

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	Objetivo General	2
1.2	Objetivos Específicos.....	2
1.3	Alcances	2
2	Metodología	3
3	Antecedentes	4
3.1	Situación energética	4
3.1.1	Situación actual	4
3.1.2	Futuro energético.....	5
3.2	Energía solar.....	5
3.2.1	Paneles solares.....	5
3.2.2	Colectores solares.....	5
3.3	Energía eólica.....	7
3.3.1	Turbinas Eólicas de Eje Horizontal.....	7
3.3.2	Turbinas Eólicas de Eje Vertical	8
3.3.3	Turbinas Eólicas Aumentadas por Edificios	9
3.4	Potabilización de agua.....	10
3.4.1	Desalinización por Osmosis inversa.....	11
3.4.2	Potabilización por Coagulación-Floculación	12
3.5	Arsénico	13
3.5.1	Arsénico en el Norte de Chile	14
4	Desarrollo.....	15
4.1	Selección comunas	15
4.1.1	Listado de comunas	15
4.1.2	Estimación población	16
4.1.3	Consumo estimado e información proveedores	16
4.1.4	Mapeo de las regiones	17
4.1.5	Criterios para ir descartando comunas	17
4.1.6	Preselección de 5 comunas.....	17
4.1.7	Selección comuna única.....	26
4.2	Ubicación planta eléctrica e hídrica	26
4.2.1	Caracterización del recurso solar	27

4.2.2	Caracterización del recurso hídrico.....	27
4.2.3	Ubicación de las plantas eléctricas e hídricas dentro de la comuna	29
4.3	Ajuste de consumos para la comuna	30
4.3.1	Consumo domestico	31
4.3.2	Consumo de uso general	31
4.3.3	Consumo iluminación pública.....	32
4.3.4	Reservas hídricas.....	33
4.4	Tecnología Hídrica.....	34
4.4.1	Selección tecnología.....	34
4.4.2	Dimensionamiento tecnología.....	35
4.5	Tecnología para generación eléctrica.....	46
4.5.1	Selección tecnología.....	46
4.5.2	Dimensionamiento tecnología.....	48
5	Evaluación económica.....	57
5.1	Evaluación Planta hídrica.....	57
5.1.1	Costos de inversión	57
5.1.2	Costos Fijos y Variables.....	58
5.1.3	Flujo de caja	59
5.2	Costos planta eléctrica.....	60
5.2.1	Costos de inversión	60
5.2.2	Costos fijos y variables	61
5.2.3	Flujo de caja	62
6	Resultados y Discusión	63
6.1	Planta hídrica.....	63
6.1.1	Aspecto técnico y dimensiones de la planta hídrica.....	63
6.1.2	Aspecto económico	64
6.2	Planta eléctrica	66
6.2.1	Aspecto técnico y dimensiones de la planta solar	66
6.2.2	Aspecto económico	68
6.3	Implementación y efectos de la instalación de las plantas en la comuna.....	70
7	Conclusiones	73
	Bibliografía	76

Anexos.....	77
Anexo A. Programa Zonas Rezagadas	77
Anexo B. Tabla resumen población y consumos	79
Anexo C. Tabla resumen mapeo solar, eólico y proveedores regionales	80
Anexo D. Rango de los Parámetros de Calidad de agua en las Cuenca.....	81
Anexo E. Parámetros de la Canaleta Parshall	82
Anexo F. Memoria de cálculo del Floculador para la planta hídrica ^[25]	83
Anexo G. Memoria de cálculo del Sedimentador para la planta hídrica ^[25]	85
Anexo H. Memoria de cálculo de la Laguna de Lodos para la planta hídrica ^[25]	88
Anexo I. Memoria de cálculo de los Filtros para la planta hídrica ^[25]	90
Anexo J. Ficha técnica Dosificador.....	92
Anexo K. Ficha técnica Estanque almacenador químicos	93
Anexo L. Ficha técnica Bomba	94
Anexo M. Ficha técnica Jar-Test.....	95
Anexo N. Ficha técnica Panel Solar.....	96
Anexo O. Ficha técnica baterías.....	97
Anexo P. Ficha técnica Inversores	98
Anexo Q. Ficha técnica Regulador de Carga	99
Anexo R. Ficha técnica Caja de Combinación.....	100
Anexo S. Paneles en serie y paralelo.....	101
Anexo T. Funciones de estimación de los costos para planta hídrica [26].....	104
Anexo U. Flujo de caja para Planta de Coagulación-Floculación de Colchane.....	106
Anexo V. Flujo de caja para Planta de Coagulación-Floculación de Cariquima	112
Anexo W. Flujo de caja para Planta de Coagulación-Floculación de Isluga	118
Anexo X. Flujo de caja para Planta Fotovoltaica de 306 kW para Colchane	124
Anexo Y. Flujo de caja para Planta Fotovoltaica de 288 kW para Cariquima.....	130
Anexo Z. Flujo de caja para Planta Fotovoltaica de 270 kW para Isluga	136
Anexo A.A. Diagrama planta hídrica para las 3 localidades.....	142
Anexo A.B. Diagrama planta fotovoltaica de 306 kW en Colchane.....	143
Anexo A.C. Diagrama planta fotovoltaica de 288 kW en Cariquima	144
Anexo A.D. Diagrama planta fotovoltaica de 270 kW en Isluga.....	145

