentó valores cercanos a 1,4 g cm<sup>-3</sup>, aunque estos corresponden sólo a valores de horizontes superficiales.

### Clasificación de los suelos

Dadas las características morfológicas, sedimentológicas y climáticas, la clasificación de suelos alcanzó hasta la categoría de Subgrupo, obteniéndose de acuerdo a SOIL SURVEY STAFF (2003), suelos de Orden Entisol, Suborden Psamment y Gran-Grupo Ustipsamment para todos los pedones (Tabla 10).

Tabla 10.  
Clasificación taxonómica de suelos arenosos sistemas El Yali, Chanco y Putú.

Orden	Suborden	Gran-Grupo	Subgrupo
Entisol	Psamment	Ustipsamment	Typic Ustipsamment Aquic Ustipsamment

En este sentido, los perfiles Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub>, Y<sub>4</sub> y Y<sub>5</sub> del sistema El Yali presentan una clasificación Typic Ustipsamment. Para Putú y Chanco se encuentran clasificaciones más variadas, siendo en el caso de Chanco Ch<sub>1</sub>, Ch<sub>2</sub> y Ch<sub>3</sub> suelos Typic Ustipsamment y Ch<sub>4</sub> Aquic Ustipsamment y en Putú P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub> y P<sub>6</sub> corresponden a Typic Ustipsamment y P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub>, P<sub>9</sub> y P<sub>10</sub> a Aquic Ustipsamment.

### 3.3. RELACION PEDOGÉNESIS-MORFOGÉNESIS

Los dos Subgrupos de suelos que son posibles de encontrar en los sistemas estudiados, se encuentran distribuidos en todas las áreas que conforman las dunas y cordones litorales estabilizados antiguos (Tabla 11).

El Subgrupo Typic Ustipsamment en el sistema El Yali ocupa la totalidad de los suelos de las áreas pertenecientes a las dunas parabólicas y cordones litorales antiguos (Fig. 23).

Tabla 11.  
Unidades geomorfológicas y clasificación taxonómica

Clasificación taxonómica	Forma dunaria	Pedón
Typic Ustipsamment	Parabólica antigua	Y <sub>1</sub> - Y <sub>4</sub> - P <sub>5</sub> - P <sub>6</sub>
	Paralela antigua	P <sub>1</sub> - P <sub>2</sub> - P <sub>3</sub> - P <sub>4</sub>
	Cordón de playa antiguo	Y <sub>2</sub>
	Longitudinal antigua	Y <sub>3</sub>
	Upsiloidal antigua	Y <sub>5</sub> - Ch <sub>1</sub> - Ch <sub>2</sub> - Ch <sub>3</sub>
Aquic Ustipsamment	Longitudinal antigua	Ch <sub>4</sub> - P <sub>8</sub> - P <sub>10</sub>
	Cordón de playa antiguo	P <sub>7</sub> - P <sub>9</sub>

En el sistema Putú (Fig. 24), el Subgrupo Typic Ustipsamment ocupa los sectores de las dunas paralelas antiguas de La Capellanía (P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub>) y Putú (P<sub>3</sub> y P<sub>4</sub>) y, parabólicas antiguas del sector Quivolgo-Junquillar (P<sub>5</sub> y P<sub>6</sub>).

Finalmente, el Subgrupo Aquic Ustipsamment se presentan en las dunas paralelas antiguas del sector de Putú cercanas a la zonas depresionarias de los pajonales del Dóllimo, longitudinales de Quivolgo-Junquillar (P<sub>8</sub> y P<sub>10</sub>) y cordones litorales antiguos de La Capellanía (P<sub>7</sub>) y Quivolgo-Junquillar (P<sub>9</sub>).

Para el caso del sistema Chanco, los sectores de dunas upsiloidales (Ch<sub>1</sub>), upsiloidales con ciertos rasgos longitudinales (Ch<sub>2</sub>) como también las dunas upsiloidales-parabólicas (Ch<sub>3</sub>) que ocupan los sectores comprendidos entre Pahuil y el estero Reloca presentan suelos Typic Ustipsamment (Fig. 25), mientras que las dunas longitudinales (Ch<sub>4</sub>) ubicadas en sectores depresionarios en las cercanías del estero Chanco, poseen suelos del tipo Aquic Ustipsamment.

