

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Laurea Specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



**MORFOLOGÍA Y DINÁMICA DUNARIA DE LA
PUNTA DE CONCÓN**

PARA LA CONSERVACIÓN Y GESTIÓN TERRITORIAL

MORFODINAMICA DELLE DUNE DI CONCÓN

V REGIONE DI VALPARAÍSO, CHILE

RELATORE: Prof. Luigi MUSSIO

CORRELATORE: Prof. Mauricio REYES GALLARDO

Tesi di: Lorenzo BARANZINI
Matr. 725139

Anno Accademico 2010/2011

Índice general

Prefazione in Lingua Italiana	I
1. PRESENTACIÓN & OBJETIVOS	1
1.1. RESUMEN	1
1.2. INTRODUCCIÓN	1
1.3. PROBLEMÁTICA Y PROPÓSITOS	4
1.4. METODOLOGIA	5
2. ÁREA DE ESTUDIO	6
2.1. ÁREA DE ESTUDIO	6
2.2. EL VALOR NATURAL Y SOCIAL DEL AREA	8
2.3. GEOMORFOLOGÍA	8
2.4. ORIGEN DE LAS DUNAS COLGADAS DE CONCÓN	10
2.4.1. LOS TRES SECTORES DE LAS DUNAS	12
2.4.2. LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ARENAS	13
2.5. CLIMA LOCAL	14
2.6. LOS VIENTOS: LAS CUATTROS ESTACIONES DE MONTEMAR	17
2.6.1. LOS DATOS EN BRUTO	19
2.6.2. EL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	19
3. TEORÍA DEL TRANSPORTE EÓLICO	32
3.1. MORFOLÓGIA DE LAS DUNAS COSTERAS	32
3.1.1. GEOMORFOLOGÍA	36
3.1.2. SUMINISTRO DE SEDIMENTOS	36
3.1.3. DEPOSICIÓN COSTERA	38
3.1.4. ARENA-PROPIEDADES DE LOS GRANOS	38
3.1.5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	39
3.1.6. FENÓMENOS DE SUSPENSIÓN, SALTACIÓN Y ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	40
3.1.7. LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN	42
3.2. FLUIDODINAMICA EOLICA AMBIENTAL	43
3.2.1. LA CAPA LÍMITE AMBIENTAL	44
3.2.2. VELOCIDAD MEDIANA DEL VIENTO	46

3.2.3. POWER LAW	46
3.2.4. LOG LAW	47
3.2.5. LA TURBULENCIA ATMOSFÉRICA	48
3.3. TEORÍA DEL TRANSPORTE EÓLICO DE PARTICULAS	48
4. ANALISIS I	51
4.1. INTRODUCCIÓN	51
4.2. RECONSTRUCCIÓN DEL DATO: DIRECCIÓN DEL VIENTO	52
4.3. EL WASP	56
4.4. RECONSTRUCCIÓN DEL DATO: VELOCIDAD DEL VIENTO	59
4.5. RECONSTRUCCIÓN DEL DATO: TOPOGRAFÍA	62
4.6. RECONSTRUCCIÓN DEL DATO: RUGOSIDAD	64
4.6.1. CARACTERÍSTICAS DE LA RUGOSIDAD EN EL MAPA	67
4.7. LA TRANSFERENCIA ESPACIAL DEL VIENTO, LOS RESULTADOS	69
4.7.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA	73
4.7.2. RESUMEN DE LOS RESULTADOS	74
4.8. TRANSPORTE DE ARENA, LOS RESULTADOS	76
4.8.1. CONSIDERACIONES POSTERIORES	78
5. FOTOINTERPRETACIÓN	79
5.1. INTRODUCCION	79
5.2. IMÁGENES AÉREAS	79
5.3. CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS DUNAS	79
5.4. GRADO DE ESTABILIZACIÓN DE LAS DUNAS	81
5.5. PAISAJE DUNAR Y SU ALREDEDOR	82
5.6. DINÁMICA DE LAS DUNAS ENTRE LOS AÑOS 1980 Y 2010	84
5.7. RESULTADOS	84
5.8. DINÁMICA DE LA SUPERFICIE DUNAR ENTRE LOS AÑOS 1980 Y 2010	85
5.9. DISCUSIÓN	85
6. ANALISIS II	87
6.1. INTRODUCCIÓN	87
6.2. RÉGIMEN EÓLICO AFECTADO POR LA CONSTRUCCIÓN: RESULTADOS	91
7. DISCUSIÓN	95
7.1. CONSIDERACIONES FINALES	96
APÉNDICE: DESAFÍO DE CONSERVACIÓN Y GESTIÓN	98
AGRADECIMIENTOS	108

Índice de figuras

1.1. Principales ubicaciones de sistemas dunares en el mundo (Martinez et al. 2004).	2
2.1. Vista aérea de Concón, 1997 (in S. Elórtegui Francioli, 2005) . . .	6
2.2. Ubicación dunas de Concón (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)	7
2.3. Quinta Región de Valparaiso (Mediateca.cl)	9
2.4. Perfil Transversal V Región de Chile (R. Borgel, 1983)	10
2.5. Origen de las dunas colgadas de Concón (in S. Elórtegui Francioli, 2005)	11
2.6. Esquema de los tres sectores dunares (elaboración propia, 2011) .	12
2.7. Ciclo diario de Velocidad a 5metros (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)	15
2.8. Distribución de Frecuencia (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)	16
2.9. Esquema brisa oceanica (elaboración propia, 2011)	17
2.10. Punta Montemar y Punta Concón (elaboración propia, 2011) . .	18
2.11. Rosas de Viento (creado por DGF Universidad de Chile, 2011) .	21
2.12. Variabilidad diaria (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)	22
2.13. Ciclo diario de Velocidad a 25metros, por meses (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)	23
2.14. Distribución de Frecuencia a 25metros (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)	24
2.15. Mediaciones de V(m/s) (elaboración propia, 2011)	25
2.16. Ejemplo de espectro en potencia de V (Eolo, 2008)	26
2.17. Espectro en potencia de V, Abril 2010 (elaboración propia, 2011)	27
2.18. Espectro en potencia de V, Julio 2010 (elaboración propia, 2011)	28
2.19. Espectro en potencia de V, Octubre 2010 (elaboración propia, 2011)	29
2.20. Espectro en potencia de V, Enero 2010 (elaboración propia, 2011)	30
2.21. Perfil Vertical simple en Montemar (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)	31
3.1. Tipos de dunas (Geociencia.org, 2011)	33

3.2. Disponibilidad de arena-variabilidad del viento (Livingstone y Warren, 1996)	35
3.3. Formación de las dunas colgadas de Concón (S. Elortegui Francioli, 2005)	37
3.4. Deriva litoral (fuente desconocida)	38
3.5. Arenas en laboratorio (fuente desconocida)	39
3.6. Proceso dinamico, arena transportada por el viento (M. Anwar Maun 2009)	41
3.7. Perfil vertical del viento (M. Anwar Maun 2009)	42
3.8. Influencia de la vegetación sobre los parámetros de transporte (M. Anwar Maun 2009)	43
3.9. Limite Ambiental (fuente desconocida)	45
3.10. Perfil vertical según la teoria de fluidodinamica (fuente desconocida)	46
3.11. Perfil vertical según la teoria de fluidodinamica (fuente desconocida)	47
3.12. Perfil vertical según la teoria de fluidodinamica del aire (Revista geologica de Chile 2009)	50
4.1. Esquema simple de calibración de datos (elaboración propia, 2011)	52
4.2. Rosa de Vientos Anual (elaboración propia, 2011)	53
4.3. Rosas de Vientos Estacional (elaboración propia, 2011)	54
4.4. Rosas de Vientos Diaria (elaboración propia, 2011)	55
4.5. WAsP (WAsP, 2007)	57
4.6. Esquema del sistema de operación de WAsP (WAsP, 2007)	58
4.7. Parametros de Leyes de Potencia y Log en Windographer (elaboración propia, 2011)	61
4.8. Histogramas finales en OWC Wizard (elaboración propia, 2011)	62
4.9. Topografía dunar (fuente: Universidad Catolica, 2007)	63
4.10. Ejemplo rugosidad1 WAsP (WAsP, 2007)	65
4.11. Ejemplo rugosidad2 WAsP (WAsP, 2007)	65
4.12. Ejemplo rugosidad3 WAsP (WAsP, 2007)	66
4.13. Ejemplo rugosidad4 WAsP (WAsP, 2007)	66
4.14. Mapa de rugosidad a grande escala de Concón (elaboración propia, 2011)	68
4.15. Mapa de rugosidad local de Concón (elaboración propia, 2011)	68
4.16. Mapa de rugosidad a micro escala de Concón (elaboración propia, 2011)	69
4.17. Mapa Rugosidad&Relieve a grande escala de Concón (elaboración propia, 2011)	70
4.18. Mapa Fuente datos y objetivo de transferencia (elaboración propia, 2011)	71
4.19. Area monitoreo de Viento, Campo dunar de Concón (elaboración propia, 2011)	72
4.20. Ejemplo Layout de WAsP, Campo Dunar de Concón (elaboración propia, 2011)	73

5.1. Modificado de Paskoff y Manríquez, 2004 (citado en la Revista de Geografía Norte Grande, 2008)	80
5.2. Mapa geomorfológico de las dunas colgadas de Concón (Castro & Andrade, 1990, modificado, citado in S. Elórtgui, 2005)	82
6.1. Dunas de Concón y desarrollo Inmobiliario (fuente propia, 2011)	88
6.2. Presión inmobiliaria, Concón (fuente propia, 2011)	89
6.3. Entre los edificios de Concón (fuente propia, 2011)	90
7.1. Las Dunas (in S. Elórtgui, 2005)	101
7.2. Vegetacion (in S. Elórtgui, 2005)	103
7.3. Dunas de Concon (in S. Elórtgui, 2005)	104
7.4. Fauna Dunar (in S. Elórtgui, 2005)	105

Índice de cuadros

2.1. Orientación sectores dunares (elaboración propia, 2011)	13
2.2. Categorías granulométrica (in S. Elórtégui Francioli, 2005)	13
2.3. Tabla datos brutos (elaboración propia, 2011)	19
2.4. Estadística básica (Creado por DGF Universidad de Chile, 2011)	19
2.5. Síntesis de observación espectral, Abril, 2010 (elaboración propia, 2011)	28
2.6. Síntesis de observación espectral, Julio 2010 (elaboración propia, 2011)	28
2.7. Síntesis de observación espectral, Octubre 2010 (elaboración propia, 2011)	29
2.8. Síntesis de observación espectral, Enero 2010 (elaboración propia, 2011)	30
3.1. Clasificación de las arenas de acuerdo al tamaño de los granos (S. Elortegui Francioli 2005)	39
3.2. Parámetro Zo de rugosidad del suelo (WAsP, 2011)	48
4.1. Dirección de Viento (elaboración propia, 2011)	54
4.2. Dirección de Viento por sector (elaboración propia, 2011)	56
4.3. Ley Potencia y Ley Log, cálculo parámetros (elaboración propia, 2011)	60
4.4. Rugosidad, valores ocupados (elaboración propia, 2011)	69
4.5. Dirección de Viento por sector (elaboración propia, 2011)	73
4.6. Síntesis de Velocidad de Viento por sector dunar (elaboración propia, 2011)	75
4.7. Tasa de transporte para arenas eólicas en las crestas dunares (elaboración propia, 2011)	77
4.8. Síntesis de la Tasa de transporte por sector dunar (elaboración propia, 2011)	78
6.1. Tasa de transporte afectada por el P.I. (elaboración propia, 2011)	92
6.2. Balances entre Análisis 1 y Análisis 2 (elaboración propia, 2011)	93

Índice de mapas

MAP1-Recopilación Recurso Sociocultural, Campo Dunar de Concón

MAP2-Recopilación Morfológica, Campo Dunar de Concón

MAP3-Topografía Local, Campo Dunar de Concón, Año 2010

MAP4-Topografía Regional, Alrededor de Concón, Año 2010

MAP5-Topografía Regional Final, Alrededor de Concón, Año 2010

MAP6-Mapa de Vientos a 15m de Altura, Dirección de Viento: 0-360°, Año 2010

MAP7-Mapa de Vientos a 15m de Altura, Dirección de Viento: 270°, Año 2010

MAP8-Mapa de Vientos a 15m de Altura, Dirección de Viento: 247.5°, Primavera-Verano 2010

MAP9-Mapa de Vientos a 15m de Altura, Dirección de Viento: 90°, Otoño-Invierno 2010

MAP10-Mapa de Vientos a 2m de Altura, Dirección de Viento: 0-360°, Año 2010

MAP11-Mapa de Vientos a 2m de Altura, Dirección de Viento: 270°, Año 2010

MAP12-Mapa de Vientos a 2m de Altura, Dirección de Viento: 247.5°, Primavera-Verano 2010

MAP13-Mapa de Vientos a 2m de Altura, Dirección de Viento: 90°, Otoño-Invierno 2010

MAP14-Mapa de Vientos a 2m de Altura con 1 Obstáculo, Dir. de Viento: 90°, Otoño-Invierno 2010

MAP15-Mapa de Vientos a 2m de Altura con 1 Obstáculo, Dir. de Viento: 247.5°, Primavera-Verano 2010

MAP16-Mapa de Vientos a 2m de Altura con 1 Obstáculo, Dir. de Viento: 270°, Año 2010

MAP17-Mapa de Vientos a 2m de Altura con 3 Obstáculos, Dir. de Viento:
90°, Otoño-Invierno 2010

MAP18-Mapa de Vientos a 2m de Altura con 3 Obstáculos, Dir. de Viento:
247.5°, Primavera-Verano 2010

MAP19-Mapa de Vientos a 2m de Altura con 3 Obstáculos, Dir. de Viento:
270°, Año 2010

MAP20-Mapa de Vientos a 2m de Altura con Proyecto Inmobiliario, Dir. V.:
90°, Otoño-Invierno 2010

MAP21-Mapa de Vientos a 2m de Altura con Proyecto Inmobiliario, Dir. V.:
247.5°, Primavera-Verano 2010

MAP22-Mapa de Vientos a 2m de Altura con Proyecto Inmobiliario, Dir. V.:
270°, Año 2010

MAP23-Morfología Dunar, año 2010

MAP24-Cobertura Vegetal, año 2010

MAP25-Avance Dunar, 1980

MAP26-Avance Dunar, 1982

MAP27-Avance Dunar, 1994

MAP28-Avance Dunar, 2010

MAP29-Avance Dunar, entre 1980-2010

MAP30-Área Campo Dunar, año 1980

MAP31-Área Campo Dunar, año 1982

MAP32-Área Campo Dunar, año 1994

MAP33-Área Campo Dunar, año 2005

MAP34-Área Campo Dunar, año 2010

MAP35-Área Campo Dunar, entre 1980-2010

MAP36-Conservabilidad Dunar

Prefazione in Lingua Italiana

ABSTRACT

In questo elaborato di tesi viene caratterizzata la dinamica del campo di dune di Concon, localizzato tra Punta Concon e Punta Montemar (nella Va Regione di Valparaiso, Cile), durante gli anni 1975-2010; attraverso la descrizione dei suoi aspetti morfologici ed eolici, a partire da materiale cartografico, fotografie aeree e riconoscimento in situ. Date le esigue dimensioni dell' area di studio (81,75 ha) si è deciso di discretizzarla in soli 3 settori di dune libere, effettuando lo studio in funzione del clima locale durante le varie stagioni dell'anno, caratterizzate da venti, per natura e direzione, diversi. Le tipologie di dune più frequenti sono del tipo 'Barcano' e 'Trasversale', e la vegetazione influenzata dal clima oceanico è di tipo arbustivo a basso fusto, ed erbacea (bassi cespugli e graminacee). Il grado di stabilizzazione e le geometrie dunari più frequenti permettono di risalire all'azione dei fattori naturali ed antropici, che le hanno generate. E' spesso essenziale determinare questi fattori e caratterizzare la morfodinamica delle dune, non solamente per piacere della ricerca scientifica, ma soprattutto per aiutare la pratica della gestione integrata delle zone costiere. In Cile centrale le dune litorali rappresentano un ecosistema molto esteso, se si pensa che il paese si sviluppa da Norda a Sud con più di 4.000km di costa, e studi di questo tipo sono molto frequenti, soprattutto in ambiente universitario. In Cile infatti le città del litorale stanno vivendo oggi una fase di forte sviluppo edilizio, sebbene si trovino ancora a stretto contatto con vasti territori desertici, tipici della costa, in un rapporto sinergico spesso da definire caso per caso. In tal senso l'elaborato mira a indagare l'assetto del regime eolico che domina il campo dunare, a quantificare l'azione trascinante sui sedimenti e a descriverne la storia dinamica recente. Inoltre per raggiungere tali obiettivi, viene proposto un approccio inusuale che prevede l'impiego di un software, preso in prestito dall'Ingegneria Eolica, il WASP. In aggiunta allo studio, viene simulato il caso in cui un Complesso Immobiliare di 21 torri residenziali, impatti sulla morfodinamica naturale delle Dune di Concon. E ricordando poi, attraverso una semplice revisione bibliografica, quanto queste non siano semplicemente un'area desertica, bensì un luogo caratterizzato da elevate qualità ecologiche, grazie ad una biodiversità unica nel continente, che gli riconosce il titolo di Santuario della Natura; ed anche un luogo ricreativo ed educativo per gli abitanti della Va Regione di Valparaiso.

Parole chiave: regime del vento, morfodinamica dunare, trasporto solido, fotointerpretazione, gestione delle zone costiere.

SINTESI DELL'ELABORATO

Viene presentata qui di seguito una sintesi dell'elaborato, redatta in lingua italiana. In essa parti del testo originario vengono estratte e tradotte per permettere di ripercorrere qualitativamente i capitoli che lo compongono. Con tutte le limitazioni del riassunto, si darà anche il riferimento delle figure, tabelle e tavole, utili all'esposizione della Tesi.

INTRODUZIONE

La costa rappresenta il punto di incontro dei tre elementi di acqua, terra ed aria. Dall'interazione di questi, nasce un equilibrio tanto affascinante quanto precario, che costituisce uno spazio di alto valore paesaggistico e ricco di biodiversità. Affinchè questo equilibrio ricco di risorse non venga estinto, bisogna saperlo gestire in maniera consapevole.

In tal senso le dune costituiscono un'unità di paesaggio unica, ed in special modo quelle costiere, che sono in grado di ricreare un habitat favorevole ad un'eccezionale biodiversità. Difatti questi sistemi sono il risultato di una costante interazione di processi geomorfologici, climatici e biologici, laddove il continente incontra l'oceano, i litorali.

Le dune costiere sono depositi di sabbie mosse e cumulate dai venti, la cui formazione si deve all'apporto di sedimenti, che si trovano sulla linea di spiaggia per azione delle correnti marine e ventose, in funzione anche della topografia e della vegetazione (Tavares 1996). La sua origine è direttamente relazionata con le modifiche climatiche e del livello del mare.

In fase di formazione l'ambiente che ospita le dune deve possedere tre requisiti essenziali: (i) un vento a terra che supera un certo valore critico, (ii) un'alimentazione continua di sabbia, e (iii) un ostacolo che riduca la velocità del vento, in grado di catturare il carico di sedimenti da esso trasportato, solitamente la vegetazione. Il prodotto di questi tre ingredienti sono le molteplici geometrie dunari, la cui attività, in prima approssimazione, determina il loro stato di dune attive (solitamente prive di vegetazione) o di dune stabilizzate (con vegetazione). (Van Der Meulen & Jungerius, 1989)

In Cile centrale le dune litorali rappresentano un ecosistema molto esteso, se si pensa che il paese si sviluppa da Nord a Sud con più di 4.000km di costa. Il loro maggior sviluppo copre una superficie di 131.000ha (Paskoff y Manríquez, 2004), tra le regioni di Coquimbo y Los Lagos (IREN, 1966). Questi sistemi naturali sono da sempre sottoposti a una forte pressione di uso (es. agricola, forestale, ricreativa, edilizia e turistica), che congiuntamente al suo elevato grado di fragilità ha intaccato il dinamismo naturale di queste aree (Tavares, 1996; Paskoff, 1998).

In particolare il Campo Dunare di Concon, oggetto del presente elaborato, ha la singolare caratteristica di essere privato del diretto contatto con le acque dell'oceano, poiché la piattaforma su cui poggia si trova a un dislivello di quasi 30m rispetto la superficie del mare. Situazione sfavorevole se si considera per questo, il mancato apporto di sabbia dalle spiagge limitrofe. Che generalmente

rappresentano un naturale serbatoio di sabbia in grado di alimentare le dune. E' per questo motivo che la caratterizzazione del campo di Concon si differenzia da quelle che vengono solitamente svolte dal Dipartimento di Ing. Oceanica, per gli altri campi dunari della costa del Paese.

In Cile le normative di pianificazione del territorio costiero considerano i litorali come un semplice spazio geografico, dalle limitate risorse d'uso. Secondo molti studiosi (Andrade, 1996 e Veloso, 2005), tale politica di gestione possiede grandi lacune, che vanno risolte anzitutto con la ricerca scientifica e poi sensibilizzando i tecnici e le amministrazioni responsabili.

Sebbene sia vero che gli ecosistemi litorali presentano grandi possibilità di sviluppo urbanistico, bisogna sempre considerare seriamente le limitazioni d'uso, con l'obbiettivo di mantenerne la biodiversità, e in generale di proteggere il valore ambientale-paesaggistico che possiedono, per trasmetterlo alle generazioni future. E' evidente che bisognerebbe contare su una buona politica di conservazione delle aree dunari. E il caso del sistema dunare di Concon è proprio un esempio di equilibrio ecologico fortemente condizionato dalla pressione antropica.

Questo elaborato fornisce un'informazione riguardo lo stato attuale della morfodinamica delle dune che occupano il litorale compreso tra Punta Concon e Punta Montemar. Indaga sul potenziale eolico del clima odierno, sulla possibilità che i suoi venti siano in grado di determinare trasporto solido, quantificandolo. Si studia l'attività morfodinamica, ripercorrendo gli spostamenti delle dune negli ultimi 30anni, quantificandoli.

OBIETTIVI E METODOLOGIA

Obiettivi Generali: Caratterizzare morfodinamicamente il Campo di dune di Concon. E descriverne il regime dei venti locali.

Obiettivi Specifici: Analizzare le condizioni di vento nella zona di studio; determinare le condizioni favorevoli/sfavorevoli al trasporto eolico dei sedimenti superficiali in quest'area; identificare e quantificare i settori di movimento delle dune di Concon.

Metodologia: La particolarità del presente elaborato sta nella metodologia utilizzata per caratterizzare il regime eolico locale. Si impiega infatti un software dell'Ingegneria Eolica, per descrivere l'interazione tra la topografia dunare e il vento; il programma è anche in grado di dar forma ad un archivio di dati inizialmente povero di informazioni. Il vento infatti è il principale attore nel processo di rastrellamento della superficie dunare. Studiarne le direzioni principali e le intensità basterebbe già a definirne la morfodinamica, il potenziale di mobilità e/o il grado di stabilizzazione delle dune, a fare previsioni e a riconoscere gli ostacoli che ne impediscono l'attività. A tale scopo si sono considerati i dati registrati dalla stazione meteorologica di Montemar, tra gli anni 1975 e 2002, suo ultimo anno di attività. Un previo trattamento dei dati orari ha permesso

di aggiornare il dato all'epoca odierna, ricostruendo le diverse stagioni dell'anno in termini di velocità e direzione del vento, locali.

La caratterizzazione areale del regime eolico che investe il settore d'interesse, assieme alla teoria del trasporto solido, ha permesso di descrivere e quantificare la morfodinamica del campo dunare. Cui si aggiunge un riconoscimento aerofotometrico digitale dell'area, con l'intento di ripercorre gli spostamenti delle dune negli ultimi 30anni, attraverso la fotointerpretazione di 5 immagini (satellitari e aeree) appartenenti al periodo 1980-2010, concesse al dipartimento di Ing. Oceanica dagli istituti militari IGM e SAF (Santiago, 2011).

Col fine di presentare l'elaborato, si propone una serie di attività, le quali realizzano gli obiettivi, sopra riportati.

Le tappe proposte per sviluppare il tema di tesi sono le seguenti:

- Descrizione climatica dell'area di studio (osservazione e trattamento dei dati annuali di vento in direzione ed intensità);
- Descrizione morfologica dell'area di studio (morfogenesi del campo dunare, identificazione dei settori di interesse e classificazione delle dune presenti);
- Presentazione della teoria del trasporto solido cui si fa riferimento (Bagnold, 1960);
- Applicazione 1:
 - Presentazione e impiego del software WASP (assemblaggio e implementazione dei dati: climatici, topografici e fisici; vengono stilate mappe descrittive del regime areale del vento);
 - Caratterizzazione del trasporto (caratterizzazione del regime del vento locale, vengono quantificati i tassi di trasporto);
- Fotointerpretazione di immagini satellitari (ad integrare l'analisi anteriore, la determinazione degli spostamenti/anno delle creste dunari, e il bilancio di perdite/guadagni della superficie desertica occupata dal campo di Concon; impiego dei software cartografici GlobalMapper e Didger3);
- Applicazione 2:
 - Viene ripetuta l'Applicazione1, ipotizzando la presenza di un Complesso Immobiliare di 21 torri, che grava sul suolo dunare(simulando la presenza di un massiccio ostacolo, si ricalcola l'interazione tra il regime del vento e le dune; il progetto di un complesso immobiliare, attualmente depositato negli uffici del comune di Concon, e potenzialmente realizzabile; la società scientifica e l'opinione pubblica parlano di "eco-mostro");
- In appendice: il Santuario della Natura (una semplice ricerca bibliografica che descrive la biodiversità e il valore socioculturale delle dune di Concon);

- Alcune considerazioni finali: riassumono lo stato di fatto e commentano la vulnerabilità del sistema dunare.

AREA DI STUDIO

Lungo la costa del Cile centrale, immediatamente a nord del conglomerati urbani di Viña del Mar e Valparaiso, compreso tra le località di Punta Concon e Punta Montemar, si incontra un consistente campo di dune libere, che si affacciano direttamente sull'Oceano Pacifico.

Il Campo dunare di Concon ospita al suo interno un'area caratterizzata e riconosciuta dalle autorità per la spiccata biodiversità, intitolata "Santuario della Natura". L'area di studio è ubicata alle coordinate geografiche di Latitudine Sud 32°94' e Longitudine Ovest 71°55'. Il sistema costiero di cui fanno parte, si estende per 13km e raggiunge l'interno del continente per un massimo di 4km. Il lotto di terreno che il campo di dune occupa è di circa 81,75ha di superficie (IREN).

L'ORIGINE DELLE DUNE "SOSPESSE" DI CONCON

Vengono dette "sospese" perchè quando si formarono le Dune di Concon, il livello del mare era di molto inferiore a quello attuale. I venti rastrellavano le spiagge di sabbia che in quei tempi si estendevano in questo settore, trasportando i granelli e formando un campo di dune libere che si arrampicavano oltre l'esile scogliera per scivolare sulla terrazza naturale, verso l'interno del continente. Fu allora che il livello del mare crebbe fino a raggiungere il piede della scogliera, trattenendo l'alimentazione di sabbia, che col tempo trasformò le dune in relitti separati dal mare e colonizzati dalla vegetazione. Successivamente il livello del mare tornò a scendere, fino a raggiungere l'attuale quota, e lasciando affiorare la scogliera rocciosa, incapace di fornire nuova sabbia alle dune. (Figura 2.5)

Conclusasi la morfogenesi, si passa alla morfodinamica, per cui oggi si parla di "nuclei di parziale riattivazione del trasporto solido" (R.Paskoff, 2004).

In base all'osservazione cartografica, si sono determinati qualitativamente tre settori in funzione delle caratteristiche di: copertura della vegetazione, orientazione morfologica, (ambedue queste ultime, prodotto dei venti agenti sulle dune).

Caratteristiche Granulometriche: Le sabbie delle dune stabilizzate, come quelle delle dune libere presentano caratteristiche simili. I sedimenti hanno dimensioni fini (mediamente di 0,12 mm) e una classificazione molto buona (So pari a 1,1), il che conferma l'origine eolica di queste sabbie.

L'osservazione microscopica mostra che la maggior parte dei grani di quarzo presenta angoli smussati ed erosioni di debole entità, questo indica un breve trasporto ad opera dei principali agenti motori, quali ovviamente acqua ed aria. Analisi petrografiche informano sulla natura principalmente feldspatica delle sabbie, provenienti dai granitoidi del paleozoico, che affiorano in quantità in questo settore della cordigliera della costa del Cile centrale.

CLIMA LOCALE

Applicando la classificazione proposta da Koeppen al clima del Cile, si stabilisce che le regioni centrali del paese posseggono un clima temperato-caldo, con presenza di piogge invernali, simile a quello che si ha nell'area mediterranea. La Va Regione di Valparaiso si caratterizza per una prolungata stagione secca, con le temperature più fredde che non superano i 18°C e non scendono al di sotto dei 3°C.

Dal punto di vista sinottico, la Baia è influenzata dall'Anticiclone Subtropicale del Pacifico, permanente. I venti in questa regione, hanno direzione principalmente SW, che varia sensibilmente in accordo con le varie stagioni dell'anno. Il periodo che presenta questa condizione predominante è senza dubbio quello estivo e primaverile; mentre in inverno la direzione si modifica in SE-E (vale a dire dal continente all'oceano), perdendo in intensità. I valori medi annuali di velocità del vento si aggirano attorno ai 2,2m/s.

I valori critici di velocità del vento oltre i quali inizia il distacco delle sabbie, e viene innescato il fenomeno del trasporto solido, si incontrano solitamente attorno ai 5m/s per granulometrie di dimensione medio-fine (come nel nostro caso, di 0,12mm). Il tasso di trasporto Q [kg/m/s] è in prima approssimazione proporzionale al cubo della velocità del vento (soprattutto per valori elevati). Mentre i venti (di nostro interesse) tra i 4-7m/s sono in grado di smuovere particelle di dimensioni fino ai 0,25mm, forti venti di 11-13m/s possono mettere in movimento anche granulometrie di 1,5mm (Ottman, 1967, in Paskoff 1999).

Le quattro stagioni nella baia di Concon: L'ultimo dato di vento misurato, in prossimità del campo dunare, risale al 2002 ed appartiene alla Stazione Meteorologica di Montemar(1975-2002), ubicata nella vicina località di Punta Montemar. Sfruttando l'archivio di questa stazione, e un set sintetico di dati attualizzato al 2010 si è ricostruito il regime del vento utile all'analisi.

Vengono quindi analizzate le 4stagioni dell'anno 2010: Gennaio, Aprile, Luglio, Ottobre. (Tabella 2.4, e Figura 2.11)

Si osserverà che nei mesi di aprile e luglio una discreta percentuale di venti sono del tipo "brezza da terra a mare", e sono per lo più venti di debole intensità. Ottobre e specialmente Gennaio sono invece mesi caratterizzati dalle temperature maggiori, è in queste stagioni infatti che nascono venti del tipo "brezza da mare a terra", piuttosto intensi e con origine generalmente da S-SO.

Analisi delle frequenze: di intensità del vento, osservate con cadenza oraria. Si è optato per presentare le frequenze in forma spettrale per identificare la forma con cui si ripetono certi valori. E' indubbio infatti che volendo studiare il trasporto di sedimenti, necessitiamo di individuare quei valori elevati di intensità in grado di causarne il movimento, e che solitamente superano il valore critico di soglia pari a 5m/s al suolo. Gli spettri sono in grado di informarci sulla natura ciclica con cui accadono certi fenomeni acuti, permettendoci di identificare i periodi in cui si concentra maggiormente l'energia sprigionata dai venti più intensi.

TEORIA DEL TRASPORTO EOLICO

Le dune non sono semplici tumuli aleatori (casuali) di sedimenti trasportati dal vento. Piuttosto sono cumuli che in generale seguono modelli sorprendentemente regolari. (Figura 3.1)

Geomorfologia: Secondo Carter et al. (1990) la grande varietà delle forme delle terre costiere in tutto il mondo è principalmente relazionata con la disponibilità di sedimenti, il clima, l'energia delle onde, il regime del vento e con le tipologie di vegetazione. In generale la migrazione delle dune segue la direzione dominante del vento, anche se nei sistemi dunari si possono incontrare modalità di spostamento lungo altre direzioni

Trasporto dei sedimenti: Una volta che i sedimenti vengono a trovarsi sulla spiaggia, il vento è la forza dominante che genera il movimento dei grani ed il fattore che dà una prima forma alle dune. Il materiale deposto dalle onde viene asciugato dal sole, ed in seguito trasportato dal vento

Il movimento fisico dei granelli di sabbia trasportati dal vento è un processo complesso che implica i fenomeni di suspension(sospensione), saltation(rimbalzo) e surface creep(trascinamento superficiale).

Bagnold(1941) dimostrò che il profilo medio di velocità(U) in funzione dell'altezza(z) ha un andamento più logaritmico che lineare. Rappresentando in un grafico il profilo di velocità in scala logaritmica (Figura 3.12) si nota che la velocità del vento diminuisce fino ad arrivare a 0 ad una determinata quota sopra la superficie della sabbia. Questa quota maggiore di zero si definisce costante di rugosità K (Bagnold citato in M.Anwar Maun 2009), anche indicata come Z_0 (Olson 1958 citato in M.Anwar maun 2009). Il valore della rugosità sarà quindi connesso alla specie vegetale presente nella duna.

Secondo Bressolier e Thomas (1977) i tre fattori che determinano la costante di rugosità, in ordine di importanza, sono: la densità, l'altezza della vegetazione e la velocità del vento. Sono questi i parametri, responsabili del trasporto eolico, che si determinano nei capitoli a seguire.

ANALISI I

Si sfrutta il programma WASP per trasferire con precisione il dato eolico nello spazio(verticamente e orizzontalmente da P.Montemar al Campo Dunare), "spalmandolo" sull'intera superficie del campo dunare in funzione della rugosità del suolo e della topografia propria della regione.

In questa occasione si sono considerate 2 altezze dal suolo specifiche: la prima di 15m, è generalmente a questa altezza che il profilo verticale della velocità tende a stabilizzarsi; e la seconda di 2m, come l'altezza minima dal suolo e accettabile perché il software utilizzato dia risultati accettabili.

Sono stati quindi calcolati i coefficienti delle due leggi(Log e Power) che governano il profilo verticale del vento, così da poter indagare qualsiasi punto dello spazio e ottenere la velocità del vento V relativa a una voluta altezza dal suolo z .

Nota la funzione di trasferimento verticale è stato possibile isolare i due vettori di nostro interesse per l'analisi, quello dei dati 2010 di intensità di vento all'altezza di 15m dal suolo, e quello dei dati 2010 di intensità di vento all'altezza di 2m dal suolo. (Figura 4.8)

La Topografia delle dune e dei territori circostanti viene ricostruita, sfruttando le applicazioni di due programmi: Global Mapper e ArcGIS 9.3.

Il WASP necessita che il territorio venga descritto fino a 30km di raggio, dall'area oggetto di studio affinché il modello e gli algoritmi che utilizza siano affidabili. Le condizioni più lontane rappresentano per questi le condizioni al contorno, ed il confine del dominio di applicabilità, oltre i quali il dettaglio diventa trascurabile, perchè ininfluente nella determinazione del clima locale. Nella Tavola 5 (Map 5) si può osservare la sovrapposizione della topografia locale (curve di livello ogni 5metri) con quella regionale (curve di livello ogni 25metri).

Rugosità del suolo: la rugosità di una superficie si determina in funzione delle dimensioni e della distribuzione degli elementi rugosi che il territorio presenta, solitamente la vegetazione, le zone edificate, in pratica l'uso del suolo. Ogni tipo di terreno si riferirà a una specifica classe di rugosità. La cartografia su scale di 1:25.000 o 1:50.000 è la più appropriata per la ricerca di questo parametro, interpretabile in funzione delle altezze che caratterizzano gli elementi presenti sulla mappa.

Seguendo la filosofia WASP, si è redatta una tavola di rugosità del territorio dunare e del suo intorno, prediligendo, come già visto in precedenza per la topografia, maggior dettaglio con l'approssimarsi all'area di studio. (Tabella 4.4, e Figura 4.16)

RISULTATI OTTENUTI CON WASP

Il regime locale del vento: In definitiva è stato creato un layer contenente le informazioni topografiche e di rugosità della regione; ed al tempo stesso estratto il vettore del dato di vento (in velocità[m/s] e direzione[°]), riferito alla località Punta Montemar. Muovendoci nel sistema di coordinate locali (UTM 19S, WGS84), questi elementi vengono sfruttati per trasferire nello spazio l'archivio eolico al campo dunare, caratterizzando le condizioni atmosferiche in esso presenti.

Viene creata una griglia, in cui saremo in grado di interrogare la forza del vento alle due altezze di riferimento, semplicemente calibrando la direzione dei venti secondo quelle caratterizzanti l'anno 2010, trovate precedentemente. Ed anche intervenendo modificando il paesaggio locale (ad es. simulando la presenza di ostacoli, come si vedrà in seguito).

La risoluzione del WASP: il reticolo investigato (inglobante il campo di dune) è composto da cellette quadrate con lato di 10metri per un'area complessiva di 1.000x1.200m.

