

Tabla de contenido

Capítulo 1 : Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 General	2
1.2.2 Específicos	2
1.3 Organización del documento.....	2
Capítulo 2 : Revisión Bibliográfica	3
2.1 Procesos físicos asociados a la evapotranspiración.....	3
2.2 Cálculo de evapotranspiración	3
2.2.1 Radiación.....	6
2.2.1.1 Albedo	9
2.2.2 Humedad Relativa	9
2.2.3 Velocidad del Viento.....	12
2.3 Imágenes Satelitales MODIS	13
Producto de la temperatura de la superficie terrestre (LST).....	13
Relleno de pixeles sin información	13
2.4 Imágenes satelitales Landsat	15
Obtención de temperatura de suelo para imágenes satelitales Landsat.....	16
2.4 Parametrización de las temperaturas del aire con respecto al suelo.....	20
2.5 Mejoramiento de la resolución de las imágenes.....	20
Capítulo 3 : Caracterización de la zona y período de estudio	23
3.1 Parámetros Geomorfológicos	23
3.2 Clima	24
3.3 Uso de suelo	26
3.4 Estaciones Meteorológicas	27
3.5 Hidrología	29
Capítulo 4 : Análisis de información disponible y relleno de datos	31
4.1 Humedad Relativa	31
4.2 Velocidad del Viento.....	35
4.3 Radiación.....	38
4.3.1 Radiación de onda corta	38
4.3.2 Radiación de onda larga	41
4.3.2.1 Radiación neta	42

4.4	Otros Parámetros	43
4.5	Imágenes MODIS.....	45
4.6	Imágenes Landsat.....	46
4.7	Mejoramiento de la resolución de las imágenes satelitales de temperatura del aire.	46
Capítulo 5 : Resultados de Evapotranspiración		51
Capítulo 6 : Conclusiones.....		56
Bibliografía.....		58
Anexos.....		61
Anexo A		61
Anexo B		62
Anexo C		63
Anexo E.....		84
Anexo F.....		85

Tabla de Ilustraciones

Figura 2.1: Factor de conversión para la velocidad del viento. Fuente: FAO, 2006.....	12
Figura 3.1: Subcuencas Elqui en Algarrobal.....	24
Figura 3.2: Curva Hipsométrica Elqui en Algarrobal.....	24
Figura 3.3: Estaciones hidrometeorológicas Elqui en Algarrobal.....	25
Figura 3.4: Distribución temperatura media mensual en el período 2000-2016.	26
Figura 3.5: Distribución precipitación media mensual en el período 2000-2016.	26
Figura 3.6: Uso y tipo de suelo Elqui en Algarrobal.....	27
Figura 3.7: Distribución estaciones Elqui en Algarrobal.	29
Figura 3.8: Curva de variación estacional Elqui en Algarrobal en el periodo 1961-2016. ..	30
Figura 4.1: Humedad relativa media diaria registrada. Período 2002-2016.....	31
Figura 4.2: Correlaciones Humedad relativa entre Pisco Elqui y Llanos de Huanta.	32
Figura 4.3: Humedad relativa media diaria. Periodo 2002-2016.	34
Figura 4.4: Humedad relativa media anual. Período 2002-2016.....	34
Figura 4.5: Velocidad del viento promedio registrada. Período 2002-2016.	35

Figura 4.6: Validación Explorador Eólico. Estación Llanos de Huanta.....	35
Figura 4.7: Relación estación Rivadavia y Explorador Eólico.....	36
Figura 4.8: Serie de velocidad del viento en las Estaciones de Elqui Alto. Período 2002-2016.	37
Figura 4.9: Velocidad del viento media anual. Período 2002-2016.	37
Figura 4.10: Radiación media diaria registrada. Período 2002-2016.	38
Figura 4.11: Ciclo anual Radiación de onda corta para cada estación.	39
Figura 4.12: Radiación simulada en estaciones de Elqui Alto. Período 2002-2016.	40
Figura 4.13: Radiación neta de onda corta para todas las estaciones. Periodo 2002-2016. .	41
Figura 4.14: Radiación neta de onda larga para todas las estaciones. Periodo 2002-2016. .	41
Figura 4.15: Radiación neta para todas las estaciones. Periodo 2002-2016.....	42
Figura 4.16: Radiación media diaria de onda corta, larga y neta.	42
Figura 4.17: Radiación neta media anual. Período 2002-2016.....	43
Figura 4.18: Diferencia presión de vapor media anual. Período 2002-2016.....	44
Figura 4.19: Pendiente curva de presión de vapor media anual. Período 2002-2016.	44
Figura 4.20: Constante Psicométrica en la cuenca Alta del río Elqui.	45
Figura 4.21: Diagrama de la metodología de relleno.	46
Figura 4.22: Polígonos de Thiessen a partir de estaciones que registran temperatura del aire.	47
Figura 4.23: Relación entre la temperatura del aire de cada estación y del suelo del satélite MODIS.	48
Figura 4.24: Temperaturas mínima media anual. Período 2002-2016.	50
Figura 4.25: Temperaturas máxima media anual. Período 2002-2016.....	50
Figura 5.1: Imágenes de evapotranspiración media mensual promedio del cultivo de referencia. Período 2002-2016.	51
Figura 5.2: Evapotranspiración media anual. Período 2002-2016.	52
Figura 5.3: Estaciones que miden evapotranspiración del cultivo de referencia.	53