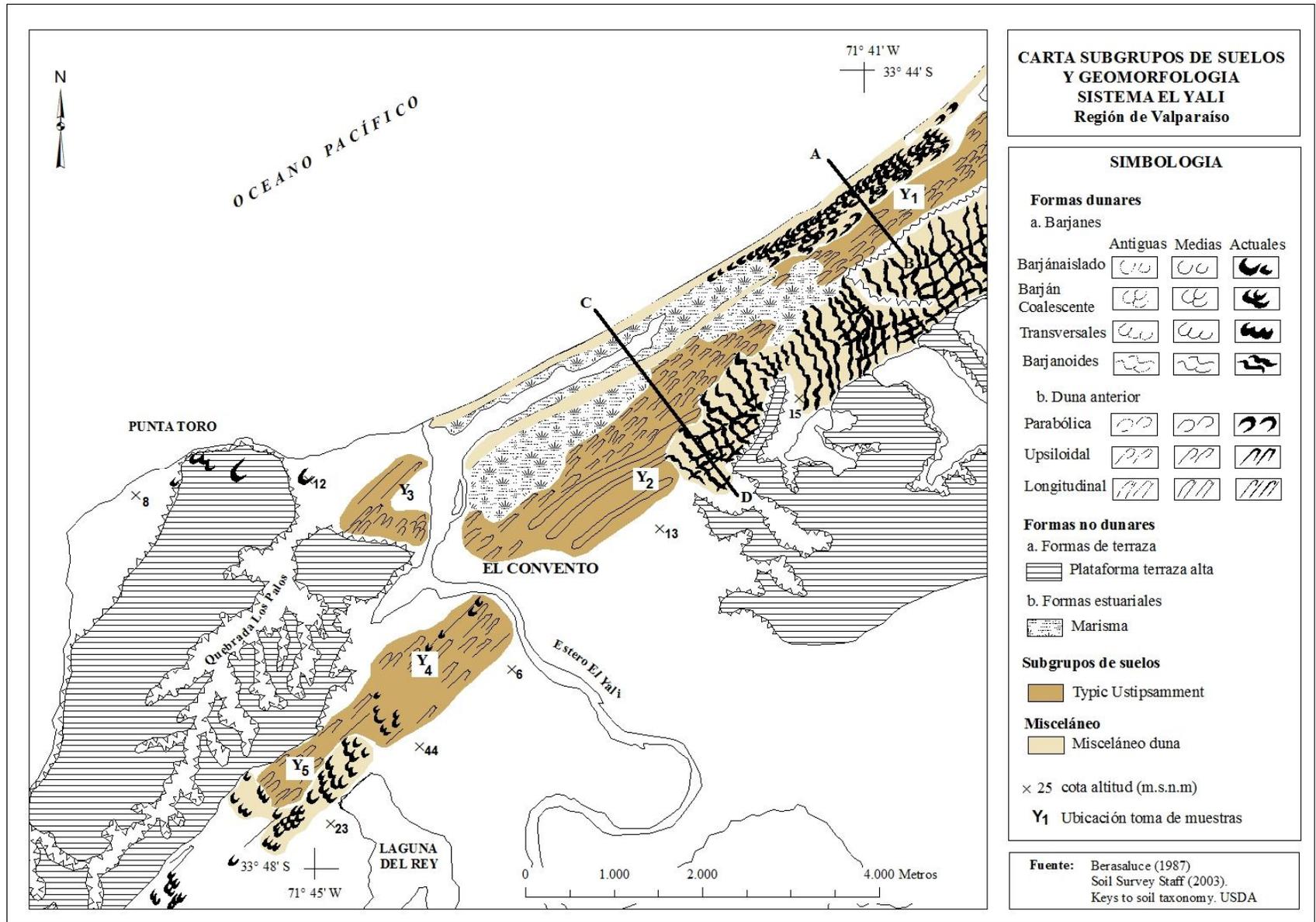


Fig. 23. Carta Subgrupos de suelos y geomorfología, sistema El Yali.

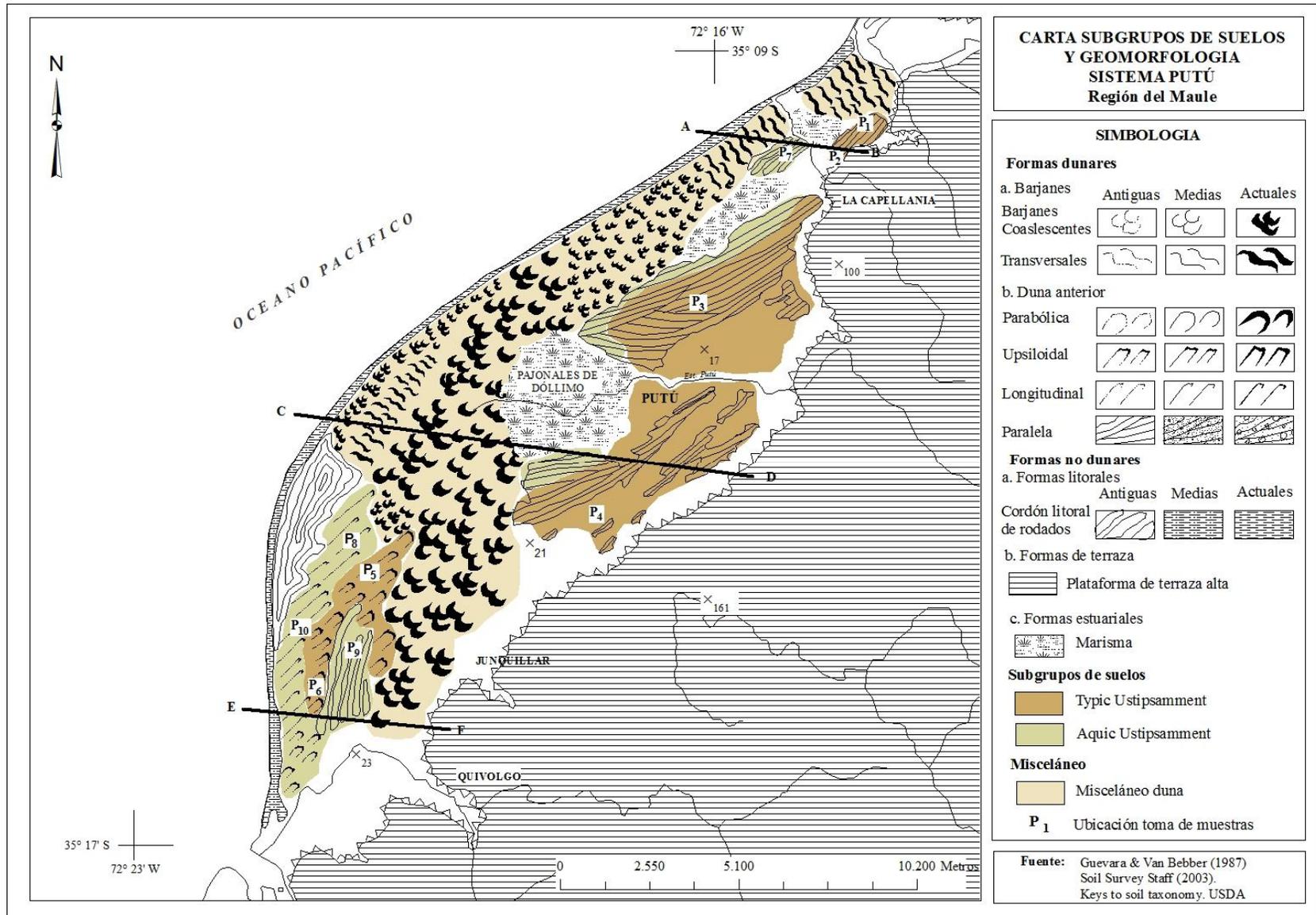


Fig. 24. Carta Subgrupos de suelos y geomorfología, sistema Putú.