Rappresentazione grafica: volendo definire lo stato di fatto, si presenta l'attuale regime eolico [m/s] che domina la superficie delle Dune di Concon, nelle

tavole allegate alla fine dell'elaborato. Queste possiedono una scala non convenzionale di 1:7.000, e riportano nel cartiglio tutte le informazioni relative ai vari casi considerati (periodo dell'anno, direzione del vento, altezza dal suolo, ecc.). (Tavole dalla 6 alla 13)

Si riporta inoltre una sintesi discreta delle velocità del vento $U(z)$ in prossimità delle creste più alte del campo dunare, estrapolandole dalle tavole. Queste verranno impiegate nel calcolo del trasporto solido nei vari settori.

Sono due gli aspetti che si possono previamente dedurre da una prima osservazione del campione di dati: (i) c'è evidenza di un'accelerazione topografica dei venti, impattanti sul lato Ovest del campo; (ii) i valori di velocità del vento più alti si presentano, a ragione, lungo le principali direzioni morfologiche inizialmente riconosciute, che non coincidono ovunque con quelle caratterizzanti i venti più intensi dell'anno.

TRASPORTO SOLIDO

In quest'ultima fase dell'Analisi si valutano i Tassi di trasporto Q [kg/m/s] che caratterizzano ciascun settore dunare, rifacendosi alla teoria di Bagnold (1941), presentata precedentemente.

Per poter applicare l'equazione di Bagnold (1941), si sono inserite le variabili d e U^* per i valori di dimensione media dei sedimenti dunari e le intensità del vento per diverse soglie, mantenendo costanti tutte le altre variabili. Per i valori corrispondenti a: $d = 0,12\text{mm}$ e $U^* = 0$ a 8 m/s .

Con questi si è ottenuto che i Tassi di trasporto Q aumentano con l'aumentare della forza del vento, in accordo con i valori calcolati in Tabella 4.7. Il limite considerato per il vento con efficacia geomorfologica risulta partire dai 4 m/s per i quali nell'area di studio ci si aspetta un Tasso di trasporto di $Q = 9,93\text{ kg/m/s}$. Questo vale se le dimensioni del granello di sabbia si possono ipotizzare costanti su tutta la superficie considerata; in caso contrario, un aumento di queste indurrebbe valori più bassi di tassi di trasporto, dal momento che saranno necessarie velocità del vento maggiori per trasportare lo stesso volume. (Tabella 4.8)

Considerazioni: La dinamica ottenuta per il campo dunare e la circolazione eolica analizzata, permettono di sviluppare alcune considerazioni. Il regime ventoso che impera nella zona sarà infatti un buon indicatore dei fenomeni morfodinamici, legati al trasporto solido che affligge le dune.

La bassa dinamicità cui è soggetto il campo, fa riferimento ai venti attesi durante il corso dell'anno secondo la simulazione effettuata. Vale a dire venti calmi al suolo, con pochi e sporadici eventi intensi, sotto le ipotesi effettuate inizialmente.

La dimensione dei tassi di trasporto non risulta essere particolarmente elevata in nessun caso; questo perché si sono osservate fin da subito velocità di trasporto particolarmente basse. Per cui oggi la dinamica dunare risulta generalmente in fase di stabilizzazione, soprattutto laddove ci si aspetterebbe maggior attività eolica, vale a dire in corrispondenza delle creste più alte, e prive di vegetazione.

Nel capitolo successivo si cerca in tal senso di affiancare ai valori fin qui ottenuti anche un'analisi delle più recenti immagini da satellite, con l'obiettivo di determinare attraverso il riconoscimento aerofotogrammetrico la magnitudine migratoria delle dune.

Si converrà che, sebbene attualmente la vita morfodinamica del Campo dunare di Concon sia in via di spegnimento, questo non è sempre stato caratterizzato da bassi tassi di trasporto. Bensì in passato l'attività eolica era più incisiva. Si rimanda quindi al capitolo successivo, in cui vengono analizzate 5 immagini satellitari e aeree, appartenenti al periodo 1980-2010, concesse dagli uffici militari dell' IGM e SAF (Santiago, 2011).

Un appunto: l'accelerazione topografica andrebbe approfondita.

FOTOINTERPRETAZIONE

Seguendo la metodologia spesso utilizzata dalla Revista Geografica Norte Grande, si vuole definire e quantificare l'evoluzione morfodinamica del campo dunare (32°94' Lat. Sud e los 71°55' Long. Ovest) nelle sue direttrici e forme principali, attraverso la fotointerpretazione di 5 immagini da satellite e aeree appartenenti al volo SAF-FONDEC durante gli ultimi 30anni.

Infatti in passato le dune libere di Concón occupavano una superficie di suolo più estesa di quella attuale, che dal Balneario di Cochoa raggiungeva senza interruzioni l'estremità opposta della baia, in Punta Concón.

Classificazione morfologica delle dune: la caratterizzazione della morfologia corrispondente alle dune, si è realizzata sulla base del metodo presentato da Paskoff e Manríquez (2004).

L'interpretazione delle immagini, viene fatta mediante il riconoscimento di quelle linee di cresta delle dune che perdurano nel tempo, così da poterne definire un progressivo. Questo permette di quantificare lo Spostamento medio annuo delle sabbie (detto anche Tasso migratorio dunare). L'indagine sulle forme dunari, sulla digitalizzazione dell'immagine e il trattamento del dato vengono eseguite col software Arc Gis 9.3. Così come l'edizione delle tavole.

Grado di Stabilizzazione delle dune: si è valutato considerando la copertura della vegetazione (tipo erbacea, arbustiva, arborea) in base alla superficie occupata, rispetto a quella complessiva del suolo dunare, nell'anno 2010.

Le dune attive occupano solamente una posizione centrale nel campo dunare, con una superficie di pochi metri quadrati (250.261 mq) rispetto a quella che viene interessata dalla vegetazione nel suo intorno (249.544 mq). L'età delle dune è da considerarsi relativamente giovane, se si considera il paesaggio circostante. A riguardo, nel paragrafo Geromorfologia, vengono distinte tre tipologie di paesaggio dunare: il paesaggio molto antico, il paesaggio antico e il paesaggio moderno. (Figura 5.2)

Dinamica delle dune durante il periodo 1980 – 2010 (Tavole dalla 25 alla 29): Considerando la singolare condizione di dune isolate, e senza possibilità di alimentazione da una spiaggia, dall'analisi risulta un campo dunare molto attivo durante il decennio degli anni '80, con uno spostamento medio annuale di 6, 7,5 e 9,5 metri/anno delle sue creste. Queste diminuiscono fino a raggiungere valori

bassi di circa 0.5-1.1 m/anno, caratterizzanti il debole stato dinamico attuale. Questa tendenza conferma i bassi valori del tasso di trasporto incontrati nel precedente capitolo. A causa di questi valori si può supporre che, sebbene il campo dunare sia ancora attivo al suo interno, tuttavia non possieda un potenziale di movimento che possa interessare l'area esterna alla duna. (Tavola 29)

Dinamica della superficie dunare durante il periodo 1980 – 2010 (Tavole dalla 30 alla 35): In 30 anni le dune libere di Concon sono diminuite di 191.183 mq, dai 563.372 mq del 1980, ai 372.190mq del 2010, con un tasso di variazione medio annuo del 1,13% e una perdita equivalente del 33,9% dell'area totale considerata. Tale perdita è imputabile alla convergenza di 2 fattori naturali: un aumento di copertura vegetativa, e un cambiamento graduale del regime eolico; in concomitanza del fattore forse più incisivo: l'intervento (diretto e indiretto) dell'uomo. (Tavola 35)

ANALISI II

In questo capitolo si considera la presenza di ostacoli di massicce dimensioni. E' infatti uno scenario realistico quello che si ipotizza, considerando la forte pressione immobiliare che ha minacciato le dune di Concon negli ultimi anni.

Vengono quindi inseriti degli ostacoli nel reticolo precedentemente indagato dal programma WasP 9.1. Sono le 21 torri di un progetto immobiliare, attualmente in fase di valutazione preliminare, ad opera delle autorità competenti. (Tavole dalla 14 alla 22)

Quest'azione invasiva del progetto sull'area di studio, causa notevoli mutamenti dell'assetto eolico locale, e quindi della morfodinamica del campo

Nella Tabella 6.2 sono riassunti i bilanci, rispettivamente dell'intensità del vento e del tasso di trasporto, relativi all'assenza prima, e alla presenza poi, degli edifici. Una volta ancora la massiccia azione dell'uomo influenza il debole equilibrio di certi ecosistemi naturali, unici come in questo caso. Il progetto a causa del suo intervento diretto (opere civili e traffico veicolare) e indiretto (modifica del regime del vento) riduce irreversibilmente la dinamica di quelle dune che tuttora sono attive internamente al campo, rappresentando un rischio per la sopravvivenza dell'intero ecosistema della Baia di Concon.

DISCUSSIONE E COMMENTI FINALI

Spesso elaborati di questa fattura hanno l'utilità di determinare "come" e "dove" ci si aspetta che le dune vadano ad invadere il suolo urbano; e qual'è l'area potenzialmente interessata dall'espansione dunare, secondo determinati livelli di criticità. Inoltre permettono di orientare gli sforzi sui metodi di stabilizzazione delle dune, qualora queste presentino un potenziale di attività che si desidera attenuare, controllando gli spostamenti. In caso di pericolosa attività e intenso trasporto di sedimenti, si ricorre al fissaggio delle dune mediante innesti di piante (la cui specie è da determinare in funzione del risultato che si vuole ottenere). Sono opere di ingegneria forestale. (Revista de Geografia Norte Grande, 2008)

E' comunque sempre meglio considerare la presenza delle dune sul territorio (e del loro comportamento migratorio) come un ecosistema unico da proteggere, i cui processi naturali non vanno ostacolati, salvo quando rappresentano un rischio evidente per l'uomo e le sue opere.

Una volta stabilizzate le dune costiere, continuano a rappresentare un paesaggio singolare ricco di biodiversità, oltre che fungere da protezione attiva contro fenomeni di inondazioni che rappresentano un pericolo per le città, come gli tsunami. Sono questi i fattori che devono orientare verso una "gestione integrata delle zone costiere" consapevole, e stimolare la ricerca, scientifica e tecnica, sulle risorse del territorio.

Bisogna inoltre considerare che il Cile è situato a ridosso del margine continentale tettonicamente attivo, dove la placca di Nazca subduce al di sotto della placca Sudamericana. Tale situazione ha causato molte volte in questa zona terremoti e tsunami, che hanno coinvolto talvolta direttamente, altre volte indirettamente la morfogenesi degli spazi litoranei (Paskoff & Manríquez 1999, Soto e Arriagada, 2007).

La Baia di Concon annovera tra gli ultimi episodi il forte terremoto dell'anno passato (Cile, 2010), come ricorda la segnaletica stradale che si incontra passeggiando ai piedi del campo dunare. Durante i mesi trascorsi a Valparaíso incontrai l'esperto geologo e Professore Hernán Vergara, dell'illustre Dipartimento di Biologia Marina dell'Universidad de Valparaíso in Montemar, che mi parlò di un notevole sollevamento tellurico alle spalle della scogliera, riferendosi alla piattaforma su cui poggiano le dune. Mi raccontò anche di diversi cedimenti del suolo avvenuti nell'ultima decade, dovuti a scosse sismiche che interessarono il massiccio di dune e la sua morfologia. Proprio in corrispondenza del ponte di Av. Borgoño (Settore1) affiora una grande faglia tettonica.

Inizialmente è stata la necessità di quantificare l'attività di quei nuclei di riattivazione(cit.), che alcuni studiosi avevano osservato, a muovere l'interesse del Dipartimento di Ing. Oceanica dell'Universidad de Valparaso nel caratterizzare l'area.

Si è giunti alla conclusione di esser ormai di fronte alla fase definitiva della morfodinamica di un campo di dune, ormai in maggior parte stabilizzato dalla vegetazione e ridotto dall'intervento umano... Il campo dunare conserva solo una flebile dinamica puramente interna ad esso, ed incapace di trasmettersi al di fuori di quel perimetro che oggi viene minacciato dalla pressione antropica da est, come lo è stato in passato da sud e da nord.

Ricordiamo che nel campo dunare è presente il Santuario della Natura, un'area dalle molteplici qualità, ecologiche, sociali, archeologiche e geologiche (Tavola 1); ma priva di normative di protezione e di una gestione responsabile. Di cui si parlerà in appendice, in termini di conservabilità. (Tavola 36)

E' utile sottolineare che gli impatti che si producono in un ambiente (come ad esempio nel caso in cui il Progetto Immobiliare venga realmente costruito) vengono poi percepiti a livello locale quando le problematiche si traducono in conseguenze dirette per i suoi abitanti. Questo investe di maggior responsabilità i comuni in tema di sensata pianificazione e gestione del territorio, preventiva.

Concludendo: Le dune costiere di Concón nella V Región de Valparaíso si distribuiscono sopra una terrazza naturale, che in passato le aiutò nella loro espansione, così come in epoca più recente favorì la vegetazione a stabilizzarle, privandole di una spiaggia che potesse alimentarle. La classificazione di queste dune, in accordo con la percentuale di superficie occupata dalla vegetazione ci mostra una predominanza di dune debolmente e localmente attive. Successivamente a una fase di intensa attività, fu nella decade degli anni '80 che le dune iniziarono a stabilizzarsi, arrivando a perdere quasi il 49,9% di superficie utile, a favore della colonizzazione vegetale. Riferendosi sempre alla superficie totale del campo di Concon, nell'anno 1994 si registra una perdita di suolo di ben 39,9% per diretto intervento antropico. Fino a ridurre oggi (2010) l'area dunare libera alle esigue dimensioni di 372.190mq.

Milano, Novembre 2011

Lorenzo Baranzini

Capítulo 1

PRESENTACIÓN & OBJETIVOS

1.1. RESUMEN

En este trabajo se evalúa la dinámica del campo dunar del borde costero entre Punta de Concón y Punta Montemar en los años 1975-2010, usando para ello una caracterización morfológica y grado de estabilización, evaluado a partir de material cartográfico, fotografías aéreas y reconocimiento en terreno. Además a través de herramientas y aplicaciones de software para ingeniería eólica se evaluaron las tasas de expansión de 3 sectores de dunas libres, distribuidos en una superficie de 81,75 [ha], en función de la fuerza de arrastre caracterizada por el clima local. La morfología dunar más frecuente en el sector corresponde al tipo transversal y tipo barján, en tanto que en la proximidad a la cima del acantilado oeste, la vegetación corresponde a un matorral bajo y abierto. Finalmente, la localización y la determinación de los grados de estabilización y formas dunarias permiten reconocer la acción de factores naturales y antrópicos, que requieren ser abordados integralmente como base para una gestión integrada de esta zona costera. Se recomienda una zonificación adecuada dentro del marco legal aplicable para lograr la preservación de este campo dunar a causa de su alto valor geomorfológico, arqueológico y ecológico.

Palabras clave: grado de estabilización, dinámica dunaria, gestión territorial.

1.2. INTRODUCCIÓN

Las costas son los únicos entornos del planeta donde entran en contacto en el mismo tiempo el mar, la tierra y el aire, a través del viento. Estos con sus interacciones dan vida a un equilibrio tan fascinante como delicado, que constituye un espacio de alto valor paisajístico y de rica biodiversidad. Este

equilibrio ha sido afectado muchas veces por intervenciones humanas, en Chile como en otros lugares del planeta pues el ser humano tiende en su historia a asentarse en la costa para aprovechar sus recursos económicos y turísticos.

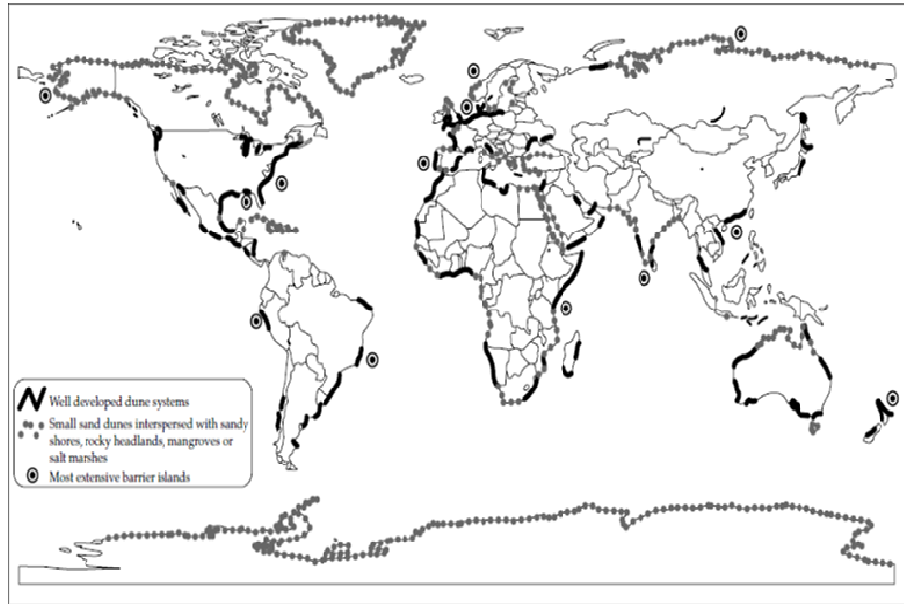


Figura 1.1: Principales ubicaciones de sistemas dunares en el mundo (Martinez et al. 2004).

Las dunas litorales son depósitos eólicos de arena cuya formación ocurre por efecto del aporte de sedimentos marinos y terrestres que se acumulan en la línea de playa por la acción del oleaje y el viento, y cuyo asentamiento depende de la topografía y la vegetación (Tavares 1996). Su origen está relacionado directamente con las modificaciones climáticas y del nivel del mar ocurridos durante el período cuaternario (Paskoff 1970, cited in Revista de Geografía Norte Grande, 2008). A escala global, las dunas litorales constituyen sistemas esenciales del equilibrio dinámico y sedimentario de las playas (Psuty 1988 cited in M. Anwar Maun 2009), puesto que actúan como una barrera natural de la acción marina hacia el continente (Ramírez 1992 cited in M. Anwar Maun 2009), como ocurre con las marejadas y tsunamis, protegiendo lagunas, estuarios, marismas y tierras interiores (Castro, 1985). Cortan el viento y detienen el agua salada, lo que impide la contaminación de la napa freática y permite que el bosque se aproxime a la orilla del mar (Paskoff,1992). De esta manera, las dunas constituyen unidades de paisaje con diversas funciones ecológicas donde pueden desarrollarse formaciones vegetales naturales con amplia pero fragmentada distribución. Los sistemas dunarios son el resultado de una constante interacción entre los procesos geomorfológicos y biológicos, que en condiciones extremas hace posible la manifestación de uno u otro proceso con mayor fuerza, resul-

tando en dunas activas (sin vegetación) o dunas estabilizadas (con vegetación) (Van Der Meulen & Jungerius, 1989). La importancia de la vegetación como un elemento modelador de la duna ha sido destacada por Goldsmith (1978), autor que clasifica las dunas como transgresivas e impedidas, de acuerdo a la ausencia o presencia de vegetación, respectivamente. Por otra parte, la clasificación de las dunas puede considerar un conjunto de variables, tales como su edad, origen, estructura, morfología, posición relativa a la playa, morfodinámica litoral o una combinación de estas (Davies, 1978; Nordstrom 1990).

De hecho, los medios costeros tal como hoy conocemos son el resultado de una compleja evolución e interacción de varios factores que han actuado y siguen actuando en forma simultánea y permanente, durante cientos o miles años: el clima, el balance sedimentario (arenas que llegan a la playa versus arenas que se van), los procesos costeros (olas y corrientes), el nivel relativo del mar y las actividades humanas.

Para la formación de dunas litorales tres son los requisitos esenciales: (i) un viento predominante a tierra que supera el umbral de velocidad crítica, (ii) un suministro continuo de arena, y (iii) un obstáculo para reducir la velocidad del viento, y captar la carga de arena transportada por la nube de saltación, normalmente la vegetación. Esas tres condiciones pueden variar dependiendo del clima local, y la formación de dunas de arena varía de acuerdo con aquella predominante. La forma de una duna depende también de las especies de plantas colonizadoras y a su vez, de la capacidad del cúmulo de arena para crecer verticalmente y horizontalmente en relación a la estructura vegetal que le contiene. Las dunas son depósitos de arena, arrastrados por el viento, que se han fijado por la vegetación.

No obstante, puesto que tradicionalmente el manejo de las dunas litorales ha estado orientada a la defensa de la costa contra la invasión marina (Carter, 1988), la vegetación resulta ser la variable más importante para su evaluación y clasificación (Tavares 1996, cited in Revista de Geografía Norte Grande, 2008). En Chile central, las dunas litorales se desarrollan en forma discreta a lo largo de la costa del océano pacífico, representando solo el 3% de esta franja (Castro y Aguirre, 2003). Su mayor desarrollo lo alcanzan entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos (IREN, 1966), cubriendo una superficie de 131.000 ha (Paskoff y Manríquez, 2004). Estos sistemas naturales han estado sometidos a una fuerte presión de uso (e.g. Agricultura, forestal y turismo), lo que sumado a su alto grado de fragilidad frente a la ocupación antrópica, ha afectado su dinámica natural (Tavares, 1996; Paskoff, 1998). Así por ejemplo, la interrupción del aporte de sedimentos terrestres, debido a la regulación de los ríos, la construcción de embalses, la expansión inmobiliaria, la extracción de áridos y la eliminación del material vegetal de las dunas, son algunas de las principales causas de la regresión de los sistemas dunarios (Paskoff, 1992). En Chile no se registran estudios que permitan evidenciar la dinámica de los estados de estabilización de estos sistemas, además los estudios de caracterización de los sistemas dunarios son escasos, destacándose entre ellos las investigaciones de Tavares (1996), Araya (1982), Araya-Vergara (1985) y Castro y Aguirre (2003).

1.3. PROBLEMÁTICA Y PROPÓSITOS

Actualmente, en la región de Valparaíso como en las principales zonas urbanas de Chile, existe una gran presión inmobiliaria para la ocupación de espacios de valor paisajístico y natural. La gran afluencia de turistas en la época de verano atrae inversiones, junto con serios problemas relacionados al ordenamiento territorial, especialmente en los espacios costeros. Los sistemas dunares se han convertido en reservorios para posibles extensiones urbanas o emplazamientos turísticos. Por esta razón el estudio y entendimiento de estos sistemas es de vital importancia para su conservación, ya que se emplazan en un ambiente único donde convergen el mar y el continente, en el cual se definen y desarrollan procesos naturales dinámicos, pero a la vez en conjunto con la actividad humana y su consecuente acción sobre este espacio.

En Chile, la política nacional de uso del borde costero considera la zona costera como un espacio que conforma una unidad geográfica, que constituye en sí misma un recurso limitado, al que confluyen múltiples usos, en algunos casos exclusivos y excluyentes, y en otros compatibles entre sí. En general, la normativa existente relacionada con la planificación territorial, según Andrade (1996), tiene grandes vacíos y sus instrumentos están más abocados al orden de los espacios urbanos y no a los espacios costeros que se encuentran más aislados de las urbes (Velo, 2005). En el caso de la Región de Valparaíso, las zonas costeras están incluidas dentro de un plan intercomunal que asigna usos a este territorio, siendo muy discutible la compatibilidad de los usos definidos con la dinámica natural de cada área.

Aunque los ecosistemas litorales presentan grandes posibilidades de desarrollo urbano, tienen limitaciones de uso que se deben tomar seriamente en cuenta si se quiere mantener su biodiversidad y en general proteger su valor ambiental-paisajístico para legarlo a las generaciones futuras.

En el caso del Sistema Dunar de Concón, su dinámica se potencia por factores antrópicos; así por ejemplo, el turismo y el interés inmobiliario han generado una fuerte presión sobre el uso de suelo, generando graves impactos sobre los ecosistemas costeros, particularmente el sector aledaño a las dunas. Además, por la necesidad de generar áreas de vivienda alrededor del sector en estudio y generar las vías de tránsito asociadas, en el pasado se actuó minimizando el efecto del avance de las dunas hacia el continente, sin una previa diferenciación y zonificación morfológica del sistema dunar, condición que ha generado cambios en la dinámica natural del ecosistema. Por esta razón es importante el estudio de los elementos naturales presentes en el área y el conocimiento detallado del comportamiento del sistema ante el uso urbano de su entorno, que puede llevar a la degradación del campo dunar o a una alteración total del sistema, con graves consecuencias en el equilibrio ecológico de la zona. Por esta razón el conocimiento de los sistemas naturales y, en este caso específico, los sistemas dunares y su dinámica, es de vital importancia en el establecimiento de asignaciones y usos de suelo por parte de las autoridades regionales y locales, del mismo modo para el resguardo de los recursos naturales y su preservación para

el futuro y el desarrollo del conocimiento científico.

Además, las dunas de Concón tienen aspectos muy particulares, pues no se alimentan (como normalmente pasa) con arena desde una playa, sino que están separadas del mar por un acantilado y una orilla rocosa. Por ello se le clasifica como una duna colgada, puesta como en un balcón dominando el mar. Y justo atrás están dominadas por la expansión de la ciudad (S. Elortegui Francioli, 2005).

¿Cuánto y cómo los humanos pueden modificar un ecosistema natural, sin agregar un riesgo para su desarrollo o para la conservación de su equilibrio?

A título de ejemplo en el pasado, por haber ignorado esta fragilidad y en un afán de productivismo, algunos países europeos como España, Francia e Italia han seguido deteriorando en forma irreversible largos tramos de sus costas, a veces desfigurándolos totalmente.

Queda manifiesto que es necesario contar con una política de conservación de las áreas dunares. Se deben proteger los paisajes únicos y la biocenosis originales de las dunas litorales; es en particular el caso de las Dunas de Concón. En este marco, el objetivo de este trabajo es analizar la dinámica de los sistemas dunarios del borde costero entre Punta Concón y Punta Montemar en su últimas décadas a partir del análisis climático y el grado de estabilización dunaria como base para la conservación y gestión territorial de estos espacios.

1.4. METODOLOGIA

La particularidad del estudio es representada por la metodología seguida que normalmente está ocupada por análisis/aplicaciones de la ingeniería eólica, y apta a describir el régimen de viento local, principal actor en el arrastre de la superficie dunar, para llegar a cabo de su evolución, e interacción con los obstáculos urbanos.

Se consideraron los datos registrados en la estación meteorológica costera de Montemar entre los años 1975 y 2002, fecha en que fue desinstalada; además por medio de un programa ocupado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (modelo WRF, ver próximos capítulos), se obtuvo un archivo digital de datos reconstruidos matemáticamente del año 2010 en el mismo sitio, que luego fueron interpretados y adaptados a la realidad de las observaciones antecedentes, para actualizar el dato útil al estudio. Finalmente se determinaron la velocidad y dirección del viento predominantes de los meses característicos, de cada estación del año, con precisión horaria.

Por otra parte, se efectuó un reconocimiento aerofotométrico digital del área entre los años 1980 y 2010, a través de fotointerpretación de 5 imágenes conseguidas de IGM y SAF (Santiago, 2011).

Ulteriormente se analizan las interacciones que afectan el régimen de vientos locales con la presencia de obstáculos antropológicos, y consecuentemente el transporte eólico afectado, del campo dunar mismo.

Capítulo 2

ÁREA DE ESTUDIO

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

En la costa de Chile Central, inmediatamente al norte de la conurbación Viña del Mar-Valparaíso ($33^{\circ}01' S$), entre Punta Concón y Punta Montemar, se encuentra un campo de dunas colgadas en una terraza litoral solevantada. Estas dunas presentan la originalidad de no estar siendo alimentadas en arena desde una playa, sino que están separadas del mar por un acantilado y un estrán rocosos. Son dunas relictas que han sido localmente reactivadas por procesos eólicos actuales (Castro y Andrade, 1990; Araya Vergara, 1997; Paskoff et al., 2002).



Figura 2.1: Vista aérea de Concón, 1997 (in S. Elórtegui Francioli, 2005)

El campo dunar de Concón que hospeda la presencia del Santuario de la Naturaleza se localiza en el litoral de Chile Central, en la comuna de Concón-Reñaca de la Región de Valparaíso. Su ubicación se encuentra en las coordenadas geográficas con latitud $32^{\circ}94'$ Lat. Sur y los $71^{\circ}55'$ Long. Oeste. Está incluido en el sistema costero de la Bahía de Concón, una ensenada de 13 km de largo y un ancho máximo de 4 km. En este sistema el area bajo de estudio está limitada por la Punta Concón por el norte y Punta Montemar por el sur. La superficie total del campo dunar es de 81,75 ha (IREN, 1966).

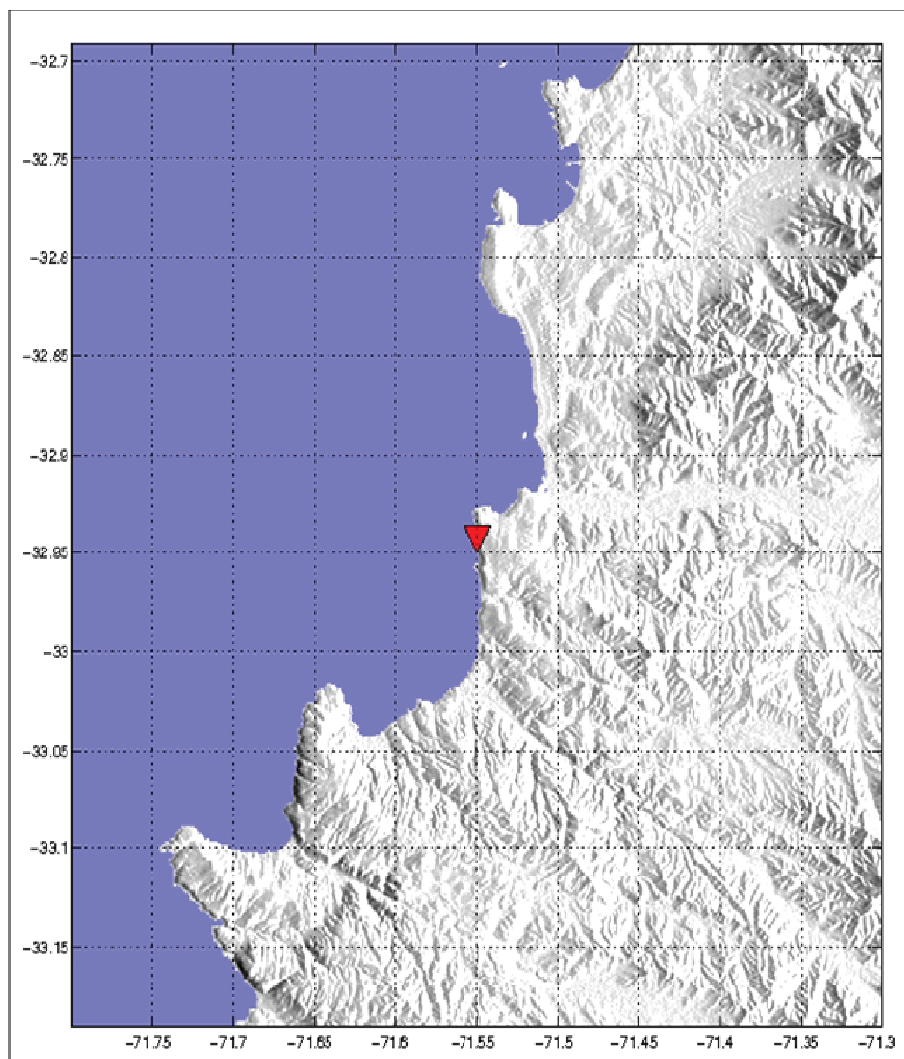


Figura 2.2: Ubicación dunas de Concón (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)

2.2. EL VALOR NATURAL Y SOCIAL DEL AREA

Dentro de los diferentes tipos de ambientes costeros que se encuentran en Chile, los campos de dunas merecen especial atención. Cuando están constituidos por arenas móviles tienen un valor paisajístico muy particular, por las líneas puras de su topografía desnuda. Cuando las dunas están fijadas por la vegetación, presentan un gran interés botánico y poseen además un interés arqueológico.

En particular sobre estos dos temas el Prof. Roland Paskoff de la Universidad Lumière (Lyon, Francia) definió la importancia de proteger las Dunas de Concón-Reñaca por sus calidades:

- Interés Ecológico: las dunas constituyen un hábitat en el cual imperan características extremas para la vida vegetal. El sustrato arenoso es inestable, generalmente seco en la superficie, salado, ventoso, pobre en nutrientes, y en verano, caliente en exceso. Por lo tanto, las plantas que se encuentran aquí tienen rasgos originales y muchas son endémicas.
- Interés Arqueológico: las dunas sirvieron como asentamiento de poblaciones indígenas precolombinas. Numerosos son los conchales con artefactos líticos y fragmentos de cerámica que se encuentran en ellas y que informan sobre la prehistoria del país.
- Interés Social: dentro del territorio dunario se pueden definir diferentes sectores de uso, desde las actividades genéricas de espacios abiertos como ir de excursión, jugar, correr, etc., hasta las exclusivas del paisaje dunar, como deslizarse y caminar por las arenas en pendiente. Además tiene un valor educacional y de investigación por parte de las ciencias medio ambientales

Llegando a Chile Roland Paskoff vió “con inquietud como la urbanización galopante... estaba amenazando la existencia de las Dunas de Concón, con el peligro de eliminar del patrimonio nacional un elemento no solo escénico sino también científico y social” (Paskoff 1970, cited in S. Elortegui Francioli, 2005).

MAP1-Recopilación Recurso Sociocultural, Campo Dunar de Concón

2.3. GEOMORFOLOGÍA

El relieve de esta región cuenta con las cuatro unidades típicas de la mayor parte del país: la franja Costera, la Cordillera de la Costa, el Valle Longitudinal y la Cordillera de Los Andes.

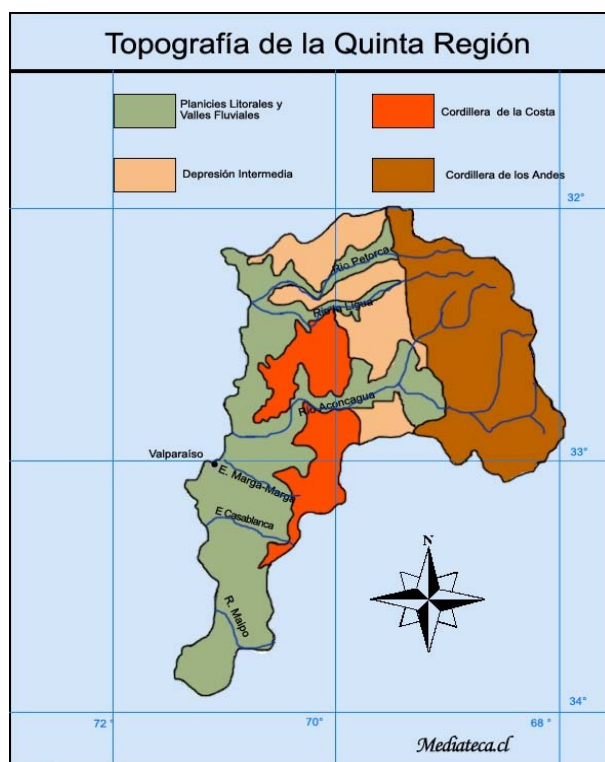


Figura 2.3: Quinta Región de Valparaíso (Mediateca.cl)

Estas cuatro grandes familias morfológicas, juntas, influyen el clima del área de nuestro interés. Esa se encuentra en Las planicies litorales que, de escaso desarrollo en la región, se caracterizan por la presencia alternada de importantes extensiones drenarias, sectores acantilados y playas. Y por eso las dunas de Concón resultan ser solo un caso, sino el más explotado, sobre otros santuario naturales costeros que parentecen a la región.

A continuación se ilustra una ejemplificación de la estructura morfológica de la V Región a partir del borde costero de Viña del Mar, hasta el macizo de los andes en el interior.

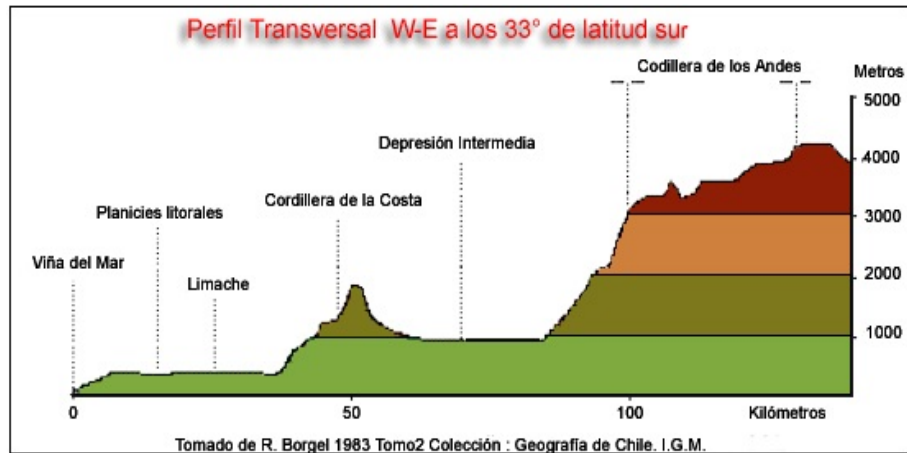


Figura 2.4: Perfil Transversal V Región de Chile (R. Borgel, 1983)

2.4. ORIGEN DE LAS DUNAS COLGADAS DE CONCÓN

“Las dunas colgadas de Concón se formaron cuando el nivel del mar estaba más bajo que el actual. Los vientos barrían playas arenosas que extendían en aquel entonces en este sector de la costa, llevando los granos y construyendo un campo de dunas libres que trepaban en acantilado y avanzaban sobre la terraza hacia el interior(Figura). Luego el nivel del mar subió, sumergiendo las playas y llegando hasta el pie del acantilado. De este modo se detuvo la alimentación en arena de las dunas que pasaron al estado dunas relictas y fijadas por una cubierta vegetal(Figua). Finalmente, el nivel del mar bajó ligeramente hasta su posición actual, haciendo aparecer una costa rocosa incapaz de abastecer nuevamente de arena las dunas(Figura).