Índice de Tablas

Tabla 4.1. Comunas de las I y XV región.	15
Tabla 4.2. Comunas de las II y III región.....	15
Tabla 4.3. Variación estimada por región.	16
Tabla 4.4. Proveedores de electricidad y agua por región.....	16
Tabla 4.5. Posibles comunas a seleccionar.....	17
Tabla 4.6. Resumen comunas.....	26
Tabla 4.7. Radiación global horizontal para cada poblado [17].....	27
Tabla 4.8. Caudales que pasan por cada poblado.....	29
Tabla 4.9. Recursos eléctricos e hídricos para los poblados.	29
Tabla 4.10. Consumo doméstico en electricidad y agua por poblado.	31
Tabla 4.11. Consumo de electricidad para usos generales en los poblados.	32
Tabla 4.12. Consumo de agua para usos generales en los poblados.	32
Tabla 4.13. Consumo de electricidad para la iluminación pública en los poblados.....	32
Tabla 4.14. Reservas eléctricas e hídricas por poblado.....	33
Tabla 4.15. Cantidad diaria extra mínima producida para el almacenamiento hídrico.	33
Tabla 4.16. Total consumos eléctrico e hídricos en cada poblado.	33
Tabla 4.17. Tecnologías para remoción de arsénico y su eficiencia.	34
Tabla 4.18. Costos asociados al tratamiento por Osmosis inversa y Coagulación.....	35
Tabla 4.19. Dimensiones para la toma de agua.....	38
Tabla 4.20. Dimensiones para el tanque de entrada.	38
Tabla 4.21. Dimensiones principales de la Canaleta Parshall.	39
Tabla 4.22. Dimensiones del Floculador.....	40
Tabla 4.23. Dimensiones de Sedimentor.....	40
Tabla 4.24. Dimensiones de la Laguna de lodos.....	41
Tabla 4.25. Dimensiones de los filtros de la planta hídrica.....	42
Tabla 4.26. Dimensiones del estanque de lavado de filtros para la planta hídrica.....	42
Tabla 4.27. Distribución estanques en los poblados.	44
Tabla 4.28. Consumos eléctricos de los equipos asociados a la planta hídrica.	45
Tabla 4.29. Consumos eléctricos diarios para cada planta hídrica.....	45
Tabla 4.30. Especificaciones generales del panel “SUNPOWER E19/320”.	47
Tabla 4.31. Consumo diario y anuales de electricidad para cada poblado.....	48
Tabla 4.32. Resumen valores ingresados a Explorador Solar.	49