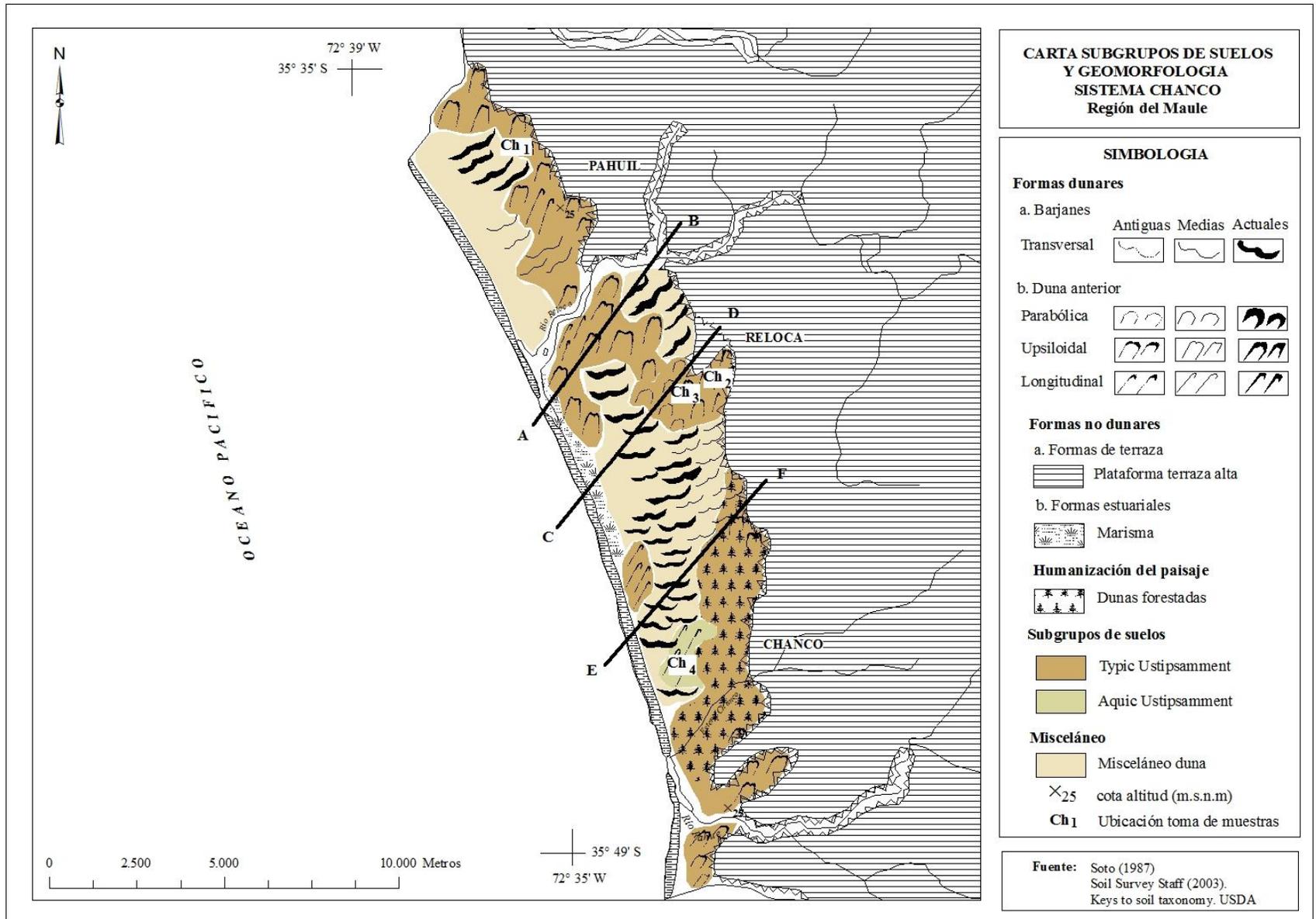


Fig. 25. Carta Subgrupos de suelos y geomorfología, sistema Chanco.

## **CAPITULO IV. DISCUSION DE LOS RESULTADOS**

### **Antigüedad de las formas y desarrollo de suelos**

Las características presentes en los sistemas, como lo son los grados de evolución mayor en el *continuum* dunar, morfología de suaves pendientes y mayor cubierta vegetal, indican ambientes de estabilidad propicios para la generación de suelos. En este sentido, las observaciones realizadas por Araya Vergara (1989), en dunas antiguas del sistema El Yali, permiten determinar que existe una relación directa entre la antigüedad de las generaciones dunares y el desarrollo de suelos.

Las dunas antiguas poseen ciertas características morfológicas y biológicas que permiten una escasa movilidad de los sedimentos y con ello una mayor acumulación de partículas finas y material orgánico que ayuden a generar procesos pedogenéticos (Zhenghu *et al.* 2007).

Las zonas donde se emplazan las dunas antiguas al estar considerablemente alejadas de las áreas donde la acción del viento es eficaz, y al tener una mayor cobertura vegetal y biomasa que las demás generaciones, favorecen una menor remoción de los sedimentos y aportes importantes de materia orgánica al sustrato (Holz *et al.* 1996). Por otro lado, el clima que se desarrolla en las zonas (secano costero, con preponderancia de la estación seca por sobre la lluviosa), permite que no existan importantes procesos erosivos por acción del agua y así facilitan el mantenimiento de una superficie estabilizada.