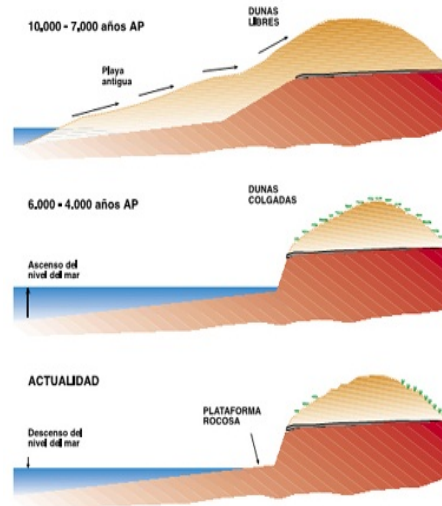


Figura 2.5: Origen de las dunas colgadas de Concón (in S. Elórtegui Francioli, 2005)

Las dunas colgadas de Concón son posteriores a la elaboración de la plataforma litoral sobre la cual ellas descansan. ...por otra parte, el débil estado de alteración de sus arenas, así como la existencia de suelos incipientes diferencian estas dunas de otras más antiguas que encuentran a lo largo de la costa de Chile central y que presentan un grado avanzado de rubefacción, así como espesos paleosuelos rojos. Ambas características se explican por los efectos de las épocas pluviales del Pleistoceno.” (Paskoff, 1970).

“Las dunas colgadas de Concón son entonces más jóvenes que la última época pluvial que afectó la costa de Chile central entre 28.000 y 12.000 B.P. (Heusser, 1989 cited in Paskoff, 1999), y por consiguiente tienen una edad holocénica. Se sabe que en la costa de Chile central el Holoceno temprano se caracterizó por una fase importante de actividad eólica evidenciada por la formación de dunas (Paskoff, 1970)... La acción morfogénica del viento se encontraba favorecida por las condiciones climáticas de tendencia árida, de tipo seco y cálido, que imperaban en esos tiempos (Villagrán y Varela, 1990; Nuéz et al., 1994 cited in Paskoff, 1999)... Hoy en día la reactivación parcial de las dunas colgadas de Concón en el sector que bordea el acantilado no parece de origen climático... se debe suponer más bien en una acción antropica, desde la época colonial, de desmontes para fines diversos (corta de leña, pastoreo) cuya consecuencia fue desencadenar procesos eólicos que han generado dunas vivas. La convergencia de los flujos de aire al subir el acantilado y el aumento correlativo de su velocidad, explican que la desestabilización se produjo preferencialmente en el borde marino de la terraza litoral sobre la cual se extienden las dunas colgadas de Concón. Hoy en día, una frecuentación motorizada incontrolada ha acelerado la reactivación de los procesos eólicos en ellas.” (Paskoff, 1999).

MAP2-Recopilación Morfológica, Campo Dunar de Concón**2.4.1. LOS TRES SECTORES DE LAS DUNAS**

En el presente trabajo, para simplificar los pasos de cálculo, se eligen arbitrariamente tres sectores de dunas a través de la pura interpretación de imágenes aéreas del campo dunar y, que se distinguen principalmente por tres calidades distintas: la cubierta vegetal, la orientación morfológica de los montículos dunares principales y la dispersión geométrica de sus crestas. En la siguiente figura se muestra un esquema simple:

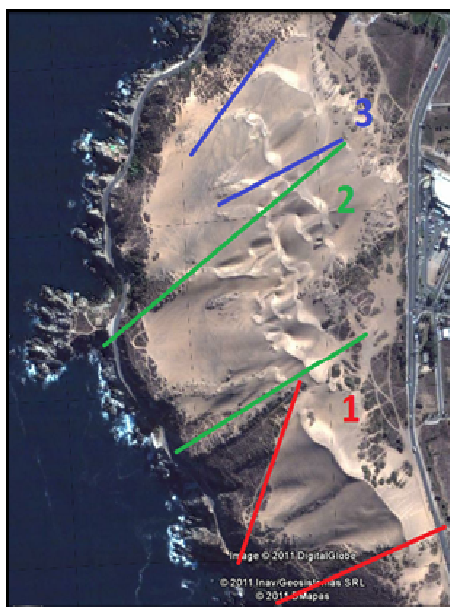


Figura 2.6: Esquema de los tres sectores dunares (elaboración propia, 2011)

En ella, numeradas de sur a norte los tres campos de dunas que definen el estudio siguiente.

MAP23-Morfología Dunar, año 2010

En particular, llama la atención la orientación de los ejes principales en cada sector, en la siguiente tabla, evaluados por un reconocimiento de puntos geográficos dentro de un layer georreferenciado en SIG:

SECTOR	ORIENTACIÓN NORTE
3	214.09
2	235.98
1	227.74

Cuadro 2.1: Orientación sectores dunares (elaboración propia, 2011)

Así como en una rosa de viento (y para convalidar la orientación de los sectores a las observaciones de vientos), la dirección es el ángulo que el sector forma con el Norte. En particular: 0 para el eje del sector que nace al Norte y muere en el Sur; 90 para el eje que nace al Oeste; 180 en el caso del eje del Sur; y 270 para el eje que nace al Este.

Se describen aquí los sectores sólo en respecto a la propia orientación, retrasando al capítulo de fotointerpretación la clasificación morfológica dunar y la caracterización de la cubierta vegetal.

2.4.2. LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ARENAS

“Las arenas de las dunas estabilizadas y de las dunas activas (de nuestro interés) presentan características similares. Llama la atención en ellas la ausencia total de elementos bioclásticos de origen marino. Su contenido en carbonato de calcio es nulo. Los granos son de tamaño fino (mediana del orden de 0,12mm) y su clasificación es muy buena (S0 próximo a 1,1), lo que viene a confirmar el origen eólico de esas arenas.

Clasificación de las arenas de acuerdo al tamaño de los granos	Categorías granulométrica [mm]
Arena muy gruesa	2.00 - 1.00
Arena gruesa	1.00 - 0.50
Arena media	0.50 - 0.25
Arena fina	0.25 - 0.125
Arena muy fina	0.125 - 0.06

Cuadro 2.2: Categorías granulométrica (in S. Elórtégui Francioli, 2005)

La gran mayoría de los granos de cuarzo presenta bordes angulosos a subangulosos indicando así un desgaste débil, que implica un corto transporte tanto por las aguas continentales, el mar o el viento. Desde un punto de vista petrográfico, las arenas son principalmente feldespáticas. Proviene de los granitoides paleozoicos que afloran en este sector de la cordillera de la Costa de Chile central. Primero, transportadas hasta el océano por los esteros de Viña del Mar y de Reñaca, y luego acarreadas hacia el norte por una deriva litoral dominante orientada en esa dirección, las arenas terminaron por ser movilizadas por el viento y acumuladas en forma de dunas en el alto de Concón.” (Paskoff, 1999).

2.5. CLIMA LOCAL

Existe poca información específica acerca del clima del área de estudio, debido a la falta de datos, además de la inexistencia de actuales estaciones meteorológicas cercanas al campo dunar. Sin embargo se puede tener una visión general a partir de lo descrito por Paskoff (1970) y Eduardo Reyes F. & Hugo Romero A. (1977). En dichas publicaciones anteriores se informó de las observaciones meteorológica iniciadas en Punta Montemar ($32^{\circ}57'S$, $71^{\circ}33'W$) al NE de la bahía de Valparaíso, con el propósito de conocer los elementos climáticos que pueden relacionarse con fenómenos físicos y biológicos de esta área. Varios autores han considerado, con distinto énfasis, los parámetros meteorológicos en la caracterización ecológica de la bahía. Aplicando la clasificación de Koeppen a la climatografía de Chile, se establece que la región central del país corresponde al clima templado cálido con lluvias invernales, subdividido según el alcance de las precipitaciones. Así, Valparaíso tiene estación seca prolongada, con temperaturas del mes más frío inferiores a 18° y superiores a 3° C. Este clima cubre un área geográfica considerable, entre latitudes $32^{\circ}15'S$ y $35^{\circ}30'S$, desde la costa hasta 1500 metros de altitud hacia el interior del territorio, incluyendo puntos tan alejados de la influencia marítima como Santiago, San Fernando y Talca.

Desde el punto de vista sinóptico, la bahía está influenciada por el Anticiclón Subtropical semipermanente del Pacífico Sur, que se localiza entre los 20° y 40° latitud sur y caracteriza por la subsidencia de gran escala y la generación de gran estabilidad atmosférica. Especialmente durante el invierno, el paso de sistemas frontales es otra influencia de gran escala que controla la variabilidad meteorológica interdiaria en Chile Central. La presencia de bajas costeras son, por otro lado, sistemas meteorológicos que actúan dentro de la meso como microescala y que, por su recurrencia durante todo el año, afectan sectores espacialmente reducidos de la región.

En cuanto a los vientos, su dirección es principalmente SW, sin embargo esta dirección parece modificarse de acuerdo a la época del año. La dirección predominante se presenta en la época de verano, mientras en invierno la dirección es SE – E; todo el año presenta una intensidad promedio diaria de 2,2m/s, tomada a 5 metros de altura.

Se muestra a continuación la variabilidad diaria para los vientos anuales considerados, salvo la humedad relativa del aire que presentó una homogeneidad extraordinaria; y la distribución de frecuencia de la Velocidad de viento a 5 metros de altura, arriba de las dunas.

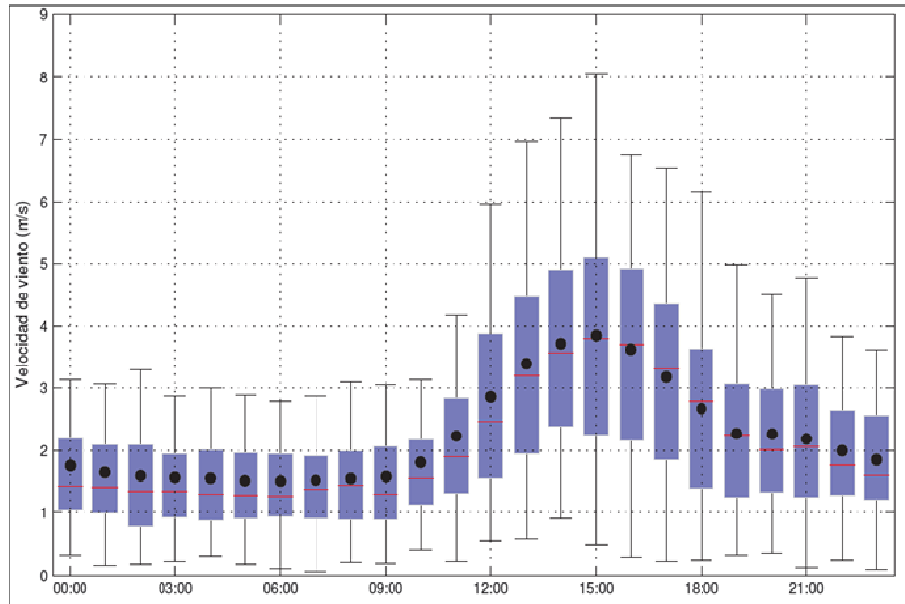


Figura 2.7: Ciclo diario de Velocidad a 5 metros (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)

La figura representa el Ciclo diario de Velocidad de viento a 5 metros. Los puntos negros indican el promedio de viento en cada hora del día. Las líneas rojas indican el valor mediano de las distribuciones horarias. Las barras azules representan el rango intercuartil. Las barras negras indican el rango de los valores horarios excluyendo valores extremos.

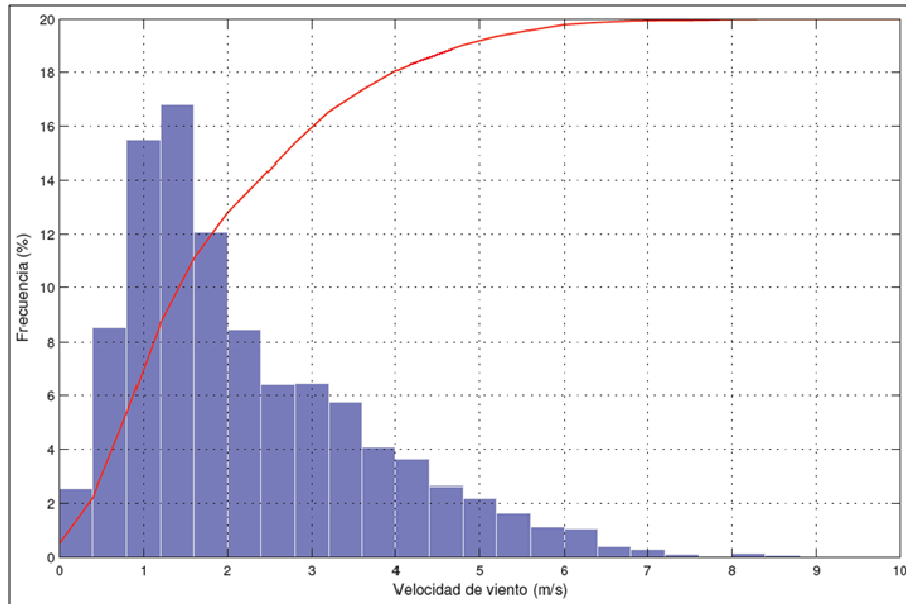


Figura 2.8: Distribución de Frecuencia (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)

En esta figura las barras azules representan el porcentaje de valores dentro de cada intervalo. La línea negra es la distribución de frecuencia acumulada.

La presencia de este régimen de viento, en el sector de interés, es característica durante los días de buen tiempo; lo que permite descuidar el aporte de la humedad en la caracterización de las condiciones imperantes necesarias a la aplicación de la teoría del transporte eólico, como se explicará a continuación.

En el mar se presenta un centro de alta presión que se contrapone a la de baja presión situada en la tierra; esta diferencia da origen a los vientos denominados “brisas de mar a tierra”. En primavera y en verano los vientos son de origen suroeste, acrecentados al mismo tiempo por efecto de la proximidad del Anticiclón del Pacífico al continente, que así genera un mayor gradiente de presión. Por la noche en el verano los vientos bufan contrariamente, o sea del tipo “brisas de tierra a mar”, gobernados esta vez por la diferencias de temperaturas entre superficie y aire.

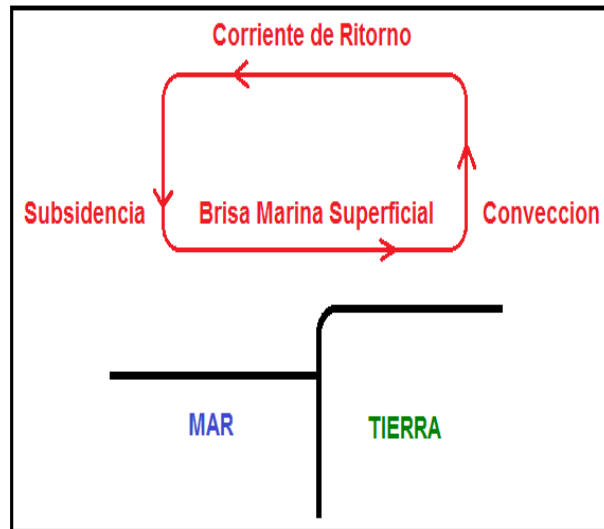


Figura 2.9: Esquema brisa oceánica (elaboración propia, 2011)

Es importante mencionar que el viento juega un papel preponderante dentro del área de estudio, ya que no solamente transporta los materiales arenosos hacia el interior, sino también modifica su dirección sobre el campo dunar debido a la morfología presente.

A pesar del conocimiento sobre estas condiciones generales de circulación atmosférica, poco se sabe sobre las tendencias de escala local que afectan la circulación local especialmente en áreas costeras, donde la topografía y la exposición de la costa son factores que influyen en el desplazamiento de las parcelas de aire en superficie y en las formas creadas por el transporte eólico (dunas).

Los umbrales de velocidad del viento que inducen el movimiento de arenas se encuentran en el rango de los 5 m/s. Los movimientos de arena son considerados proporcionales al cubo de la velocidad del viento, mientras que la gran mayoría de los granos son de tamaño fino (mediana del orden de 0,12mm) y su clasificación es muy buena (S0 próximo a 1,1), lo que viene a confirmar el origen eólico de las arenas. Los vientos entre 4-7 m/s son capaces de transportar tamaños de grano de 0,25 mm y vientos entre 11 a 13 m/s movilizan partículas de 1,5 mm (Ottman, 1967 cited in Paskoff 1999).

2.6. LOS VIENTOS: LAS CUATTROS ESTACIONES DE MONTEMAR

Este estudio analizó las características de cuatro meses, uno por cada estación del año 2010: enero, abril, julio y octubre. Eligiendo este año para ser representativo del clima actual; además este fue posteriormente adaptado a las condiciones climáticas observadas por la estación meteorológica de Punta Montemar, en su

últimos 27 años de instalación, la cual permite describir mejor los parámetros climáticos regional, que afectaron al campo de dunas. De hecho treinta años es el período de observación recomendado para una evaluación de largo plazo, normalmente ocupado en los estudios eólicos y sobre el clima. Durante estos años es posible observar la aparición de cambios cíclicos del clima a escala anual, e incluso fenómenos decenales. Las condiciones imperantes de viento que se describen a continuación fueron desarrolladas por softwares específicos, a menudo utilizados en la investigación meteorológica de la ingeniería del viento, consiguiendo una buena resolución de calculo debida a un archivo detallado de observaciones por hora en dirección y intensidad de los vientos, en cada día de estos meses. Esta información, para mantener la coherencia del análisis, se refieren a la ubicación donde una vez estuvo la estación meteorológica de Punta Montemar ($32^{\circ} 96'$ Lat. Sur y los $71^{\circ} 55'$ Long. Oeste), a 25 metros de altura. Luego se va a ocupar un programa (WASP9.1) -para describir con precisión la intensidad del viento sobre la zona de estudio- que actuó una transferencia espacial (vertical y horizontal) de datos, en función de la rugosidad del suelo y su topografía.



Figura 2.10: Punta Montemar y Punta Concón (elaboración propia, 2011)

2.6.1. LOS DATOS EN BRUTO

Aquí se presentan los datos en bruto, como se encuentran en el archivo de datos. La reconstrucción de datos meteorológicos, antes de ser procesados. La siguiente tabla muestra un ejemplo de los registros de viento del año 2010, distintos por mes, día y hora de mediación, de acuerdo a las diferentes alturas sobre el suelo, y con referencia a la estación histórica de Punta Montemar.

Estación Montemar				Altura 5.3 mslm		Altura 15.8 mslm		Altura 26.2 mslm		Altura 36.4 mslm	
YEAR	MONTH	DAY	HRS	dir,m/s	vel,m/s	dir,m/s	vel,m/s	dir,m/s	vel,m/s	dir,m/s	vel,m/s
2010	1	1	0	218.323	5.271	218.323	5.271	218.323	5.271	218.323	5.271
2010	1	1	1	165.843	2.788	170.983	4.291	176.483	5.087	181.333	5.501
2010	1	1	2	78.963	0.386	100.123	0.769	107.453	0.931	112.533	1.104
...
2010	1	1	23	207.023	2.494	207.223	3.509	204.063	4.07	197.513	4.256
2010	1	2	0	200.085	2.418	195.435	3.688	192.935	4.508	190.625	4.997
2010	1	2	1	178.865	1.737	182.785	2.997	181.955	3.736	180.565	4.101
...
2010	1	31	23	222.045	2.378	222.325	3.168	222.085	3.771	220.255	4.1
2010	4	1	0	199.873	6.251	199.873	6.251	199.873	6.251	199.873	6.251
2010	4	1	1	157.213	2.592	159.063	4.116	160.723	5.043	162.573	5.72
...
2010	7	4	10	77.892	1.905	69.752	3.233	57.462	3.289	50.332	3.343
2010	7	4	11	82.342	1.91	68.452	3.003	59.202	3.007	52.252	3.014
2010	7	4	12	74.742	2.252	72.232	3.794	60.542	4.195	53.072	4.307
...
2010	10	17	17	231.013	4.767	230.793	6.058	230.663	6.482	230.593	6.683
2010	10	17	18	230.163	5.25	229.983	6.754	229.863	7.243	229.853	7.508
2010	10	17	19	230.953	5.468	230.843	7.119	230.733	7.831	230.613	8.135
...

Cuadro 2.3: Tabla datos brutos (elaboración propia, 2011)

2.6.2. EL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Para introducir a la caracterización del clima anual en las dunas se presentan a continuación los resultados a través de estadísticos básicos. El promedio diario es el promedio de todos los valores horarios simulados durante el año 2010. De manera similar los promedios del mínimo diario y del máximo diario, en todo el año. La variabilidad es la desviación estándar del valor medio diario.

Mes	Medio Diario	Mínimo Diario	Máximo Diario	Variabilidad
	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Enero	3.1±0.5	0.6±0.1	7.0±1.3	1.0±0.3
Abril	2.6±0.5	0.6±0.1	5.6±1.0	0.9±0.3
Julio	3.8±0.7	1.2±0.2	7.1±1.3	1.8±0.6
Octubre	3.2±0.6	0.8±0.1	6.4±1.2	1.2±0.4

Cuadro 2.4: Estadística básica (Creado por DGF Universidad de Chile, 2011)

Como se puede ver en la tabla el mes de Julio tiene la intensidad de viento más alta, en medio del invierno, aunque bien presenta una alta variabilidad

también. Por otra parte el mes más estable (con menor variabilidad) resulta ser Enero, además caracterizado por altos promedios diarios. Cabe señalar que los vientos que distinguen a estas dos estaciones, verano e invierno, son de distinta génesis, ya que son influenciados principalmente por la diferencia de temperatura entre el continente y el océano, que en el borde Costero actúa de manera diferente según los periodos del año. Como se muestra a continuación.

Dirección de Viento: En una rosa de vientos se presenta la información respecto a la distribución de frecuencia de la dirección de la velocidad del viento. La dirección de viento es un ángulo que indica el sector desde donde proviene el viento. En particular: 0 para el viento que viene del Norte; 90 si tiene viento del Oeste; 180 en el caso de que el viento sea del Sur; y 270 si tiene viento del Este. En la figura de Rosa de la Velocidad de viento a 25 metros ante presentada, las barras azules indican el porcentaje de los valores horarios según la dirección del viento. Las barras rojas indican el rango inter-cuartil de velocidad de viento de para cada intervalo de dirección.

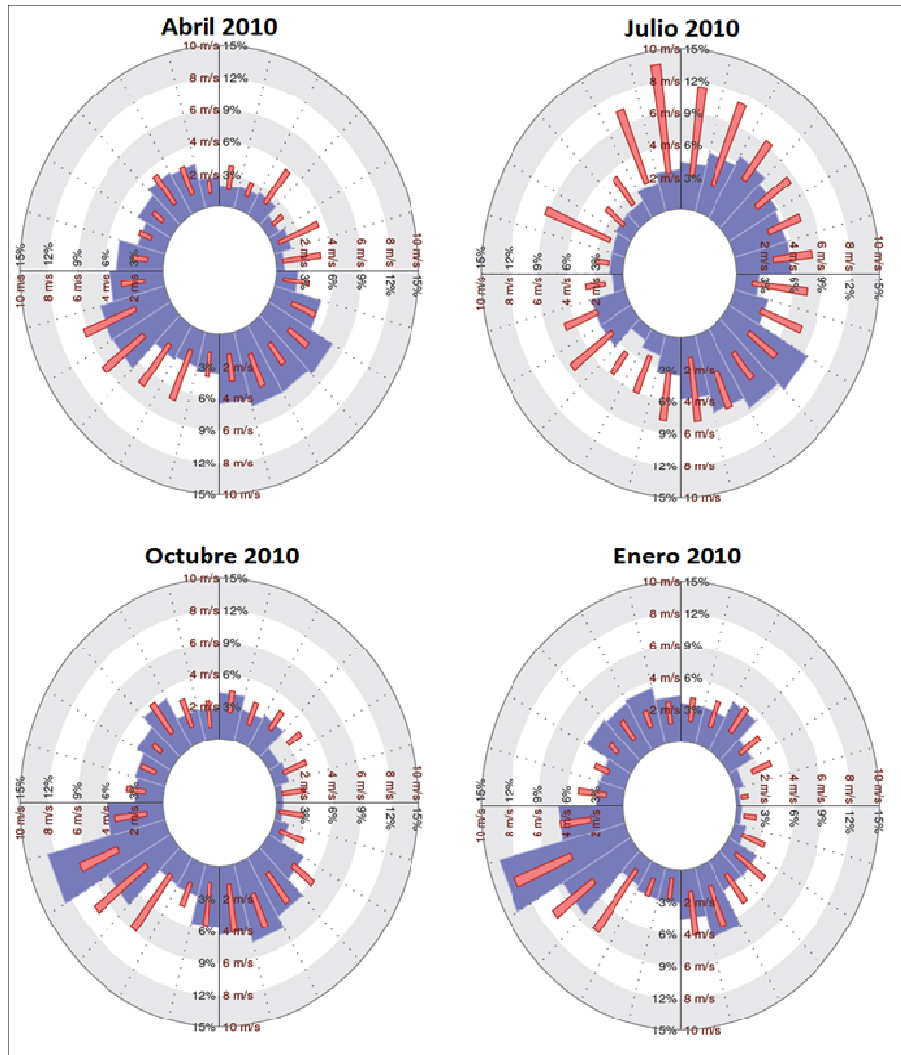


Figura 2.11: Rosas de Viento (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)

Como se puede ver en los meses de abril y julio, un buen porcentaje de los vientos son del tipo "Brisas de tierra en el mar", y los vientos son en su mayoría de baja intensidad. Julio está representado sobre todo por la presencia de pocos vientos, pero de alta intensidad, de origen Norte. Octubre y en particular Enero son los meses caracterizados por altas temperaturas, es en esta temporada que los vientos primaverales son del tipo "a brisas de mar tierra", bastante intensos y de origen S-SW.

Variabilidad Diaria: En el siguiente grafico la variabilidad inter-diaria de la Velocidad de viento a 25 metros es presentada a través de series de tiempo para

el periodo considerado. Se presentan series de los valores medios diarios junto con los datos horarios.

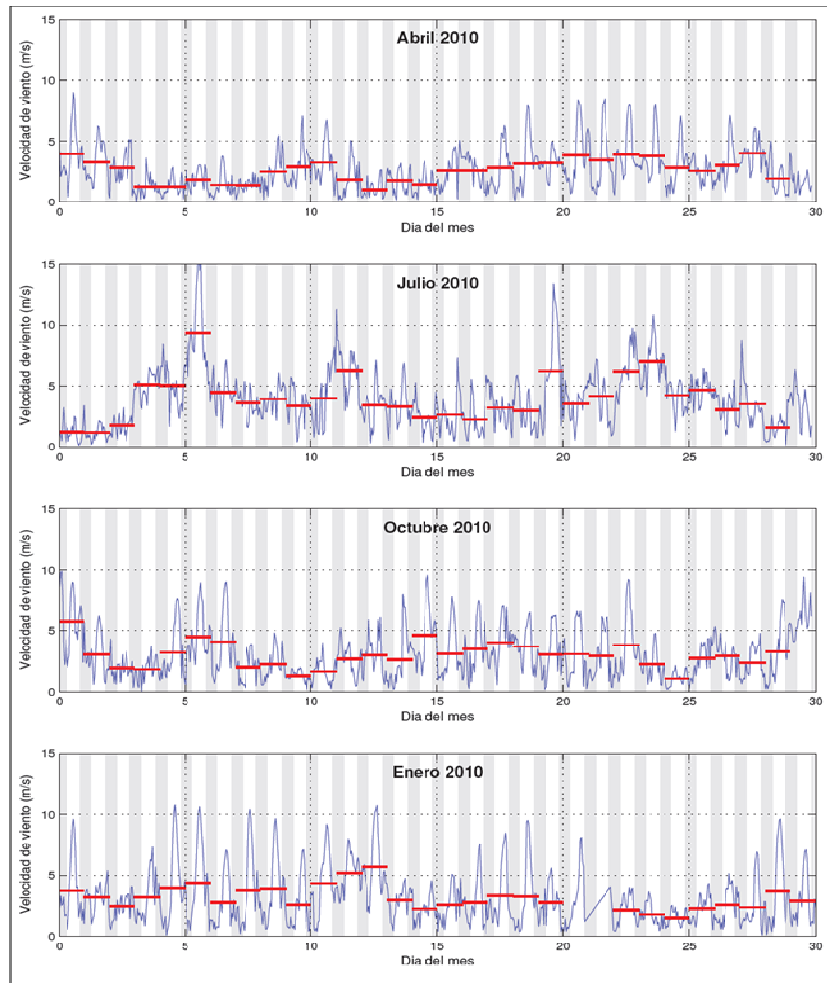


Figura 2.12: Variabilidad diaria (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)

La línea azul indica la serie de valores horarios. Las líneas rojas son los promedios diarios. Con esta representación horaria se puede una vez más decir que el mes de julio, en particular, está representado por altos picos de intensidad del viento (en comparación con el promedio propio del mes), pero con eventos raros e inconstantes en el tiempo.

Ciclo Diario: Mediante la aplicación de la misma estadística básica utilizada anteriormente en forma mensual, se obtienen los diagramas de caja con los resultados estadísticos para el ciclo diario. Donde podemos ver como la intensidad de los vientos vernaes (Enero) alcanza un valor más alto, manteniendo un ciclo

diario meno caótico -en término promedio y de variabilidad- de los meses invernal (Julio).

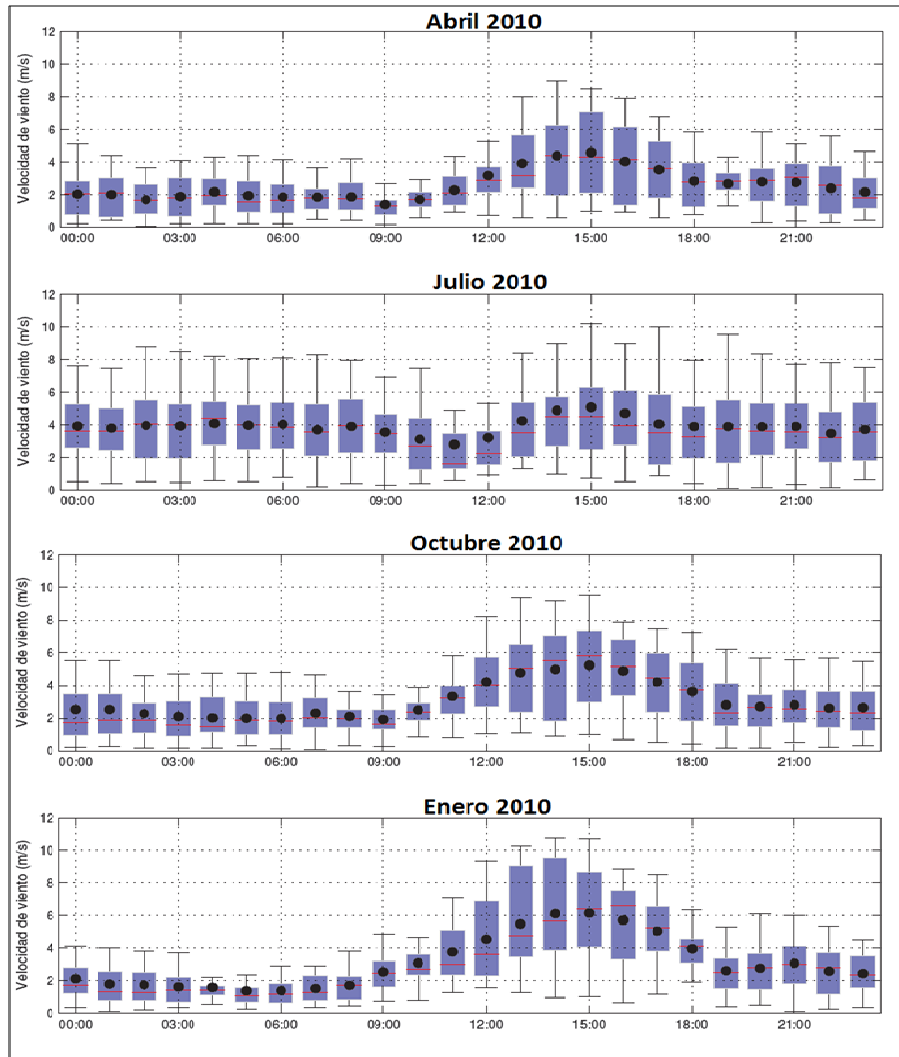


Figura 2.13: Ciclo diario de Velocidad a 25metros, por meses (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)

Los puntos negros indican el promedio de viento en cada hora del día; las líneas rojas indican el valor mediano de las distribuciones horarias; las barras azules representan el rango intercuartil; y las barras negras indican el rango de los valores horarios excluyendo valores extremos.

Distribucion de Frecuencia: La distribución de frecuencia permite identificar

la forma en que se repiten ciertos valores. Se incluye la distribución de frecuencia y la distribución de frecuencia acumulada.

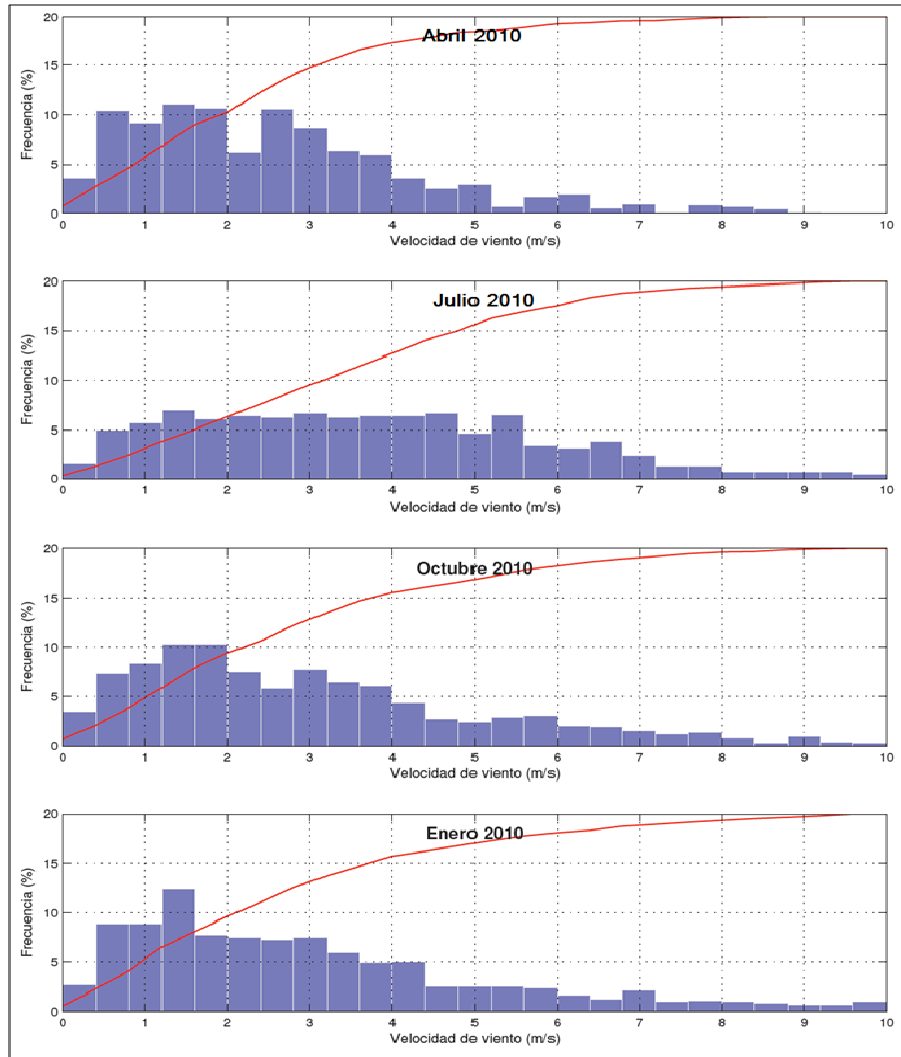


Figura 2.14: Distribución de Frecuencia a 25metros (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)

Las barras azules representan el porcentaje de valores dentro de cada intervalo y la línea roja es la distribución de frecuencia acumulada.

Análisis de frecuencias: sobre la intensidad del viento, registradas cada hora del día; se prefirió presentar las frecuencias en forma espectral para identificar la forma en que se repiten ciertos altos valores. No hay duda en que para estudiar

el transporte de partículas de arena, se tiene que identificar a los altos valores de intensidad capaces de producir el movimiento, y que por lo general superan los umbrales estándar de 4-5 m/s al suelo. De hecho los espectros son capaces de informarnos sobre la ciclicidad con la cual ciertos fenómenos extremos se producen, lo que nos permite identificar los períodos en los que más se concentrada la energía liberada por los vientos intensos.

