



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**UTILIDAD DE MODELOS DE PRONÓSTICO DE VOLÚMENES DE
DESHIELO EN LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS DEL SECTOR
AGRÍCOLA DE LOS RÍOS MAULE Y LONGAVÍ, CHILE**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA, MENCIÓN RECURSOS Y MEDIO AMBIENTE HÍDRICO**

MARÍA IGNACIA ORELL FUENTES

PROFESOR GUÍA:

JAMES MCPHEE TORRES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

RODRIGO FUSTER GÓMEZ

XIMENA VARGAS MESA

SANTIAGO DE CHILE

2020

**RESUMEN DE LA TESIS PARA
OPTAR AL GRADO DE:** Magíster en Ciencias
de la Ingeniería, Mención Recursos y Medio
Ambiente Hídrico
POR: María Ignacia Orell Fuentes
FECHA: Diciembre de 2020
PROF. GUÍA: James McPhee Torres

**UTILIDAD DE MODELOS DE PRONÓSTICO DE VOLÚMENES DE
DESHIELO EN LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS DEL SECTOR
AGRÍCOLA DE LOS RÍOS MAULE Y LONGAVÍ, CHILE**

La nieve acumulada en la cordillera de Los Andes, constituye una de las principales fuentes de agua de la zona central de Chile. En particular, las cuencas de los ríos Maule y Longaví, ubicadas en la región del Maule, tienen un régimen de predominio nival en su zona alta, por lo que el agua disponible en la época de verano depende principalmente de los deshielos en cordillera. Para el sector agrícola de esta zona, la temporada de riego comienza precisamente en la temporada de deshielos, periodo en que es fundamental conocer el volumen de agua disponible para los cultivos. La Dirección General de Aguas (DGA) provee pronósticos de volúmenes de deshielo desde 1975 a las principales cuencas del país, mientras que el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) desde 1999 se focaliza en aquellas que cuentan con desarrollo hidroeléctrico. Ambos organismos emiten pronósticos para la cuenca del río Maule, mientras que la cuenca del río Longaví no dispone de pronósticos de deshielo de dominio público. Por ello, desde el año 2019 la Universidad de Chile desarrolla modelos de pronósticos para seis cuencas de la región del Maule, entre las que se encuentran ambas cuencas de estudio.

La presente investigación, indagó en la utilidad de los modelos de pronóstico de volúmenes de deshielo desarrollados en las cuencas de los ríos Maule y Longaví, así como en su utilidad y requerimientos de información. Para ello, se realizó entrevistas a actores claves y se cuantificó la capacidad predictiva de los modelos de pronóstico disponibles. Con los resultados de cada modelo y su capacidad predictiva, se cuantificó las utilidades esperadas de las decisiones tomadas con y sin información, mediante un árbol de decisiones, evaluándose el efecto de la información de caudales de deshielo, en la producción agrícola.

El pronóstico de volumen de deshielo fue mencionado como el principal conocimiento requerido por los agricultores de ambas cuencas. En la cuenca del río Maule, el modelo de pronóstico del CEN tiene mejor capacidad predictiva para los años húmedos, mientras que el modelo de la U. de Chile tiene mejor capacidad predictiva para los años secos. Los árboles de decisión mostraron que el valor esperado de los modelos de pronóstico de volúmenes de deshielo es mayor que el de tomar decisiones de cultivo sin considerar dicha información. A partir de ello se estimó que la diferencia en las utilidades esperadas con y sin modelo, en la mayoría de los casos está en el orden de los miles de millones de pesos, a nivel de cuenca. Esto muestra la importancia de focalizar los esfuerzos de investigación en el desarrollo de modelos de pronóstico, además de avanzar en métricas más significativas para los agricultores, vinculando los pronósticos de deshielo con las necesidades de los usuarios agrícolas.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi compañero de vida, Ersán, quien me ha apoyado con amor y energía en todo este proceso. Gracias al pequeño Ersancito, por su comprensión cuando tenía que trabajar en vez de jugar; sus abrazos y sonrisas me dieron la fuerza para terminar.