### **Características físicas y morfológicas en los suelos arenosos**

Las experiencias recogidas en terreno por Araya Vergara (1989) en el sistema El Yali, demuestran que estos suelos presentan profundidades hasta los 50 cms., 2 a 3 horizontes y escasas cantidades de limo y arcilla en comparación con otros suelos. No obstante, si bien los materiales menores a 50  $\mu\text{m}$  no superan el 9%, éstos son importantes para la formación de estructura.

Características morfológicas similares presentan los suelos en los sistemas Chanco y Putú, sin embargo, hay excepciones en algunos pedones, donde es posible encontrar suelos de mayor complejidad y desarrollo, además de cantidades de limo y arcilla más significativas (cerca al 15%), que disminuyen en profundidad.

Al ser suelos de escasa evolución y formados bajo ambientes dunares, preponderan las clases texturales arenosa (a) y areno francosa (aF), con porcentajes superiores al 90% en la mayoría de los pedones, y una granulometría media a fina en superficie y gruesa en los horizontes subsuperficiales.

La moderada presencia de vegetación herbácea, arbustiva y arbórea en la superficie de estos suelos, no impide que se desarrollen importantes funciones ecológicas, que enriquecen al suelo de material orgánico y actividad biológica (Álvarez-Rogel *et al.* 2006) y que favorecen la formación y estabilidad de los agregados (Kay & Angers, 1999; Chaney & Swift, 1984 en Chenu *et al.* 2000), permitiendo así suelos con estructuras de buen desarrollo en superficie (bloques subangulares y granular) a sin estructura (grano simple) en profundidad.

Ciertos pedones (Y<sub>3</sub>, Y<sub>4</sub>, Y<sub>5</sub> y Ch<sub>3</sub>) presentan estructuras granulares débiles o grano simple en superficie y estructuras más desarrolladas en profundidad (granular a bloques subangulares débiles a moderados), lo que puede deberse probablemente a nuevos aportes de arena sobre estos suelos y a la menor participación de la M.O y ausencia de partículas finas (arcilla coloidal) que actúen como elementos estabilizadores y cohesionadores de los agregados (Kay & Angers, 1999).

El predominio de texturas gruesas, en conjunto con la presencia de MO superficial (Zhenghu *et al.* 2007), induce a una repelencia al agua (Bond, 1969; Wallis & Horner, 1992 en Chenu *et al.* 2000), generando de este modo suelos fuertemente hidrófobos, que impiden que el agua penetre entre los agregados del suelo, restringiendo así la infiltración y pudiendo causar intensos escurrimientos superficiales con las primeras precipitaciones de otoño. En estos suelos, no obstante no fue medida la repelencia al agua, ésta se evidenció durante la descripción morfológica en terreno, al humedecer los agregados para la determinación del color.

Otro aspecto es la porosidad, la que se encuentra íntimamente relacionada con la estructura, textura y contenido de MO (Brady & Weil, 2000), además de ciertas propiedades como retención y movimiento de agua, aireación, facilidad de penetración de raíces y absorción de nutrientes (Casanova *et al.* 2006). En estos suelos, el espacio poroso es escaso, situación determinada por los altos valores de la densidad aparente ( $D_a$ ) ( $> 1,4 \text{ g cm}^{-3}$ ), no obstante tienden a los tamaños gruesos y medios, característica común en este tipo de suelos, donde preponderan los poros con diámetro mayor a  $50 \mu\text{m}$  (Brady & Weil, 2000) vale decir, existe dominancia de poros de drenaje rápido.

Respecto al agua del suelo, esta generalmente se encuentra almacenada en los poros cuyo diámetro es menor a  $10 \mu\text{m}$ , puesto que los poros de mayor diámetro drenan fácilmente el agua, permaneciendo ocupados por aire (Narro, 1994). Esto explica los bajos valores de humedad aprovechable (HA) para las plantas ( $< 5\%$ ). Sin embargo,  $P_8$  del sistema Putú, presenta contenidos mayores de HA (9,6%) y CC (23,8%), lo que puede deberse a un mayor contenido de MO humificada, la que ocupa los espacios entre las arenas, transformando poros gruesos en poros de retención de agua (Burés, 1997).

El color es variable, dependiendo de las características mineralógicas y origen del material parental (Casanova *et al.* 2006) y ejerce una fuerte repercusión en el régimen térmico del suelo (Jury *et al.* 1991). En estos sistemas, las fuentes principales de abastecimiento de arenas tienen su origen en la Cordillera de los Andes, por lo que los suelos presentan colores principalmente grises, gradando de los pardo grisáceos, pardo grisáceos muy oscuros a grises, en matices correspondientes a 10 YR, lo que podría explicar el régimen térmico típico de las zonas costeras de climas templados cálidos.

Es posible encontrar en algunos pedones oxidación de partículas de Fe en profundidad, representada por concentraciones redox asociadas, de acuerdo a Casanova *et al.* (2006) a presencia ocasional de humedad, circunstancias de mal drenaje y condiciones de óxido-reducción. También en horizontes subsuperficiales destacan moteados de color negro, asociados a descomposición de MO y a la presencia de Mn.

## Suelos arenosos y clasificación taxonómica

Los suelos en dunas son pobremente desarrollados, presentando insignificantes características que puedan aportar a una clasificación taxonómica (Zhenghu *et al.* 2007). No obstante, la dominancia del material mineral por sobre el orgánico y la ausencia de horizontes diagnóstico, permite clasificarlos dentro del orden Entisol (Gao, 1993 en Zhenghu *et al.* 2007).