A partir de los datos de velocidad del viento en el tiempo $V(t)$, podemos obtener, a través de análisis estadística apropiada, las propiedades del viento.

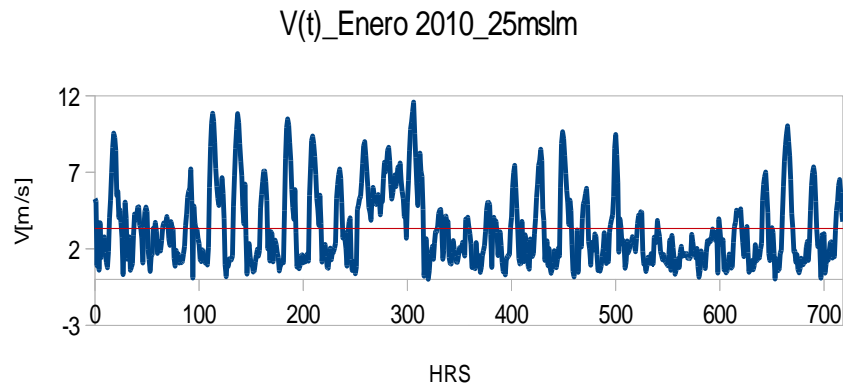


Figura 2.15: Mediaciones de $V(m/s)$ (elaboración propia, 2011)

En la figura, en color azul, la tendencia de $V(m/s)$ durante el mes de enero de 2010, con un intervalo de tiempo de muestreo horario(HRS); la línea roja no es más que la media mensual de V .

Sean V la magnitud del vector de la velocidad del viento y S_{vv} el espectro en potencia de V ; la figura a continuación muestra un ejemplo de representación del espectro de potencia de S_{vv} en velocidad del viento a largo plazo.

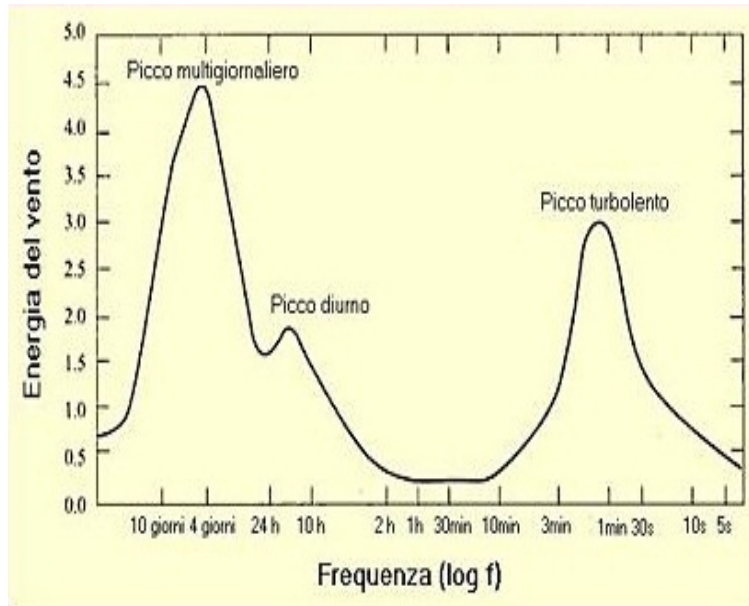


Figura 2.16: Ejemplo de espectro en potencia de V (Eolo, 2008)

En la teoría de los vientos, este espectro suele mostrar picos muy claros, en este caso tres, que deben interpretarse de la siguiente manera: el primer pico se encuentra por un período aproximado de 4 días, identificando el ciclo a largo plazo de los episodios climáticos; el segundo pico representa la frecuencia de los patrones diarios del viento; y el tercer pico se encuentra en períodos mucho más bajos (desde unos segundos hasta varios minutos) tratándose de la turbulencia atmosférica. Normalmente, los espectros que se utilizan en estos estudios alcanzan picos ulteriores que suelen describir la ciclicidad también mensual y anual del régimen de viento.

Como creó el espectro en Matlab:

- A partir de la serie de datos similares de Velocidad(m/s) en el tiempo(h)
- se generó el vector de datos de V(m/s), por cada mes considerado;
- Matlab calculó los parámetros estadísticos descriptivos del vector,
- que luego viene "limpiado" del termino medio: es decir que al vector se sustrae la media, ya que este es el promedio de la componente continua (osea con frecuencia cero), y resulta tan fuerte que cubre el señal de los otros componentes; entonces, sacar el termino medio es como aplicar al vector un filtro pasa-altos, lo cual reduce las frecuencias bajas y, al mismo tiempo, amplifica aquellas altas (ver Teorema de muestreo).
- finalmente, se aplica la FFT al nuevo vector, calculando de esta manera el Sv.

A continuación se muestra el código que permitió el proceso descrito anteriormente

```
L=718;
NFFT = 2^nextpow2(L);
m=mean(y); y=y-m;

%Trasformata di Fourier Discreta
Y = fft(y,NFFT)/L;
f = 1/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);

%grafico in scala lineare
plot(f,2*abs(Y(1:NFFT/2+1)));

%grafico in scala log
figure,semilogx(f,2*abs(Y(1:NFFT/2+1)));
% salvataggio dati

Y1=2*abs(Y(1:NFFT/2+1));
fid=fopen('D:\Lorenzo\temp\spettro1.txt','wb');

fwrite(fid,2*abs(Y(1:NFFT/2+1)),'char')
A=[Y1,f',f2'];

xlswrite('D:\Lorenzo\temp\Data1.xls',A,'Data','E1');
```

Del cual se obtuvieron los espectros a continuación por cada estación:

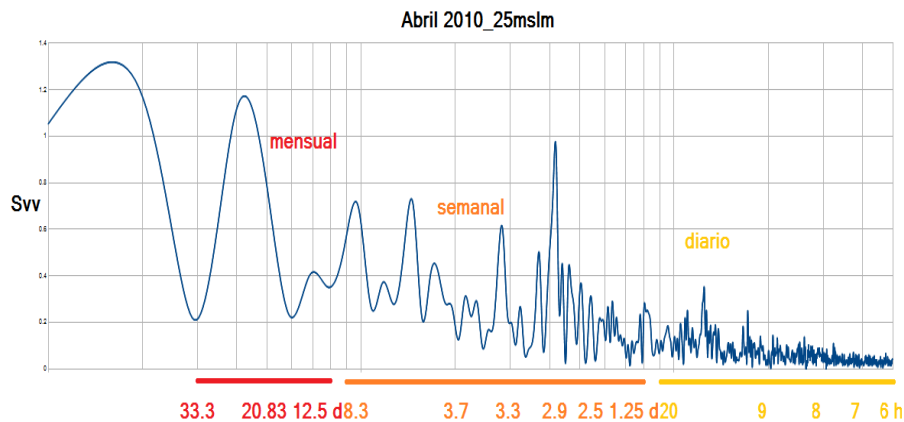


Figura 2.17: Espectro en potencia de V, Abril 2010 (elaboración propia, 2011)

2010_25mslm	intensidad más frecuente [m/s]	ocurrencia diaria [hrs]	ocurrencia semanal [días]	ocurrencia mensual [días]
abril	3,1	9,5	2,8	28,5
julio	4,5	9,5	3,5	25
octubre	3,8	9,7	4,10	19
enero	3,6	9,7	2,8 & 4	20

Cuadro 2.5: Síntesis de observación espectral, Abril, 2010 (elaboración propia, 2011)

Como muestra la figura, el área bajo el espectro es la energía del viento liberada durante el mes de Abril 2010, y los picos más significativos representan a las ráfagas de viento extremo/fuerte; además el espectro nos informa que se excede la intensidad del viento de 3,1 m/s, -más frecuente durante este mes (ver párrafo anterior)- cada 9,5 horas durante el día, y que esta actitud tiene dos ciclos, uno semanal y uno mensual, respectivamente de cada 2,8 y 28,5 días.

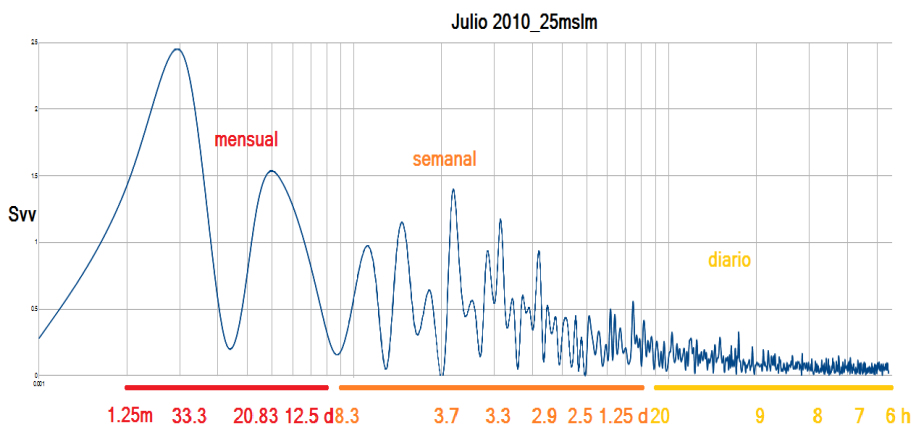


Figura 2.18: Espectro en potencia de V, Julio 2010 (elaboración propia, 2011)

2010_25mslm	intensidad más frecuente [m/s]	ocurrencia diaria [hrs]	ocurrencia semanal [días]	ocurrencia mensual [días]
abril	3,1	9,5	2,8	28,5
julio	4,5	9,5	3,5	25
octubre	3,8	9,7	4,10	19
enero	3,6	9,7	2,8 & 4	20

Cuadro 2.6: Síntesis de observación espectral, Julio 2010 (elaboración propia, 2011)

El área bajo el espectro es la energía del viento liberada durante el mes de Julio 2010, y los picos más significativos representan las ráfagas de viento extremo/-fuerte; además el espectro nos informa que se excede la intensidad del viento de 4,5 m/s, -más frecuente durante este mes (ver párrafo anterior)- cada 9,5 horas durante el día, y que esta fenómeno tiene dos ciclos, uno semanal y uno mensual, respectivamente de cada 3,5 y 25 días.

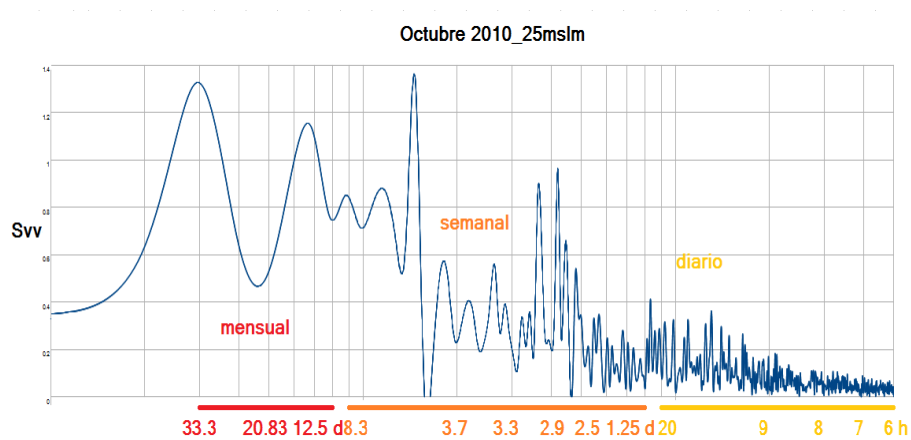


Figura 2.19: Espectro en potencia de V, Octubre 2010 (elaboración propia, 2011)

2010_25mslm	intensidad más frecuente [m/s]	ocurrencia diaria [hrs]	ocurrencia semanal [días]	ocurrencia mensual [días]
abril	3,1	9,5	2,8	28.5
julio	4,5	9,5	3,5	25
octubre	3,8	9,7	4,10	19
enero	3,6	9,7	2,8 & 4	20

Cuadro 2.7: Síntesis de observación espectral, Octubre 2010 (elaboración propia, 2011)

El área bajo el espectro es la energía del viento liberada durante el mes de Octubre 2010, y los picos más significativos representan a las ráfagas de viento extremo/fuerte; además el espectro nos informa que se excede la intensidad del viento de 3,8 m/s, -más frecuente durante este mes (ver párrafo anterior)- cada 9,7 horas durante el día, y que esta actitud tiene dos ciclos, uno semanal y uno mensual, respectivamente de cada 4,1 y 19 días.

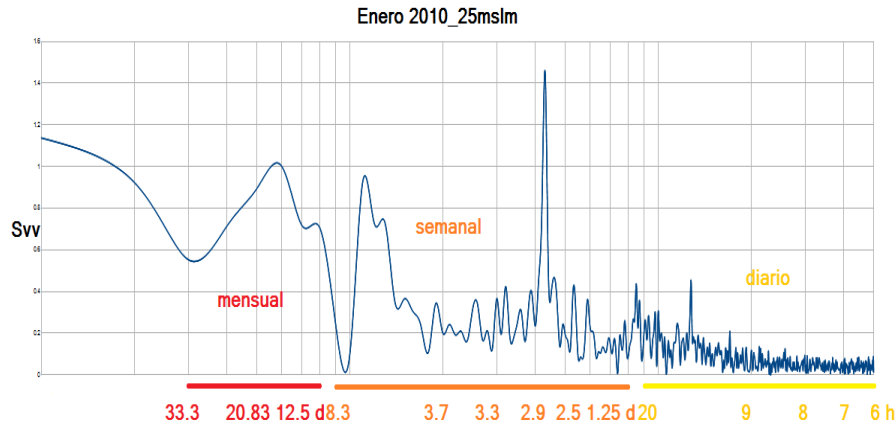


Figura 2.20: Espectro en potencia de V, Enero 2010 (elaboración propia, 2011)

2010_25mslm	intensidad más frecuente [m/s]	ocurrencia diaria [hrs]	ocurrencia semanal [días]	ocurrencia mensual [días]
abril	3,1	9,5	2,8	28,5
julio	4,5	9,5	3,5	25
octubre	3,8	9,7	4,10	19
enero	3,6	9,7	2,8 & 4	20

Cuadro 2.8: Síntesis de observación espectral, Enero 2010 (elaboración propia, 2011)

El área bajo el espectro es la energía del viento liberada durante el mes de Enero 2010, y los picos más significativos representan a las ráfagas de viento extremo/fuerte; además el espectro nos informa que se excede la intensidad del viento de 3,6 m/s, -más frecuente durante este mes (ver párrafo anterior)- cada 9,7 horas durante el día, y que esta actitud tiene ciclos, dos semanal cada 2,8 y 4 días y uno mensual cada 25 días.

Contrariamente al análisis teórico expuesto anteriormente, en la práctica de este estudio se analizaron datos horarios, por los cuales se observó una pérdida de información significativa abajo de las 6 horas (de hecho aquí no se puede hablar de minutos y segundos, el campo donde normalmente hay evidencia de la turbulencia del viento, sin embargo algo que no describe el clima local); además siendo el dato mas elevado de un mes, obviamente tampoco se consideró significativo el último pico, cercano al límite superior del espectro .

Perfil vertical del viento: En la baja atmósfera (troposfera inferior), las masas de aire en movimiento están influenciadas por el suelo subyacente. Las partículas

de aire que fluyen sobre la superficie terrestre están ralentizadas por ella, de magnitud mayor cuanto más se acercan a la tierra, hasta llegar a la condición de velocidad cero para aquellas que están en contacto directo con el suelo. Por lo tanto la velocidad del viento disminuye gradualmente con el acercarse al suelo, debido a la fricción del aire con la superficie arrugada de la tierra.

Se proporciona la información en altura a través de un perfil vertical para el promedio diario, las jornadas diurnas y nocturnas.

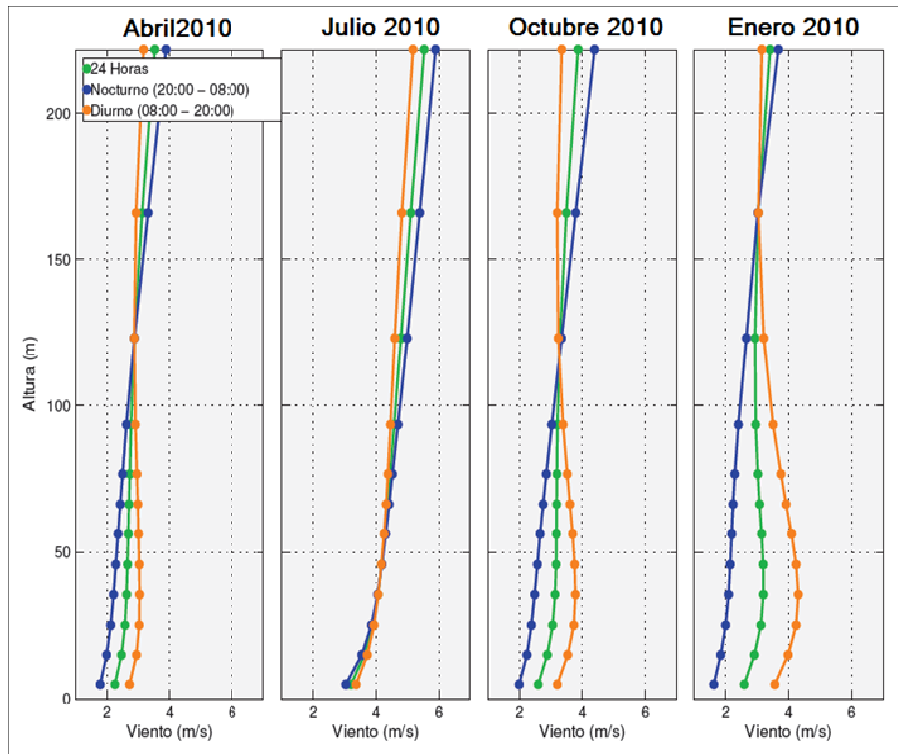


Figura 2.21: Perfil Vertical simple en Montemar (creado por DGF Universidad de Chile, 2011)

En figura el Perfil vertical simple del viento en la Estación de Montemar: la línea verde representa el promedio de todas las horas del día; la línea azul es el promedio durante la noche, que se considera desde las 20 horas hasta las 8 horas; y la línea naranja corresponde al perfil diurno, que se considera desde las 8 horas hasta las 20 horas. En esa se nota como el perfil de Julio se mantiene de un nivel alto, incluso cerca del suelo, sin mucha distinción entre el comportamiento nocturno y diario.

Capítulo 3

TEORÍA DEL TRANSPORTE EÓLICO

3.1. MORFOLÓGIA DE LAS DUNAS COSTERAS

Las dunas no son simples montículos aleatorios de sedimento transportado por el viento. Más bien, son acumulaciones que suelen adoptar modelos sorprendentemente constantes (Figura 3.1). Al abordar este punto, uno de los primeros investigadores pioneros sobre las dunas, el ingeniero británico R. A. Bagnold, observaba: «En vez de encontrar caos y desorden, el observador nunca deja de asombrarse de la simplicidad de forma, la exactitud de la repetición y el orden geométrico. . . ». Existe una amplia selección de formas de dunas, que generalmente se simplifican en unos pocos tipos principales para su discusión.

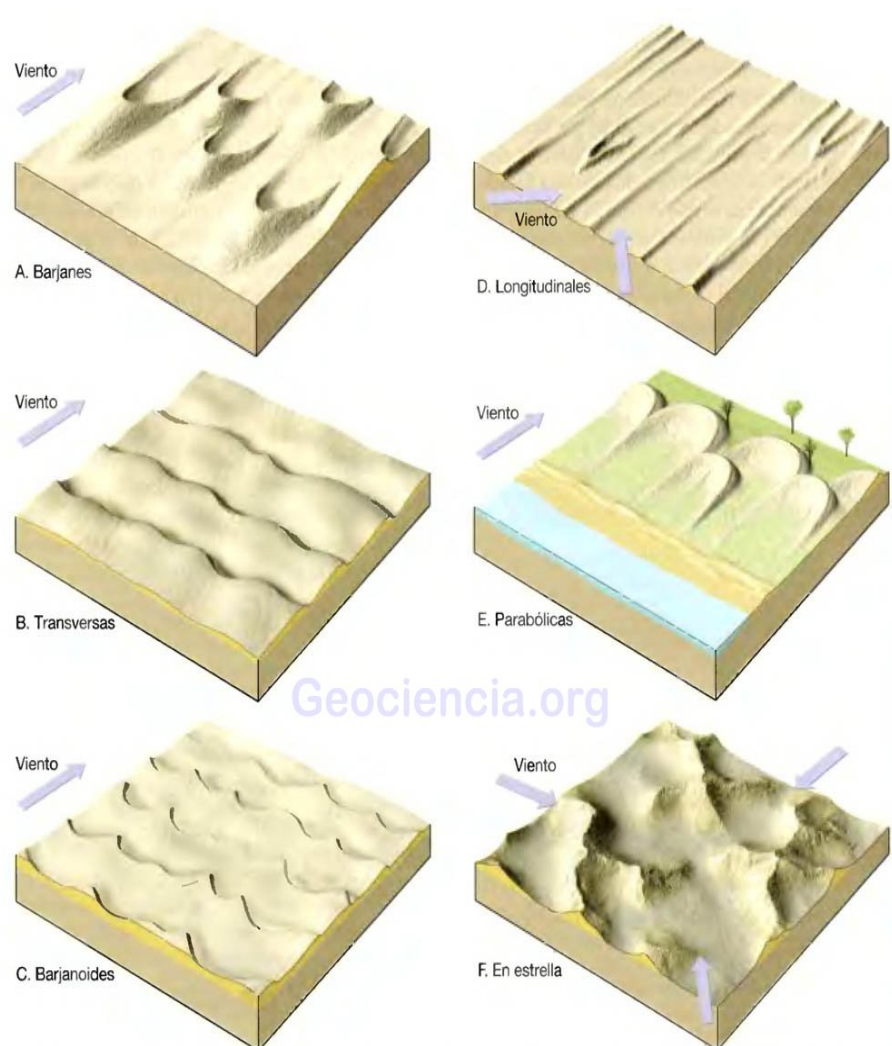


Figura 3.1: Tipos de dunas (Geociencia.org, 2011)

Por supuesto, existen gradaciones entre las diferentes formas, así como dunas de formas irregulares que no encajan fácilmente en una categoría. Varios factores influyen en la forma y el tamaño que las dunas acaban por adoptar. Esos factores son la dirección y la velocidad del viento, la disponibilidad de arena y la cantidad de vegetación presente. En la Figura 3.1 se muestran seis tipos básicos de dunas, y las flechas indican las direcciones del viento. Para un mejor entendimiento de los diferentes tipos de dunas a continuación se definen cada uno de ellos:

Barján o Dunas en forma de medialuna (barchan dune): las dunas solitarias de arena en forma de media luna y con sus extremos apuntando en la dirección

del viento se denominan barjanas. Esas dunas se forman cuando los suministros de arena son limitados y la superficie es relativamente plana, dura y carente de vegetación. Migran lentamente con el viento a una velocidad de hasta 15 metros por año. Su tamaño suele ser modesto, alcanzando, las más grandes, alturas de unos 30 metros, mientras que la expansión máxima entre las puntas se aproxima a 300 metros. Cuando la dirección del viento es casi constante, la forma de media luna de estas dunas es casi simétrica. Sin embargo, cuando la dirección del viento no es perfectamente fija, una punta se hace mayor que la otra.

Dunas Longitudinales (longitudinal dunes): son largas crestas de arena que se forman más o menos en paralelo al viento predominante y donde el suministro de arena es limitado. Aparentemente la dirección del viento predominante debe variar algo, pero sigue permaneciendo en el mismo cuadrante de la brújula. Aunque los tipos más pequeños tienen sólo 3 o 4 metros de altura y varias decenas de metros de longitud, en algunos desiertos grandes las dunas longitudinales pueden alcanzar grandes tamaños. Por ejemplo, en partes del norte de África, Arabia y Australia central esas dunas pueden alcanzar una altura de 100 metros y extenderse a lo largo de distancias de más de 100 kilómetros.

Dunas en forma de Estrellas (star dune): confinadas en gran medida a zonas de los desiertos sahariano y arábigo, las dunas en estrella son colinas aisladas de arena que exhiben una forma compleja. Su nombre deriva del hecho de que la base de estas dunas se parece a estrellas de puntas múltiples. Normalmente lomas, de 3 o 4 crestas divergen de un punto alto central, que en algunos casos puede aproximarse a los 90 metros de altura. Como sugiere su forma, las dunas en estrella se desarrollan cuando las direcciones del viento son variables.

Dunas Parabólicas (parabolic dune): similar en forma al barján excepto en que sus extremos apuntan en dirección contraria a la que sopla el viento. Estas dunas se forman donde la vegetación cubre parcialmente la tierra y, a menudo, a lo largo de las costas, donde hay fuertes vientos que soplan hacia el interior. Si la cubierta vegetal dispersa de la arena se interrumpe en algún punto, esto fenómeno crea una depresión. Entonces la arena es transportada fuera de la depresión y depositada como un reborde curvo, que se hace más alto a medida que aumenta el tamaño de la depresión.

Dunas Transversas: en regiones donde los vientos predominantes son uniformes, hay abundancia de arena y la vegetación es dispersa o no existe, las dunas forman una serie de largas crestas separadas por depresiones y orientadas según ángulos rectos con respecto al viento predominante. Debido a esta orientación, se denominan dunas transversas. Normalmente, muchas de las dunas costeras son de este tipo. Además, las dunas transversas son comunes en muchas regiones áridas donde la extensa superficie de arena ondulada se denomina a veces mar de arena. En algunas partes de los desiertos del Sahara y el Arábigo, las dunas transversas alcanzan alturas de 200 metros, ocupan una superficie transversal de 1 a 3 kilómetros y pueden extenderse a lo largo de distancias de 100 kilómetros o más.

Dunas Barjanoides: hay una forma de duna relativamente común, que es intermedia entre los barjanas aislados y las extensas ondulaciones de las dunas

transversas. Esas dunas, denominadas dunas barjanoides, forman hileras festoneadas de arena orientadas según ángulos rectos con respecto al viento. Las hileras recuerdan una serie de barjanes que hayan sido colocados unos al lado de otros. A continuación un diagrama (Fig. 3-2) que muestra el tipo de arena en función de la cantidad disponible de arena versus la variabilidad en dirección del viento (Livingstone y Warren, 1996).

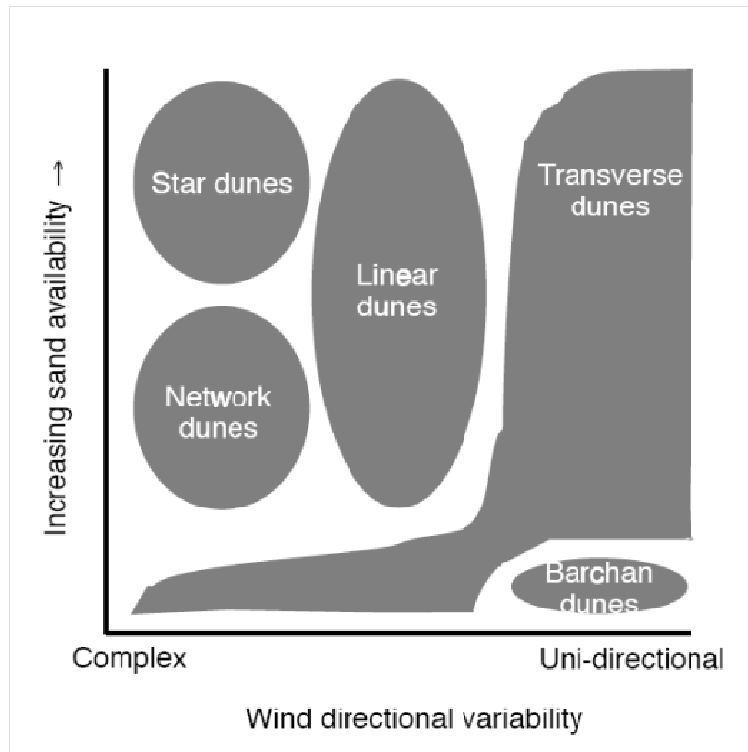


Figura 3.2: Disponibilidad de arena-variabilidad del viento (Livingstone y Warren, 1996)

Algo más:

Subir una duna puede ser muy difícil: el truco es saber por cual lado subir. En el lado de barlovento la arena se encuentra compacta, porque los granos están bien comprimidos por acción del viento, y entonces se puede caminar fácilmente. En cambio, en el lado opuesto, de sotavento, los granos se acumulan caóticamente (con muchos espacios entre uno y otro), y por eso caminar será mucho más difícil y inestable. Si aumenta la intensidad del viento el lado de barlovento se alarga mientras que lo de sotavento se empina, y la duna tiende a parecerse a un grande escalón.

La presencia de violentas tormentas de lluvia pueden erosionar las dunas

costeras y crear escarpes por la acción del oleaje, la duración de la mareas y las propiedades de cohesión del sistema dunar. Una vez creadas, estas dunas pueden tomar años para recuperar su vegetación anterior. Cordones dunares se mantienen unidos por la vegetación y cualquier fuerza física o biótica que mata la vegetación los expone a la erosión del viento y luego se crean cráteres (blowouts). Una vez formado el cráter el viento aprovecha de una vía preferencial y erosiona las arenas lateral y vertical, consume el suelo, y forma las paredes laterales. Su tamaño y orientación dependerá de las características del viento, las condiciones climáticas, la geomorfología y la hidrología del suelo.

Los principios que rigen la física del movimiento de la arena y los procesos aerodinámicos del viento en el desierto son los mismos que hay en los sistemas de dunas costeras. No obstante, hay variaciones mediadas por la distribución estacional de las precipitaciones, velocidad del viento y por las características de la vegetación (M. Anwar Maun, 2009).

3.1.1. GEOMORFOLOGÍA

Según Carter et al. (1990) la gran variedad de formas de tierras costeras en todo el mundo está principalmente relacionado con la disponibilidad de sedimentos, el clima, la energía del oleaje, el régimen del viento y con los tipos de vegetación.

En general la migración de las dunas sigue la dirección dominante de los vientos, todavía en el sistema dunar se pueden también encontrar formas de progresar según otras direcciones. Las dunas-embriones cerca de la costa del mar están sometidas directamente a la fuerza del viento, contrariamente las dunas a la espalda del cordón dunar están, de alguna manera, protegidas. Cuando crece el nivel del mar, las dunas-embriones pueden ser destruidas, y las poblaciones de plantas perennes en la playa (muy importantes por el desarrollo dunar) se pueden perder. Sin embargo, cuando el nivel del mar baja se obtiene una nueva área desnuda, disponible para ser colonizada por nuevas poblaciones vegetales. Según Cowles (1899), “hay algo sencillo en la complejidad”, porque se puede asumir que un complejo de dunas refleja principalmente la dirección del viento dominante vigente; las otras interferencias ambientales de la región desempeñan un papel secundario en la determinación de la geomorfología dunar (Paskoff, 1992).

3.1.2. SUMINISTRO DE SEDIMENTOS

Los sedimentos disponibles para la formación de dunas costeras vienen de dos fuentes principales: las plataformas continentales y los campos de dunas costeras, es decir playas, dunas y estuarios (Swift, 1976).

Cambios a gran escala en el suministro de la costa se producen debido a las fluctuaciones del nivel del mar. La disminución de los niveles de volumen de los océanos y de los mares se producen durante los períodos glaciares, debido a la pérdida de agua a favor de nieve y hielo; durante el descenso las playas se amplían alimentadas por los sedimentos de la plataforma. Durante los períodos interglaciares, los glaciares se derriten, aumenta el volumen del océano y

los niveles del mar crecen, junto a esto grandes cantidades de sedimentos son liberados de hielo y por la erosión de las dunas costeras.

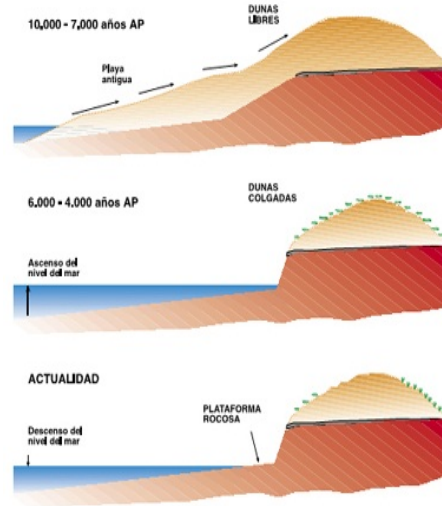


Figura 3.3: Formación de las dunas colgadas de Concón (S. Elortegui Francioli, 2005)

Después de la última glaciación mayor nivel del mar se estabilizó en su nivel actual hace aproximadamente 6000 años. Así, las dunas almacenan sedimentos durante los períodos glaciales y los liberan a los océanos durante los interglaciales, que finalmente se reutilizan para la formación de nuevos sistemas de playas/dunas. Las principales fuentes de sedimentos de los sistemas de dunas costeras en la actualidad son los acantilados y la erosión costera, la descarga de los ríos y las aportaciones de las mareas (M. Anwar Maun 2009).

Casos específicos muestran que la principal fuente de abastecimiento de arenas a las playas es la deriva litoral, una lenta corriente de agua paralela al borde costero, formada porque las olas llegan inclinadas respecto de la orientación de la línea de costa, la que transporta las arenas desde la desembocadura de un curso de agua(Castro 1985). Los promontorios rocosos obstaculizan la deriva litoral, y con ello el tránsito de los sedimentos, determinando áreas de fuerte sedimentación de dunas(Fuenzalida 1956 citado in S. Elortegui Francioli 2005). Las olas desgastan los acantilados, generando partículas pequeñas que luego sirven de abastecimiento a la playa. Vientos desde el interior del continente pueden llevar arenas a la orilla del mar.

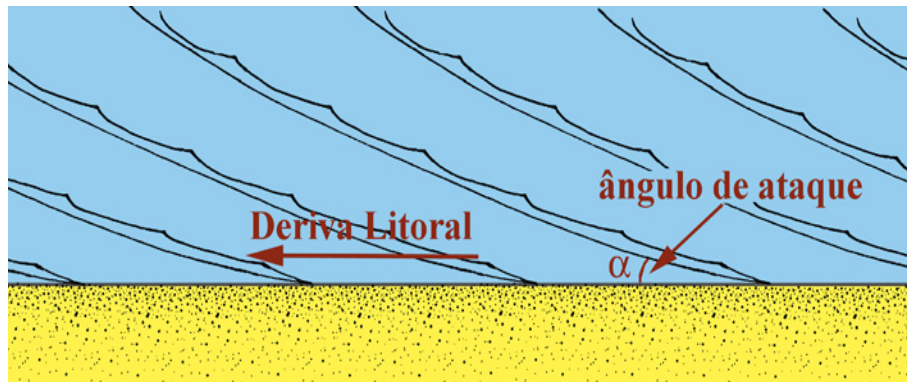


Figura 3.4: Deriva litoral (fuente desconocida)

3.1.3. DEPOSICIÓN COSTERA

Los sedimentos provenientes de los ríos, acantilados y de otros lugares tienen granos de diferentes tamaños que además están re-elaborados por las olas. Las partículas más finas de limo y arcilla permanecen en suspensión y viajan más lejos dentro del mar confrontados a la arena y la grava, que tienen mayor masa: estos se depositan cerca de la costa. Las corrientes litorales en general, se acercan a la costa formando con ella un ángulo oblicuo; este ángulo representa la dirección misma de la deriva litoral, por la cual migran los sedimentos. El material que inicialmente se deposita a lo largo de la costa, luego llega a la playa por efecto de la resaca. Las olas son creadas por la energía contenida en los vientos, es decir la energía solar que se transforma en energía mecánica de viento. La energía de las olas es proporcional a la altura de las mismas olas, definida como la distancia vertical entre la cuenca y la cresta de una ola. Esta altura a su vez se relaciona directamente con la velocidad del viento, la duración del viento y la dimensión del fetch (longitud rectilínea de una gran masa de agua superficial de mares u océanos que es uniformemente afectada en dirección y fuerza del viento, generando a su vez un determinado tipo de oleaje) (M. Anwar Maun 2009).

3.1.4. ARENA-PROPIEDADES DE LOS GRANOS

La arena puede ser definida como un sólido no-cohesivo, de granos que varían en diámetro de 0.06 a 2.00 mm, cuya velocidad terminal de caída es superior a las corrientes ascendentes del aire y menor de la que tiene un grano de arena que no se puede mover por el viento o por impacto de otros granos en movimiento (Bagnold 1960, cited in S. Elortegui Francioli 2005).

	Categorías granulométrica			
Arena muy gruesa	2.00	-	1.00	mm
Arena gruesa	1.00	-	0.50	mm
Arena media	0.50	-	0.25	mm
Arena fina	0.25	-	0.125	mm
Arena muy fina	0.125	-	0.06	mm

Clasificación de las arenas de acuerdo al tamaño de los granos

Cuadro 3.1: Clasificación de las arenas de acuerdo al tamaño de los granos (S. Elortegui Francioli 2005)

Para que un material se pueda calificar como arena, Bagnold dijo, que eso:

- debe estar disponible en grandes cantidades,
- debe ser resistente a la acción química, a la disolución en los líquidos y a la abrasión, y
- debe ser lo suficientemente fuerte para resistir a fracturas por el impacto con otros granos de arena.

Sin embargo, no toda la arena se aplican a esta definición general. De todas las sustancias naturales, el cuarzo (sílice cristalina) es lo que más satisface los criterios de Bagnold (1960) y por eso muchos sistemas dunares están compuestos en la mayoría por cuarzo.