Gracias a mi madre y mis abuelas, porque me han educado con sabiduría y me han entregado todas las herramientas para perseguir mis sueños.

Gracias a mis amigas y amigos, que me han ayudado incondicionalmente.

Gracias a James McPhee, porque ha sido un excelente profesor guía y jefe de proyecto, a quien admiro profesional y humanamente. Gracias por abrirme posibilidades para trabajar y estudiar.

Gracias a Rodrigo Fuster, Juan Manuel Uribe y Horacio Brown, que fueron mis primeros maestros y me dieron sus cartas de recomendación al entrar al magíster y postular a la beca CONICYT.

Finalmente, gracias a Yarko Niño y Jacqueline Suárez, porque son un apoyo permanente para quienes estudiamos este magíster y venimos de otra facultad.

TABLA DE CONTENIDO

1	CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1	MOTIVACIÓN.....	1
1.2	ESTADO DEL ARTE.....	2
1.3	OBJETIVOS.....	3
1.3.1	<i>Objetivo general</i>	3
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
2	CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO	4
2.1	CUENCA HIDROGRÁFICA	4
2.2	RÉGIMEN HIDRO-METEOROLÓGICO.....	5
2.3	JUNTAS DE VIGILANCIA Y PRINCIPALES USUARIOS	6
2.4	DEMANDAS DE AGUA POR SECTOR PRODUCTIVO	8
3	CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	10
3.1	MODELO DE TOMA DE DECISIONES EN EL SECTOR AGRÍCOLA DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS MAULE Y LONGAVÍ	10
3.2	CAPACIDAD PREDICTIVA DE LOS PRONÓSTICOS DE CAUDALES DE DESHIELO DISPONIBLES 12	
3.2.1	<i>Modelos de pronóstico</i>	12
3.2.2	<i>Probabilidades de acierto de modelos de pronóstico</i>	12
3.3	UTILIDAD DE LOS MODELOS DE PRONÓSTICO DE DESHIELO EN LA GESTIÓN HÍDRICA 13	
3.3.1	<i>Tabla de decisión</i>	13
3.3.2	<i>Árbol de decisión por agricultor</i>	14
3.3.3	<i>Árbol de decisión por cuenca</i>	16
4	CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
4.1	MODELO DE TOMA DE DECISIONES EN EL SECTOR AGRÍCOLA DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS MAULE Y LONGAVÍ	17
4.1.1	<i>Junta de vigilancia del río Maule</i>	17
4.1.2	<i>Junta de Vigilancia del río Longaví</i>	19
4.1.3	<i>Análisis del modelo de toma de decisiones</i>	22
4.2	CAPACIDAD PREDICTIVA DE LOS PRONÓSTICOS DE CAUDALES DE DESHIELO DISPONIBLES 23	

