

# Tabla de contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1.1 Contexto mundial del agua	1
1.1.2 Distribución y desafíos hídricos por sector productivo en Chile	3
1.1.3 Realidad hídrica en Chile	4
1.1.4 Causas de la escasez hídrica en las cuencas de Chile	5
1.1.5 Lineamientos para la gestión del recurso hídrico en Chile	5
1.1.6 Caso Petorca	6
1.2 METODOLOGÍAS TRADICIONALES DE EVALUACIÓN DE HUELLA HÍDRICA	7
1.3 MOTIVACIÓN	8
<b>2. OBJETIVOS Y LIMITACIONES</b>	<b>9</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2.3 LIMITACIONES	9
<b>3. MARCO TEÓRICO</b>	<b>10</b>
3.1 CONCEPTUALIZACIÓN HIDROLÓGICA	10
3.2 TERMINOLOGÍA RELACIONADA CON EL AGUA	12
3.3 EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA ( <i>WATER FOOTPRINT ASSESSMENT</i> )	13
3.3.1 Objetivo y alcance de la evaluación	13
3.3.2 Cuantificación de la huella hídrica	14
3.3.3 Evaluación de la sostenibilidad	15
3.3.4 Formulación de respuestas	19
3.4 ISO 14.406: GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL – HUELLA DE AGUA	20
3.4.1 Definición del objetivo y los alcances	21
3.4.2 Análisis de inventario	22
3.4.3 Evaluación de impacto	23
3.4.4 Interpretación de resultados	26
3.5 COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS	27
3.6 DISCUSIONES DE LAS METODOLOGÍAS	28
<b>4. PROPUESTA DE UN INDICADOR DE HUELLA DE AGUA TERRITORIAL PARA CHILE</b>	<b>31</b>
4.1 DEFINICIÓN TEÓRICA DEL INDICADOR DE HUELLA DE AGUA TERRITORIAL	31
4.2 DISCUSIONES SOBRE LA DEFINICIÓN DEL INDICADOR DE HUELLA DE AGUA TERRITORIAL	33
4.3 SÍNTESIS DEL INDICADOR DE HUELLA DE AGUA TERRITORIAL	34
4.4 FUNDAMENTOS TERRITORIALES PARA EL INDICADOR DE HUELLA DE AGUA	36
4.4.1 Disponibilidad hídrica	36
4.4.2 Consumo domiciliario	37
4.4.3 Caudal ecológico mínimo	37
4.4.4 Disponibilidad de agua remanente para otras actividades	38
4.4.5 Agua disponible relativa restante por área	38
4.5 DISCUSIÓN METODOLÓGICA DEL ANÁLISIS TERRITORIAL	38
4.6 CARACTERIZACIÓN POR CUENCA HIDROGRÁFICA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE HUELLA HÍDRICA TERRITORIAL	41
4.7 DISCUSIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN POR CUENCA HIDROGRÁFICA	44
<b>5. CASO DE ESTUDIO: PRODUCCIÓN DE PALTAS EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO</b>	<b>45</b>
5.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCES	45
5.1.1 Descripción del proceso productivo	45
5.1.2 Objetivos y alcances del estudio	46
5.2 ANÁLISIS DEL INVENTARIO	46
5.2.1 Parámetros hídricos	46

5.2.2.	<i>Balance hídrico</i> .....	47
5.3.	EVALUACIÓN DE IMPACTOS .....	48
5.4.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PALTAS .....	49
5.4.1.	<i>Objetivos y alcances</i> .....	49
5.4.2.	<i>Análisis de inventario</i> .....	49
5.4.3.	<i>Evaluación de impactos</i> .....	50
<b>6.</b>	<b>REFLEXIONES FINALES</b> .....	<b>52</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>54</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>56</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>61</b>
ANEXO A.	DESCRIPCIÓN DE LOS USUARIOS EN LA HUELLA DE DISPONIBILIDAD DE AGUA .....	61
ANEXO B.	IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS TERRITORIAL.....	62
ANEXO C.	RESUMEN ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS TERRITORIAL .....	67
ANEXO D.	RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS TERRITORIAL PARA EL AÑO 2020 .....	69
ANEXO E.	NIVEL DE PRODUCCIÓN DE UN CULTIVO DE PALTOS .....	73
ANEXO F.	BALANCE HÍDRICO DE UN CULTIVO DE PALTO EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO .....	74
ANEXO G.	DATOS DEL GRUPO DE PALTEROS HIGERPAL.....	79
ANEXO H.	EVALUACIÓN DE IMPACTO DEL GRUPO DE PALTEROS HIGERPAL .....	80