Figura 3.5: Arenas en laboratorio (fuente desconocida)

3.1.5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Una vez que los depósitos de arena se encuentran en la playa, el viento es la fuerza predominante que engendra el movimiento de los granos y el factor que da primera forma a las dunas. El material depositado por las olas se seca por radiación solar y por los efectos del viento y del drenaje capilar; luego está transportado por el viento desde la playa hacia dentro, a los primeros sectores de dunas litorales y de la cordillera. La velocidad del viento es el factor más

importante que controla el transporte de arena; sin embargo la variación en la deposición de sedimentos en el tiempo y el espacio depende fundamentalmente del tamaño de la playa (Davidson-Arnott y la Ley de 1990, 1996).

El movimiento físico de los granos de arena por el viento es un proceso complejo que implica los fenómenos de suspensión, saltación y escorrentía superficial; descritos a continuación. En general los granos transportados por el viento cuando caen al suelo impactan otros granos causando su levantamiento (saltación). Durante este proceso, el ángulo de incidencia se mantiene constante. Si el viento es intenso y la arena heterogénea, abundantes cantidades de granos en movimiento pueden generar la escorrentía superficial (surface creep o reptation) de los granos más grandes, por su masa incapaces de levantarse.

Abstract:

Viento débil: los granos rebotan unos pocos centímetros (el proceso está terminando). Viento intenso (su intensidad excede un determinado umbral crítico): la energía recibida por efecto del viento después el impacto supera la energía perdida por el impacto (y el fenómeno se autorrefuerza). La física es la misma aun si cambiamos el fluido. Arena en el aire: los granos son 2000 veces más pesados que el aire; por eso un grano de diámetro medio expulsado por saltación de intensa velocidad puede mover otro grano que tiene 6 veces su diámetro o más de 200 veces su propio peso. Arena en el agua: los granos son solamente 1,5 veces más pesados que el agua (Saltación resulta insignificante).

3.1.6. FENÓMENOS DE SUSPENSIÓN, SALTACIÓN Y ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Suspensión: dependiendo del tamaño, los granos en el material depositado, cuya velocidad terminal de caída es inferior a las corrientes ascendentes del aire, se levantan en el aire como partículas suspendidas y dispersas en forma de polvo (Bagnold 1960).

Saltación: es la fuerza que engendra mayor movimiento de arena en las dunas costeras. En la interacción de arena y viento, la corriente de aire tiene un perfil de velocidad que aplica una cierta fuerza U' (velocidad u fuerza de roce) en los granos de arena superficiales. Los valores más altos de la U' son creados por un aumento de la velocidad del viento y / o un aumento de la rugosidad de la superficie. Cuando la velocidad de roce (U') excede un determinado valor umbral, llamado U' crítica, los granos de arena se expulsan en la corriente de viento. La U' crítica del viento depende de la raíz del diámetro de los granos. Cuando un grano expulsado se levanta en el aire, este se mueve hacia adelante por el viento hasta que su velocidad alcanza la velocidad misma del viento. Mientras que sigue propulsado hacia adelante por el viento, el grano pierde de altura, afectado por la fuerza de gravedad. Por esto su trayectoria, enseñada en figura, se vuelve más larga y curva;

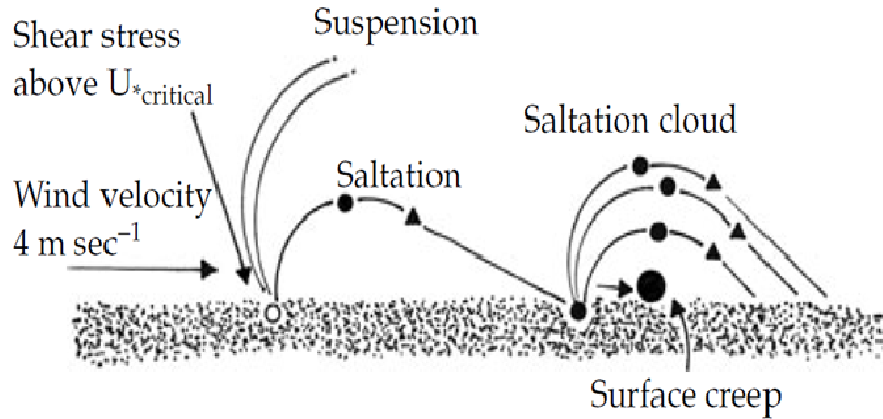


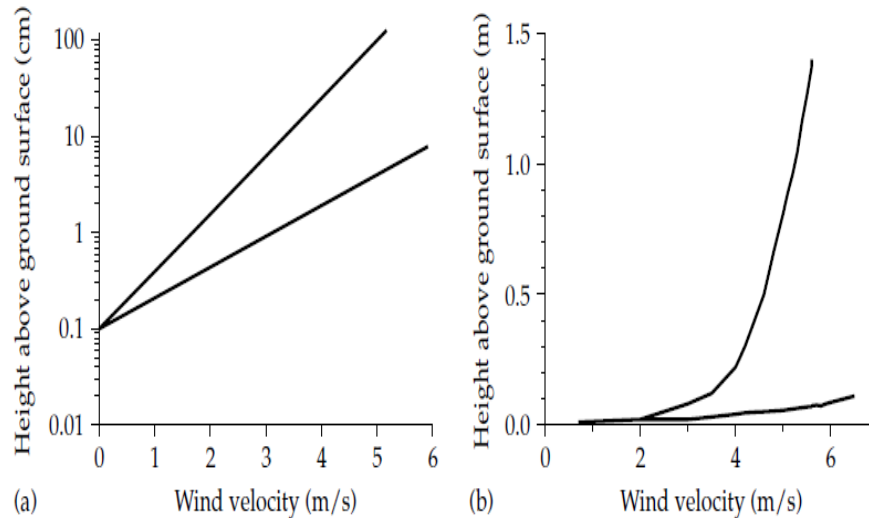
Figura 3.6: Proceso dinámico, arena transportada por el viento (M. Anwar Maun 2009)

esta empuja el suelo con un ángulo de incidencia aproximadamente de $10-16^\circ$, que depende de la velocidad del viento, del diámetro del grano y de la altura del vértice (el máximo) de la trayectoria, (Bagnold 1960). Como un grano impacta a la superficie, se inicia una reacción-cadena en la cual cada grano causa la expulsión de varios otros granos en la corriente de viento.

Escorrentía superficial (Surface creep): algunas partículas de arena son demasiado grandes para ser expulsadas por saltación. Sin embargo, si se solicitan por saltación intensa (con la suficiente fuerza) de otros granos son empujados hacia adelante a lo largo de la superficie de arena, en un proceso de escorrentía superficial conocido como surface creep. un grano de diámetro medio expulsado por saltación de intensa velocidad puede mover otro grano que tiene 6 veces su diámetro o más de 200 veces su propio peso. (Bagnold 1960).

El viento disminuye su velocidad cerca de la superficie por interacción con la rugosidad de la arena, y transmite la turbulencia a los estratos superiores; eso permite describir un perfil de velocidad del viento, por el medio de funciones lineales o logarítmicas.

Bagnold mostró que el perfil medio de velocidad (U) en función de la altura (z) tiene carácter más logarítmico que lineal. Plotando el perfil de velocidad en escala logarítmica (Fig.3-7) se nota que la velocidad del viento disminuye a lo largo de ciertos valores de altura, sobre la superficie de arena. Esa altura es mayor que 0 y se llama la constante de rugosidad K (Bagnold 1960 cited in M. Anwar Maun 2009) u z_0 (Olson 1958 cited in M. Anwar Maun 2009).



Velocity profiles over a bare sand surface plotted on (a) log and (b) arithmetic scales (after Bagnold 1960).

Figura 3.7: Perfil vertical del viento (M. Anwar Maun 2009)

El valor de la constante de rugosidad z_0 se encuentra cerca del $1/30$ del diámetro medio de los granos que caracterizan una playa plana sin movimiento de las arenas.

Cuando soplan vientos constantes sobre la superficie de la arena, la velocidad de flujo U' es directamente proporcional a la tasa de aumento de la velocidad del viento con el logaritmo del altura. Así se describe la velocidad media del viento (U) en función de la altura (Bagnold 1960):

$$U(z) = \frac{U'}{k} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

donde K es la constante de Von Karman y vale generalmente 0,4, y z es la altura sobre la superficie de la arena. El conocimiento de los parámetros U' y z_0 implica conocer/describir el estado del viento; porque z_0 denota el punto en el que la velocidad del viento es 0 y U' determina la pendiente de dicha velocidad. La pendiente se incrementará con un aumento de U' , por z_0 constante. Sin embargo, z_0 disminuye al aumentar de la velocidad del viento (Deacon 1949 cited in M. Anwar Maun 2009).

3.1.7. LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN

Las plantas en la duna aumentan la rugosidad de su superficie y además absorben parte, sino toda, de la energía de los granos que saltan. Oslon (1958) comparando las constantes de rugosidad z_0 (de las mismas partículas de grano)

de una playa plana sin movimiento de arena con la de una plantación de *Ammophila breviligulata*, encontró que la constante z_0 en la vegetación creció más de 30 veces.

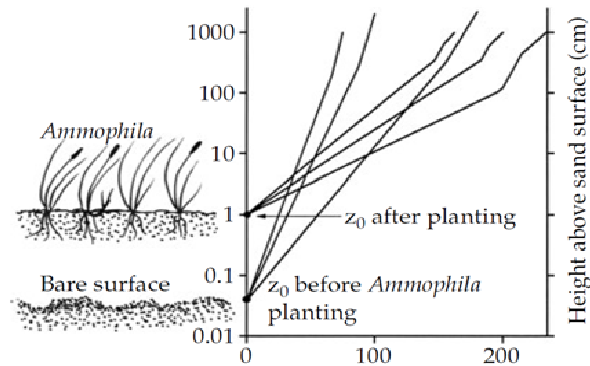


Figura 3.8: Influencia de la vegetación sobre los parámetros de transporte (M. Anwar Maun 2009)

El valor de la rugosidad será entonces conexo a la especie vegetal presente en la superficie dunar. El aumento de este parámetro significa que los granos en saltación necesitarán de elevarse por encima de los valores umbrales mínimo de z_0 para continuar el proceso de movimiento. Sigue que disminuye la cantidad de granos que pueden tener éxito en la saltación, y en general el transporte cesa. Un aumento en la velocidad del viento aumenta la pendiente de la recta, pero no cambia la rugosidad de la superficie que se queda constante. En otras palabras, las velocidades de flújo (de arrastre) convergen al mismo z_0 .

Según Bressolier y Thomas (1977) los tres factores que determinan z_0 , en orden de importancia, son la densidad y la altura de la vegetación, y la velocidad del viento. Además la vegetación absorbe la energía de los granos en movimiento cuando impactan con las hojas y los tallos de la planta, reduciendo así la producción de energía de saltación en la nube de partículas. Sigue que disminuyendo la tasa de transporte de la arena, hay un aumento en la deposición, alrededor de las plantas (M. Anwar Maun 2009).

3.2. FLUIDODINAMICA EOLICA AMBIENTAL

Este párrafo se limita a dar algunas nociones sobre el modelado de la capa límite atmosférica, o sea de aquella porción de la atmósfera, cuyas características del viento son influenciadas por la presencia del suelo. De hecho el suelo modifica el flujo atmosférico según los elementos que interaccionan con ello. Tales elementos pueden ser reconducidos a tres tipos diferentes: la orografía; rugosidad de la superficie; obstáculos.

La influencia ejercida por la orografía consiste en la creación de vías preferenciales que llevan a aceleraciones o desaceleraciones del flujo de aire. En cambio la rugosidad del terreno es la causa primaria del nacimiento de la capa límite atmosférica. La influencia de los obstáculos es localizada: más intensa en sus alrededores, hasta distancias de unas 10 veces y hasta cuotas de unos 3 veces las dimensiones del obstáculo; luego el flujo "olvida" tal efecto, por la rápida tendencia de la capa límite atmosférica a volver al equilibrio entre el gradiente de presión y las fuerzas de roce. Estos tres elementos contribuyen entonces a aumentar la turbulencia del viento en proximidad del suelo. Adentro de la capa límite atmosférica, el viento se estudia como un proceso estocástico multidimensional, por lo cual es necesario conocer no solamente su dependencia del tiempo, si no también de la posición. Por simplicidad de estudio, las dos dependencias generalmente son analizadas separadamente, y por lo tanto el estudio resulta dividido en dos partes: una primera que analiza las características puntuales del viento y una segunda que analiza su distribución espacial.

3.2.1. LA CAPA LÍMITE AMBIENTAL

En las capas más bajas de la atmósfera, baja tropósfera, las masas de aire en movimiento padecen la influencia del suelo abajo. Las partículas de aire que fluyen sobre la superficie terrestre están ralentizadas por esta, de manera mucho mayor cuanto más se acerca al suelo, hasta llegar a una condición de velocidad nula por aquellas a directo contacto con el terreno. Pues la velocidad del viento disminuye progresivamente con el acercarse al suelo por causa del arrastre del aire con la superficie. El espesor del atmosfera dentro del cual se nota este efecto de disminución de velocidad se llama Capa Limite Ambiental (Atmosferic Boundary Layer ABL).

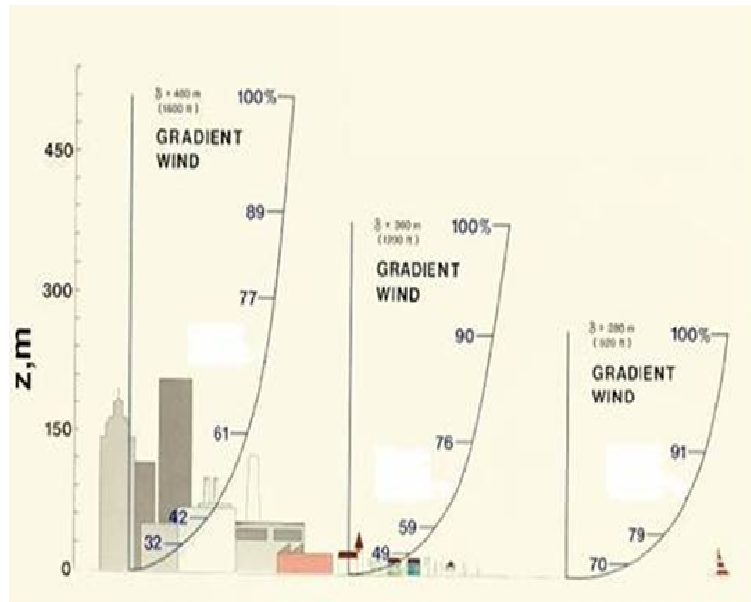


Figura 3.9: Limite Ambiental (fuente desconocida)

En la capa límite ambiental la velocidad media del viento aumenta con la cuota hasta a una altura más allá de la en que su valor se mantiene constante. La cuota en que la velocidad mediana alcanza su valor máximo, y constante, define la altura del ABL, esa es definida como Altura de gradiente (δ).

La altura de gradiente no es constante y depende, en primer lugar, de la velocidad del aire y del tipo de superficie sobre la cual esa fluye; por lugares con pequeñas asperezas, cuales zonas desérticas o superficies del mar, la capa límite ambiental llega a alturas de unos 300 metros, por regiones a elevada rugosidad como zonas fuertemente urbanizadas, esa misma llega a valores de unos 500 metros.

Si en cualquier lugar se observa con un anemómetro a la velocidad del viento, se puede notar como la velocidad instantánea del viento varía en función del tiempo y del espacio. Esto se debe, en primer lugar, a la interacción entre el viento y el suelo y, por lo tanto, a la presencia de la capa límite ambiental.

De hecho en esta región, el impacto entre el flujo del aire principal y el suelo origen a remolinos de varias dimensiones que se mueven en todas las direcciones, aunque generalmente siguen el viento principal. Pues, la velocidad instantánea del viento será el resultado de un término mediano, constante en el tiempo, que tiene cuenta del flujo principal, y de otro término, con valor medio nulo, que caracteriza la parte flotante de velocidad y que describe a la presencia de los remolinos.

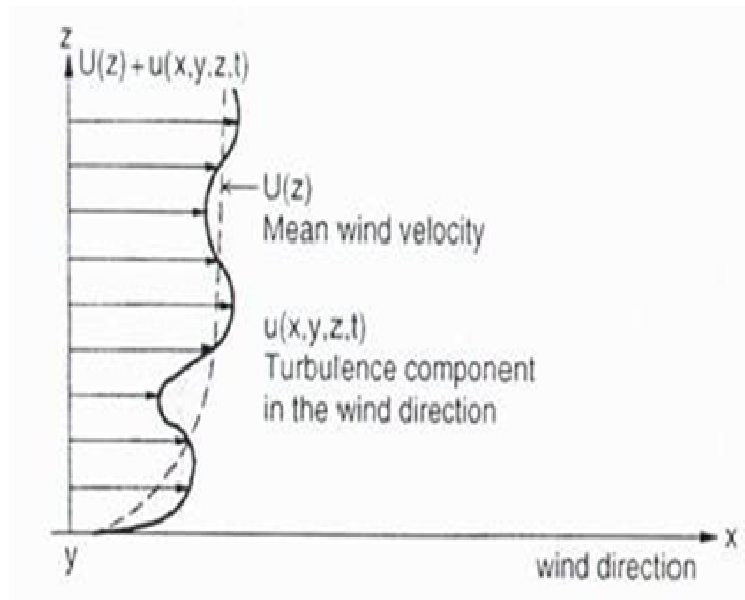


Figura 3.10: Perfil vertical según la teoría de fluidodinámica (fuente desconocida)

La velocidad del viento es función del tiempo y del lugar considerado.

3.2.2. VELOCIDAD MEDIANA DEL VIENTO

Es posible determinar el perfil vertical de velocidad (media) del viento presente en un determinado lugar; para hacer éste es necesario conocer los valores de la velocidad mediana (horizontal) del viento a las varias cuotas (de 0 metros hasta la altura de gradiente). Cuando no se tienen a disposición estos datos experimentales se puede aprovechar oportunas fórmulas que, bajo hipótesis simplificadoras, expresan la relación que hay entre la velocidad media del viento y la altura del suelo.

Las principales ecuaciones que describen la velocidad media en función de la altura son dos: la ley exponencial y la ley logarítmica.

Tales leyes describen en el detalle el perfil vertical de la velocidad media del viento hasta las cuotas de 100-200 metros del suelo, o sea en la parte bajo del ABL. El perfil vertical de velocidad mediana, es el primer parámetro que se considera para caracterizar aerodinámicamente un determinado sitio geográfico.

3.2.3. POWER LAW

Relación experimental.

$$U(z) = U(z_{rif}) \left(\frac{z}{z_{rif}} \right)^a \quad (3.1)$$

U = velocidad del viento [m/s],
 z = altura en que se quiere calcular la velocidad del viento,
 z_{rif} = altura de referencia, la velocidad es conocida,
 α = exponente del perfil de velocidad, directamente proporcional a la rugosidad del suelo.

3.2.4. LOG LAW

Relación teórico-experimental; es la más ocupada.

$$U(z) = \frac{U'}{k} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (3.2)$$

U = velocidad del viento [m/s],
 z = altura en que se quiere calcular la velocidad del viento,
 z_0 = altura de rugosidad, depende del tipo de terreno,
 U^* = velocidad de roce [m/s],
 K = constante de Von Karman (=0,4).

La altura de rugosidad (z_0) es el parámetro que caracteriza la superficie sobre cuyo espira el viento, mayor es su valor mayor serán las asperezas del suelo y las molestias creadas por esto al flujo ventoso. Físicamente z_0 puede ser imaginada como la dimensión del remolino turbulento que nace por la interacción del viento con el suelo.

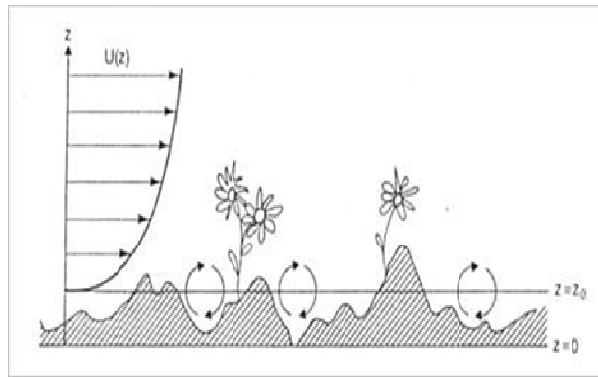


Figura 3.11: Perfil vertical según la teoría de fluidodinámica (fuente desconocida)

El valor de z_0 ha sido estandarizado por las tipologías de terreno (categorías de referencia) que, más frecuentemente, se pueden presentar en la realidad.

z0 [m]	Terrain surface characteristics	Roughness Class
1	city	
0.8	forest	3 (0.40 m)
0.5	suburbs	
0.4		
0.3	shelter belts	
0.2	many trees and/or bushes	
0.1	farmland with closed appearance	2 (0.10 m)
0.05	farmland with open appearance	1 (0.03 m)
0.03	farmland with very few buildings/trees	
0.02	airport areas with buildings and trees	
0.01	airport runway areas	
0.008	mown grass	
0.005	bare soil (smooth)	
0.001	snow surfaces (smooth)	
0.0003	sand surfaces (smooth)	0 (0.0002 m)
0.0002		
0.0001	water areas (lakes, fjords, open sea)	

Cuadro 3.2: Parametro Zo de rugosidad del suelo (WAsP, 2011)

3.2.5. LA TURBULENCIA ATMOSFÉRICA

La turbulencia atmosférica describe la componente fluctuante de la velocidad del viento. Físicamente la turbulencia atmosférica es creada por el "estirado mecánico" de las masas de aire en movimiento: las capas de aire que se encuentran a diferentes alturas del terreno se mueven con velocidades medias horizontales diferentes entre ellos; eso causa un estirado de partículas de aire que son contenidas entre tales capas, ya que estas serán arrastradas por una velocidad mayor en su parte más alta y, al mismo tiempo, serán ralentizadas, en la parte inferior, por velocidades menores; este movimiento relativo causa una rotación de la celda de aire y, por lo tanto, la formación de remolinos que se mueven, principalmente en la dirección del flujo principal. Bajo un punto de vista puramente matemático el fenómeno de la turbulencia atmosférica se puede estudiar a través métodos estadísticos.

3.3. TEORÍA DEL TRANSPORTE EÓLICO DE PARTICULAS

Definitivamente se puede resumir que:
la capacidad del viento de remover sedimento depende fundamentalmente del

tamaño, forma y/o densidad de las partículas. Según esto, los mecanismos posibles de transporte son tres: tracción, suspensión y saltación. La saltación realiza entre el 55-72 % del transporte eólico en los desiertos, movilizandando partículas de tamaño entre 70-500 μm (Pye, 1987), siendo las inferiores a 100 μm las más susceptibles de ser transportadas (Bagnold, 1941; Alfaro, 1997). La teoría del perfil vertical logarítmico de velocidades del viento en la capa atmosférica superficial, definida como las primeras decenas de metros directamente influenciados por la fricción superficial, permite establecer una relación entre la variación de la velocidad del viento (u) con la altura (z), la velocidad de fricción (u^*) y el parámetro de rugosidad superficial (z_0), válida para condiciones adiabáticas o de estabilidad atmosférica neutra (Stull, 1988). En condiciones no muy alejadas de la neutralidad, como aquellas derivadas de un calentamiento solar en el día y de un enfriamiento radiativo nocturno moderadas por el viento, se utiliza el perfil log-lineal del viento cerca de la superficie para el cálculo de u^* (Stull, 1988). La erosión y transporte se inician cuando la velocidad de fricción excede la velocidad de fricción umbral (u^*) definida como la velocidad mínima para movilizar una partícula de tamaño, forma y densidad dadas. Diversos autores (e.g., Bagnold, 1941; Iversen y White, 1982; Marticorena y Bergametti, 1995; Alfaro, 1997; Le Roux, 1997) han propuesto una relación entre u^* y el diámetro de la partícula transportada D_p , indicando que los factores de importancia en el transporte de partículas son la velocidad, la energía turbulenta del viento, y la granulometría del sedimento. La acción del viento genera dos componentes del flujo de partículas, una horizontal que transporta los granos por saltación y una vertical que los moviliza por suspensión (Marticorena y Bergametti, 1995 cited in Revista Geológica de Chile 2009). Experimentalmente se ha observado que, para valores altos de u^* , el transporte horizontal es directamente proporcional a u^{*3} (Bagnold, 1941; Marticorena y Bergametti, 1995 cited in Revista Geológica de Chile 2009). Ambas componentes, horizontal y vertical, están relacionadas de modo tal que la producción de partículas en suspensión, requiere del bombardeo de partículas de mayor tamaño (60-2.000 μm), que destruyen los agregados de partículas finas (<20 μm) mantenidas en contacto por cohesión, inyectándolas verticalmente a la atmósfera (sandblasting) (Alfaro et al., 2004 cited in Revista Geológica de Chile 2009). En este trabajo se determinaron y cuantificaron los parámetros pertinentes para los procesos de transporte eólico horizontal de partículas en el campo dunar entre Punta Concón y Punta Montemar anteriormente subdividido en 3 sectores, determinando por cada uno su variabilidad estacional, las condiciones atmosféricas y las direcciones responsables del transporte eólico, por su relación con los vientos locales y regionales característicos del área (Revista Geológica de Chile 2009).

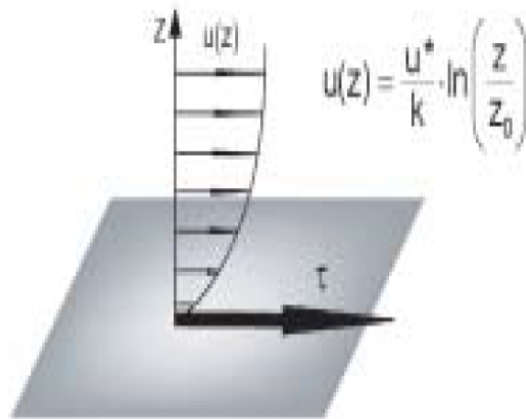


Figura 3.12: Perfil vertical según la teoría de fluidodinámica del aire (Revista geológica de Chile 2009)

Capítulo 4

ANÁLISIS I

4.1. INTRODUCCIÓN

Los capítulos anteriores han presentado la información tosca que describe el clima local de la bahía de Concón; siempre en respecto al dato cuya ubicación espacial es la antigua Estación de Montemar ($32^{\circ} 96'$ Lat. Sur y los $71^{\circ} 55'$ Long. Oeste), ocupada hasta 2002. Mientras que por el dato en dirección del viento se optó para convalidar las rosas de vientos propias de las mediaciones 30enales de la estación Montemar, por el dato en intensidad del viento se consideró tan necesaria como oportuna la búsqueda de una nueva y más reciente información.

El dato de viento buscado fue reconstruido con precisión por un modelo llamado WRF, ocupado en la investigación por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, que se describe a continuación: el modelo empleado por la creación es el WRF (Weather Research and Forecasting) version 3.2, que ha sido desarrollado por NCAR (National Center for Atmospheric Research) en Estados Unidos y es ampliamente utilizado en el área de evaluación del recurso eólico a nivel mundial. El modelo fue aplicado con una resolución espacial de 1 kilómetro y tiene 12 niveles verticales entre 0 y 200 metros de altura. Actualmente es ocupado por la diferentes universidades con la Universidad de Chile en los estudios profesionales de Ingeniería Eólica.

Este modelo permitió obtener los datos puntuales de viento (en dirección y intensidad) necesarios a compilar el año 2010. La información es en función de la altura, en la ubicación de la antigua estación de Punta Montemar.

Luego se calibran los datos sintéticos del año 2010, en función de los parámetros extrapolados del archivo de Punta Montemar en sus últimos 27 años de monitoreo (se describe más abajo); obteniendo finalmente un año significativo y actual, capaz de describir con precisión el clima local, con respecto al valor de intensidad de viento. De hecho la simulación ocupada en este estudio trabaja con un solo año de datos. La calibración se realizó por los vientos a 25msnm, altura esa que pertenece por coherencia a ambos los archivos de datos (de P.ta Montemar 1975-2002 y de WRF, año 2010). Secundariamente la información

se traslada verticalmente disfrutando dos conocidas leyes de la fluidodinamica (Log Law y Power Law), permitiéndonos

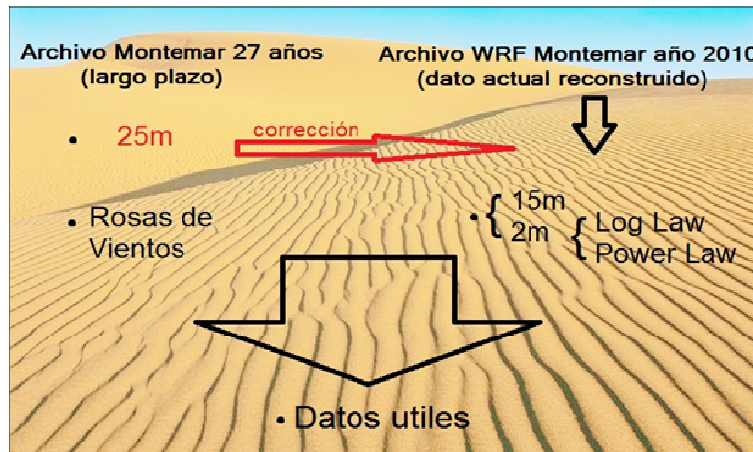


Figura 4.1: Esquema simple de calibración de datos (elaboración propia, 2011)

de interrogar el archivo por cualquier altura de nuestro interés. Esto porque las leyes Log y de Potencia, describen el regular comportamiento del viento en función de la altura $Z[m]$.

En particular, en este estudio se consideran dos alturas del suelo específicas: los 15m, siendo la que la teoría del viento suele considerar en el régimen de vientos afectado por la rugosidad del terreno principalmente en los primeros diez metros de altura, de hecho es a esta altura donde la inflexión de la curva logarítmica resulta más evidente; y los 2m, considerada la altura mínima desde el suelo y aceptable, para que los programas empleados en este estudio den resultados realistas. A partir de esta información se puede finalmente conseguir el valor de velocidad de roce U^* , fuerza capaz del arrastre de sedimentos al suelo. A través de la cual se valorarán las tasas de transporte en el campo dunar, por los distintos sectores.

4.2. RECONSTRUCCIÓN DEL DATO: DIRECCIÓN DEL VIENTO

Esencial por estudio es la dirección de los vientos dominantes en las distintas estaciones del año. En este caso se optó para validar la rosa de los vientos propia de las mediaciones en Punta Montemar, durante los años 1975-2002; considerando así el dato de largo plazo (aprox 30 años), según la teoría eólica ante propuesta. Esa nos informa que en el carácter cíclico del clima global

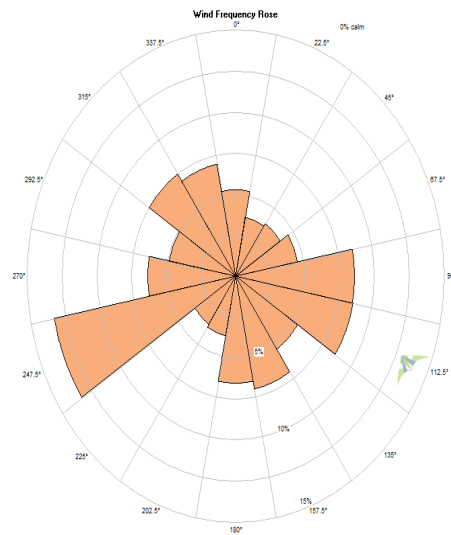


Figura 4.2: Rosa de Vientos Anual (elaboración propia, 2011)

y local existen fenómenos que pueden repetirse, no sólo con repetición anual, sino también cada diez años y más allá.

La rosa de los vientos anual (arriba) y aquellas de los meses individuales (abajo), muestran dos familias dominantes de dirección del viento, que se resumen en la tabla más a continuación:

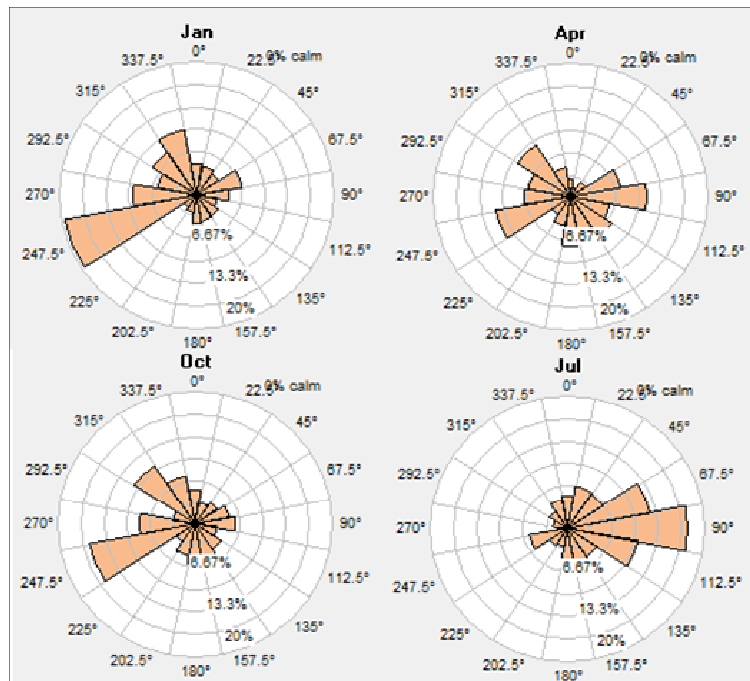


Figura 4.3: Rosas de Vientos Estacional (elaboración propia, 2011)

Dirección del viento más frecuente		
Primavera-Verano	Otoño-Invierno	Anual(todas)
247.50	90	-

Cuadro 4.1: Dirección de Viento (elaboración propia, 2011)

Estas representaciones, son el resultado de los datos descritos anteriormente, y procesado mediante el empleo de un software especialista en el análisis estadística de los datos climáticos; eso permite identificar la actitud matemática de una serie de datos de viento en el tiempo. Este programa se llama Windographer y la versión que se ocupó en este estudio resulta disponible en Internet y gratuita para estudiantes.

Windographer: es un poderoso programa de análisis de datos de viento, que interpreta los archivos de datos de una estación meteorológica. Produce gráficos claros y estadísticos y rosas de los vientos, permitiendo de realizar muchos cálculos, según necesidad, sobre el perfil vertical del viento, la intensidad de la turbulencia, y las velocidades extremas del viento (y en campo eólico, también es capaz de evaluar la producción potencial de energía de aerogeneradores). A continuación un ejemplo de layout del software con el cual se elaboraron los datos horarios:

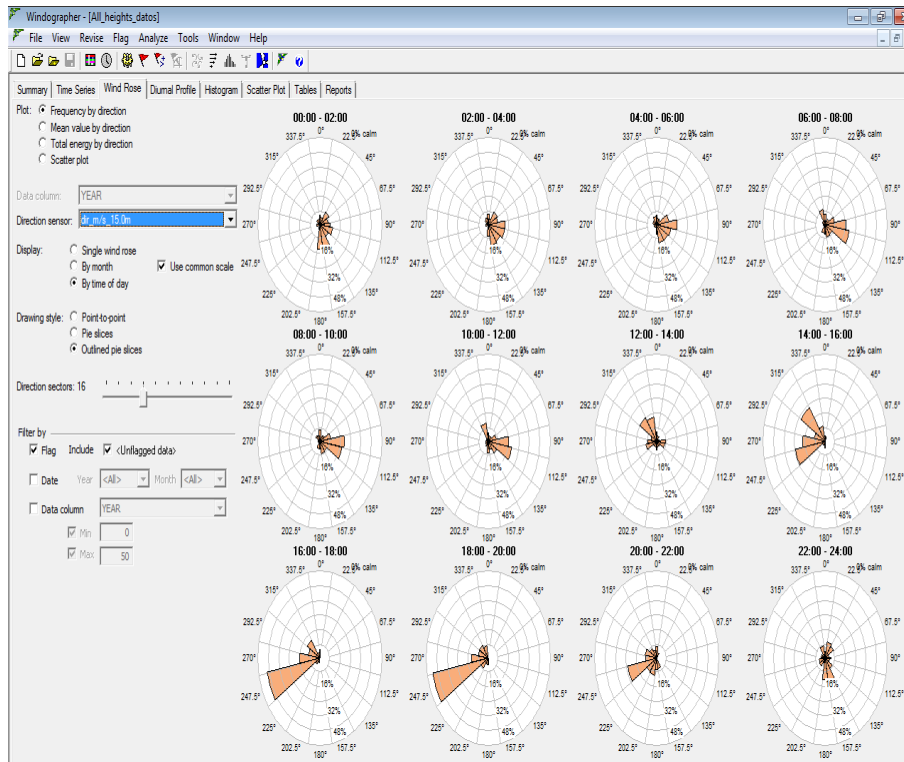


Figura 4.4: Rosas de Vientos Diaria (elaboración propia, 2011)

Sin embargo en la figura arriba se puede notar como también durante el ciclo diario -a parte por una pequeña componente de turbulencia- se confirman las familias de viento anteriormente identificadas.