4.2.1	<i>Modelos de pronóstico.....</i>	<i>23</i>
4.2.2	<i>Capacidad predictiva de los modelos de pronóstico en la estación Maule en Armerillo</i>	<i>26</i>
4.2.3	<i>Capacidad predictiva de los modelos de pronóstico en la estación Longaví en el Castillo</i>	<i>30</i>
4.2.4	<i>Análisis de la capacidad predictiva de los modelos de pronóstico</i>	<i>33</i>
4.3	UTILIDAD DE LOS MODELOS DE PRONÓSTICO DE DESHIELO EN LA GESTIÓN HÍDRICA	34
4.3.1	<i>Tabla de decisión</i>	<i>34</i>
4.3.2	<i>Árbol de decisión por agricultor</i>	<i>38</i>
4.3.3	<i>Árbol de decisión por cuenca</i>	<i>43</i>
4.3.4	<i>Análisis de las utilidades de los modelos de pronóstico.....</i>	<i>47</i>
5	CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	49
6	BIBLIOGRAFÍA.....	51
7	ANEXOS.....	55
	ANEXO A. GUÍAS DE ENTREVISTAS EN PROFUNDIDAD A REPRESENTANTES DE ORGANIZACIONES DE USUARIOS DE AGUAS	55
	ANEXO B. GUÍAS DE ENTREVISTAS SEMI-ESTRUCTURADAS A AGRICULTORES	56
	ANEXO C. GUÍA DE ENTREVISTA EN PROFUNDIDAD AL ENCARGADO DE PRONÓSTICOS DGA	59
	ANEXO D. GUÍA DE ENTREVISTA A EXPERTOS EN CULTIVOS DE LA REGIÓN DEL MAULE.....	60
	ANEXO E. ANÁLISIS DE FRECUENCIA.....	62
	ANEXO D. TABLAS DE DECISIÓN	65
	ANEXO F. ÁRBOLES DE DECISIÓN.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1: SUPERFICIES DE RIEGO DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS, POR CUENCA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	7
TABLA 2.2: EXTRACCIONES DE AGUA EN LA REGIÓN DEL MAULE.....	9
TABLA 2.3: DEMANDAS DE AGUA EN LA REGIÓN DEL MAULE.....	9
TABLA 3.1: ENTREVISTAS A REPRESENTANTES DE JUNTAS DE VIGILANCIA.	10
TABLA 3.2: ENTREVISTAS A REGANTES DEL ÁREA DE ESTUDIO.	10
TABLA 3.3: ENTREVISTA AL ENCARGADO DE PRONÓSTICO DE LA DGA.	12
TABLA 4.1: VALORES OBTENIDOS EN EL TEST CHI 2, PARA SERIE DE VOLÚMENES DE DESHIELO CON DISTRIBUCIÓN NORMAL, MAULE EN ARMERILLO.....	26
TABLA 4.2: VOLÚMENES [MILL M3] PARA UN 70% Y 30% DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA	26
TABLA 4.3: CLASIFICACIÓN DE AÑOS SECOS, NORMALES Y HÚMEDOS SEGÚN EL VOLUMEN DE AGUA ACUMULADO ENTRE LOS MESES DE SEPTIEMBRE A MARZO Y DESDE OCTUBRE A MARZO, ESTACIÓN MAULE EN ARMERILLO	27
TABLA 4.4: PROBABILIDADES DE TENER UN AÑO HÚMEDO, NORMAL O SECO EN EL PERIODO DE ANÁLISIS, MAULE EN ARMERILLO	27
TABLA 4.5: PROBABILIDADES DE TENER UN PRONÓSTICO DE AÑO HÚMEDO, NORMAL O SECO EN EL PERIODO DE ANÁLISIS, UTILIZANDO EL MODELO DE PRONÓSTICO DE DGA, MAULE EN ARMERILLO	28
TABLA 4.6: MATRIZ DE CONTINGENCIA CON PROBABILIDADES CONDICIONALES SEGÚN EL PRONÓSTICO DGA, MAULE EN ARMERILLO.....	28
TABLA 4.7: PROBABILIDADES DE TENER UN PRONÓSTICO DE AÑO HÚMEDO, NORMAL O SECO EN EL PERIODO DE ANÁLISIS, UTILIZANDO EL MODELO DE PRONÓSTICO DEL CEN EN ARMERILLO	29