Tabla 4.33. Resumen capacidades y estimado de generación para cada poblado.....	50
Tabla 4.34. Cantidad mínima de abastecida con baterías para cubrir demanda.....	52
Tabla 4.35. Características generales inversores.....	53
Tabla 5.1. Costos de inversión para la planta hídrica en cada poblado.....	58
Tabla 5.2. Costos fijos para las plantas hídricas.....	59
Tabla 5.3. Precio de los inversores y reguladores usados en las plantas eléctricas.....	60
Tabla 5.4. Costos de inversión para la planta eléctrica en cada poblado.....	61
Tabla 6.1. Resumen resultados planta hídrica para los 3 poblados.....	63
Tabla 6.2. VAN y TIR para flujo de caja con préstamo.....	64
Tabla 6.3. VAN y TIR para financiamiento de un privado.....	64
Tabla 6.4. VAN y TIR para flujo de caja con 50% de subsidio.....	64
Tabla 6.5. Precio mínimo del m ³ para que el VAN sea positivo.....	65
Tabla 6.6. Precio mínimo del m ³ para que el VAN sea positivo con un subsidio del 50%.....	66
Tabla 6.7. Características principales de las instalaciones fotovoltaicas para los 3 poblados.....	67
Tabla 6.8. Demandas eléctricas diarias, mensuales y en el total del periodo evaluado para de los 3 poblados.....	67
Tabla 6.9. VAN y TIR para flujo de caja con préstamo.....	68
Tabla 6.10. VAN y TIR para flujo de caja con subsidio para las baterías.....	68
Tabla 6.11. VAN y TIR para flujo de caja con una disminución del 20% en la demanda.....	68
Tabla 6.12. Precio del kWh para que el VAN sea positivo.....	68
Tabla 6.13. Precio mínimo del kWh para que el VAN sea positivo con un subsidio de las baterías.....	70
Tabla 6.14. CO ₂ no generado al ocupar una planta fotovoltaica.....	72
Tabla B.1 Resumen población y consumos de las comunas.....	80
Tabla C.1. Resumen potencial eólico-solar y los proveedores regionales.....	81
Tabla D.1. Rango de los parámetros de calidad de agua en las cuencas [20].....	82
Tabla E.1. Parámetros de la Canaleta Parshall para las plantas hídricas.....	83
Tabla H.1. Dimensiones laguna de lodos.....	90
Tabla T.1. Costos por concentrado.....	106
Tabla U.1. Flujo caja planta coagulación de Colchane para los primeros 6 meses del 2018.....	107
Tabla U.2. Flujo caja planta coagulación de Colchane para los segundos 6 meses del 2018.....	108
Tabla U.3. Flujo caja planta de Colchane coagulación para los años 2019 al 2024.....	109
Tabla U.4. Flujo caja planta coagulación de Colchane para los años 2025 al 2030.....	110
Tabla U.5. Flujo caja planta coagulación de Colchane para los años 2031 al 2036.....	111

Tabla U.6. Flujo caja planta coagulación de Colchane para los años 2037 al 2042.....	112
Tabla V.1. Flujo caja planta coagulación de Cariquima para los primeros 6 meses del 2018..	113
Tabla V.2. Flujo caja planta coagulación de Cariquima para los segundos 6 meses del 2018.....	114
Tabla V.3. Flujo caja planta coagulación de Cariquima para los años 2019 al 2024.....	115
Tabla V.4. Flujo caja planta coagulación de Cariquima para los años 2015 al 2030.....	116
Tabla V.5. Flujo caja planta coagulación p de Cariquima ara los años 2031 al 2036.....	117
Tabla V.6. Flujo caja planta coagulación de Cariquima para los años 2037 al 2042.....	118
Tabla W.1. Flujo caja planta coagulación de Isluga para los primeros 6 meses del 2018	119
Tabla W.2. Flujo caja planta coagulación de Isluga para los segundos 6 meses del 2018.....	120
Tabla W.3. Flujo caja planta coagulación de Isluga para los años 2019 al 2024	121
Tabla W.4. Flujo caja planta coagulación de Isluga para los años 2025 al 2030.....	122
Tabla W.5. Flujo caja planta coagulación de Isluga para los años 2031 al 2036.....	123
Tabla W.6. Flujo caja planta coagulación de Isluga para los años 2037 al 2042	124
Tabla X.1. Flujo caja planta fotovoltaica de Colchane para los primeros 6 meses del 2018..	125
Tabla X.2. Flujo caja planta fotovoltaica de Colchane para los segundos 6 meses del 2018.....	126
Tabla X.3. Flujo caja planta fotovoltaica de Colchane para los años 2019 al 2024.....	127
Tabla X.4. Flujo caja planta fotovoltaica de Colchane para los años 2025 al 2030.....	128
Tabla X.5. Flujo caja planta fotovoltaica de Colchane para los años 2031 al 2036.....	129
Tabla X.6. Flujo caja planta fotovoltaica de Colchane para los años 2037 al 2042.....	130
Tabla Y.1. Flujo caja planta fotovoltaica de Cariquima para los primeros 6 meses del 2018..	13
Tabla Y.2. Flujo caja planta fotovoltaica de Cariquima para los segundos 6 meses del 2018.....	132
Tabla Y.3. Flujo caja planta fotovoltaica de Cariquima para los años 2019 al 2024.....	133
Tabla Y.4. Flujo caja planta fotovoltaica de Cariquima para los años 2025 al 2030.....	134
Tabla Y.5. Flujo caja planta fotovoltaica de Cariquima para los años 2031 al 2036.....	135
Tabla Y.6. Flujo caja planta fotovoltaica de Cariquima para los años 2037 al 2042	136
Tabla Z.1. Flujo caja planta fotovoltaica de Isluga para los primeros 6 meses del 2018.....	137
Tabla Z.2. Flujo caja planta fotovoltaica de Isluga para los segundos 6 meses del 2018	138
Tabla Z.3. Flujo caja planta fotovoltaica de Isluga para los años 2019 al 2024.....	140
Tabla Z.4. Flujo caja planta fotovoltaica de Isluga para los años 2025 al 2030.	141
Tabla Z.5. Flujo caja planta fotovoltaica de Isluga para los años 2031 al 2036	142
Tabla Z.6. Flujo caja planta fotovoltaica de Isluga para los años 2037 al 2042	143