Así finalmente se armó una 'tabla de resultados' (que se compilará paso paso) y que resume las dirección dominante del viento en lo primeros 15metro de altura al suelo, por los sectores del campo dunar, anteriormente elegidos:

		Sector 1			
		Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente		
			Primavera-Verano	Otoño-Invierno	Anual(todas)
<i>Dinamica dunaria Tabla Resultados</i>	Altura Z	227.74	247.50	90	-
U Intensidad de viento [m/s]	U(Z=15m)				
	U(Z=2m)				
		Sector 2			
		Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente		
			Primavera-Verano	Otoño-Invierno	Anual(todas)
<i>Dinamica dunaria Tabla Resultados</i>	Altura Z	235.98	247.50	90	-
U Intensidad de viento [m/s]	U(Z=15m)				
	U(Z=2m)				
		Sector 3			
		Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente		
			Primavera-Verano	Otoño-Invierno	Anual(todas)
<i>Dinamica dunaria Tabla Resultados</i>	Altura Z	214.09	247.50	90	-
U Intensidad de viento [m/s]	U(Z=15m)				
	U(Z=2m)				

Cuadro 4.2: Dirección de Viento por sector (elaboración propia, 2011)

4.3. EL WASP

En este capítulo se presenta el programa ocupado para la transferencia espacial del dato de viento y para la simulaciones cuyas el campo dunar esta sometido.

El Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP) es un software para la extrapolación horizontal y vertical de los datos de viento. El programa contiene un conjunto de modelos para calcular los efectos del viento sobre los obstáculos, los cambios de rugosidad de la superficie y de desniveles en el terreno. La parte de análisis consiste en una transformación de un clima de vientos observados (distribuciones de dirección y velocidad) en un archivo eólico de datos llamado wind atlas. El atlas eólico puede secundariamente ser empleado para la estimación del clima de viento y el potencial de energía eólica, por lugares lejanos respecto a la ubicación del dato medido.



Figura 4.5: WAsP (WAsP, 2007)

Los algoritmos motores del software WAsP han sido perfeccionados y aplicados por más de 20 años en diferentes partes del mundo, bajo distintas características climáticas. Contiene varios modelos para describir el flujo del viento sobre terrenos diferentes y cerca de obstáculos. Conceptualmente, el cálculo de WAsP consiste en distintos grandes bloques: (I) el Análisis de los datos en bruto que permite un elaboración de la serie de mediciones de viento, para proporcionar un resumen estadístico del clima observado, y del viento en el lugar específico. Esta parte se realiza en las herramientas de software independientes: el Observed Wind Climate (OWC) Wizard. (II) la Generación del wind atlas. Analizando los datos de viento se puede describir el clima propio de los vientos regionales en una base de datos anuales y significativos “limpiados” de la turbulencia y de las componentes de ruido. El wind atlas es un conjunto de datos independientes del sitio, cuyas distribuciones estadísticas del viento se reduce a las condiciones estándar. Luego (III) la Estimación climática del viento, puede estimar el clima de viento en cualquier punto específico; previa introducción de descripciones de los terrenos alrededor del sitio previsto, los modelos pueden predecir el clima actual, en respecto al viento que se espera en este sitio.

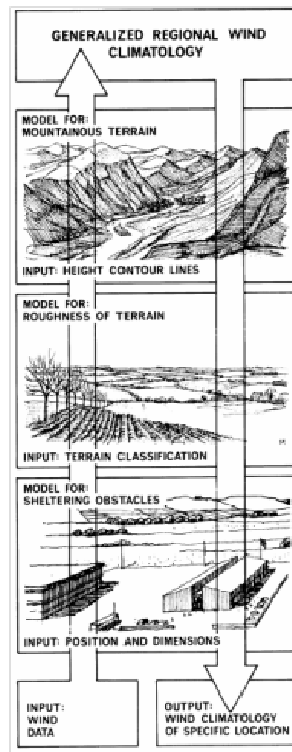


Figura 4.6: Esquema del sistema de operación de WAsP (WAsP, 2007)

La Figura 4-6 representa un esquema de la metodología eólica 'wind atlas' del WAsP. En la parte de análisis (flecha hacia arriba), se ocupan modelos meteorológicos para calcular la climatología eólica regional de los datos brutos o del viento observado. En el proceso inverso - la aplicación del wind atlas de datos (flecha abajo) - el clima de viento en cualquier sitio específico puede calcularse a partir de la climatología regional (Troen y Petersen, 1989). En términos generales, las predicciones precisas con el programa WAsP se pueden obtener (Bowen y Mortensen, 1996), siempre que:

- el sitio de referencia (estación meteorológica) y el lugar previsto (lugar de turbina eólica o una nueva estación, en nuestro caso el campo dunar) están sujetos al mismo régimen climático global;
- las condiciones meteorológicas son generalmente estables durante el año;
- los datos del viento de referencia son fiables;
- el terreno alrededor (de ambos sitios) es lo suficientemente descrito por su rugosidad, y
- los datos del modelo topográfico son adecuados y fiables.

4.4. RECONSTRUCCIÓN DEL DATO: VELOCIDAD DEL VIENTO

Como ya presentado, necesitamos de corregir el dato anual del 2010 a través de un coeficiente que describa el verdadero clima de largo plazo, observado en el archivo de 27 años de Punta Montemar. Para hacer esto se utiliza la aplicación de WasP9.1 llamada OWC Wizard, que permite el ajuste de los datos en función del promedio diario y mensual de intensidad del viento; considerando también los errores (s^2) debidos a la extensión del dato a largo plazo (son las variabilidades mensuales anteriormente presentadas).

El OWC Wizard es un programa que produce ordenados archivos OWC a partir de mediciones de velocidad y dirección del viento crudo. Las series temporales de datos en termino de intensidad y dirección del viento se transforman en una tabla que describe las condiciones atmosfericas en el lugar de medición como independientes del tiempo. Esa se puede luego interrogar para conocer las características del viento, como el perfil vertical del viento, la distribución de probabilidad de las intensidades en función de la temporada del año o simplemente en función del hora del día.

Se puede sintetizar el proceso así: se obtuvo un factor de conversión (o relación de escala) para pasar desde el largo hasta el corto plazo, a partir de los términos medios mensual (en enero, abril, julio y octubre) primero de los datos 27enales medidos por la estación meteorológica de Montemar $X_i(z=25m)$:

$$\sum_1^n \frac{X(z)}{n} = L \quad (4.1)$$

y de los datos que pertenecen al archivo sintético del recién año 2010 $Y_i(z=25m)$:

$$\sum_1^n \frac{Y(z)}{n} = F \quad (4.2)$$

la relación de escala fue calculada simplemente dividiendo este último por el primero:

$$X_i \cdot \frac{F}{L} = W_i \quad (4.3)$$

que vale 0.4525802648.

Esto valor multiplica mes por mes, todas las grabaciones por hora del año 2010 $W_i(z=25m)$, obteniendo al final un archivo actual capaz de describir de forma fiable los valores característicos de la intensidad del viento, bajo la cual está sometida la bahía de Concón durante las cuatro estaciones del año. Eso nuevo archivo se refiere siempre a la ubicación de Punta Montemar; y por $z=25msnm$, como se mencionó anteriormente, siendo esta la altura de dominio de ambos los archivos ocupados.

Se pasa luego a considerar nuestras alturas de interés morfodinámico en el régimen del viento. Para transferir los datos en vertical, se utiliza normalmente una de la leyes mencionada en el capítulo teórico, la Ley Log y/u la Ley de Potencia. Para obtener mayor precisión aquí se prefiere ocupar ambos dos estas leyes, por las alturas de 15 y 2 metros desde el suelo:

Power Law		Log Law	
Get Alpha		Get Zo	
Wind Speed v	2.54	Wind Speed v	2.54
Wind Speed V	2.85	Wind Speed V	2.85
Height h	5	Height h	5
Height H	15	Height H	15
Alpha	0.10	Zo	0.0006
<i>(Alpha = (LOG(v/V))/LOG(h/H))</i>		<i>(Zo = e^(((V*LN(h))-(v*LN(H)))/(V-v)))</i>	
Get V		Get V	
Alpha	0.10	Zo	0.00
Height h	5	Height h	5
Height H	2	Height H	2
Wind Speed v	2.54	Wind Speed v	2.54
Wind Speed V	2.31	Wind Speed V	2.28
<i>(V = v/((h/H)^Alpha))</i>		<i>(V = Iv/(LN(h/Zo)/LN(H/Zo)))</i>	

Cuadro 4.3: Ley Potencia y Ley Log, cálculo parametros (elaboración propia, 2011)

La tabla aquí arriba define el valor de los coeficientes (alfa y z0) que pertenecen a la leyes que describen el perfil vertical del viento en función del altura al suelo. Estos valores resultan fiables, como confirman aquellos previamente obtenidos por medio del software WindoGrapher, lo cual también calculó los coeficientes de las dos leyes, Log y de Potencia, útiles para transferir los datos verticalmente(Z), y necesarios para la reproducción de los vientos de nuestro interés sobretodo a la altura de 2 m sobre el suelo, que no estaban disponibles anteriormente en forma tosca (cruda). Como se muestran a continuación:

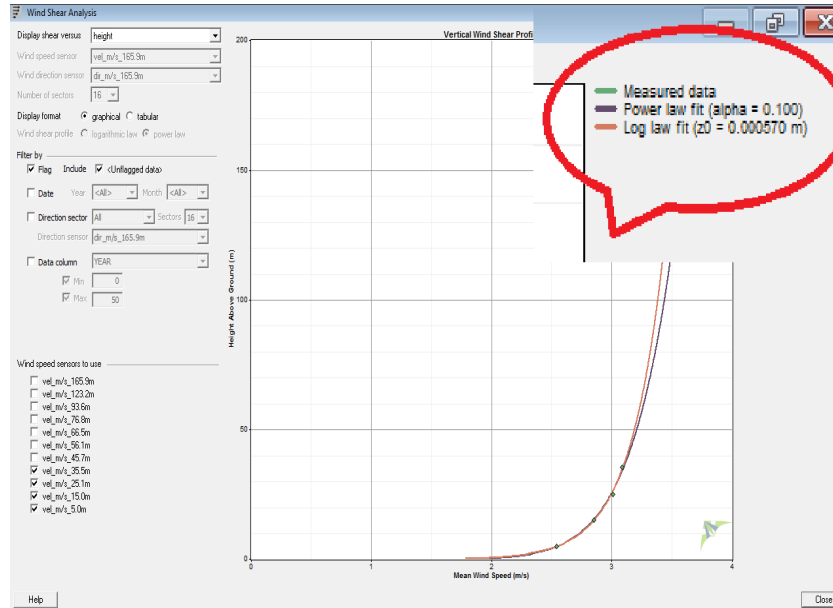


Figura 4.7: Parametros de Leyes de Potencia y Log en Windographer (elaboración propia, 2011)

Una vez conocido el perfil vertical y los parámetros que lo gobiernan, fue posible aislar los vectores de datos de viento de nuestro interés por la análisis: los datos de 2010 de la velocidad del viento a 15m sobre el suelo, y los datos de 2010 de la velocidad del viento con la altura 2m sobre el suelo.

Finalmente con el OWC Wizard se preparan dichos vectores a la interpretación y al futuro tratamiento por medio del Wasp9.1. De hecho cuando el WAsP9.1 calcula el wind atlas (el archivo de datos de viento) en el lugar donde se efectuaron las mediciones (Estación Punta Montemar) esto no usa solamente la serie temporal de datos meteorológicos. Además el WAsP9.1 necesita un resumen tabular en termino de frecuencia de la velocidad del viento y dirección del viento. Este resumen tabular está contenido en un archivo de clima de viento observados (archivo OWC o *.tab) organizado por el OWC Wizard. Que en nuestro caso se puede resumir en los histogramas a continuación:

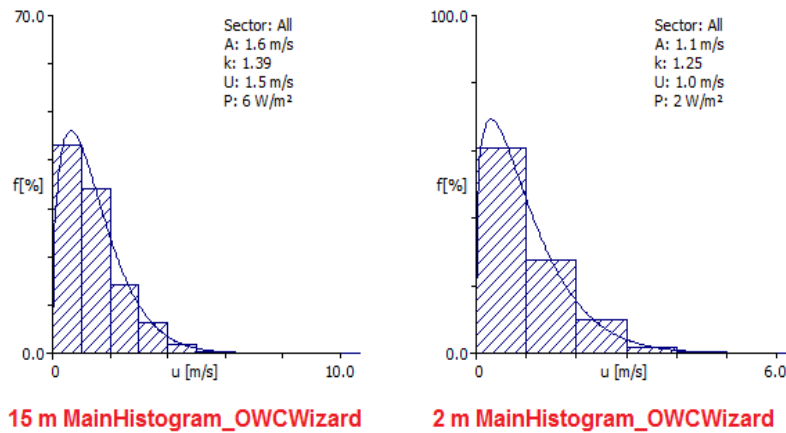


Figura 4.8: Histogramas finales en OWC Wizard (elaboración propia, 2011)

En la figura 5-8 el resumen de los dos vectores (a 15m y 2m de altura) que anteriormente se procesaron.

El OWC Wizard normalmente trata también la dirección del viento, y su frecuencia durante el año; aquí el tema no se trata, porque como ya mencionado antes, elegí para considerar confiables las observaciones medidas en el archivo histórico de Punta Montemar.

4.5. RECONSTRUCCIÓN DEL DATO: TOPOGRAFÍA

Para desarrollar esta etapa del estudio se ocuparon otros programas bien conocidos en el mundo de la ingeniería: el Global Mapper 11 y el sistema informativo ArcGIS 9.3. Ambos buenos para dibujar mapas, georeferenciarlos y, en general, para manejar datos vectoriales, raster y imágenes digitalizadas.

Un relieve topográfico realizado durante el año 2007, y depositado en la Universidad Católica de Valparaíso, representa una primera información sobre la altimetría del campo dunar, que pasa desde los 0msnm en la orilla del mar, hasta picos de 130msnm en las crestas más altas del campo dunar.

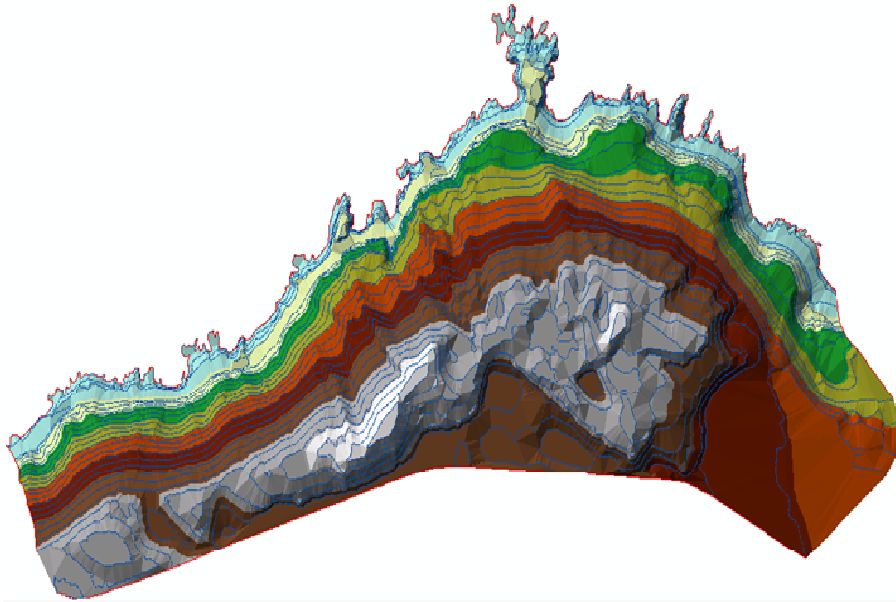


Figura 4.9: Topografía dunar (fuente: Universidad Católica, 2007)

Se adaptó este relieve en función de imágenes satelitales a través de herramientas empleadas por el Global Mapper 11, para obtener finalmente una topografía más precisa y georeferenciada según las coordenadas oficiales 'WGS 1984 UTM Zone 19S' en uso en Chile, que permita también la futura manipulación, con respecto al capítulo sobre la fotointerpretación. Sin embargo esta define el campo dunar ocupando curvas de niveles cada 5 metros de altura; un buen nivel de detalle en la información es un requisito esencial para la simulación del WASP9.1.

A continuación se muestra la altimetría local:

MAP3-Topografía Local, Campo Dunar de Concón, Año 2010

Además la simulación en WasP9.1 necesita que también el territorio alrededor del campo dunar sea caracterizado en altura, hasta una distancia aproximativa de 30km desde el lugar de estudio, para que el modelo y los algoritmos ocupados sean confiables. De hecho, las condiciones más lejanas bajo las cuales se encuentra el régimen de viento (y igualmente se puede decir de la orografía, con respecto a la simulación) representan las condiciones de borde del modelo a escala local, o sea el límite del dominio de aplicación, más allá del cual el detalle resulta insignificante, ya que no tiene importancia para determinar el clima a nivel local.

A continuación se muestra la altimetría del territorio alrededor de Concón:

MAP4-Topografía Regional, Alrededor de Concón, Año 2010

Este mapa representa las curvas de niveles cada 25 metros (precisión suficiente para describir lugares lejanos del área de estudio) que se extrapolaron, a través de triangulación de puntos, desde una imagen satelital de GoogleEarth-Pro, que en sus herramientas dispone también de esta opción.

Finalmente, el MapEditor di WasP9.1 permite organizar y georeferenciar dichas curvas de niveles en un shape-file/layer único de todo el territorio de nuestro interés, en la forma que se presenta aquí a continuación:

MAP5-Topografía Regional Final, Alrededor de Concón, Año 2010

Ese mapa equivale a la orografía sobre la cual se extiende la mayoría de los terrenos que pertenecen a la V Región de Valparaíso, desde el Este (donde se encuentra el conocido Cerro La Campana) hasta el oeste (a la costa del Océano Pacífico), y desde el Sur (donde se ubica el lugar turístico de la Laguna Verde) hacia el Norte (incluyendo otro campo dunar de gran interés científico, lo de Ritoque/Quintero).

4.6. RECONSTRUCCIÓN DEL DATO: RUGOSIDAD

A continuación se describe el parámetro de rugosidad según la filosofía ocupada por la simulación en WasP9.1.

La rugosidad de un terreno: La rugosidad de una superficie en particular se determina por el tamaño y la distribución de los elementos de rugosidad que presenta el territorio, es decir, normalmente la vegetación, las zonas edificadas y generalmente el uso del suelo. En el European Wind Atlas (Troen and Petersen, 1989) los distintos terrenos se dividen en cuatro tipos, cada uno caracterizado por sus elementos de rugosidad. Cada tipo de terreno se puede referir a una específica clase de rugosidad. Aquí abajo se propone una descripción e ilustración de las cuatro clases de rugosidad, además, se describe la relación entre la altura de la rugosidad y su propia clase, siendo el primero la escala de altura de uso común para caracterizar la rugosidad de un terreno(z_0 [m]).

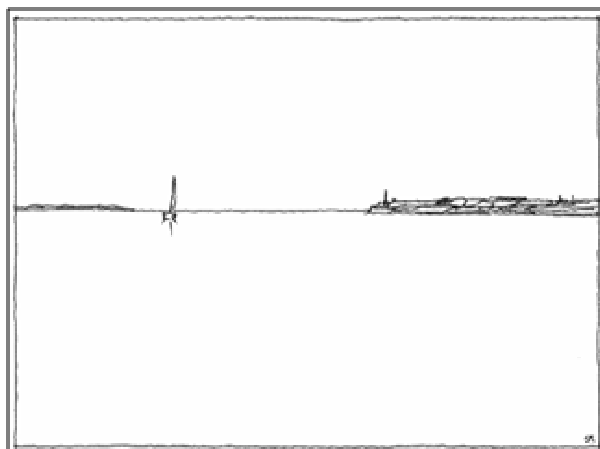


Figura 4.10: Ejemplo rugosidad1 WAsP (WAsP, 2007)

Ejemplo de terreno correspondiente a la clase de rugosidad 0: zonas de agua. Esta categoría comprende el mar, los fiordos y los lagos. El parámetro de rugosidad z_0 es = 0,0001 m. Sin embargo, en el WasP9.1 este parámetro debe ser especificada como 0,0 m.

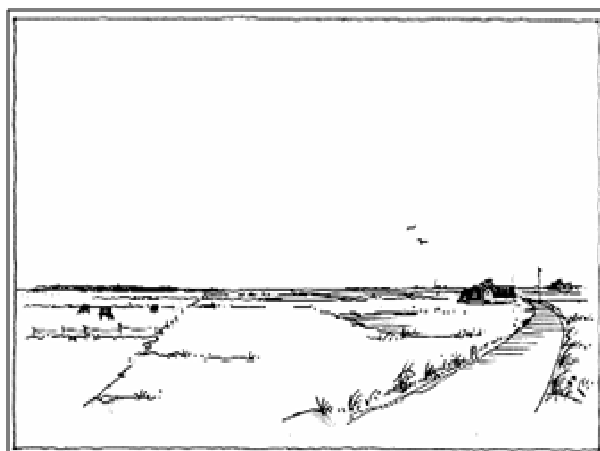


Figura 4.11: Ejemplo rugosidad2 WAsP (WAsP, 2007)

Ejemplo de terreno correspondiente a la clase de rugosidad 1: áreas abiertas con poca cubierta vegetal y/u edificada. El terreno parece ser muy abierto y es plana o suavemente ondulado. Granjas individuales y rodales de árboles y arbustos se pueden encontrar. El parámetro de rugosidad vale $z_0 = 0,03$ m.

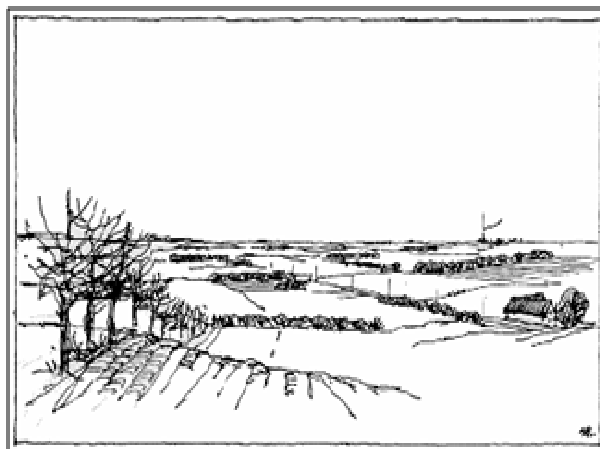


Figura 4.12: Ejemplo rugosidad3 WAsP (WAsP, 2007)

Ejemplo de terreno correspondiente a la clase de rugosidad 2: tierras de cultivo con cubierta vegetal, y algunas áreas dispersas construidas. El terreno se caracteriza por grandes espacios vacíos entre las muchas barreras contra el viento, dando al paisaje un aspecto abierto. El terreno puede ser plano u ondulada. Hay muchos árboles y edificios. El parámetro de rugosidad es $z_0 = 0,10$ m.



Figura 4.13: Ejemplo rugosidad4 WAsP (WAsP, 2007)

Ejemplo de terreno correspondiente a la clase de rugosidad 3: distritos urbanos, bosques y tierras de cultivo con cortavientos muchos. La tierra agrícola se caracteriza por la protección contra el viento. Los bosques y las zonas urbanas también pertenecen a esta clase. El parámetro de rugosidad vale y supera el $z_0 = 0,40$ m.

4.6.1. CARACTERÍSTICAS DE LA RUGOSIDAD EN EL MAPA

Siempre con respecto al WasP9.1, los mapas topográficos a escalas de 1:25.000 o 1:50.000 son los más adecuados para la clasificación de la rugosidad y la preparación de su mapa. En ellos se debe tener mucho cuidado al dibujo y a la digitalización de las líneas de cambio de rugosidad, con el fin de garantizar un mapa de rugosidad uniforme.

En el WasP9.1 algunas de las características del paisaje, particularmente todas las líneas de la costa, representan tanto un contorno de altura, cuanto un cambio de rugosidad. Por lo tanto en el archivo del mapa, son tres los tipos de líneas/información que se pueden encontrar:

1. Se representa únicamente la Línea de elevación, es decir las curvas de niveles, con la altura (z) en metros.
2. Se representa únicamente la Línea de rugosidad, es decir una línea de separación entre áreas con diferente parámetro de rugosidad. Este tipo de línea se describe por dos parámetros: la altura de rugosidad en el lado izquierdo y la altura de rugosidad en el lado derecho de la línea. El parámetro de rugosidad se expresan en metros.
3. Se combinan la rugosidad y las curvas de niveles, es decir líneas que tienen tres parámetros: la altura de rugosidad en el lado izquierdo y la altura de rugosidad en el lado derecho de la línea central, que nos informa sobre la elevación de la misma. Todos estos valores están expresados en metros.

El mapa de rugosidad del estudio dunar cae en el segundo tipo, ya que el relieve está definido en una capa (layer) separada.

Siguiendo la filosofía WAsP, se elaboró un mapa de rugosidad del área de estudio en la zona de las dunas y su alrededor, trabajando como ya se hizo con la topografía, con mayor detalle acercándose al campo dunar; y dejando el meticuloso detalle al salir de eso, hacia el interior, por aproximativamente 30kilometros.

A continuación se presenta la clasificación de rugosidad, respectivamente a nivel regional y local:

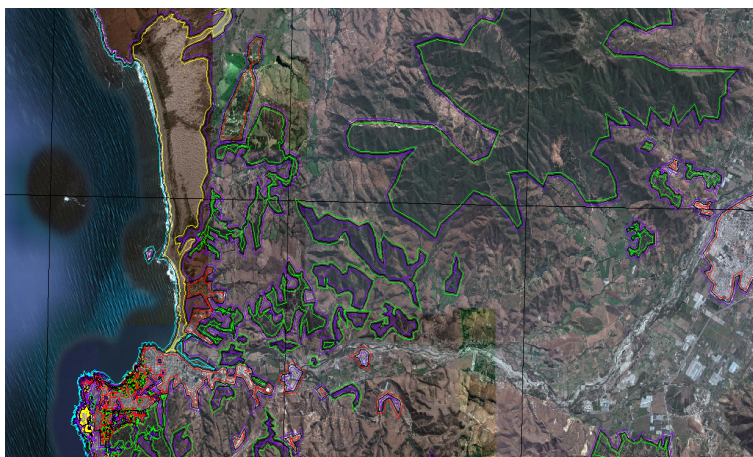


Figura 4.14: Mapa de rugosidad a grande escala de Concón (elaboración propia, 2011)

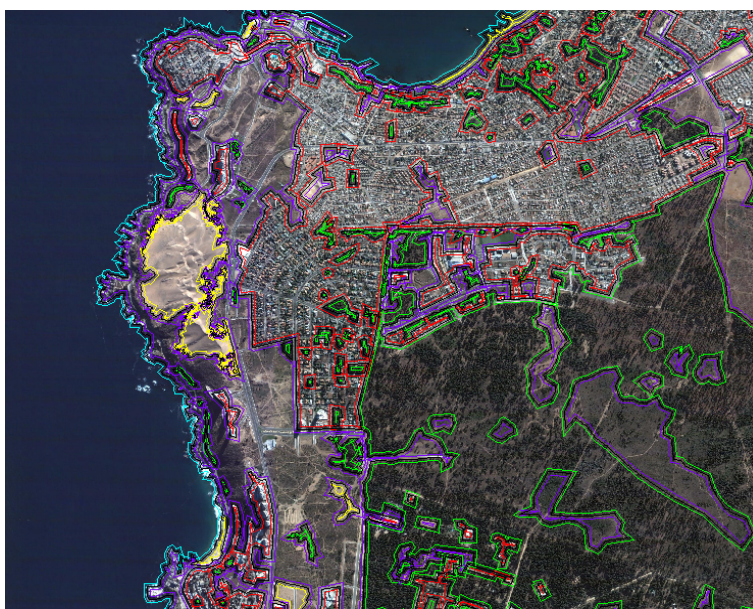


Figura 4.15: Mapa de rugosidad local de Concón (elaboración propia, 2011)

En las figuras arriba se muestran las áreas con diferentes características de rugosidad, las cuales se refieren a cinco familias de rugosidad al suelo, elegidas y resumidas en la Tabla4-4 a continuación:

z0 [m]	Características al suelo
1	ciudad
0.8	bosque
0.03	áreas yermas con pocos edificios y árboles
0.0003	superficie arenosa
0.0001	superficie de agua

Cuadro 4.4: Rugosidad, valores ocupados (elaboración propia, 2011)

Como se puede ver abajo estas familias, con sus propios colores, distinguen diferentes áreas de rugosidad en subconjuntos:



Figura 4.16: Mapa de rugosidad a micro escala de Concón (elaboración propia, 2011)

La figura 4-16 muestra en el detalle como cada línea presenta dos diferentes tipo de color/rugosidad (una interna y una externa), como explicado anteriormente, según el uso y el tipo de suelo que le pertenece.

4.7. LA TRANSFERENCIA ESPACIAL DEL VIENTO, LOS RESULTADOS

El dato vectorial sobre el cual finalmente se actuó la transferencia de los datos de viento desde Punta Montemar hasta el campo dunar de Concón, suma de la rugosidad y de la topografía se muestra a continuación:

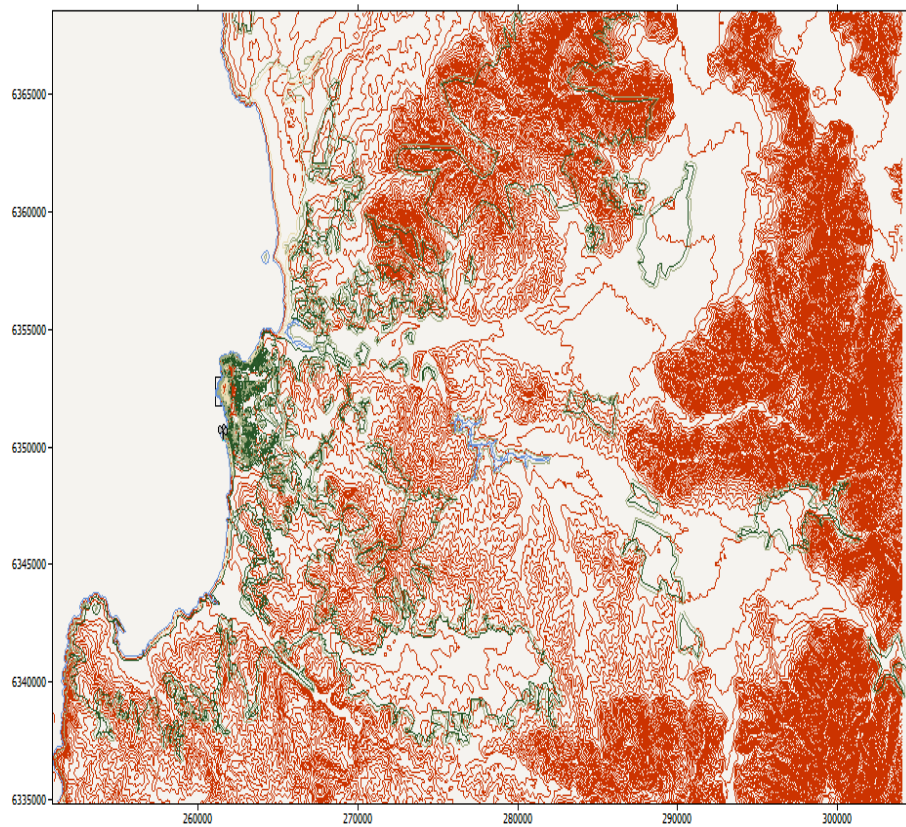


Figura 4.17: Mapa Rugosidad&Relieve a grande escala de Concón (elaboración propia, 2011)

este mapa georeferenciada, de acuerdo con el sistema de coordenadas local, es el producto de los mapas antes presentadas, y incluye la ubicación de la Estación Montemar, tal como el cuadro donde se quiere obtener el valor del viento a los 15 y 2 metros de altura.

De hecho acercándose a la Bahía de Concón se pueden distinguir los dos lugares, la fuente del información y el sitio objetivo del estudio:

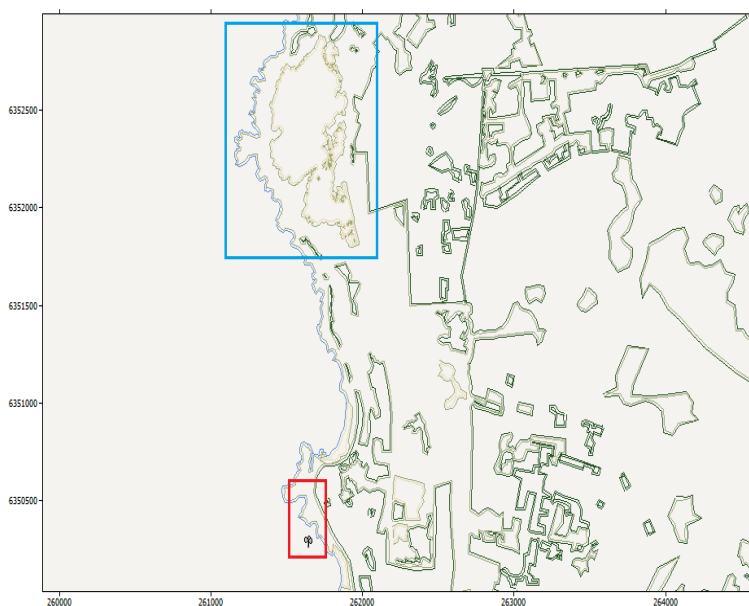


Figura 4.18: Mapa Fuente datos y objetivo de transferencia (elaboración propia, 2011)

En la Figura en azul se coloca el campo dunar de Concón, y en rojo la Punta Montemar, antigua estación meteorológica donde en el pasado se midieron los datos en dirección e intensidad del viento (hace referencia al archivo 1975-2002). La simulación actuada por el WAsP ocupa esta pequeña distancia, teniendo todavía en cuenta todas las características del territorio alrededor.

El cuadro en azul, en Figura, no se ocupa solamente para identificar las dunas, es también el retículo final en el cual será simulado el régimen de viento, y sus vértices tienen coordenadas bien definidas en función de la resolución espacial que se quiere obtener.

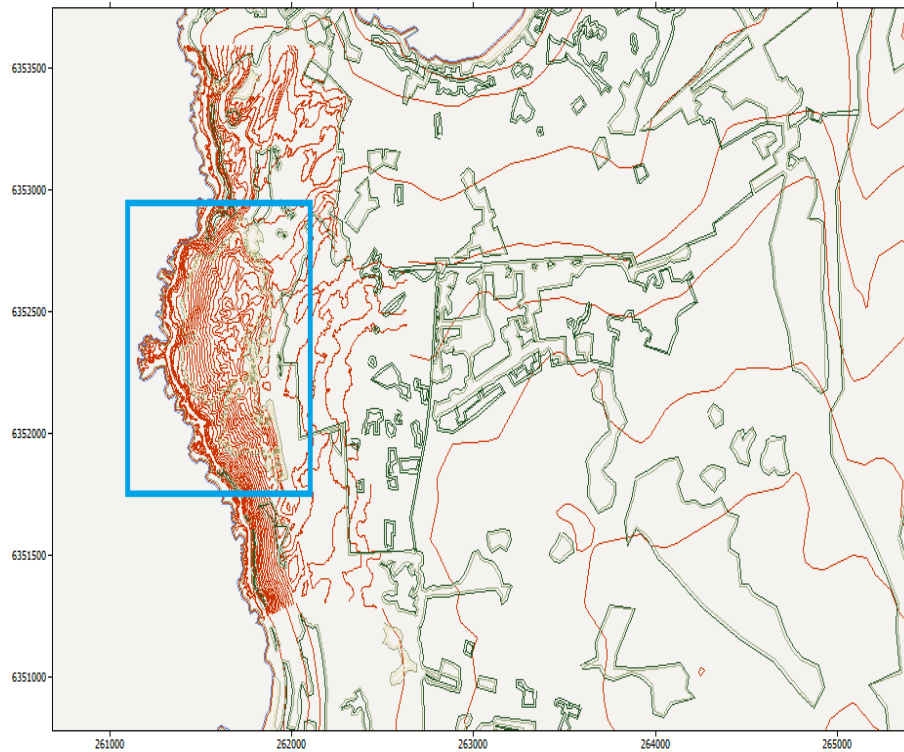


Figura 4.19: Area monitoreo de Viento, Campo dunar de Concón (elaboración propia, 2011)

Eso representa entonces el área de monitoreo dentro de la cual somos capaces de interrogar la fuerza del viento a las dos alturas que nos referimos, calibrando el origen del viento (es decir, su dirección) típica del clima local, para simular también las diferentes estaciones del año.

Lo que hace el WAsP es cargar todas la informaciones presentadas anteriormente. Finalmente elegí investigar un retículo de cuadrícula con lado de 10metros (es la resolución espacial requerida) para una área de monitoreo final de 1.000x1.200m, arriba del campo de dunas.

Aquí sigue un ejemplo de layout típico col cual trabaja el software. En eso se distingue el área bajo de estudio.