TABLA 4.8: MATRIZ DE CONTINGENCIA CON PROBABILIDADES CONDICIONALES SEGÚN EL PRONÓSTICO DEL CEN, MAULE EN ARMERILLO.....	29
TABLA 4.9: PROBABILIDADES DE TENER UN PRONÓSTICO DE AÑO HÚMEDO, NORMAL O SECO EN EL PERIODO DE ANÁLISIS, UTILIZANDO EL MODELO DE PRONÓSTICO DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, MAULE EN ARMERILLO	30
TABLA 4.10: MATRIZ DE CONTINGENCIA CON PROBABILIDADES CONDICIONALES SEGÚN EL PRONÓSTICO DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, MAULE EN ARMERILLO.....	30
TABLA 4.11: VALORES OBTENIDOS EN EL TEST CHI 2, PARA SERIE DE VOLÚMENES DE DESHIELO CON DISTRIBUCIÓN NORMAL, LONGAVÍ EN EL CASTILLO	31
TABLA 4.12: VOLÚMENES [MILL M3] PARA UN 70% Y 30% DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA, LONGAVÍ EN EL CASTILLO.....	31
TABLA 4.13: CLASIFICACIÓN DE AÑOS SECOS, NORMALES Y HÚMEDOS SEGÚN EL VOLUMEN DE AGUA ACUMULADO ENTRE LOS MESES DE SEPTIEMBRE A MARZO Y DESDE OCTUBRE A MARZO, ESTACIÓN LONGAVÍ EN EL CASTILLO	31
TABLA 4.14: PROBABILIDADES DE TENER UN AÑO HÚMEDO, NORMAL O SECO EN EL PERIODO DE ANÁLISIS, LONGAVÍ EN EL CASTILLO	32
TABLA 4.15: PROBABILIDADES DE TENER UN PRONÓSTICO DE AÑO HÚMEDO, NORMAL O SECO EN EL PERIODO DE ANÁLISIS, UTILIZANDO EL MODELO DE PRONÓSTICO DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, LONGAVÍ EN EL CASTILLO	32
TABLA 4.16: MATRIZ DE CONTINGENCIA CON PROBABILIDADES CONDICIONALES SEGÚN EL PRONÓSTICO DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, LONGAVÍ EN EL CASTILLO.....	33
TABLA 4.17: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO NORMAL. AGRICULTOR ID 2.....	36
TABLA 4.18: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO HÚMEDO. AGRICULTOR ID 2.	36
TABLA 4.19: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO SECO. AGRICULTOR ID 2.	37
TABLA 4.20: CULTIVOS DE AGRICULTORES ENTREVISTADOS	38
TABLA 4.21: ESTIMACIÓN DE UTILIDADES DE AGRICULTORES CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ	43
TABLA 4.22: ESTIMACIÓN DE UTILIDADES DE AGRICULTORES CUENCA DEL RÍO MAULE.....	43
TABLA 4.23: ORDEN DE CULTIVOS, SEGÚN RENTABILIDAD Y DEMANDA HÍDRICA.....	44
TABLA 4.24: VARIACIONES DE SUPERFICIE DE CULTIVOS PARA LAS CUENCAS DE LOS RÍOS MAULE Y LONGAVÍ, SITUACIÓN HÚMEDA.....	44
TABLA 4.25: VARIACIONES DE SUPERFICIE DE CULTIVOS PARA LAS CUENCAS DE LOS RÍOS MAULE Y LONGAVÍ, SITUACIÓN SECA.....	44
TABLA 4.26: SUPERFICIES POR CULTIVO PARA CADA TIPO DE AÑO, EN LA CUENCA DEL RÍO MAULE.	45
TABLA 4.27: SUPERFICIES POR CULTIVO PARA CADA TIPO DE AÑO, EN LA CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ.....	45
TABLA 4.28: VALORACIÓN DE UTILIDADES POR CUENCA.....	46

