

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo general	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
1.2. Organización del informe	3
2. Marco Teórico	4
2.1. Flujos turbulentos intercambiados entre el aire y el agua	4
2.1.1. Fundamento teórico del método de covarianza turbulenta	4
2.1.2. Flujos turbulentos de calor	5
2.1.3. Estabilidad atmosférica y funciones de similitud	6
2.1.4. Coeficientes de transferencia	13
2.1.5. Longitudes de escala de rugosidad	16
2.2. Balance de energía superficial	17
3. Metodología	21
3.1. Sitio de estudio	21
3.2. Campañas de mediciones en terreno	21
3.3. Análisis de la información	25
3.3.1. Mediciones de terreno	25
3.3.2. Estabilidad y longitudes de escala de rugosidad	25
3.3.3. Funciones de similitud y coeficientes de transferencia	28
3.3.4. Balance de energía superficial	28
4. Resultados	29
4.1. Mediciones de terreno	29
4.2. Flujos radiativos	31
4.3. Flujos turbulentos	32
4.3.1. Análisis de estabilidad atmosférica	32
4.3.2. Longitudes de escala de rugosidad	35
4.3.3. Funciones de similitud	35
4.3.4. Coeficientes de transferencia	38
4.4. Balance de energía superficial	46
4.4.1. Balance de energía superficial y formación de hielo	46
4.4.2. Hielo y procesos de transporte en la interfaz aire-agua	48
4.4.3. Balance de energía en el agua	51

5. Discusión y Conclusiones	53
5.1. Principales forzantes atmosféricas	53
5.2. Flujos turbulentos y estabilidad atmosférica	53
5.2.1. Análisis de estabilidad atmosférica	53
5.2.2. Longitudes de escala de rugosidad	57
5.2.3. Funciones de similitud	58
5.2.4. Coeficientes de transferencia	58
5.3. Balance de energía superficial y formación de hielo	59
5.4. Comparación con sistemas similares	59
Bibliografía	61
Anexos	
Anexo A. Propagación de errores de variables atmosféricas	66
A.1 Errores instrumentales	66
A.2 Propagación de errores	67
Anexo B. Resumen para la Asamblea General de la EGU de 2016	74
Anexo C. Artículo para el XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica	77
Anexo D. Artículo para el I Congreso Chileno de Ingeniería Ambiental en Sistemas Acuáticos	88
Anexo E. Manuscrito Artículo 1	94
Anexo F. Manuscrito Artículo 2	127

Índice de Tablas

3.1. Detalles de instalación de los instrumentos utilizados	24
4.1. Evaluación de las funciones integrales de similitud	40
A.1 Errores instrumentales	66
A.2 Propagación de errores	70

Índice de Ilustraciones

1.1. Imágenes del Salar del Huasco. Oct-Nov 2015	2
2.1. Esquema conceptual de la capa límite atmosférica	6
2.2. Capa de hielo sobre la laguna del Salar del Huasco. Mayo de 2016	7
2.3. Esquema de perfiles de temperatura con diferente estabilidad	8
2.4. Descripción esquemática del efecto de la estabilidad en la capa atmosférica superficial	9
2.5. Funciones de similitud en función de ζ	13
2.6. Esquema del balance de energía en el salar	20
3.1. Ubicación del Salar del Huasco	22
3.2. Ubicación del sitio de mediciones en el Salar del Huasco para ambas campañas	23
3.3. Instalación en terreno de instrumentos. Mayo de 2016	24
3.4. Aspecto de la superficie de la laguna. 1 de noviembre de 2015.	26
3.5. Determinación del coeficiente de Charnock	27
3.6. Número de Reynolds de rugosidad	27
4.1. Variables medidas en las campañas de terreno	30
4.2. Validación de albedo y emisividades para ambas campañas	31
4.3. Esfuerzos de corte y boyante	32
4.4. Estabilidad atmosférica	33
4.5. Temperaturas del aire, del agua, y flujo de calor	34
4.6. Longitudes de escala de rugosidad de temperatura modeladas	35
4.7. Longitudes de escala de rugosidad de humedad modeladas	36
4.8. Evaluación de las funciones integrales de similitud para perfiles de velocidad de viento	37
4.9. Evaluación de las funciones integrales de similitud para perfiles de temperatura	37
4.10. Evaluación de las funciones integrales de similitud para perfiles de humedad	38
4.11. Efecto de la estabilidad en el coeficiente de arrastre	39
4.12. Efecto de la estabilidad en el coef. de transferencia de calor	39
4.13. Efecto de la estabilidad en el coef. de transferencia de humedad	41
4.14. Comparación entre coeficientes de arrastre	41
4.15. Comparación entre coef. de transferencia de calor	42
4.16. Comparación entre coef. de transferencia de humedad	42
4.17. Correlación entre u_* y U_{10} para la estimación de C_D	43
4.18. Estimación de C_H en base a las mediciones en terreno	44
4.19. Estimación de C_W en base a las mediciones en terreno	45

4.20. Temperatura superficial de la laguna y formación de hielo	47
4.21. Flujo turbulento de dióxido de carbono	49
4.22. Flujos turbulentos de calor comparados con la velocidad del viento y hielo	49
4.23. Coef. de arrastre comparado con la velocidad del viento y hielo	50
4.24. Flujo de calor entre los sedimentos y la columna de agua	51
4.25. Calor almacenado en la columna de agua	52
5.1. Enfriamiento bajo condición estable	54
5.2. Enfriamiento bajo condición inestable	55
5.3. Convección libre	56
5.4. Convección forzada	57
A.1 Error propagado en el flujo de calor latente	71
A.2 Error propagado en el flujo de calor sensible	72
A.3 Error propagado en el adimensional de Monin-Obukhov	73