Debido a que el origen del material parental corresponde principalmente a arenas provenientes de dunas antiguas estabilizadas, el Suborden corresponde a Psamments, mientras que para determinar el Gran-Grupo, características como regímenes de temperatura y humedad del suelo cobran importancia en su clasificación, debido a que estos influyen en las propiedades del suelo.

Los suelos presentes en estos tres sistemas costeros de la zona central de Chile poseen, de acuerdo a Luzio *et al.* (2006) un régimen de humedad ústico y de temperatura isotérmico, ambos desarrollados en toda la franja costera y sectores de terrazas marinas emplazadas desde el río Maipo hasta el Itata. El régimen de humedad ústico se caracteriza por poseer una humedad limitada, pero que se encuentra presente en los momentos adecuados para el crecimiento de la vegetación, caracterizando a los climas que presentan una o dos estaciones secas. Por su parte, el régimen isotérmico se caracteriza por presentar una temperatura media anual del suelo (T<sub>MS</sub>)  $\geq 15^{\circ}\text{C}$ , pero inferior a  $22^{\circ}\text{C}$ .

Por lo tanto, y de acuerdo con la clasificación de SOIL SURVEY STAFF (2003), los suelos presentes en estos tres sistemas litorales presentan un Orden Entisol, Suborden Psamment y Gran-Grupo Ustipsamment.

Complementariamente, un análisis de Zhenghu *et al.* (2007), basándose en las propiedades físico-químicas de los suelos, clasifica taxonómicamente cuatro pedones desarrollados sobre dunas antiguas ubicados en el noreste de China, siendo estos Hyperaripsamment, Aripsamment, Semiaripsamment y Ustipsamment.

Finalmente ciertas características o procesos que parezcan dominar el curso o grado de desarrollo de un suelo y que cobran importancia, permiten otorgarles una clasificación de

Subgrupo. En este sentido, un suelo Typic representa los suelos que no tienen las características definidas por los otros Subgrupos, un Aquic corresponde a suelos que mantienen condiciones de saturación continua o periódica y reducción, indicando con esto la presencia de condiciones redoximórficas (SOIL SURVEY STAFF, 1999).

### **Complejidad de sistemas y relación pedogénesis - morfogénesis**

La relación pedogénesis-morfogénesis queda clara si se analiza el origen y las características morfológicas y físicas que presentan estos suelos.

La preponderancia de texturas gruesas (a y aF), junto con la escasa presencia de partículas inferiores a 50  $\mu\text{m}$ , el relativamente escaso contenido de MO, los altos valores de densidad aparente y el escaso desarrollo de estructura, permiten determinar que estos suelos tienen un desarrollo pedogenético reciente.

Las condiciones geomorfológicas necesarias para que se formen estos suelos son similares, correspondiendo a categorías de dunas que se encuentren en las etapas más antiguas dentro del *continuum* dunar (Araya Vergara, 1989) y ambientes de estabilidad que disminuyan los procesos geomorfológicos en pos de procesos pedogenéticos (Holz *et al.* 1998).

Las condiciones climáticas (Zhenghu *et al.* 2007), especialmente las precipitaciones, son disímiles, las cuales van aumentando a medida que se avanza en latitud. Sin embargo, preponderan el régimen ústico (humedad) e isotérmico (temperatura) (Luzio *et al.* 2006). Pese a esto, dentro de los suelos es posible encontrar diferentes grados de evolución y características físicas y morfológicas, que, a la hora de determinar su clasificación taxonómica, los hacen diferentes.

Los suelos con menor complejidad corresponden a los desarrollados en el sistema El Yali. Aquí las condiciones geomorfológicas que determinan las características físicas y morfológicas de los suelos corresponden básicamente a la influencia de formas dunares antiguas estabilizadas, no influyendo de este modo otros procesos geomorfológicos importantes, asociados principalmente a depositaciones fluviales del estero El Yali y a su laguna litoral (limán), que permitirían la

existencia de otros tipos de suelos, tal como ocurre en el sistema Putú.

La fuerte influencia que reciben los suelos de las dunas antiguas en el sistema El Yali, se ve reflejada en sus características morfológicas, como lo son su poca profundidad, el escaso desarrollo de horizontes con una secuencia preferentemente A-C y el bajo desarrollo de estructura, lo que permite otorgarles una clasificación taxonómica Typic Ustipsamment.

En Chanco, existen características evolutivas mayores. Esto se ve reflejado en la estructura, en la textura y en los contenidos de limo y arcilla. Por la ubicación de estos perfiles en el sistema dunar, sus características físicas y morfológicas son similares, clasificándolos dentro de la taxonomía como Typic Ustipsamment, y Aquic Ustipsamment a Ch<sub>4</sub>, el que, por encontrarse ubicado en zonas depresionarias presenta rasgos redoximórficos.

Los suelos que presentan una mayor complejidad corresponden a los del sistema Putú. Aquí las características geomorfológicas propias de los sistemas dunares antiguos, en conjunto con la influencia de depositaciones fluviales, lagunas litorales y marismas en los sectores depresionarios han influido claramente en las propiedades físicas y morfológicas de los suelos. Esto se ve reflejado en los contenidos de limo y arcilla, mayor desarrollo de estructura y complejidad de horizontes y presencia de rasgos redoximórficos.

La característica que permiten determinar que P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub>, P<sub>9</sub> y P<sub>10</sub> corresponden a suelos Aquic Ustipsamment se asocia a la ubicación que poseen estos perfiles dentro del sistema, vale decir, sectores de influencia de esteros, marismas o lagunas litorales que favorecen que estos suelos mantengan condiciones continuas o periódicas de saturación y reducción, indicando con esto la presencia de rasgos redoximórficos.

Los suelos correspondientes a los perfiles P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub> y P<sub>6</sub>, al desarrollarse principalmente sobre estructuras dunares que no poseen influencia directa de otros procesos geomorfológicos permiten clasificarlos como Typic Ustipsamment.