TABLA 4.29: DIFERENCIA DE UTILIDADES ESPERADAS DEL PRONÓSTICO U. DE CHILE EN CADA ESCENARIO HIDROLÓGICO, PARA LA CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ.....	46
TABLA 4.30: DIFERENCIA DE LAS UTILIDADES ESPERADAS DE LOS TRES MODELOS DE PRONÓSTICO, EN CADA ESCENARIO HIDROLÓGICO, PARA LA CUENCA DEL RÍO MAULE.....	47
TABLA 7.1: ANÁLISIS DE FRECUENCIA. SERIES DE VOLÚMENES DE DESHIELO (SEPTIEMBRE-MARZO), MAULE EN ARMERILLO. PERIODO DE ANÁLISIS 1984-2018.....	62
TABLA 7.2: ANÁLISIS DE FRECUENCIA. SERIES DE VOLÚMENES DE DESHIELO (OCTUBRE-MARZO), MAULE EN ARMERILLO. PERIODO DE ANÁLISIS 1984-2018.....	63
TABLA 7.3: ANÁLISIS DE FRECUENCIA. SERIES DE VOLÚMENES DE DESHIELO (SEPTIEMBRE-MARZO), LONGAVÍ EN EL CASTILLO. PERIODO DE ANÁLISIS 1984-2018.....	64
TABLA 7.4: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO NORMAL, CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. AGRICULTOR ID 8.....	65
TABLA 7.5: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO HÚMEDO, CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. AGRICULTOR ID 8.....	66
TABLA 7.6: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO SECO, CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. AGRICULTOR ID 8.....	67
TABLA 7.7: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO NORMAL, CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. AGRICULTOR ID 9.....	67
TABLA 7.8: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO HÚMEDO, CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. AGRICULTOR ID 9.....	68
TABLA 7.9: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO SECO, CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. AGRICULTOR ID 9.....	68
TABLA 7.10: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO NORMAL, CUENCA DEL RÍO MAULE. AGRICULTOR ID 11.....	69
TABLA 7.11: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO HÚMEDO, CUENCA DEL RÍO MAULE. AGRICULTOR ID 11.....	69
TABLA 7.12: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO NORMAL, CUENCA DEL RÍO MAULE. AGRICULTOR ID 11.....	70
TABLA 7.13: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO NORMAL, CUENCA DEL RÍO MAULE. AGRICULTOR ID 17.....	70
TABLA 7.14: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO HÚMEDO, CUENCA DEL RÍO MAULE. AGRICULTOR ID 17.....	71
TABLA 7.15: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO SECO, CUENCA DEL RÍO MAULE. AGRICULTOR ID 17.....	71
TABLA 7.16: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO NORMAL, CUENCA DEL RÍO MAULE.....	72
TABLA 7.17: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO HÚMEDO, CUENCA DEL RÍO MAULE.....	73
TABLA 7.18: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO SECO, CUENCA DEL RÍO MAULE.....	74
TABLA 7.19: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO NORMAL, CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ.....	75
TABLA 7.20: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO HÚMEDO, CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ.....	76
TABLA 7.21: VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CULTIVO EN UN AÑO SECO, CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: CUENCAS DE ESTUDIO Y JURISDICCIÓN DE JUNTAS DE VIGILANCIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. .4	
FIGURA 2.2: CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL EN RÉGIMEN NATURAL DE MAULE EN ARMERILLO. PERIODO DE ANÁLISIS: 1984-2018. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....5	5
FIGURA 2.3: CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL EN RÉGIMEN NATURAL DE LONGAVÍ EN EL CASTILLO. PERIODO DE ANÁLISIS: 1984-2018. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.6	6
FIGURA 2.4: ESQUEMA DEL SISTEMA HIDROELÉCTRICO DE LA CUENCA MAULE ALTO. FUENTE: ARIAS, 2011. 8	8
FIGURA 3.1: DIAGRAMA DE EJEMPLO DE ÁRBOL DE DECISIÓN. ELABORACIÓN PROPIA. 15	15
FIGURA 4.1: GRÁFICOS DIFUNDIDOS A LOS REGANTES MEDIANTE LA PÁGINA WEB DE LA JUNTA DE VIGILANCIA ... 18	18
FIGURA 4.2: UBICACIÓN DE EMBALSES DE LA CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. ELABORACIÓN PROPIA. 20	20
FIGURA 4.3: REPORTE DIFUNDIDO A LOS REGANTES MEDIANTE LA PÁGINA WEB DE LA JUNTA DE VIGILANCIA 21	21
FIGURA 4.4: PROBABILIDADES CONDICIONALES SEGÚN PRONÓSTICO DGA, MAULE EN ARMERILLO 28	28
FIGURA 4.5: PROBABILIDADES CONDICIONALES SEGÚN PRONÓSTICO CEN, MAULE EN ARMERILLO..... 29	29
FIGURA 4.6: PROBABILIDADES CONDICIONALES SEGÚN PRONÓSTICO DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, MAULE EN ARMERILLO 30	30
FIGURA 4.7: PROBABILIDADES CONDICIONALES SEGÚN PRONÓSTICO DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, LONGAVÍ EN EL CASTILLO33	33
FIGURA 4.8: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID2. CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 1. 39	39