Índice de Figuras

Figura 2.1. Esquema metodología.....	3
Figura 3.1. Distribución de la capacidad instalada según su fuente de energía en Chile [1].	4
Figura 3.2. Colectores solares. A) Plano B) Tubo evacuado C) Parabólico D) Poza solar (EP) [6]... 6	
Figura 3.3. Turbinas eólicas de eje horizontal en Parque Eólico El Arrayan, Chile. Fabricante: Siemens [8].....	8
Figura 3.4. Turbinas eólicas de eje vertical: (A) Turbina tipo Savonius, fabricante: HelixWind. (B) Turbina tipo Darrieus, fabricante: Urban Green Energy [12].	9
Figura 3.5. Impresiones artísticas de los tres principios de aumento de potencia eólica por edificios: (A) Sobre edificio. (B) Entre edificios con forma aerodinámica. (C) A través de un edificio [13]..	10
Figura 3.6. Diagrama esquemático de un aparato osmótico [14].....	12
Figura 3.7. Proceso de coagulación-floculación de las partículas coloidales [15].....	13
Figura 4.1. Radiación global horizontal en Putre [17].	18
Figura 4.2. Radiación global horizontal en Putre por periodo del año [17].	19
Figura 4.3. Radiación global horizontal en Camarones [17].....	20
Figura 4.4. Radiación global horizontal en Camarones por periodo del año [17].....	21
Figura 4.5. Radiación global horizontal en Pica [17].....	22
Figura 4.6. Radiación global horizontal en Pica por periodo del año [17].....	22
Figura 4.7. Radiación global horizontal en Camiña [17].....	23
Figura 4.8. Radiación global horizontal en Camiña por periodo del año [17].	24
Figura 4.9. Radiación global horizontal en Colchane [17].....	25
Figura 4.10. Radiación global horizontal en Colchane por periodo del año [17].....	25
Figura 4.11. Flujos principales de la Cuenca de Isluga.	28
Figura 4.12. Flujos principales de la Cuenca de Cariquima.	28
Figura 4.13. Ubicación de las plantas eléctricas e hídricas en cada poblado.	30
Figura 4.14. Procesos de una planta de Coagulación-Floculación.....	36
Figura 4.15. Estanque PRFV tipo D.....	43
Figura 4.16. Dimensiones estanque agua producto de 100 m ³ (A) y 50 m ³ (B).....	44
Figura 4.17. Distribución consumo diario vs Generación diaria en Colchane.	50
Figura 4.18. Distribución consumo diario vs Generación diaria en Cariquima.	51
Figura 4.19. Distribución consumo diario vs Generación diaria en Isluga.	51
Figura 4.20. Soporte para los paneles solares en serie.	54

Figura J.1 Ficha técnica del dosificador seleccionado para las plantas hídras	93
Figura K.1 Ficha técnica de los estanques químicos seleccionador para las plantas hídras.....	94
Figura L.5 Ficha técnica de la bomba seleccionada para las plantas hídras.....	95
Figura M.1 Ficha técnica del Jar-Test seleccionado para las plantas hídras	96
Figura N.1. Ficha técnica del panel fotovoltaico seleccionado para las plantas eléctricas	97
Figura O.1. Ficha técnica baterías seleccionadas para las plantas eléctricas	98
Figura P.1 .Ficha técnica de los inversores seleccionados para las plantas eléctricas	99
Figura Q.1. Ficha técnica del regulador de carga seleccionada para las plantas eléctricas.....	100
Figura R.1. Ficha técnica de la caja de combinación seleccionada para las plantas eléctricas	101
Figura A.A.1. Diagrama de la planta hídras para las 3 localidades	143
Figura A.B.1. Diagrama planta fotovoltaica de 310 kW en Colchane	144
Figura A.C.1. Diagrama planta fotovoltaica de 280 kW en Cariquima	145
Figura A.D.1 Diagrama planta fotovoltaica de 270 kW en Isluga.	146