Finalmente, al realizar una correlación de las unidades geomorfológicas con los Subgrupos de suelos, existe una relación aparente en la observación de las cartas de superposición de ambas

variables. Vale decir, suelos Aquic Ustipsamment se asocian a depresiones que denoten la presencia de épocas constantes de saturación o reducción, y suelos Typic Ustipsamment, al no presentar ninguna característica en particular, pertenecen a suelos típicos desarrollados sobre dunas antiguas estabilizadas.

## CAPITULO V. CONCLUSIONES

Los suelos desarrollados en dunas estabilizadas corresponden a sistemas pedológicos poco evolucionados, por lo que sus características físicas y morfológicas los hacen altamente diferentes a otros suelos. En ellos, la geomorfología de los lugares donde se emplazan condiciona todas sus propiedades, por lo que se vuelven suelos extremadamente frágiles impidiendo de este modo un mejor desarrollo.

Las principales conclusiones que se determinaron en este trabajo son:

- Desde un punto de vista pedogenético, se ha comprobado que existe una estrecha relación entre la geomorfología y el suelo que en ella se desarrolla. Ello se expresa en que la totalidad de los suelos analizados pertenecen al Orden Entisol y Suborden Psamment, mientras que características geomorfológicas definidas de los sectores estudiados, permiten clasificaciones específicas de Subgrupos Aquic y Typic Ustipsamment.
- Los suelos pertenecientes al sistema El Yali presentan el menor desarrollo y complejidad en sus horizontes, en comparación, los suelos ubicados en el sistema Putú, son los con mayor evolución y complejidad. En Chanco, no obstante preponderan los suelos Typic Ustipsamment, la influencia de depósitos fluviales en pequeños sectores depresionarios permite determinar la existencia de suelos Aquic Ustipsamment.
- No existe una relación directa entre suelos de clasificación Typic Ustipsamment y Aquic Ustipsamment y las formas dunarias, siendo el criterio predominante a la hora de clasificarlos características geomorfológicas relacionadas con la cercanías de cursos fluviales o sectores depresionarios.
- Tomando en consideración todos estos antecedentes se acepta la hipótesis inicial. En este sentido, los suelos estudiados presentan escaso desarrollo de horizontes con secuencias preferentemente A-C, gradando hacia estratas en profundidad y contenidos de limo y arcilla bajos, lo que sin embargo, permite clasificarlos como suelos pertenecientes al Orden Entisol.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Álvarez-Rogel, J; L. Carrasco; C.M. Marín & J.J. Martínez-Sánchez. 2006. Soils of a dune coastal salt marsh system in relation to groundwater level, micro-topography and vegetation under a semiarid Mediterranean climate in SE Spain. *Catena* (Artículo en prensa).
- Anthony, E. 1985. Geomorphology, water table y soil relationship in Holocene beach ridges in southern Sierra Leone. *Catena*. 12:167-178.
- Araya Vergara, J.F. 1976. Reconocimiento de tipos e individuos geomorfológicos regionales en la costa de Chile. *Inform. Geogr., Chile*. 23:9-30.
- Araya Vergara, J.F. 1982. Análisis de la localización de los procesos y formas predominantes de la línea litoral de Chile: Observación preliminar. *Inform. Geogr., Chile*. 29:35-56.
- Araya Vergara, J.F. 1989. Remnant coastal dunes and their significance in Chilean Ergs. In: Seuffert (Ed), *Second International Conference on Geomorphology*. Geoöko Plus, Vol. 1, Darmstadt: 15.
- Araya Vergara, J.F. 2001. Los ergs del desierto marginal de Atacama, Chile. *Invest. Geogr., Chile*. 35:27-66.
- Ben-Dora, E; N. Levin; A. Singer; A. Karnieli; O. Braund & G.J. Kidron. 2006. Quantitative mapping of the soil rubification process on sand dunes using an airborne hyperspectral sensor. *Geoderma*. 131:1-21.
- Berasaluce, J.P. 1987. Estudio de la evolución actual del sistema dunario rocas de Santo Domingo-El Yali: "Investigación morfodinámica aplicada y perspectivas de manejo". Memoria para optar al título de Geógrafo. Universidad de Chile. Inédito.
- Birkeland, P.W; R.R. Shroba; S.F. Burns; A.B. Price & P.J. Tonkin. 2003. Integrating soils and geomorphology in mountains - an example from the Front Range of Colorado. *Geomorphology*. 55:329-344.
- Bouyoucos, G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*. 54:464-465.
- Brady, N. & R. Weil. 2000. *Elements of the nature and properties of soils*. Prentice Hall. Upper Saddle river. New Jersey. U.S.A. 559 p.
- Buol, S.W; F.D. Hole & R.J. McCracken. 1990. *Génesis y clasificación de suelos*. 2ª ed. México. Ed. Trillas. 417 p.
- Burés, S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas. 340 p.