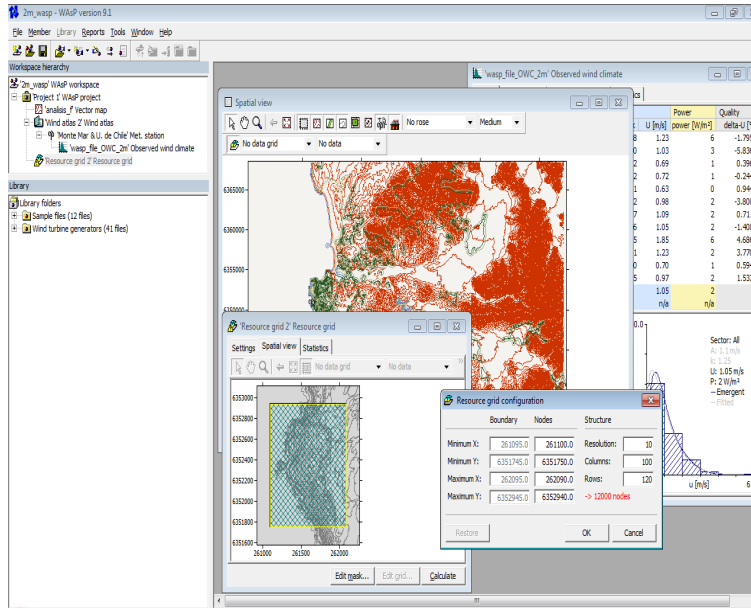


Figura 4.20: Ejemplo Layout de WAsP, Campo Dunar de Concón (elaboración propia, 2011)

En el párrafo a continuación se presentan los resultados primero en forma gráfica, y luego en síntesis (discretización) para simplificar el desarrollo que seguirá.

4.7.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA

Recordando las orientaciones de nuestro interés en el análisis, que se resumen en la siguiente tabla, se efectuaron simulaciones de viento arriba del campo dunar por cada una de estas, adentro del retículo definido.

Sector 1	Sector 2	Sector 3	Dirección del viento más frecuente		
Orientación morfológica	Orientación morfológica	Orientación morfológica	Primavera-Verano	Otoño-Invierno	Anual(todas)
227.74	235.98	214.09	247.50	90	.

Cuadro 4.5: Dirección de Viento por sector (elaboración propia, 2011)

Y por cada sector estamos interesados al valor del viento a las alturas de 15 y 2metros del suelo. Las ilustraciones a continuación se encargan de resumir el resultado.

Intensidad del viento a 15m:

- Termino medio durante todo el año(es decir que se toman en consideración todas las direcciones del viento en sus promedios anuales) **MAP6-Mapa de Vientos a 15m de Altura, Dirección de Viento: 0-360°, Año 2010**
- Dirección del viento: 270°, el viento sopla desde el Oeste **MAP7-Mapa de Vientos a 15m de Altura, Dirección de Viento: 270°, Año 2010**
- Dirección del viento: 247.5° , el viento sopla desde el Sur-Oeste (temporadas primaverales y veraniegas) **MAP8-Mapa de Vientos a 15m de Altura, Dirección de Viento: 247.5°, Primavera-Verano 2010**
- Dirección del viento: 90° , el viento sopla desde el Este (temporadas otoñales e invernales) **MAP9-Mapa de Vientos a 15m de Altura, Dirección de Viento: 90°, Otoño-Invierno 2010**

Intensidad del viento a 2m:

- Termino medio durante todo el año(es decir que se toman en consideración todas las direcciones del viento en sus promedios anuales) **MAP10-Mapa de Vientos a 2m de Altura, Dirección de Viento: 0-360°, Año 2010**
- Dirección del viento: 270°, el viento sopla desde el Oeste[MAP11-Mapa de Vientos a 2m de Altura, Dirección de Viento: 270°, Año 2010]
- Dirección del viento: 247.5° , el viento sopla desde el Sur-Oeste (temporadas primaverales y veraniegas) **MAP12-Mapa de Vientos a 2m de Altura, Dirección de Viento: 247.5°, Primavera-Verano 2010**
- Dirección del viento: 90° , el viento sopla desde el Este (temporadas otoñales e invernales) **MAP13-Mapa de Vientos a 2m de Altura, Dirección de Viento: 90°, Otoño-Invierno 2010**

En el párrafo a continuación los resultados de la simulación, donde se definen los valores de velocidad del viento, extrapolados de los mapas en WASP, por cada sector y altura.

4.7.2. RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Se muestra el valor de la velocidad del viento $U(z)$ en correspondencia de las crestas dunares más altas por cada sector del área de estudio. Son los vientos que caracterizan el campo dunar (32°94' Lat. Sur y los 71°55' Long. Oeste), y más allá la Bahía de Concón, a las alturas de $z=15\text{m}$ y $z=2\text{m}$ del suelo.

Estos se resumen en la siguiente tabla, en función de la orientación de origen de los vientos (sinónimos de las estaciones climáticas del año, en esta región) y

de acuerdo a la morfología dunar (testimonio del efecto del viento que arrastró los sedimentos en el campo, durante su vida).

		Sector 1			
		Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente		
			Primavera-Verano	Otoño-Invierno	Anual(todas)
<i>Dinamica dunaria_Tabla Resultados</i>	Altura Z	227.74	247.50	90	-
U Intensidad de viento [m/s]	U(Z=15m)	5.39	4.90	2.93	3.52
	U(Z=2m)	6.38	5.80	3.63	4.30
		Sector 2			
		Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente		
			Primavera-Verano	Otoño-Invierno	Anual(todas)
<i>Dinamica dunaria_Tabla Resultados</i>	Altura Z	235.98	247.50	90	-
U Intensidad de viento [m/s]	U(Z=15m)	3.85	3.50	3.01	2.70
	U(Z=2m)	4.73	4.30	2.70	3.30
		Sector 3			
		Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente		
			Primavera-Verano	Otoño-Invierno	Anual(todas)
<i>Dinamica dunaria_Tabla Resultados</i>	Altura Z	214.09	247.50	90	-
U Intensidad de viento [m/s]	U(Z=15m)	4.10	3.73	3.90	2.70
	U(Z=2m)	5.06	4.60	3.63	3.30

Cuadro 4.6: Síntesis de Velocidad de Viento por sector dunar (elaboración propia, 2011)

Hay dos aspectos que se pueden pronto deducir observando este resumen de datos, y que vale la pena mencionar:

- En primer lugar, el viento pasando desde la cuota de 15m hasta aquella de 2m sobre el suelo aquí (comparado con su actitud en el sitio de origen de los datos, Punta Montemar) está sometido a una fuerte aceleración, evidentemente debida al perfil altimétrico del terreno dunar de barlovento expuesto a las corrientes oceánicas. Lo que se distingue del comportamiento teórico expuesto más arriba, pero sólo sensiblemente en términos cuantitativos. Sin embargo, esto explica la aparente compactación de los granos en las dunas que especialmente en esta área tienen la tendencia a hospedar el desarrollo de la vegetación, confinándola al pie del declive. En el próximo capítulo vamos a calcular la fuerza de roce capaz de levantar los sedimentos, que se presenta en la capa más superficial (milímetros) del suelo; y siguiendo la teoría logarítmica hasta ahora expuesta, el viento vuelve a disminuir con la altura. Sin embargo es de fundamental importancia señalar que es la forma propia de las dunas, con su geometría y su ubicación (de terraza Colgada) a facilitar el proceso de transporte de sedimentos, actuando sobre el régimen del viento una verdadera aceleración topográfica.
- en última instancia, es bueno observar que -en este punto del análisis- los valores más intensos/altos de velocidad del viento (en términos absolutos) se presentan a lo largo de aquellas direcciones elegidas a-priori de los ejes geométrico por cada sector, y que siguen el comportamiento morfodinámico histórico de las dunas (confirmando la buena interpretación); esto se

traduce como la evidencia de la efectiva migración de las dunas, que al día de hoy siguen activas, aunque, como veremos más adelante, con bajas tasas de transporte .

Se sintetiza en el párrafo siguiente, la cuantificación morfológica de esta actividad, mediante el cálculo de las tasas de transporte, que estos vientos son capaces de producir.

4.8. TRANSPORTE DE ARENA, LOS RESULTADOS

En esta última fase del análisis se evaluaron inicialmente las velocidades de roce por cada sector y según las distintas direcciones del viento. Estas representan la capacidad real de arrastre del viento que influencia la capa infinitesimal superficial que mueve los granos de arena en las crestas dunares. Para su cálculo se utilizó simplemente la ley teórico-experimental Logarítmica ya presentada, introduciendo los parámetros obtenidos por simulación con el WasP9.1:

$$U(z) = \frac{U'}{k} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (4.4)$$

donde U indica la velocidad del viento [m/s], referida a la altura z requerida, y U* la velocidad de roce [m/s], relacionada a la altura de rugosidad z0, que a su vez depende del tipo de terreno; y K es la constante de Von Karman. En nuestro caso el programa evalúa una z0 homogénea del campo dunar igual a 0,0006 m, un poco superior al valor estándar característico del arena (ver Tabla 2-2).

Los umbrales de velocidad del viento que inducen el movimiento de arenas se encuentran en el rango de los 4-5 m/s. Normalmente los movimientos de arena son considerados proporcionales al cubo de la velocidad del viento, en este estudio la gran mayoría de los granos son de tamaño fino (mediana del orden de 0,12 mm, según un estudio de Paskoff, 1997) y su clasificación es muy buena (s0 próximo a 1,1), lo que viene a confirmar el origen eólico de las arenas.

Entonces, una vez obtenidos los valores de velocidad de roce U* para determinar las tasas de transporte Q que afectan las dunas se aplicó la ecuación de transporte de Bagnold (1941):

$$Q = C \left(\frac{d}{D} \right) \frac{1}{2} U \frac{3\rho}{g} \quad (4.5)$$

donde: Q es la tasa de transporte en kg/m/s; C es un coeficiente de valor 1.8; d es el diámetro de grano; D es un diámetro de grano de tamaño estándar (=0.025 cm); U* es la velocidad de roce (m/s); ρ es la densidad del aire (=1.22 kg/m³) y g es la fuerza de gravedad (=9.81 m/s²). Para aplicar la ecuación de Bagnold (1941) indicada, se reemplazaron las variables d y U* para los valores de tamaño medio del sedimento en la duna e intensidad del viento para distintos umbrales, manteniendo todas las otras variables constantes. De esta forma los valores correspondieron a: d = 0,12 mm y U* = 0 a 8 m/s.

Con estos se obtuvo que el transporte de las arenas (Q) se incrementa cuando el viento a su vez aumenta la intensidad de acuerdo a los valores indicados en la Tabla 4-7. El límite considerado para el viento con eficacia geomorfológica está convenido a partir de los 4 m/s por lo cual para el área del Proyecto, se espera una tasa de transporte con esta intensidad de $Q=9,93$ kg/m/s. Esto último, es válido si el tamaño medio de las arenas se mantiene constante, un aumento de este induce menores tasas de transporte ya que se requieren intensidades de viento superiores para transportar la misma masa.

Viento (m/s)	Q (kg/m/s)
0	0.00
1	0.16
2	1.24
3	4.19
4	9.93
5	19.39
6	33.50
7	53.20
8	79.41

Cuadro 4.7: Tasa de transporte para arenas eólicas en las crestas dunares (elaboración propia, 2011)

Para los datos obtenidos con el WasP9.1, se obtuvieron las tasas de transporte Q igual a 1,39 y 3,08 kg/m/s para vientos respectivamente de 2,08 y 2,71 m/s que fueron los promedios de las intensidades del viento anual obtenidas para las crestas de los sectores dunares elegidos. De acuerdo con esto, el transporte de las arenas en el campo dunar resultó bajo, para vientos de calma con intensidades promedio de aproximadamente 2,5 a 3,5 m/s encontradas durante la simulación.

Todavía para vientos con velocidades mayores, en la dirección natural de la morfología dunar, las tasas de transporte sin aumentar mucho llegan hasta 7,55 kg/m/s, por un viento de roce de 3,65 m/s, como pasa en el sector 1. A continuación una síntesis de las elaboraciones:

		Sector 1			
		Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente		
			Primavera-Verano	Otoño-Invierno	Anual(todas)
<i>Dinámica dunaria_Tabla Resultados</i>	Altura Z	227.74	247.50	90	-
U Intensidad de viento [m/s]	U(Z=15m)	5.39	4.90	2.93	3.52
	U(Z=2m)	6.38	5.80	3.63	4.30
U*=velocidad de roce al suelo [m/s]	U*	4.02	3.65	2.29	2.71
Q Tasa de transporte [Kg/m/s]	Q	10.05	7.55	1.85	3.08
		Sector 2			
		Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente		
			Primavera-Verano	Otoño-Invierno	Anual(todas)
<i>Dinámica dunaria_Tabla Resultados</i>	Altura Z	235.98	247.50	90	-
U Intensidad de viento [m/s]	U(Z=15m)	3.85	3.50	3.01	2.70
	U(Z=2m)	4.73	4.30	2.70	3.30
U*=velocidad de roce al suelo [m/s]	U*	2.98	2.71	1.70	2.08
Q Tasa de transporte [Kg/m/s]	Q	4.09	3.08	0.76	1.39
		Sector 3			
		Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente		
			Primavera-Verano	Otoño-Invierno	Anual(todas)
<i>Dinámica dunaria_Tabla Resultados</i>	Altura Z	214.09	247.50	90	-
U Intensidad de viento [m/s]	U(Z=15m)	4.10	3.73	3.90	2.70
	U(Z=2m)	5.06	4.60	3.63	3.30
U*=velocidad de roce al suelo [m/s]	U*	3.19	2.90	2.29	2.08
Q Tasa de transporte [Kg/m/s]	Q	5.01	3.77	1.85	1.39

Cuadro 4.8: Síntesis de la Tasa de transporte por sector dunar (elaboración propia, 2011)

Esto sucede porque la tasa de transporte debe interpretarse para las condiciones imperantes durante la simulación anual, es decir vientos de calmas u en general de no mucha intensidad y válida para los sectores dunares elegidos y para las hipótesis hechas en la determinación de los parámetros del estudio. No obstante se consideró el factor topográfico, que induce velocidades mayores del flujo debido a la rugosidad y a la irregularidad de la topografía, por lo cual fue importante recalcar la dinámica eólica en la altura de las dunas.

4.8.1. CONSIDERACIONES POSTERIORES

El capítulo siguiente desea validar la magnitud de estas tasas de transporte a través de reconocimiento aerofotométrico, para identificar aquella porción del campo dunar sometida en su historia a una migración de sedimentos, a partir de 5 imágenes satelitales, que se refieren al periodo de los años 1980-2010, obtenidas del SAF, Servicio Aerofotométrico de la Fuerza Aérea de Chile, y del IGM, Instituto Geográfico Militar, (Santiago, 2011). Posteriormente se analizan las interacciones que afectan el régimen de vientos locales con la presencia de obstáculos antropológicos, y consecuentemente el transporte eólico afectado, del campo dunar mismo, a través de nuevas tasas de transporte.

Capítulo 5

FOTOINTERPRETACIÓN

5.1. INTRODUCCION

Según la metodología a menudo utilizada por la Revista de Geografía Norte Grande, se quiere en este capítulo definir y cuantificar la evolución dinámica del campo dunar en el área de estudio (32°94' Lat. Sur y los 71°55' Long. Oeste) a través de fotointerpretación de 5 imágenes aéreas y satelital, tomadas por los vuelos de SAF-FONDEC durante los últimos 30 años. De hecho en pasado el las dunas de Concón ocupaban una superficie de terreno mucho más extensa, empezando en frente el balneario de Cochoa, y alcanzando la punta extrema norte de Punta Concón.

5.2. IMÁGENES AÉREAS

Para delimitar el área de estudio se utilizaron las 5 imágenes aéreas y satelitales que se muestran a continuación; estas tienen buena resolución, y fueron conseguidas por el Servicio Aerofotogramétrico Fuerza Aerea de Chila, SAF, Santiago 2011:

año 1980(CH-30,escala 1:30000 año 1980 b/n N^o.19457)
año 1982(Vuelo CH-60,escala 1:60000 año 1982 b/n N^o.17583)
año 1994(Vuelo Fondef,escala 1:20000 año 1994 b/n N^o.24874)
año 1996(Vuelo Geotec,escala 1:70000 año 1996 b/n N^o.2220)
año 2005(Vuelo Fondef, escala 1:20000 año 2005 clrs N^o.36166)
año 2010(Imagen Landsat 7, escala 1:15000 año 2010)

5.3. CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS DUNAS

La caracterización de la morfología de las dunas se realizó en base a la clasificación presentada en el trabajo de Paskoff y Manríquez (2004).

Morfología de la duna	Elementos característicos
Paleoduna	Dunas de antigua formación donde actualmente se evidencia formación de suelo.
Duna transversal	Formación bien definida que se dispone perpendicularmente a la dirección de los vientos.
Duna paralela	Unidad morfológica bien definida paralela a la orilla del mar. Su asociación con la playa de produce por efecto de los intercambios sedimentarios del mar y el viento.
Duna no definida	Unidad morfológica estabilizada con densas plantaciones de especies exóticas que no permiten efectuar una correcta caracterización de su forma.
Duna longitudinal	Cordones paralelos, alargados en el sentido de los vientos dominantes sobre una distancia de varios centenares de metros, separados por corredores de pocos metros de profundidad.
Duna bordera (conjunto de formas: barjan blowots transversal y longitudinal)	Unidad morfológica en formación; caracterizada por presentar montículos aislados, bajos y pequeños a menudo con escasa a nula presencia de vegetación de tipo herbácea o formas básicas transversal o longitudinal apenas definidas.
Depresión húmeda	Espacio de topografía baja donde la napa freática está cercana o aflora a la superficie en periodo de invierno (estacional) permitiendo la presencia de áreas húmedas.
Cuerpo de agua	Espacio de topografía baja donde la napa freática está cercana permitiendo la presencia de áreas húmedas durante gran parte del año.
Corredor de deflación	Área de transporte libre de partículas finas de arena, que separa los montículos de arenas y donde no existe barrera vegetal.

Figura 5.1: Modificado de Paskoff y Manríquez, 2004 (citado en la Revista de Geografía Norte Grande, 2008)

Siendo el área de estudio de pequeño tamaño, se preferí investigar tres sectores distintos, elegidos en función de la orientación morfológico dunar mas frecuente, y en base a los distintos tipos de geometría adoptada por ellas. Como se muestra en el mapa 23.

Al día de hoy la morfología más frecuente del sistema dunario es el tipo de duna transversal y barjan. Las dunas longitudinales fueron las formaciones menos frecuentes; esas dunas, que antes alcanzaban el área norte de Punta Concón juntándose allí nuevamente con la orilla del mar, empezaron a desaparecer después del 1994, por directa intervención antrópica.

Sus arenas presentan un débil grado de alteración que se traduce en una ligera rubefacción y el suelo que las cubre es de tipo incipiente.

Se usó como base la interpretación de fotografías aéreas, y el reconocimiento de aquellas líneas de cresta dunaria que perduraron en el tiempo. Esto permitió

definir la magnitud del avance promedio anual, que describe la dinámica dunaria para los años en evaluación. La observación de la forma de las dunas, su digitalización y el manejo de base de datos se efectuaron con el programa Arc Gis 9.3. Así como la edición de los mapas ocupados en este capítulo.

MAP23-Morfología Dunar, año 2010

5.4. GRADO DE ESTABILIZACIÓN DE LAS DUNAS

El grado de estabilización de las dunas se evaluó mediante la cuantificación de la cobertura vegetal (herbácea, arbustiva y arbórea), en base a la fotointerpretación previamente realizada para el año más recién, es decir el 2010.

Se definieron por simplicidad solamente dos diferentes tipos de dunas, siendo el campo dunar bajo estudio, de pequeño tamaño: las dunas activas, y las dunas estabilizadas. El análisis se efectuó identificando además la morfología dunaria asociada.

En este caso se definen activas aquellas dunas que presentan una cobertura vegetal, igual u inferior al 20 % de la superficie total ocupada por el campo dunar, y por contra parte estabilizadas aquellas que están ocupadas por un porcentaje de vegetación superior al 20 % del área. De hecho en Concón las dunas resultan o totalmente sin vegetación (a parte de pequeña manchas aisladas), o totalmente afectadas por un 49.9 % de cobertura vegetal.

[MAP24-Cobertura Vegetal, año 2010]

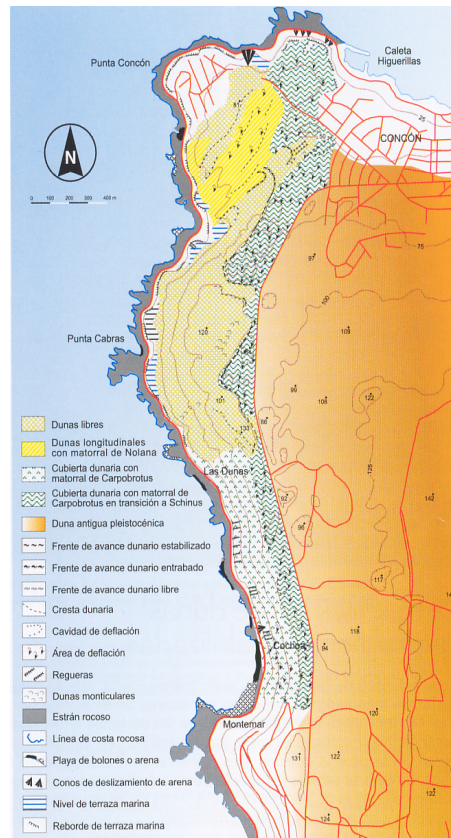


Figura 5.2: Mapa geomorfológico de las dunas colgadas de Concón (Castro & Andrade, 1990, modificado, citado in S. Elórtegui, 2005)

Fácilmente en el mapa 24, se reconocen que las dunas activas ocupan, en general, sólo un lugar central al campo dunar, con una superficie de pocos metros cuadrados (250261 m²) en comparación con la que ocupa la vegetación en su alrededor, de (249544 m²); es decir, que el área activa del campo dunar está totalmente confinada, en los cuatros lados cardinales por la vegetación, que como se mostrará más abajo, año por año sigue robando superficie a las arenas, expandiéndose y acentrandose más. Por su parte, el asentamiento de la vegetación depende de su posición con respecto a áreas con mayor exposición a la acción de los factores físicos y biológicos; que en general se concentran más en la parte oeste del campo dunar, frente al océano.

5.5. PAISAJE DUNAR Y SU ALREDEDOR

Paisaje muy antiguo: corresponde a la parte oriental del sector y está constituido por una plataforma regular, cuyo substrato se compone de arenas de

aspersión eólica, sin mostrar formas dunares nítidas. Se trata de un paisaje estabilizado que presenta suelos relativamente evolucionados, y ocupado fuertemente por la expansión vegetal, como antrópica desde el lado oriental donde pasa la carretera que junta Concón a Reñaca. El sector se ocupa también por jepeo y otras actividades recreativas.

Paisaje antiguo: eso forma un cinturón costero al oeste del anterior y se extiende hasta el litoral rocoso con un ancho medio ligeramente inferior a 1km; está constituido por dunas antiguas, cuyo suave modelado indica que están enmascaradas, es decir, camufladas por la erosión posterior a su modelado original, y finalmente ocultadas por macizos complejos inmobiliarios, sobretodo en la parte frente al balneario de Cochoa, justo arriba de Punta Montemar. Se trata en general de formas también estabilizadas con vegetación. Por el grado de alteración de sus arenas y la existencia de suelos sustentando una vegetación densa, deben correlacionarse con las dunas de la generación antigua reconocidas por Araya (1987 b, cited in José F. Araya V. 1997) para el litoral de Chile Central. El paisaje antiguo tiene dos manifestaciones principales: las dunas del acantilado y las de la plataforma alta. El paisaje dunar más frágil es el del acantilado y del borde de la plataforma, debido a las fuertes pendientes de esta sección (entre Cochoa y Roca Oceánica, por ejemplo), que fácilmente superan los 30°; en este sector de hecho es donde se resentió más el efecto de aceleración topográfica; algunas reactivaciones interrumpen la continuidad de este paisaje en el borde de la plataforma y en el acantilado mismo, frente a Cochoa, proporcionando indicaciones de desequilibrio. Las dunas de la plataforma se extienden desde la cima del acantilado hacia el este. El camino por el alto principal, entre Reñaca y Concón, va siempre sobre ellas; por su posición en terreno llano, no son tan frágiles como las del acantilado, pero presentan núcleos de desestabilización por acción antrópica.

Paisaje moderno: este paisaje está caracterizado por dunas activas modernas formadas a expensas de arenas provenientes de la reactivación de las dunas antiguas. No son simples dunas reactivadas, ya que se trata de categorías distintas a las de las dunas antiguas y en la historia del campo dunar se identificaron esencialmente dos familias: el macizo de dunas mixtas (de tipo transversal y barjan), y compactas que se encuentran frente a la Roca Oceánica, básicamente el cuerpo principal bajo estudio; y los lineamientos de dunas longitudinales, que hasta el año 1994 se extendían hacia el norte, es decir Punta Concón. Debido a su macizez, las dunas mixtas presentan actividad interna, que pero casi no se transmiten externamente; así que los paisajes circundantes no son afectados dinámicamente por ellas. En cambio, las dunas longitudinales acusaron evidente actividad de transgresión de arena en dirección SW-NE; que se puede encontrar visionando los mapas 30, 31, y 32.

5.6. DINÁMICA DE LAS DUNAS ENTRE LOS AÑOS 1980 Y 2010

Para el análisis de la dinámica de las dunas, se marcaron aquellas crestas altas que dominan cada sector considerado. Elaboradas en base a fotointerpretación, se compara la variación de ubicación espacial entre el año anterior y el siguiente, definiendo la variación total y el avance de cambio promedio anual.

5.7. RESULTADOS

A partir de la fotointerpretación y análisis cartográfico se identificaron 3 sectores de dunas en el Borde Costero de Concón, Región de Valparaíso. Por cada uno se cuantificó el avance dunar promedio anual, definido en metros por año (m/año).

Este valor nos informa sobre el efectiva actividad dunar del campo:

MAP25-Avance Dunar, 1980

MAP26-Avance Dunar, 1982

MAP27-Avance Dunar, 1994

MAP28-Avance Dunar, 2010

Considerando la singular condición de dunas colgadas, y sin posibilidad de alimentación desde una playa, en los mapas el campo dunar resulta muy activo durante la década de los años '80, con una migración promedia anual de 6, 7.5, y 9.5 m/año de sus crestas; que pasan disminuyendo a los valores muchos más bajos de aproximativamente 0.5-1.1 m/año, que caracterizan el débil estado dinámico del día de hoy.

Además esta tendencia confirma los bajos valores de tasas de transporte, anteriormente encontrados; por lo cuales se puede suponer que si bien el campo dunar siga activo en su interior, no tiene un evidente potencial de movimiento que pueda interesar el área externa a eso.

MAP29-Avance Dunar, entre 1980-2010

En su historia el campo dunar subió una notable desaceleración en su avance, definiendo la transición de las dunas, desde activas hasta débilmente activas, si no ya estabilizadas en sus complejo. El avance dunar de los últimos 30años se puede resumir en el mapa 29; donde se muestran tasas de avance de respectivamente 1.74-1.89, 1.98, y 1.34-1.82 m/año, por el sector 1 (Sur), sector 2, y el sector 3 (Norte).

Esta tendencia se explica a través los factores principales que a menudo influyen sobre la dinámica dunar: el régimen de viento local, la disponibilidad de alimentación de arena por una playa, la vegetación, y la intervención antrópica. Sin duda alguna esta última es la que afectó más el campo dunar en su

historia, sobretudo, porque sus consecuencias son inmediatas, y caracterizadas por elevadas magnitudes. Mientras que la vegetación también tiene un papel importante en la estabilización de dunas libres, la misma desaceleración que interesó el campo dunar en su dinámica fue más probablemente el conjunto de un inexistente tanque de arena en grado de alimentarla y un clima que sólo ocasionalmente es capaz de activar el proceso de transporte de sedimentos manteniéndolo constante.

Por otra parte la importancia de la vegetación para la estabilización de las dunas se fundamenta en la modificación misma de la velocidad del viento junto al suelo, de modo que se reduce la tensión sobre los sedimentos, frenando la arena que es transportada por el viento desde la playa (Castro, 1985; Hesp, 1991; Arkadiusz, 2005), de esta forma contribuye a la morfología de las dunas y por tanto, a la dinámica del paisaje costero (Baas, 2002).

Además es muy interesante observar las variaciones de la superficie ocupada por las dunas, entre los últimos 30 años.

5.8. DINÁMICA DE LA SUPERFICIE DUNAR ENTRE LOS AÑOS 1980 Y 2010

En 30 años las dunas del Borde Costero de Concón disminuyeron en 191182 m², desde los 563372 m² del año 1980 a los 372190 m² del año 2010, con una tasa de cambio promedio anual del 1.13 % y una pérdida equivalente al 33.9 % del área total considerada.

MAP35-Área Campo Dunar, entre 1980-2010

Si bien gran parte de los años las dunas perdieron su superficie, las variaciones más importantes se observaron a partir del año 1994, por efecto de la presión inmobiliaria en el área norte de Punta Concón, y por la tendencia a la expansión urbanística sobre el borde costero.

MAP30-Área Campo Dunar, año 1980

MAP31-Área Campo Dunar, año 1982

MAP32-Área Campo Dunar, año 1994

MAP33-Área Campo Dunar, año 2005

MAP34-Área Campo Dunar, año 2010

5.9. DISCUSIÓN

Si bien Paskoff (1999) señala que un rasgo morfológico notable de las costas de Chile Centro-Norte y Centro-Sur está dado por la existencia de una terraza marina de baja altitud de edad holocénica, la cual proporciona el espacio topográfico plano favorable para la extensión de dunas activas; siempre de acuerdo a Paskoff y Manríquez (2004), las dunas colgadas de Concón aparecen en su

mayor extensión como dunas estabilizadas, cubiertas por vegetación, cuyo modelado original ha sido en el curso del tiempo suavemente borrado. Al día de hoy en la proximidad de la cima del acantilado que domina el mar, la vegetación corresponde a un matorral bajo y abierto mientras que, hacia el interior, ella se identifica con un tapiz discontinuo de gramíneas cuya degradación, de origen antrópico (senderos de peatones, huellas de vehículos todo terreno, canteras), origina núcleos localizados de desestabilización.

Si bien estas clasificaciones permiten entender ciertos procesos, muchas veces las interacciones morfodinámicas en sistemas dunarios no quedan adecuadamente entendidas, debido a que el relieve confuso de muchas dunas costeras desafía una simple descripción (Carter et al., 1990; Paskóf y Manríquez, 2004, citado en Revista de Geografía Norte Grande, 2008).

Las dunas costeras de Concón en la V Región de Valparaíso se distribuyen sobre una terraza, que en los años anteriores las ayudó en su expansión, tal como en los tiempos más recientes, las estabilizó privándolas de una playa en grado de alimentarlas. La clasificación de las dunas de acuerdo a su nivel de cobertura vegetal mostró la predominancia de dunas débilmente y localmente activas; sin embargo, en la década de los '80s se advirtió la tendencia a la estabilización de bien 49.9% de su área original, con especies vegetales; y a una pérdida de superficie arenosa de 39.9% a partir del año 1994, por intervención antrópica directa, hasta llegar alcanzar los 372190 m² del área dunar en el 2010.

Capítulo 6

ANÁLISIS II

6.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se considera la posible presencia de obstáculos de grande tamaño en el campo dunar. De hecho esto fue sometido, en los últimos años a una fuerte presión inmobiliaria, como así denuncian los periódicos locales. Además es de dominio público la pertenencia de estos terrenos por algunas empresas constructoras locales, que ya en el pasado, aprovecharon del territorio alrededor del área de estudio. Al día de hoy el interés inmobiliario, por el borde costero, tal como las dunas de Concón, no se acaba, y sin embargo aumenta su presión en función del actual crecimiento económico y turístico. La Comuna de Concón mira hoy con preocupación al campo dunar, que también hospeda en su hectáreas un Santuario Natural, cuya biodiversidad es una de las expresiones ecológicas más ricas de esta región. Como argumenta un reciente artículo del Mercurio de Valpo:

"La Municipalidad de Concón...manifestó que, aunque no existe un proyecto ingresado y hasta el momento "hay sólo una idea", hay preocupación puesto que continúa haciendo uso de una zona importante del sector. "Lo que pasa es que eso está en la duna grande, que no es lo que quisiéramos", reconoció, y agregó que "las dunas son parte del patrimonio de los concóninos" (extracto del artículo 'Parten trámites para construcción de 20 edificios en las dunas de Concón', publicado por Pablo Ramos, de la revista MercurioValpo, 08/01/2011).



Figura 6.1: Dunas de Concón y desarrollo Inmobiliario (fuente propia, 2011)

Otros periodicos comentan:

"Entre 1 a 25 millones de años de existencia presentan las conocidas Dunas de Reñaca y Concón, las cuales fueron formadas por el arrastre natural de las arenas de una playa que se encontraba a sus pies, debido al nivel inferior que presentaba el mar en dicha época. Curiosamente fueron vientos -distintos a los de hoy- los que las dejaron posadas sobre rocas originadas en el Período Jurásico y donde hasta la fecha han ido sufriendo el roce del tiempo. Podríamos llamarle, entonces, fósil urbano, ya que "participaron en su formación factores climáticos, petrográficos, hidrográficos, topográficos, oceánicos y fitogeográficos, que son irreproducibles hoy en día".

Por otro lado, la presencia de este bien natural ha generado no sólo un interesante atractivo turístico, sino un hábitat de "diversos ecosistemas que presentan un elevado porcentaje de endemismo (especies propias y exclusivas de una localidad) y variedad de fauna y flora; existiendo al menos 200 especies de fauna, de las cuales se han catalogado 54 aves, 10 reptiles, 16 mamíferos y 4 anfibios. Del mismo modo existe un sinnúmero de comunidades vegetacionales, de las cuales se han catalogado 126 especies de flora, con curiosidades tales como el mangüey y la puya; el tahay y el huilli, pequeñas plantas nativas casi extintas con flores azul-violáceas".



Figura 6.2: Presión inmobiliaria, Concón (fuente propia, 2011)

Por tales características se determinó su declaración como Santuario de la Naturaleza que, en agosto de 1993, según el decreto supremo n° 481/93, correspondía a una superficie aproximada de 45 hectáreas. Luego, en marzo de 1994, según el decreto supremo n° 106/94, lamentablemente quedó reducida a 12 hectáreas y con la mitad de su superficie fuera del perímetro original definido por los especialistas como territorio mínimo para mantener el ecosistema.

Curiosamente el roce del tiempo en millones de años no le ha significado el daño que le ha causado la última década, ya que hemos sido testigos del cambio como fósil urbano a un murallón de hormigón armado conformado por más de 15 torres, las cuales se han encargado de cambiar la flora y fauna por miles de habitantes, cientos de autos, señaléticas de tránsito, locomoción colectiva, basureros, rejas y áreas de estacionamientos entre otros componentes.

Si transitamos por el espacio que ofrece esta nueva ampliación urbana, podemos ver -entre edificios y con dificultad a través de los elementos anteriormente mencionados-, la atractiva puesta de sol, o bien podemos seguir caminando y ascender al sector sin edificaciones para contemplarla en plenitud, donde se nos presenta un especial cuidado constituido por una serie de neumáticos agrupados como un intento de muro de contención, más una deteriorada barrera que ambiciona anunciar el espacio que le corresponde al flujo vial y el que le corresponde a este emblemático bien natural.

Podemos deducir, entonces, que los usuarios de este lugar de recreación, sobre todo los niños, deben “deslizarse” con el cuidado necesario para no recorrerla en su totalidad, de lo contrario, terminarán en la mitad de la calle. Sin un recuerdo o dato del pasado, se nos presenta la duda si la calle fue hecha sobre el Santuario de la

Naturaleza, o este, debido a un descuido, ha comenzado a invadir los espacios públicos.



Figura 6.3: Entre los edificios de Concón (fuente propia, 2011)

En definitiva, la situación actual de “Las Dunas” se presenta como un bien natural, protegido y privilegiado después de un gran esfuerzo como Santuario de la Naturaleza, pero contradictoriamente dejado de lado en su interés y cuidado. Por otra parte, vemos como lentamente comienza a desaparecer, transformándose en una potencial área de proyectos inmobiliarios que, en suma, se transforman en una barrera que impide la privilegiada vista al borde costero, el mar, el reventar de las olas en las rocas, el horizonte y la puesta de sol. Lo más probable es que el cuidado de tal bien natural, a largo plazo, podría generar más beneficios de los que entrega la venta rápida de tal seccional, pero como los que deciden no estarán en dicho momento para tales efectos, da lo mismo.” (extracto del artículo de la revista tell, ‘¿Santuario de la Naturaleza o área de crecimiento urbano?’)

El desarrollo de esta tesis deja por el momento el relevante desafío ecológico del campo dunar con respecto a dicha presión, para enfocarse en la evaluación y cuantificación de los aspectos morfodinámicos del campo dunar, afectados por la presencia de cualquier proyecto, y más en general por la presencia de obstáculos encima del campo dunar. Para bien simular esta situación se toman como ejemplo los edificios que durante el año 2007 formaban parte de un complejo inmobiliario, proyecto depositado en la Dirección de Obras de la Municipalidad de Concón, que ocupaba el área bajo el estudio y que aun no se desarrolló.

Se desea recordar que la finalidad del presente desarrollo es exquisitamente de forma científica; y que los datos para efectuar este estudio provienen en su mayoría de revisión bibliográfica, además de observaciones realizadas en terreno y análisis de la información recabada.

6.2. RÉGIMEN EÓLICO AFECTADO POR LA CONSTRUCCIÓN: RESULTADOS

Se insertan ahora determinados obstáculos, en la simulación del WasP9.1, por los vientos de 2m de altura; dichos edificios son parte de un proyecto inmobiliario, que nos permite de evaluar y cuantificar los cambios que estos aportan al régimen de vientos. Se consideran representativas solamente las direcciones de viento de 90°, 247.5° y 270°, representantes respectivamente la Temporada Otoño-Invierno, aquella Primavera-Verano y el ángulo de ataque del océano a la costa (es decir considerar el viento perpendicular al borde costero, que llega del Pacífico/Oeste).