FIGURA 4.9: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID2. CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 2. 40	40
FIGURA 4.10: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID2. CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 3..... 41	41
FIGURA 4.11: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID2. CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 4..... 42	42
FIGURA 7.1: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID8. CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 1.78	78
FIGURA 7.2: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID8. CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 2.79	79
FIGURA 7.3: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID8. CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 3. 80	80
FIGURA 7.4: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID8. CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 4. 81	81
FIGURA 7.5: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID9. CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 1. 82	82
FIGURA 7.6: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID8. CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 2. 83	83
FIGURA 7.7: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID8. CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 3. 84	84
FIGURA 7.8: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID8. CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 4. 85	85
FIGURA 7.9: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID11. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 1. 86	86
FIGURA 7.10: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID11. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 2.....87	87
FIGURA 7.11: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID11. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 3. 88	88
FIGURA 7.12: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID11. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 4. 89	89
FIGURA 7.13: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID11. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 5. 90	90
FIGURA 7.14: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID11. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 6. 91	91
FIGURA 7.15: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID11. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 7. 92	92
FIGURA 7.16: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID11. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 8. 93	93
FIGURA 7.17: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID11. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 9. 94	94
FIGURA 7.18: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID11. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 10.....95	95
FIGURA 7.19: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID17. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 1. 96	96
FIGURA 7.20: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID17. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 2..... 97	97
FIGURA 7.21: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID17. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 3..... 98	98
FIGURA 7.22: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID17. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 4. 99	99
FIGURA 7.23: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID17. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 5. 100	100
FIGURA 7.24: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID17. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 6. 101	101
FIGURA 7.25: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID17. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 7.102	102
FIGURA 7.26: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID17. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 8.103	103
FIGURA 7.27: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID17. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 9.104	104
FIGURA 7.28: ÁRBOL DE DECISIÓN AGRICULTOR ID17. CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 10.105	105
FIGURA 7.29: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 1.106	106
FIGURA 7.30: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 2. 107	107
FIGURA 7.31: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 3. 108	108
FIGURA 7.32: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 4.....109	109
FIGURA 7.33: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 5..... 110	110
FIGURA 7.34: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 6.....111	111
FIGURA 7.35: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 7. 112	112