- Caldichoury, R. 1990. La fitogeografía del Erg Santo Domingo-El Convento. Tesis para optar al título de Geógrafo. Universidad de Chile. Inédito.
- Caldichoury, R. 2000. Análisis de la vegetación en cronosecuencias dunares Campo de dunas Santo Domingo – El Yali. *Invest. Geogr., Chile.* 34:15-24.
- Casanova, M; W. Vera & W. Luzio. 2006. Rasgos morfológicos de los suelos. 43-90. En: *Avances en el conocimiento de los suelos de Chile.* Luzio, W y Casanova, M (Eds). Santiago. Chile. 393 p.
- Chenu, C; Y. Le Bissonnais & D. Arrouays. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1479–1486.
- Engel, S; T. Gardner & J. Ciolkosz. 1996. Quaternary soil chronosequences on terraces of the Susquehanna River, Pennsylvania. *Geomorphology.* 17:273-294.
- Dane, J.H. & J.W. Hopmans. 2002. Water retention and storage. 671-720. In: Dane, J.H. & G.C. Topp. Co-Editors. *Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods.* S.S.A.A. Book series, number 5. Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Daniels, R.B. & E.E. Gamble. 1978. Relations between stratigraphy, geomorphology and soils in coastal plains areas of southcastern U.S.A. *Geoderma.* 21:41-65.
- Fuenzalida, H. 1950. Clima. 188-254. En: *Geografía de Chile, Corporación de Fomento a la Producción, CORFO.* Tomo 1°. Santiago. Chile.
- Gee & Or. 2002. Particle-Size Analysis. Chapter 2. 255-289. In: Dane, J.H. & G.C. Topp. Co-Editors. *Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods.* S.S.A.A. Book series, number 5. Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Geissert, D. & D. Dubroeuq. 2007. Influencia de la geomorfología en la evaluación de suelos de dunas costeras en Veracruz, México.
- Grootjans, A.P; W.H.O. Ernst & P.J. Stuyfzand. 1999. European dune slacks: strong interactions of biology, pedogenesis and hydrology. *TREE.* Vol. 13. 3:96-100.
- Grossman, R.B. & T.G. Rieinsch. 2002. Bulk density and linear extensibility. Chapter 2. 201-228. In: Dane, J.H. & G.C. Topp. Co-Editors. *Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods.* S.S.A.A. Book series, number 5. Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Guevara, S & G. Van Bebber. 1987. Estado actual y tendencia evolutiva del litoral arenoso La Capellanía - Putú - Quivolgo. Memoria para optar al título de Geógrafo. Universidad de Chile. 157 p.

- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. 1° Ed. Physics Academia Press. New York. U.S.A. 425 p.
- Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications and Environmental Considerations*. 1° Ed. Physics Academia Press. San Diego. U.S.A. 771 p.
- Holliday V. & J.E. Rawling III. 2006. Soil-geomorphic relations of lamellae in eolian sand on the High Plains of Texas and New Mexico. *Geoderma*. 131:154-180.
- Holz, S; G. Martínez & I. Malvarez. 1996. La vegetación y la geomorfología como factores formadores de suelos en dunas costeras. XXV. Jornadas Argentinas de Botánica. Mendoza. Argentina.
- Holz, S; G. Martínez & M. Osterrieth. 1998. Suelos de dunas costeras en la provincia de Buenos Aires, Argentina. 18° Symposium. Universidad Nacional del Mar del Plata. Argentina.
- Horn, R. & A. R. Dexter. 1989. Dynamics of soil aggregation in and irrigated desert loess. *Soil and Tillage Research*. 13:253-266.
- Jury, W. A; W. R. Gardner & W. H. Gardner. 1991. *Soil Physics*. John Wiley & Sons, Inc. New York. U.S.A. 328 p.
- Kay, B. D. & D. A. Angers. 1999. Soil structure. pp. A-229-A-276. In. Summer, M. (Ed.). *Handbook of Soil Science*. CRV Press. Boca Ratón, USA.
- Kong, S. 2004. Sistemas dunares de Chile Central. Caso de estudio Chanco Sur. Memoria de Magister en Geografía. Universidad de Chile. Inédito. 11 p.
- Kutilek, M. & D. Nielsen. 1994. *Soil hydrology*. 1° Ed. Catena Verlag. Cremlingen-Destedt. Germany. 370 p.
- Llona, M. 2000. Relación entre morfogénesis y pedogénesis en la cuenca del río Clarillo. Santiago, Chile. Memoria para optar al título de Geógrafo. Universidad de Chile. Inédito.
- Luzio, W; M, Casanova & W, Vera. 2006. Clasificación de suelos. Pp. 241-286. En: *Avances en el conocimiento de los suelos de Chile*. Luzio W y Casanova, M. (Eds.) Santiago, Chile. 393 p.
- Moral, F. J; Giráldez, J.V. & Laguna, A. M<sup>a</sup>. 2002. La hidrofobia en los suelos arenosos del parque natural de Doñana: caracterización y distribución. En: *Revista Ingeniería del agua*. Vol. 9. 1:37-50.
- Narro, E. 1994. *Física de suelos: con un enfoque agrícola*. 1° Ed. Ed. Trillas, México. 195 p.

- Phillips, J. D; D. Perry; A. R. Garbee; K. Carey; D. Stein; M .B. Morde & J. A. Sheehy. 1996. Deterministic uncertainty and complex pedogenesis in some Pleistocene dune soils. *Geoderma*. 73:147-164.
- Rubio, J. L; V. Andreu & E. Sanchis. 1998. Los suelos de la Devesa de la Albufera. *Revista Valenciana d'estudis autonòmics*. 22:129-144.
- Santibáñez, F & J. Uribe. 1993. Atlas Agroclimático de Chile. VI, VII, VIII y IX Regiones. Laboratorio de Agroclimatología. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Ministerio de Agricultura. Fondo de Investigación Agropecuaria. Corporación de Fomento de la Producción. Santiago. 99 p.
- SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. 2003. Mapa Geológico de Chile: Versión digital. 1:1.000.000. Publicación Geológica Digital No. 4.
- Singh, S; B. Parkash; M.S; Rao, Manoj Arora & Balaji Bhosle. 2006. Geomorphology, pedology and sedimentology of the Deoha/Ganga–Ghaghara Interfluve, Upper Gangetic Plains (Himalayan Foreland Basin) - extensional tectonic implications. *Catena*. 67:183-203.
- SOIL SURVEY STAFF. 1993. Soil Survey Manual. Soil Survey Division Staff. United States Department of Agriculture. Washington, D.C. Handbook N° 18. 437 p.
- SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Second Edition. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Agriculture Handbook. 871 p.
- SOIL SURVEY STAFF. 2003. Keys to Soil Taxonomy. SMSS. 9<sup>th</sup> Edition. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 332 p.
- Soto, M.V. 1987. Dinámica y tendencia evolutiva del campo de dunas de Chanco. Memoria para optar al título de Geógrafo. Universidad de Chile. Inédito.
- Trujillo, A. 1958. Estudio del campo de dunas de Chanco. Dunas Viejas. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Inédito.
- Tsoar, H. 2005. Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physica A* (357):50–56
- Zhenghu, D; X. Honglang; L. Xinriong; D. Zhibao & W. Gang. 2004. Evolution of soil properties on stabilized sand in the Tengger Desert, China. *Geomorphology*. 59:237-246.
- Zhenghu, D; X. Honglang; D. Zhibao; W. Gang & S. Drake. 2007. Morphological, physical and chemical properties of aeolian sandy soils in northern China. *Journal of Arid Environments*. 68:66-76.