Por cada dirección de viento, se inserta inicialmente un sólo obstáculo, como se muestra a continuación:

MAP14-Mapa de Vientos a 2m de Altura con 1 Obstáculo, Dir. de Viento: 90°, Otoño-Invierno 2010

MAP15-Mapa de Vientos a 2m de Altura con 1 Obstáculo, Dir. de Viento: 247.5°, Primavera-Verano 2010

MAP16-Mapa de Vientos a 2m de Altura con 1 Obstáculo, Dir. de Viento: 270°, Año 2010

luego 3 obstáculos, elegidos arbitrariamente en función de sus ubicación a barlovento; mapa de vientos a continuación:

MAP17-Mapa de Vientos a 2m de Altura con 3 Obstáculos, Dir. de Viento: 90°, Otoño-Invierno 2010

MAP18-Mapa de Vientos a 2m de Altura con 3 Obstáculos, Dir. de Viento: 247.5°, Primavera-Verano 2010

MAP19-Mapa de Vientos a 2m de Altura con 3 Obstáculos, Dir. de Viento: 270°, Año 2010

y finalmente en los mapas a seguir, el régimen de los vientos afectando por la totalidad del complejo inmobiliario, del año 2007, y que al día de sigue amenazando el campo dunar y a los conconinos:

MAP20-Mapa de Vientos a 2m de Altura con Proyecto Inmobiliario, Dir. V.: 90°, Otoño-Invierno 2010

MAP21-Mapa de Vientos a 2m de Altura con Proyecto Inmobiliario, Dir. V.: 247.5°, Primavera-Verano 2010

MAP22-Mapa de Vientos a 2m de Altura con Proyecto Inmobiliario, Dir. V.: 270°, Año 2010

Esta acción invasiva del proyecto en el área de estudio, causa notables modificaciones en el orden eólico y morfodinámico dunar. Una vez más, es la maciza acción del hombre la que influencia directamente el débil equilibrio de ciertos ecosistemas naturales, únicos, como en este caso.

Resumiendo, aquí expongo continuación en la tabla, las observaciones presentes en los mapas de viento, notándose que la intensidad de viento alcanza el valor cero, detrás de los edificios (obstáculos cuya porosidad es nula, y de hecho actúan como barreras), y que también en correspondencia de las crestas más elevadas resulta alejarse claramente del valor anterior:

			Sector 1		
			Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente	
				Primavera-Verano	Otoño-Invierno
<i>Dinamica dunaria_Tabla Resultados</i>	Numero obstaculos	U[m/s]; Q[Kg/m/s]	227.74	247.50	90
Intensidad de viento afectada por obstaculos urbanos	1	U(Z=2m)	6.38	5.80	3.60
		U*	4.02	3.65	2.27
	3	U(Z=2m)	6.40	5.80	3.60
		U*	4.03	3.65	2.27
	Proyecto Inmobiliario	U(Z=2m)	5.50	5.00	3.60
		U*	3.46	3.15	2.27
Q Tasa de transporte [Kg/m/s] con obstaculos	1	Q	10.05	7.55	1.80
	3	Q	10.14	7.55	1.80
	Proyecto Inmobiliario	Q	6.44	4.84	1.80
		Q	6.44	4.84	1.80
			Sector 2		
			Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente	
				Primavera-Verano	Otoño-Invierno
<i>Dinamica dunaria_Tabla Resultados</i>	Numero obstaculos	U[m/s]; Q[Kg/m/s]	235.98	247.50	90
Intensidad de viento afectada por obstaculos urbanos	1	U(Z=2m)	2.86	2.60	2.60
		U*	1.80	1.64	1.64
	3	U(Z=2m)	1.65	1.50	2.60
		U*	1.04	0.94	1.64
	Proyecto Inmobiliario	U(Z=2m)	0.00	0.00	2.70
		U*	0.00	0.00	1.70
Q Tasa de transporte [Kg/m/s] con obstaculos	1	Q	0.90	0.68	0.68
	3	Q	0.17	0.13	0.68
	Proyecto Inmobiliario	Q	0.00	0.00	0.76
		Q	0.00	0.00	0.76
			Sector 3		
			Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente	
				Primavera-Verano	Otoño-Invierno
<i>Dinamica dunaria_Tabla Resultados</i>	Numero obstaculos	U[m/s]; Q[Kg/m/s]	214.09	247.50	90
Intensidad de viento afectada por obstaculos urbanos	1	U(Z=2m)	4.95	4.50	3.00
		U*	3.12	2.83	1.89
	3	U(Z=2m)	3.95	3.60	3.00
		U*	2.49	2.27	1.89
	Proyecto Inmobiliario	U(Z=2m)	0.45	0.40	2.90
		U*	0.28	0.25	1.83
Q Tasa de transporte [Kg/m/s] con obstaculos	1	Q	4.69	3.53	1.04
	3	Q	2.38	1.80	1.04
	Proyecto Inmobiliario	Q	0.00	0.00	0.94
		Q	0.00	0.00	0.94

Cuadro 6.1: Tasa de transporte afectada por el P.I. (elaboración propia, 2011)

La Tabla muestra como las velocidades a 2 metros de altura al suelo, bajan

hasta valores de 0-0.4 m/s, sobre todo en correspondencia con la temporada Primavera-Verano cuando los vientos soplan desde el mar, y a lo largo de la Orientación morfológica del campo dunar; además, por supuesto, el efecto de los edificios se acusa más con el aumentar de sus numero. Durante la temporada Otoño-Invierno el régimen de viento está meno afectado, siendo que los vientos soplan desde el interior del continente, sin encontrar barreras que pueden modificar visiblemente la intensidad eólica que arrastra las crestas dominantes el campo dunar; manteniendo por la mayoría los mismos valores de vientos (y consecuentemente de tasa de transporte) encontrados anteriormente, sin la presencia de obstáculos.

De misma manera las tasas de transporte bajan proporcionalmente con las velocidades a 2 metros, y con las velocidades de roce correlatas. Estas ultimas de hecho llegan a 0 con la presencia del complejo Inmobiliario, y solamente arrancan los máximos cuando en el campo está un solo edificio, con valores de 4 kg/m/s, todavía muy bajos, comparados con los umbrales presentados en el capitulo 3.

En la tabla a continuación están resumidos los balances, respectivamente de la intensidad de viento y de la tasa de transporte, comparando el sistema dunar anterior el proyecto, y el mismo sistema con la hipótesis de que el proyecto fuera desarrollado:

			Sector 1		
			Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente	
				Primavera-Verano	Otoño-Invierno
<i>Dinamica dunaria, Tabla Resultados</i>	Numero obstaculos	U[m/s]; Q[Kg/m/s]	227.74	247.50	90
U Intensidad de viento [m/s]	-	U(Z=2m)	6.38	5.80	3.63
Q Tasa de transporte [Kg/m/s]	-	Q	10.05	7.55	1.85
Intensidad de viento afectada por obstaculos urbanos	Proyecto Inmobiliario	U(Z=2m)	5.50	5.00	3.60
Q Tasa de transporte [Kg/m/s] con obstaculos	Proyecto Inmobiliario	Q	6.44	4.84	1.80
Balance de Velocidad de Viento, con Proyecto Inmobiliario	Pérdida de Velocidad	$\Delta U(2m)$	0.88	0.8	0.03
Balance de Tasa de Transporte, con Proyecto Inmobiliario	Pérdida de Tasa T.	ΔQ	3.61	2.71	0.05
			Sector 2		
			Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente	
				Primavera-Verano	Otoño-Invierno
<i>Dinamica dunaria, Tabla Resultados</i>	Numero obstaculos	U[m/s]; Q[Kg/m/s]	235.98	247.50	90
U Intensidad de viento [m/s]	-	U(Z=2m)	4.73	4.30	2.70
Q Tasa de transporte [Kg/m/s]	-	Q	4.09	3.08	0.76
Intensidad de viento afectada por obstaculos urbanos	Proyecto Inmobiliario	U(Z=2m)	0.00	0.00	2.70
Q Tasa de transporte [Kg/m/s] con obstaculos	Proyecto Inmobiliario	Q	0.00	0.00	0.76
Balance de Velocidad de Viento, con Proyecto Inmobiliario	Pérdida de Velocidad	$\Delta U(2m)$	4.73	4.3	0
Balance de Tasa de Transporte, con Proyecto Inmobiliario	Pérdida de Tasa T.	ΔQ	4.09	3.08	0.00
			Sector 3		
			Orientación morfológica	Dirección del viento más frecuente	
				Primavera-Verano	Otoño-Invierno
<i>Dinamica dunaria, Tabla Resultados</i>	Numero obstaculos	U[m/s]; Q[Kg/m/s]	214.09	247.50	90
U Intensidad de viento [m/s]	-	U(Z=2m)	5.06	4.60	3.63
Q Tasa de transporte [Kg/m/s]	-	Q	5.01	3.77	1.85
Intensidad de viento afectada por obstaculos urbanos	Proyecto Inmobiliario	U(Z=2m)	0.45	0.40	2.90
Q Tasa de transporte [Kg/m/s] con obstaculos	Proyecto Inmobiliario	Q	0.00	0.00	0.94
Balance de Velocidad de Viento, con Proyecto Inmobiliario	Pérdida de Velocidad	$\Delta U(2m)$	4.61	4.2	0.73
Balance de Tasa de Transporte, con Proyecto Inmobiliario	Pérdida de Tasa T.	ΔQ	5.01	3.76	0.91

Cuadro 6.2: Balances entre Analisis 1 y Analisis 2 (elaboración propia, 2011)

En rojo se muestra como las tasas de transporte Q , padecen el efecto del proyecto, bajando de 2.71-5.01 kg/m/s a lo largo de aquellas orientaciones que describen bien la dinámica dunar, a cuya acción está sometido el campo de dunas de Concón. Es decir, durante la temporada Primavera-Verano, que con sus vientos influye directamente sobre el fenómeno de transporte de sedimentos; de hecho estos vientos bajan de 4.2-4.7 m/s la intensidad de viento por efecto de obstáculos arriba del campo dunar.

El proyecto sobretodo por su intervención directa (obras y trafico de maquinarias) e indirecta (modificación del régimen de viento) sin duda alguna, mata definitivamente la evolución del campo dunar en aquellas dunas que aún siguen (también si débilmente) activas; representando un riesgo para la sobrevivencia no solamente del ecosistema presente en el área de Santuario Natural. El proyecto no sólo cambia la natural evolución morfológica de las arenas, sino también aporta modificaciones de gran magnitud en el régimen de viento, causando un alteración a microescala en la cualidad de aire del clima local, a partir del campo dunar, a hacia el interior de la comuna.

Capítulo 7

DISCUSIÓN

La morfología y la dinámica de los sistemas dunarios están dadas por factores naturales y antrópicos. Entre los primeros destaca la tectónica, la topografía, los vientos y la vegetación; y entre los que se refieren a la actividad humana, destacan las técnicas y tipos de uso del suelo.

Si bien Paskoff (1999) señala que un rasgo morfológico notable de las costas de Chile Centro-Norte y Centro-Sur está dado por la existencia de una terraza marina de baja altitud de edad holocénica, la cual proporciona el espacio topográfico plano favorable para la extensión de dunas activas; siempre de acuerdo a Paskoff y Manríquez (2004), las dunas colgadas de Concón aparecen en su mayor extensión como dunas estabilizadas, cubiertas por vegetación, cuyo modelado original ha sido en el curso del tiempo suavemente borrado. Al día de hoy en la proximidad de la cima del acantilado que domina el mar, la vegetación corresponde a un matorral bajo y abierto mientras que, hacia el interior, ella se identifica con un tapiz discontinuo de gramíneas cuya degradación, de origen antrópico (senderos de peatones, huellas de vehículos todo terreno, canteras), origina núcleos localizados de desestabilización.

Si bien estas clasificaciones permiten entender ciertos procesos, muchas veces las interacciones morfodinámicas en sistemas dunarios no quedan adecuadamente entendidas, debido a que el relieve confuso de muchas dunas costeras desafía una simple descripción (Carter et al., 1990; Paskoff y Manríquez, 2004, citado en Revista de Geografía Norte Grande, 2008).

Además la costa de Chile se sitúa en el margen continental activo donde la placa de Nazca subduce bajo la placa suramericana. Tal situación ha causado terremotos y tsunamis, que han afectado directamente o en forma remota la morfología y morfogénesis de los espacios litorales (Paskoff & Manríquez 1999, Soto y Arriagada, 2007). El borde costero de Concón constituye un espacio singular y de alta dinámica morfogenética reciente, que hace pocos años fue afectado por el terremoto del 2010, como suelen recordar los carteles de peligro tsunami, fijados a lo largo de la calle costera que domina el acantilado. Hernán Vergara, Profesor de la Universidad de Valparaíso en Montemar, habla de un notable sollevamiento del acantilado, y de otras alteraciones debidas al acción

tectónica en la última década que interesó Chile, y en el caso, la Bahía de Concón. De hecho el campo dunar cruza una falla tectónica que se destaca del cordón oceánico en correspondencia del puente de av. Borgoño, justo abajo del Sector 1, en estudio.

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten afirmar que las dunas del borde costero de Concón son homogéneamente y en general estabilizadas, puesto que en cada sector las formaciones activas actúan débilmente su papel, sin salir del perímetro del campo dunario. Ciertamente aquellas áreas que presentan mayor influencia del proceso de estabilización fueron sometida a una fuerte presión constructiva, tanto que esta confina finalmente el campo dunar en todo su entorno.

Sean activas u estabilizadas, las dunas costeras necesitan ser analizada en su dinámica para comprender su complejidad y mejorar el conocimiento científico sobre los efectos del uso de estos recursos sobre las comunidades humanas. En este marco, la gestión integrada de zonas costeras surge como una necesidad para conservar los recursos del espacio litoral, donde la toma de decisiones descentralizada y un roceso público participativo son factores relevantes para mejorar la calidad de vida de la población (Barragán, 1994, citado en Revista de Geografía Norte Grande, 2008). De hecho los estudios que evalúan el proceso dinámico de las dunas, cuando estas están inserida en un contexto urbano, aportan no solamente información útil para proteger el humano de la expansión dunar, sino que tal veces también son útiles para proteger las dunas (y sus mismos recursos) de la expansión antrópica.

7.1. CONSIDERACIONES FINALES

Las dunas costeras de Concón el la V Región de Valparaíso se distribuyen sobre una terraza, que en los años anteriores las ayudó en su expansión, tal como en los tiempos más recientes, las estabilizó privándolas de una playa en grado de alimentaras. La clasificación de las dunas de acuerdo a su nivel de cobertura vegetal mostró la predominancia de dunas débilmente y locamente activas; sin embargo, en la década de los '80s se advirtió la tendencia a la estabilización de bien 49.9% de su área original, con especies vegetales; y a una pérdida de superficie arenosa de 39.9% a partir del año 1994, por intervención antrópica directa, hasta llegar alcanzar los 372190 m² del área dunar en el 2010.

Este trabajo constituye probablemente un último informe sobre el campo dunar de Concón, ya amenazado hace muchos años por la expansión urbanística, y su presión turística, que lleva la tendencia en el asentarse a lo largo del litoral. Y al día de hoy más que nunca.

La información es una descripción del estado actual de las dunas; este conocimiento es necesario para entender la dinámica de los campos de dunas y algunos de los factores que inciden en ella.

Cabe destacar que los impactos que se producen sobre el espacio se perciben claramente en el ámbito local, puesto que las problemáticas se traducen en consecuencias directas para sus habitantes. Esto le otorga gran importancia a

la gestión municipal en la temática del ordenamiento territorial.

A veces trabajos como esto tienen la utilidad de determinar dónde se producirán los efectos de la expansión dunaria, y cuáles son las áreas que potencialmente serán afectadas por esta expansión. Además, permiten orientar los esfuerzos en el ámbito de la estabilización de las dunas (dónde, cuánto estabilizar y con qué especies), para controlar su avance y determinar por ejemplo el crecimiento potencial de las plantaciones forestales (Revista de Geografía Norte Grande, 2008). También cabe recalcar que la existencia de las dunas es un fenómeno natural y no existen entonces razón alguna para oponerse a sus movimientos, salvo donde su desplazamiento presente un riesgo para las obras humanas.

Otra vez las dunas costeras, sobretodo una vez estabilizadas, constituyen un paisaje singular que contribuye a la protección ecosistémica y ante potenciales procesos de inundación por tsunamis. Lo que permite orientar las decisiones y los recursos en base a un conocimiento técnico y científico que favorece la gestión integrada de zonas costeras y la calidad de vida de la población.

APÉNDICE: DESAFÍO DE CONSERVACIÓN Y GESTIÓN

Abstract:

Cualquier obra (vial, construcción, industrial, turística, etc.) que implique la intervención del suelo y/o subsuelo del territorio nacional, puede afectar parte del Patrimonio Cultural. Cabe señalar que, como parte del Patrimonio Cultural, los sitios arqueológicos en Chile, en su mayoría, están constituidos por restos que pueden parecer, a simple vista, de poca significancia pero que poseen gran valor científico y cultural para el estudio de la Prehistoria del país.

LAS DUNAS, UN PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO

Entre 1 a 25 millones de años de existencia presentan las conocidas Dunas de Reñaca y Concón, las cuales fueron formadas por el arrastre natural de las arenas de una playa que se encontraba a sus pies, debido al nivel inferior que presentaba el mar en dicha época. Curiosamente fueron vientos -distintos a los de hoy- los que las dejaron posadas sobre rocas originadas en el Período Jurásico y donde hasta la fecha han ido sufriendo el roce del tiempo. Podríamos llamarle, entonces, fósil urbano, ya que “participaron en su formación factores climáticos, petrográficos, hidrográficos, topográficos, oceánicos y fitogeográficos, que son irreproducibles hoy en día”.

REVISIÓN DE ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

La historia cultural del área costera de la Región de Valparaíso se enmarca en el desarrollo general de la prehistoria de la zona central del país. Los diferentes estudios que se han desarrollado en Chile central han generado una

configuración de los diferentes grupos humanos que poblaron la zona desde antes de la llegada del español. En este marco, la configuración cultural del área se remonta a los inicios del poblamiento y sistemas de asentamiento de los grupos nómades cazadores recolectores descritos para el periodo Paleoindio (12.000 a 9.000 años antes del presente). Esta etapa se caracteriza por la intrusión y ocupación del espacio de comunidades grupales que se desplazaban en función de sus actividades de subsistencia, en especial de la caza de fauna pleistocénica hoy extinta.

La extinción de la fauna pleistocénica dio curso a nuevas formas de ocupación y emplazamiento en el espacio de los grupos cazadores recolectores, caracterizadas por procesos de experimentación y adaptación a nuevos ambientes. Esta etapa, denominada Arcaico (8.000 al 2000 AP), cambios climáticos por un lado y aumento demográfico. Ocupan el espacio incorporando dentro de sus patrones de movilidad los sectores costeros y cordilleranos. El límite de este período se marca por el advenimiento y posterior uso de la cerámica cuyas evidencias se presentan intensamente en Chile Central.

La ocupación de la zona central por grupos humanos de tradición alfarera comienza aproximadamente en el 300 AC, dando inicio a un nuevo período cultural, cuya configuración espacial, cronológica y cultural se ha definido en función de avances significativos en cuanto a la formulación de una secuencia cronológico-cultural general para Chile Central.

El denominado período Alfarero se caracteriza por una primera fase denominada Alfarero Temprano, en la que destaca la presencia de asentamientos de la Tradición Bato y El Complejo Cultural Llolleo. Los primeros se registran principalmente en el interfluvio Petorca-Aconcagua, aunque también en menor grado en zonas periféricas y precordilleranas. Mientras que el Complejo Llolleo se presentan con fuerza entre los ríos Maipo y Aconcagua, y también en zonas más periféricas, incluyendo rasgos aislados en la precordillera central. (Planella & Falabella 1987; Rodríguez et al. 199; Carmona et al. 2001).

Los asentamientos característicos de la Tradición Bato corresponden a núcleos pequeños de caseríos o refugios semi-permanentes, cuya población debió ser escasa y bastante móvil, ocupando principalmente la costa de la zona central. Los rasgos principales se observan en la confección de la cerámica, en la que se destacan la decoración incisa lineal punteada, donde en algunos casos los campos punteados se rellenan con pintura blanca. Otra característica importante de los grupos Bato, es el uso del tembetá discoidal con alas, hecho de cerámica o piedra. La permanencia en el tiempo de esta tradición alcanza fechas cercanas al 900 dC (Falabella & Stehberg 1989).

La segunda fase del período Alfarero de Chile central se caracteriza por la presencia de una unidad arqueológica regional representada por el Complejo Cultural Aconcagua, el que ha sido descrito de acuerdo a una definida delimitación espacial (entre los ríos Petorca y Cachapoal), una selectividad funcional diferenciada de los sitios ocupados; un patrón cerámico distintivo de gran homogeneidad formal y estilística y una exteriorización de sus manifestaciones funerarias en cementerios de túmulos (Durán & Massone 1979; Durán & Planella 1989).

La ocupación de la zona central por parte del Complejo Aconcagua se extendió hasta el siglo XV cuando se produce el contacto cultural con el sistema político y administrativo del Inca, dando inicio a cambios trascendentales en los ámbitos culturales, sociales e ideológicos de los Aconcagua. Estos se ven representados en nuevas formas y decoraciones cerámicas, aparición de arquitectura monumental (pukaras y tambos), construcción de nuevos tramos del camino del Inca, entierros en bóvedas, aparición de Santuarios de Altura, además de la dirección de un poder central y el traslado de poblaciones indígenas locales (mitimaes). (M. Loreto Vargas, 2010)

SECTOR DE CONCÓN

La revisión de antecedentes bibliográficos de la zona, da cuenta de un área que ha presentado desde la década del 60, numerosos sitios arqueológicos que han permitido ampliar el conocimiento sobre el patrón de asentamiento de las poblaciones prehispánicas que habitaron la costa de Chile Central (Berdichewsky 1964; Silva 1964; Falabella & Planella 1979; Falabella & Stehberg 1989).

Se trata de conchales sobre terrazas altas, sobre duna detenida, aunque tremendamente deteriorados por el avance industrial y habitacional de la zona. La mayoría de los sitios a los que se hace referencia se encuentran registrados en el Catastro del MOP.

En específico, en la comuna de Concón se han desarrollado hallazgos que vienen a ampliar por un lado el conocimiento de la arqueología de la zona y por otro a confirmar un uso relativamente intenso de la costa y de los recursos que ésta ofrece. Sitios como Camino Internacional, Concón 11 y Los Eucaliptos (Carmona et al. 2001) además de sondeos realizados ante otros hallazgos en el sector de Mantagua, Campomar y al interior de la Refinería de Concón (ENAP) en los últimos 5 años (referidos en Westfall 2004, MS de www.seia.cl).

La llegada Española: ...desde el comienzo de la conquista española, el valle del Aconcagua o de Chile se presentó como uno de los mejores para el asentamiento humano. La arqueología nos indica que los indígenas también lo valoraron de ese modo, no así los testimonios de los europeos con respecto a los aborígenes. Gerónimo de Vivar, el cronista que vino a Chile con Pedro de Valdivia, afirmó que esta región tenía “pocos indios, que no pasan de mil quinientos”. Ello se debe a que los naturales de la zona sabían de la venida de españoles desde el Perú y no siéndoles desconocidos sus propósitos y accionar, por la anterior llegada de Diego de Amagro(1536), que no había dejado muy buenos recuerdos, decidieron tomar precauciones. Por lo tanto, la fisonomía demográfica del área estaba alterada cuando llegan los peninsulares. El mismo Vivar agregó que “solía haber mucha gente”...(Vivar, Gerónimo de, Crónica y relación copiosa y verdadera de Chile, pp. 37 y ss.).

Para mayor información, visitar el Museo Arqueológico Histórico de Concón.

LAS DUNAS, UN PATRIMONIO SOCIOCULTURAL

La evolución histórica indica que hasta hace una década, el campo dunar y bosque fueron territorios residuales de la expansión desarrollada desde una perspectiva exclusivamente financiera, propia de las tendencias culturales de la época. Esta situación comenzó a revertirse con las nuevas políticas de desarrollo sustentable, manifestadas en el Plan de Conservación del Medio Ambiente Concón/450 del año 1991. Su objetivo fue proponer un plan de acción integral que involucro agentes públicos y privados en la educación, conservación, protección y estudio del medio ambiente. Así se inició una nueva valorización del territorio urbano periférico, en la que los predios públicos y privados son un bien paisajístico apreciado por la comunidad; se propicio la inclusión de un Parque de Área Dunar en el plan de proyectos para la celebración del Bicentenario de la República en el Gran Valparaíso. (M. Loreto Valenzuela L., 2004)

Abstract:

“diversos ecosistemas que presentan un elevado porcentaje de endemismo (especies propias y exclusivas de una localidad) y variedad de fauna y flora; existiendo al menos 200 especies de fauna, de las cuales se han catalogado 54 aves, 10 reptiles, 16 mamíferos y 4 anfibios. Del mismo modo existe un sinnúmero de comunidades vegetacionales, de las cuales se han catalogado 126 especies de flora, con curiosidades tales como el mangüey y la puya; el tahay y el huilli, pequeñas plantas nativas casi extintas con flores azul-violáceas”



Figura 7.1: Las Dunas (in S. Elórtegui, 2005)

COMUNIDADES VEGETALES

La vegetación del área de Concón forma parte del complejo de dunas litorales chilenas, compuesto por tres grandes unidades regionales, todas caracterizadas por la participación de *Ambrosia chamissonis*. Este esquema fue establecido por Kohler(1970, '71) y seguido en otros trabajos que se han publicado sobre la vegetación de las dunas marítimas de Chile(Sery et al. 1976, Eskuche 1992, Ramírez et al. 1992, Gajardo 1994).

Se ha planteado que las dunas son pobres en especies vegetales, en comparación con otros tipos de vegetación; se contabilizan 186 especies de plantas vasculares para todas las dunas chilenas (San Martín et al. 1992). El área de Concón parece estar ubicada en la zona de transición entre las unidades regionales de dunas del norte y del centro definidas por Kohler(1970, '71), de manera que probablemente presenta elementos florísticos de ambas y una mayor riqueza de plantas que otros sistemas de dunas.

Las dunas presentan un patrón de zonación característico. La vegetación se distribuye en forma correspondiente con esta zonación. En el área de las Dunas de Concón se distinguen cuatro unidades morfológicas claramente diferenciadas de oeste a este: la roca oceánica, la duna holocénica libre, la duna holocénica estabilizada y la duna pleistocénica. Cada una de estas unidades morfológicas presenta una comunidad de vegetación característica.(Federico L. Brunon, 2004)



Figura 7.2: Vegetacion (in S. Elórtegui, 2005)

FLORA DUNAR

El estudio de la flora dunar de Concón tiene un origen muy interesante y poco conocido, porque es sobre estas tierras, hace casi 200 años, que se estructura parte de la historia de la botánica en Chile. Eduard Poepping (1798-1868), viajero y naturalista alemán, influenciado por los relatos de Alexander Von Humboldt decidió explorar América del Sur, empezando por Chile. Llegó a Valparaíso por la vía de Estrecho de Magallanes, el 15 de marzo de 1827. Hasta noviembre del mismo año colectó plantas en Valparaíso, Concón, Quillota, Quintero y otros lugares de la costa. (Méllica Muñoz Schick, 2004)

En una de sus publicaciones traducida como “Un testigo en alborada de Chile” (1960), haciendo referencia a Concón (pp. 98-99), Poepping escribe: “Pocas horas al norte de Valparaíso se encuentra el valle de Aconcagua y cerca de su desembocadura, la hacienda de Concón...”. En las pp. 149-150 sigue: “...Este candente suelo de las dunas chilenas, que en verano tiene siempre un calor equivalente al doble de la atmósfera, mantiene en lugares más abrigados, a pesar de todo, cierta cantidad de plantas muy interesantes, muchas de ellas caracterizadas por la finura de sus formas o la belleza de sus flores, la mayoría de las

cuales se encuentran únicamente en este hábitat.”

Por tal razón se han identificado 75 especies vegetales, desde algunas tan comunes como la doca o la manzanilla, hasta otras tan exóticas y escasas como amor seco, la dicha grande, hierba loca, pata de guanaco, flor de la viuda, pajarito del campo, dedal de oro, flor de la culebra, cacho de cabra, hierba del chancho y don diego de la noche.



Figura 7.3: Dunas de Concon (in S. Elórtegui, 2005)

BIODIVERSIDAD

El razonamiento lógico nos lleva a pensar que en un medio que posee mayores restricciones para los organismos, la biodiversidad debería ser menor. Sin embargo la vida, expresada en las diferentes especies, ve estas restricciones (falta de agua, cambios bruscos de temperatura y un “suelo que se mueve”) como un nuevo tipo de oferta. Si una especie puede adaptarse (evolución) a esta nueva oferta, puede incluso aventajar a otras especies, restringidas a un hábitat mas favorable pero con una enorme competencia. Las Dunas de Concón son un ejemplo excelente de esta situación: si uno las estudia atentamente y dirige la mirada al suelo verá una enorme diversidad, algo así como una sabana africana, pero en miniatura, no a escala humana. Un factor que favorece la biodiversidad de esta duna comparativamente con otras de la zona central de Chile es su edad. (Sergio Elórtegui Fancioli, 2004)

La fauna dunar de Concón conforma una comunidad de especies que difiere de lo que uno encuentra habitualmente en el matorral espinoso propio de la zona

costera de la región. (Sergio Elórtegui Fancioli, 2004)

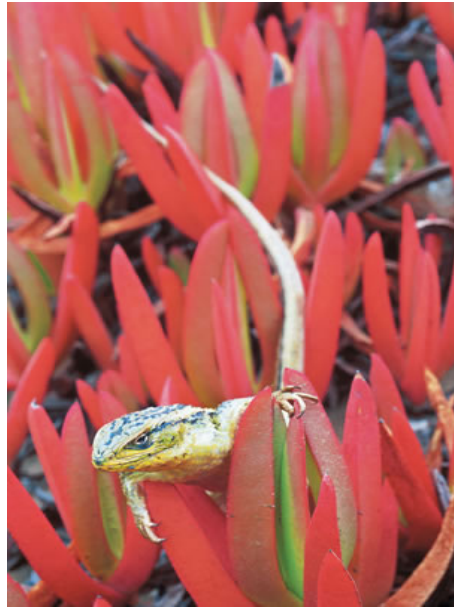


Figura 7.4: Fauna Dunar (in S. Elórtegui, 2005)

Hoy el sector declarado santuario de la naturaleza consta de 12 hectáreas, que el alcalde quiere ampliar a 40 hacia el borde costero. En él coexisten 75 especies vegetales, 56 tipos de aves, 16 diferentes mamíferos, 10 clases de reptiles y cuatro anfibios endémicos.

EL ECO-PAISAJE

La ecología del paisaje es la expresión espacial y visual del medio ecológico. A continuación se valorará la fragilidad del paisaje, que permite aplicar criterios de preservación y conservación del medio ambiente dunar.

El ciudadano promedio está, por diferentes motivos, internalizando cada vez más una suerte de “conciencia ambiental” que redundará en una novedosa valorización de los espacios naturales y sus ecosistemas. Esto explica la creciente resistencia ciudadana a perder espacios de alto valor turístico, paisajístico y recreacional. Por esto se debería controlar el impacto ambiental que ciertos proyectos ocasionen sobre el paisaje. (A. Muñoz-Pedreras, 2004)

El campo de acción de la ecología del paisaje se basa en la estructura, función y dinámica de los ecosistemas, mediante el entendimiento de la interacción de la ecología y los factores geográficos, en una escala temporal y espacial, lo que permite estudiar y evaluar los recursos naturales, dictar políticas de

aprovechamiento, conservación o restauración y con base en esto lograr un desarrollo sostenible en el tiempo, para garantizar su permanencia para las futuras generaciones (López, J. 1998).

Las perturbaciones al sistema ecológico y la fragmentación del paisaje son procesos que implican flujos de energía, materia e información a diferentes niveles y patrones, y por tanto son factores inductores de heterogeneidad paisajística, dos procesos difíciles de separar (Forman, R & Gordon, M. 1985, Romero, M. 2004). Las perturbaciones de origen natural interactúan con procesos antropogénicos como la deforestación, la urbanización o el abandono de tierra agrícola, conduciendo procesos de homogenización o fragmentación del paisaje (ver capítulo específico), lo que finalmente se traduce en una transformación de la biodiversidad, la pérdida (o la ganancia) de elementos culturales, y la pérdida (o la ganancia) de calidad ambiental. (Romero, M. 2004)

Los datos para efectuar el siguiente estudio provienen en su mayoría de revisión bibliográfica, además de observaciones realizadas en terreno y análisis de la información recabada.

CONSERVACIÓN DUNAR

En su estudio, L. Lagos(2007) evalúa el paisaje dunar en termino de **Consejabilidad**, como suma de cuatro factores ecológico, la Calidad, la Fragilidad, la Receptividad y la Actividad. Definidos según el siguiente criterio:

Criterio paisajísticos estrictos:

- **Calidad:** define cualitativa y cuantitativamente, por el medio de una combinación de valores o parámetros, el valor actual del paisaje; con un rango(modificado) de 0-3, donde el valor más alto define una elevada calidad. Los parámetros considerados son: la Naturalidad(0-1), no afectada o sólo escasamente por las actividades humana, como consecuencia de la creciente humanización del territorio, se valoran prioritariamente los parajes que conservan en un grado notable la situación previa a la acción del hombre; la Variedad(modificada a 0-6) de elementos y matices existentes en la unidad estudiada; la Singularidad(0-1), como existencia de elementos raros o no habituales en un lugar, poco repetidos en el conjunto del ámbito analizado.
- **Fragilidad:** define cualitativa y cuantitativamente, por el medio de una combinación de valores o parámetros, el valor potencial de la fragilidad del paisaje ecológico. Se representa con un rango 0-1, definido por la multiplicación de dos parámetros: la Fragilidad intrínseca(0-1), constituida por los factores biofísicos de cada unidad, tales como: vegetación, pendiente y orientación; la Visibilidad(0-1) potencial, de que futuras actuaciones sean vistas, definiendo zonas de paisaje ecológico menos frágiles, aquellas coincidentes con las zonas menos visibles desde el exterior; la Accesibilidad(modificada a 0-1), como numero potencial de observadores, y pro-

ducto de senderos/vías transitables, y miradores disponibles en el lugar, según Andrés Muños-Pedrerros, 2004.

Criterios de visibilidad:

- **Receptividad:** visibilidad existente desde la zona de estudio hacia el exterior (visibilidad divergente, rango 0-1)
- **Actividad:** visibilidad existente desde el exterior hacia el interior de la zona estudiada (visibilidad convergente, rango 0-1)

Conservabilidad:

Con el fin de poder integrar ambos conjuntos de variables, los criterios paisajísticos y los de visibilidad, se establece la conservabilidad(modificada a 0-4). Pretende determinar aquellas zonas que por sus características y calidad paisajística es conveniente preservar. (L. Lagos, 2007)

Siguiendo dicha metodología, se elegí por una modificación de los rangos originales, que afectaban la evaluación original por una excesiva simplicidad descriptiva; para que fuera posible finalmente obtener una mapa propia de conservabilidad (a continuación), cuyos resultados son más flexibles y parecidos a la fragmentación ecológica local.

MAP36-Conservabilidad Dunar

PAISAJE EN LA GESTIÓN AMBIENTAL

El paisaje puede identificarse como el conjunto de interrelaciones derivadas de la interacción entre geomorfología, clima, vegetación, fauna, agua y modificaciones antrópicas. (Dunn 1974, MOPT 1993)

El paisaje es útil y demandable; es un recurso natural permanente, pero rebajable por su uso inadecuado (sensu Larraín 1989). Es un recurso fácilmente depreciable y difícilmente renovable.

La planificación del paisaje incluye su preservación y conservación con fuertes connotaciones ecológicas y considera la aplicación de un enfoque sistémico al conjunto de elementos naturales o artificiales (en este caso rural/dunar y urbano), con el objeto de estudiarlos y evaluar su preservación o modificación. (Gómez 1980, Breman 1993)

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Las Dunas de Concón, el desafío de los espacios silvestres urbanos, Sergio Elortegui, 2005, Taller La Era.

www.mercurioalpo.cl

The biology of Coastal Sand Dunes, by M. Anwar Maun, 2009, Oxford.

www.geociencia.org

Pile di sabbia e dune del deserto: materia granulare e matematica, Stefano Finzi Vita

www.explorador/eolico/uchl.cl

Descubriendo Concòn, Oscar Sumonte G. 1994, EUV.

Manual de Evaluacion de Impacto Ambiental, Edición 1997, Larry W. Canter, Mc Graw Hill.

Morfología y dinámica dunaria en el borde costero de la Región de la Araucanía en Chile, Revista de Geografía Norte Grande, 2008

Las Dunas de Las Costas de Chile, by Roland Paskoff & Hermann Manríquez T., 2004, IGM de Chile.

Fuente GIS: Informe Campo Dunar de Punta Concón 2002

Estacionalidad de la erosión y el transporte eólico de partículas en el desierto costero de Atacama, Chile, Revista Geológica de Chile, 2009.

MAPAS