FIGURA 7.36: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 8.....	113
FIGURA 7.37: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 9.....	114
FIGURA 7.38: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO MAULE. PARTE 10.....	115
FIGURA 7.39: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 1.....	116
FIGURA 7.40: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 2.....	117
FIGURA 7.41: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 3.....	118
FIGURA 7.42: ÁRBOL DE DECISIÓN CUENCA DEL RÍO LONGAVÍ. PARTE 4.....	119

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Motivación

En Chile central, la nieve acumulada estacionalmente en la cordillera de los Andes, constituye una de las principales fuentes de agua. La disponibilidad de este recurso para la temporada estival depende por un lado de las condiciones hidrometeorológicas y por otro de su gestión. En este contexto, el manejo de los recursos hídricos se hace cada vez más relevante tanto a nivel local como nacional, y es de suma importancia establecer escenarios y pronósticos de las situaciones futuras (Cornwell et al. 2016; Videla, 2013).

La modelación hidrológica en cordillera requiere el uso de modelos específicos para el pronóstico de volúmenes de deshielo y disponibilidad de datos que alimenten dichos modelos (Cornwell et al. 2016). Actualmente, la Dirección General de Aguas (DGA) dispone de pronósticos en 19 cuencas del país, los cuales generan buenas estimaciones para años hidrológicamente “normales”, pero en años “secos” se han observado sobreestimaciones de hasta un 60% (Lagos et al. 2015). El Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) es otro organismo que provee pronósticos de deshielo, pero se focaliza en aquellas cuencas que cuentan desarrollo hidroeléctrico. Por ello, desde el año 2019 la Universidad de Chile desarrolla modelos de pronósticos en seis cuencas de la región del Maule, entre las que se encuentran ambas cuencas de estudio.

La agricultura en la zona centro-sur de Chile presenta requerimientos de riego en las temporadas de primavera y verano, que se satisfacen con el agua superficial disponible, la cual proviene en gran parte del derretimiento de nieve producto del deshielo. Los pronósticos estacionales de deshielo constituyen un insumo para la gestión hídrica, y podrían ayudar a los agricultores a tomar decisiones más informadas y así reducir los riesgos en la producción.

Weichselgartner and Kasperson (2010) plantean que el tomador de decisión suele utilizar de manera insuficiente la investigación científica disponible, pero a su vez los científicos producen insuficiente conocimiento directamente utilizable por los tomadores de decisión. Por esto, se vuelve importante estudiar la conexión y utilidad del conocimiento generado, en los potenciales usuarios. Es decir, no basta con poner a disposición los resultados generados, sino que se requiere suficiente información relevante y manejable por los usuarios. En este sentido, surgen las siguientes preguntas: ¿Son los modelos de pronósticos de caudales de deshielo, útiles para quienes gestionan el agua y toman decisiones agrícolas? ¿Qué información se requiere? ¿Se proyectarían nuevos beneficios en la gestión hídrica y toma de decisiones, al contar con esta información?

El presente estudio indaga en la utilidad de los modelos de pronóstico de caudales de deshielo disponibles para las cuencas del río Maule y Longaví, así como los requerimientos de información por parte de quienes toman decisiones agrícolas respecto al recurso hídrico.

1.2 Estado del Arte

Diversas investigaciones coinciden en que es necesario cambiar la forma en que se genera, valora y utiliza el conocimiento, con el objetivo de promover acciones que protejan el recurso hídrico (Stephen, 2017; Olander et al., 2017). En consecuencia, se requiere emprender un trabajo focalizado en la conexión entre la investigación y las prácticas de gestión hídrica, donde los científicos puedan contribuir en las interfaces ciencia-práctica con un conocimiento coproducido y que sea utilizado, identificando su rol y el propósito del conocimiento que producen (Crouzat et al, 2018). Por ello, se ha indagado en la necesidad de mejorar la relevancia, credibilidad y legitimidad de la información para las personas que tomarán o se verán afectadas por las decisiones de gestión, de manera que los esfuerzos por integrar la ciencia en las decisiones sean más efectivos y relevantes (Stephen, 2017). Olander et al. (2017) mencionan que se requieren métodos que equilibren la calidad y la viabilidad, que sean rentables, directos, transferibles, escalables, significativos y defendibles, y que puedan ser comprendidos fácilmente.

Wright et al. (2017) también mencionan que se requiere hacer “ciencia inspirada en el uso”, es decir, que los científicos posean un compromiso deliberado con los usuarios finales y una comprensión de los contextos sociales y culturales en los que funciona un proyecto de investigación. Entre sus conclusiones destacan que:

- Las barreras para el uso de la información científica en la toma de decisiones se pueden superar fomentando el capital social entre los colaboradores de la investigación, como científicos, profesionales y miembros del público.
- Cuando los investigadores y las partes interesadas reconocen abiertamente las diferencias en las prácticas profesionales, las expectativas y las recompensas, establecen una base para la confianza y aumentan las posibilidades de una colaboración exitosa.