## VII. APENDICE

Tabla 1.  
Distribución de las medidas de partículas perfiles de suelos; sistema El Yali.

	Medida partículas (%)					
	< 50 $\mu\text{m}$	50-125 $\mu\text{m}$	125-250 $\mu\text{m}$	250-500 $\mu\text{m}$	500-1000 $\mu\text{m}$	1000-2000 $\mu\text{m}$
<b>Y<sub>1</sub></b>	1,9	13,8	78,0	6,2	0,0	0,0
	1,5	19,2	77,3	1,9	0,0	0,0
	1,0	11,3	82,1	6,0	0,0	0,0
<b>Y<sub>2</sub></b>	3,0	10,0	69,6	17,5	0,3	0,0
	1,5	7,6	77,5	13,1	0,2	0,0

< 50  $\mu\text{m}$ : A+L; 50-125  $\mu\text{m}$ : amf; 125-250  $\mu\text{m}$ : af; 250-500  $\mu\text{m}$ : am; 500-1000  $\mu\text{m}$ : ag; 1000-2000  $\mu\text{m}$ : amg.

Tabla 2.  
Distribución de las medidas de partículas perfiles de suelos; sistema Putú

	Medida partículas (%)					
	< 50 $\mu\text{m}$	50-125 $\mu\text{m}$	125-250 $\mu\text{m}$	250-500 $\mu\text{m}$	500-1000 $\mu\text{m}$	1000-2000 $\mu\text{m}$
<b>P<sub>1</sub></b>	2,0	2,7	65,5	29,5	*	0,0
	0,6	1,2	69,0	29,0	0,1	0,0
<b>P<sub>2</sub></b>	11,0	5,0	7,0	64,0	10,0	3,0
	11,0	5,0	9,0	60,0	12,0	3,0
	3,0	3,0	11,0	76,0	7,0	*
	4,0	2,0	6,0	79,0	10,0	*
	3,0	2,0	7,0	79,0	10,0	0,0
<b>P<sub>3</sub></b>	6,0	5,0	35,0	50,0	4,0	0,0
	9,0	6,0	33,0	48,0	3,0	0,0
	1,4	2,0	37,0	56,0	3,0	0,0
<b>P<sub>4</sub></b>	7,0	2,0	16,0	70,0	4,0	1,0
	3,0	1,0	14,0	81,0	1,0	0,0
	3,0	1,0	12,0	83,0	2,0	0,0
<b>P<sub>5</sub></b>	1,0	3,0	41,0	54,0	2,0	0,0
	1,0	0,1	33,0	64,0	2,0	0,0
<b>P<sub>6</sub></b>	3,0	11,0	5,0	63,0	12,0	6,0
	2,0	2,0	17,0	71,0	4,0	4,0
	6,0	6,0	3,0	43,0	33,0	9,0
<b>P<sub>7</sub></b>	3,0	10,0	58,0	26,0	3,0	0,0
	1,0	8,0	70,0	20,0	1,0	0,0
<b>P<sub>8</sub></b>	5,0	0,0	13,0	61,0	14,0	7,0
	0,0	2,0	3,0	51,0	22,0	13,0
	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>P<sub>9</sub></b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ND	ND	ND	ND	ND	ND

<b>P<sub>10</sub></b>	4,0	2,0	6,0	51,0	31,0	6,0
	3,0	0,0	7,0	53,0	33,0	4,0
	4,0	0,0	6,0	64,0	24,0	2,0

ND: no determinado, \*: entre 0 y 0,1%.

< 50 µm: A+L; 50-125 µm: amf; 125-250 µm: af; 250-500 µm: am; 500-1000 µm: ag; 1000-2000 µm: amg.

Tabla 3.

Distribución de las medidas de partículas perfiles de suelos; sistema Chanco.

	Medida partículas (%)					
	< 50 µm	50-125 µm	125-250 µm	250-500 µm	500-1000 µm	1000-2000 µm
<b>Ch<sub>1</sub></b>	9,4	10,4	69,0	10,9	0,2	0,0
	2,9	5,5	76,2	15,1	*	0,0
	3,6	5,2	75,7	15,3	*	0,0
<b>Ch<sub>2</sub></b>	1,5	5,3	69,9	22,9	0,2	0,0
	1,3	4,8	67,3	26,2	0,1	0,0
	1,3	6,1	67,6	24,6	0,1	0,0
<b>Ch<sub>3</sub></b>	3,0	4,2	20,8	56,7	15,1	0,0
	2,0	3,2	24,5	58,3	11,2	0,0
	0,8	1,3	25,8	65,1	6,9	0,0
<b>Ch<sub>4</sub></b>	3,2	10,4	17,7	39,9	28,6	*
	1,2	10,9	18,4	40,1	29,2	*
	1,2	10,4	18,8	43,0	26,4	*

\*: entre 0 y 0,1%.

< 50 µm: A+L; 50-125 µm: amf; 125-250 µm: af; 250-500 µm: am; 500-1000 µm: ag; 1000-2000 µm: amg.