## Índice de figuras

FIGURA 1.	MAPA DEL NIVEL DE ESTRÉS HÍDRICO POR PAÍS EVALUADO AL AÑO 2040 [4].....	2
FIGURA 2.	EVOLUCIÓN DEL NIVEL DE ESTRÉS HÍDRICO EN CHILE POR DÉCADA DESDE EL 2010 AL 2040 [4]. .....	2
FIGURA 3.	DISTRIBUCIÓN DE LOS DERECHOS DE APROVECHAMIENTOS CONSUNTIVOS EN CHILE A PARTIR DE LOS SECTORES PRODUCTIVOS [7]. .....	3
FIGURA 4.	OFERTA Y DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO POR REGIÓN EN CHILE (ESCALA LOGARÍTMICA) [7].....	4
FIGURA 5.	CAUSAS DE LA ESCASEZ HÍDRICA EN LAS CUENCAS DE CHILE. FUENTE: FUNDACIÓN CHILE, 2019 [9]. ...	5
FIGURA 6.	DIAGRAMA DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA [25] .....	10
FIGURA 7.	DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DE CHILE [27].....	11
FIGURA 8.	CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS [28].....	11
FIGURA 9.	ESQUEMA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE AGUA [29].....	20
FIGURA 10.	DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO ESTUDIADO [29]. .....	22
FIGURA 11.	BALANCE HÍDRICO DE UN PROCESO [29]. .....	22
FIGURA 12.	EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE PUNTO MEDIO Y PUNTO FINAL DEL USO DE AGUA [33].....	26
FIGURA 13.	INTERPRETACIÓN FÍSICA DE $1/AMD$ PARA UNA CUENCA HIDROGRÁFICA MOSTRANDO DOS ESCENARIOS. ....	35
FIGURA 14.	ESQUEMA GRÁFICO DE LOS CASOS QUE PUEDE TOMAR EL RESULTADO DEL INDICADOR DE HUELLA DE AGUA TERRITORIAL.....	35
FIGURA 15.	ESTRÉS HÍDRICO DE CHILE Y ARGENTINA PROYECTADO AL AÑO 2030 [46].....	38
FIGURA 16.	COMPARACIÓN DE LOS CRITERIOS PARA DEFINIR EL CAUDAL ECOLÓGICO MÍNIMO [42].....	40
FIGURA 17.	MEDICIÓN DE CAUDAL DISPONIBLE, CONSUMO DOMICILIARIO Y CAUDAL ECOLÓGICO DE LAS CUENCAS DE CAUDAL BAJO PARA LA PROYECCIÓN AL AÑO 2020. ....	41
FIGURA 18.	MEDICIÓN DE CAUDAL DISPONIBLE, CONSUMO DOMICILIARIO Y CAUDAL ECOLÓGICO DE LAS CUENCAS DE CAUDAL MEDIO-BAJO PARA LA PROYECCIÓN AL AÑO 2020. ....	42
FIGURA 19.	MEDICIÓN DE CAUDAL DISPONIBLE, CONSUMO DOMICILIARIO Y CAUDAL ECOLÓGICO DE LAS CUENCAS DE CAUDAL MEDIO PARA LA PROYECCIÓN AL AÑO 2020. ....	42
FIGURA 20.	MEDICIÓN DE CAUDAL DISPONIBLE, CONSUMO DOMICILIARIO Y CAUDAL ECOLÓGICO DE LAS CUENCAS DE CAUDAL ALTO PARA LA PROYECCIÓN AL AÑO 2020.....	42
FIGURA 21.	DIAGRAMA DE CICLO DE VIDA DE LA PALTA.....	45
FIGURA 22.	ETAPAS DE LA VIDA DE UN PALTO SEGÚN LA EDAD QUE POSEA [52].....	45
FIGURA 23.	CICLO DE FORMACIÓN DE FRUTOS DE UN PALTO [53]. .....	45
FIGURA 24.	ESQUEMA DEL PROCESO DE POSTCOSECHA DE LAS PALTAS [55]. .....	46

FIGURA 25. ESQUEMA DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS PARA EL BALANCE HÍDRICO DE LA ETAPA DE CULTIVO DE PALTAS.....	47
FIGURA 26. ESQUEMA DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS PARA EL BALANCE HÍDRICO DE LA ETAPA DEL CULTIVO DE PALTAS.....	74