Figura 5.4: Comparación entre valores medidos y calculados de evapotranspiración del cultivo de referencia para 5 estaciones.	53
Figura 5.5: Puntos de comparación de evapotranspiración.	54
Figura 5.6: Validación de resultados mediante producto MOD16.	55
Figura A.1: Mapa de pendientes.	61
Figura C.2: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Claro y El Tapado.	63
Figura C.3: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Toro y El Tapado.	63
Figura C.4: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Turbio y El Tapado.	64
Figura C.5: Correlaciones Humedad relativa entre Paso Aguas Negras y El Tapado.	64
Figura C.6: Correlaciones Humedad relativa entre Laguna (Elqui) y El Tapado.	65
Figura C.7: Correlaciones Humedad relativa entre Llanos de Huanta y Laguna (Elqui).	65
Figura C.8: Correlaciones Humedad relativa entre Paso Aguas Negras y Laguna (Elqui). ..	66
Figura C.9: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Claro y Laguna (Elqui).	66
Figura C.10: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Toro y Laguna (Elqui)	67
Figura C.11: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Toro y Laguna (Elqui)	67
Figura C.12: Correlaciones Humedad relativa entre Rivadavia y Laguna (Elqui).	68
Figura C.13: Correlaciones Humedad relativa entre Llanos de Huanta y El Tapado.	68
Figura C.14: Correlaciones Humedad relativa entre Llanos de Huanta y Paso Aguas Negras.	69
Figura C.15: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Claro y Llanos de Huanta.	69
Figura C.16: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Toro y Llanos de Huanta.	70
Figura C.17: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Turbio y Llanos de Huanta.	70
Figura C.18: Correlaciones Humedad relativa entre Rivadavia y Llanos de Huanta.	71
Figura C.19: Correlaciones Humedad relativa entre Rivadavia y El Tapado.	71
Figura C.20: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Toro y Paso Aguas Negras.	72
Figura C.21: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Turbio y Paso Aguas Negras.	72

Figura C.22: Correlaciones Humedad relativa entre Pisco Elqui y El Tapado.	73
Figura C.23: Correlaciones Humedad relativa entre Pisco Elqui y Laguna (Elqui).....	73
Figura C.24: Correlaciones Humedad relativa entre Pisco Elqui y Llanos de Huanta.	74
Figura C.25: Correlaciones Humedad relativa entre Pisco Elqui y Paso Aguas Negras.	74
Figura C.26: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Claro y Pisco Elqui.	75
Figura C.27: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Toro y Pisco Elqui.	75
Figura C.28: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Turbio y Pisco Elqui.	76
Figura C.29: Correlaciones Humedad relativa entre Rivadavia y Pisco Elqui.....	76
Figura C.30: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Claro y Rio Toro.	77
Figura C.31: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Claro y Rio Turbio.....	77
Figura C.32: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Toro y Rio Turbio.	78
Figura C.33: Correlaciones Humedad relativa entre Rivadavia y Paso Aguas Negras.	78
Figura C.34: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Claro y Rivadavia.	79
Figura C.35: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Toro y Rivadavia.	79
Figura C.36: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Turbio y Rivadavia.	80
Figura C.37: Correlaciones Humedad relativa entre Rio Claro y Paso Aguas Negras.	80
Figura D.38: Relación estación Rivadavia y Explorador Eólico.....	81
Figura D.39: Relación estación El Tapado y Explorador Eólico.	81
Figura D.40: Relación estación Pisco Elqui y Explorador Eólico.....	82
Figura D.41: Relación estación Llanos de Huanta y Explorador Eólico.....	82
Figura D.42: Relación estación Laguna (Elqui) y Explorador Eólico.....	83
Figura E.43: Humedad Relativa media posterior al Relleno 1.	84
Figura E.44: Humedad relativa media posterior al Relleno 2.	84
Figura F.45: Representación de imagen MODIS.	85
Figura F.46: Matriz a rellenar.....	86

Figura F.47: Matriz posterior al relleno.....	86
---	----

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Valores de emisividad asociados al índice NDVI. Fuente: Zhang, 2006.....	19
Tabla 3.1: Distribución uso y tipo de suelo. Fuente: IDE CIGIDEM (2016).....	27
Tabla 3.2: Estaciones Elqui en Algarrobal.	28
Tabla 4.1: Prioridades de estaciones para rellenar.	33
Tabla 5.1: Error relativos asociados a cada estación.....	54
Tabla B.1: Valores Curva Variación Estacional.....	62