## Índice de tablas

TABLA 1. TEMÁTICAS PRIORITARIAS QUE DEBERÍA TENER EL “PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LOS RECURSOS HÍDRICOS” SEGÚN EL MMA (IZQUIERDA) Y FUNDACIÓN CHILE (DERECHA). .....	6
TABLA 2. CATEGORÍAS DE IMPACTO DE LA HUELLA DE AGUA A PARTIR DE LOS INDICADORES DE PUNTO MEDIO Y DE PUNTO FINAL [30]. .....	23
TABLA 3. CATEGORÍAS DE IMPACTO Y MÉTODO DE EVALUACIÓN DE PUNTO MEDIO RECOMENDADOS PARA LATINOAMÉRICA [31]. .....	23
TABLA 4. CATEGORÍAS DE DAÑO Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE PUNTO FINAL MÁS UTILIZADO EN LATINOAMÉRICA [31]. .....	24
TABLA 5. FUNCIONALIDADES DE CATEGORÍA DE AGUA POR USUARIO [34]. .....	25
TABLA 6. COMPARACIÓN ENTRE LA EVALUACIÓN HUELLA HÍDRICA (WATER FOOTPRINT ASSESSMENT) Y LA NORMA INTERNACIONAL ISO 14.046 GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL SOBRE LA HUELLA DE AGUA. ....	27
TABLA 7. DISPONIBILIDAD DE AGUA REMANENTE Y FACTOR DE CARACTERIZACIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE AGUA DISPONIBLE PARA EL AÑO 2020.....	43
TABLA 8. BALANCE HÍDRICO DE UN CULTIVO DE PALTAS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO ACONCAGUA.....	48
TABLA 9. DATOS DEL GRUPO DE PALTEROS HIGERPAL. ....	48
TABLA 10. RESULTADOS DE LOS INDICADORES DE IMPACTO PARA EL GRUPO DE PALTEROS HIGERPAL, EVALUADOS EN LAS PRINCIPALES CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO. ....	49

## Índice de tablas de anexos

TABLA A1. TIPOS DE USUARIOS DEL AGUA [34]. .....	61
TABLA A2. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS DATOS DE CADA CUENCA HIDROLÓGICA, CONSIDERANDO UN PERIODO HISTÓRICO DE 25 AÑOS (1993 - 2017) Y UNO DE 5 AÑOS (2013 - 2017). .....	67
TABLA A3. SUPERFICIE, CAUDAL DISPONIBLE, CONSUMO DOMICILIARIO Y CAUDAL ECOLÓGICO POR CUENCA HIDROLÓGICA PARA EL AÑO 2020.....	69
TABLA A4. PORCENTAJE DEL CAUDAL DE LA CUENCA HIDROLÓGICA QUE SE DESTINA AL CONSUMO DOMICILIARIO PARA EL AÑO 2020. ....	70
TABLA A5. DISPONIBILIDAD DE AGUA REMANENTE, INDICADOR DE DISPONIBILIDAD MENOS DEMANDA Y FACTOR DE CARACTERIZACIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE AGUA DISPONIBLE.....	72
TABLA A6. VOLUMEN DE AGUA DE RIEGO PROMEDIO A APLICAR CADA MES EN PALTOS ADULTOS DE LOS VALLES DE QUILLOTA, PETORCA Y LA LIGUA (V REGIÓN) PARA UN MARCO DE PLANTACIÓN DE 6x4 CONSIDERANDO EL RIEGO TOTAL Y EL RIEGO EFECTIVO [57]. .....	74
TABLA A7. DATOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA PARA LAS CUENCAS RÍO PETORCA, RÍO LIGUA Y RÍO ACONCAGUA CALCULADOS A PARTIR DEL PROMEDIO MENSUAL PARA LOS AÑOS 2014 AL 2019 [66]. ....	75
TABLA A8. DATOS MENSUALES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA Y COEFICIENTE DE CULTIVO DEL PALTO, Y CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO PARA LOS VALLES DE QUILLOTA, PETORCA Y LA LIGUA [57]. .....	75
TABLA A9. BALANCE HÍDRICO DE UN CULTIVO DE PALTAS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO PETORCA.....	77
TABLA A10. BALANCE HÍDRICO DE UN CULTIVO DE PALTAS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO LIGUA. ....	77
TABLA A11. BALANCE HÍDRICO DE UN CULTIVO DE PALTAS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO ACONCAGUA. ....	78
TABLA A12. DATOS DEL GRUPO DE PALTEROS HIGERPAL. ....	79
TABLA A13. RESULTADOS PARA EL INDICADOR DE HUELLA DE AGUA TERRITORIAL EVALUADO PARA LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS RÍO PETORCA, RÍO LIGUA Y RÍO ACONCAGUA PARA EL AÑO 2020. ....	81
TABLA A14. SUPERFICIE DE LA CUENCA, CAUDAL DISPONIBLE, CONSUMO DOMICILIARIO Y CAUDAL ECOLÓGICO PARA LAS CUENCAS HIDROLÓGICAS RÍO PETORCA, RÍO LIGUA Y RÍO ACONCAGUA PARA EL AÑO 2020.....	81
TABLA A15. RESULTADOS DE LOS INDICADORES DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE DISPONIBILIDAD PARA LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS RÍO PETORCA, RÍO LIGUA Y RÍO ACONCAGUA PARA EL AÑO 2020. ....	83