Por su parte, Barton et al. (2018), basado en la teoría de la incertidumbre acumulada, mencionan que cuando aumentan los requisitos de precisión y confiabilidad del contexto de decisión, y la incertidumbre esperada de los métodos también aumenta, se espera que la probabilidad de que se usen los métodos disminuya, creando una brecha de información potencial en el sistema de toma de decisiones. La principal explicación de esta brecha de información, usualmente se debe a que el proyecto de investigación no interactuó con los interesados en los contextos más relevantes para la toma de decisiones.

Existen estudios como el de Crouzat et al. (2018) donde se busca que los científicos identifiquen su rol y propósito del conocimiento que producen. Olander et al. (2017) en cambio han descrito cómo los investigadores pueden hacer que su trabajo sea relevante para los tomadores de decisión mediante indicadores, y Pérez-Soba et al. (2018) apuntan a que el conocimiento se integre en plataformas operativas para las comunidades científicas, políticas y locales.

Si se enfoca específicamente en la valoración monetaria del conocimiento científico, esto ha sido abordado principalmente en el ámbito de los servicios ecosistémicos (Wall et al, 2017). Karlsson et al. (2020), mencionan que la proporción de estudios que

cuantifican o monetizan los beneficios colaterales de las políticas climáticas es limitada y la evidencia empírica es pequeña, destacando principalmente estudios relacionados a la calidad del aire y los efectos en la salud de la reducción de emisiones. Rusch et al. (2017) optimizan una función de utilidad para decisiones de corto y largo plazo, sobre la base de indicadores monetarios y no monetarios de beneficios, analizando las decisiones que optimizan la satisfacción del productor.

Un método comúnmente usado para cuantificar la disposición a pagar es la valoración contingente, Shee et al. (2020) utilizan un experimento de valoración contingente, combinado con información de referencia entre 400 hogares en el norte de Tanzania, para estimar la disposición de los agricultores a pagar por semillas de maíz híbridas y fertilizantes inorgánicos locales. Arora et al. (2019) utilizan experimentos de elección discreta para estimar la valoración de los agricultores en cultivos de arroz con rasgos tolerantes a la sequía y a la inmersión.

La investigación que presenta más similitudes a este estudio pertenece a Nidumolu et al. (2020), en la cual se explora el potencial de los pronósticos climáticos estacionales para la toma de decisiones agrícolas mediante la construcción de árboles de decisión, con el objetivo de mejorar la gestión del riesgo climático. Sin embargo, en dicho estudio el análisis se simplifica a dos cultivos y las probabilidades asociadas a los modelos son parte de los supuestos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la utilidad de contar con modelos de pronóstico de deshielo certeros, para la gestión de recursos hídricos en las cuencas de los ríos Maule y Longaví.

1.3.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo son:

1. Caracterizar el modelo de toma de decisiones para la gestión hídrica en el sector agrícola de las cuencas de los ríos Maule y Longaví.
2. Cuantificar la capacidad predictiva de los pronósticos de caudales de deshielo disponibles.
3. Valorizar los beneficios de los modelos de pronóstico de deshielo en la gestión hídrica.

CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Cuenca hidrográfica

La cuenca del río Maule se encuentra en la VII Región del Maule, posee una superficie aproximada de 20.300 km², y se estima que cerca de un 30% de su área se encuentra por sobre la línea de nieves, por lo que tiene una fuerte componente nival (Arias, 2011). Las cuencas cordilleranas que son objeto de este estudio se encuentran insertas en la gran cuenca del río Maule.

En la Figura 2.1 se muestra la delimitación de la cuenca del río Maule en Armerillo y la cuenca del río Longaví en el Castillo. Los puntos de control de ambas cuencas se encuentran representados por un círculo azul, correspondiente a la estación fluviométrica de cierre. A su vez, se exponen mediante círculos amarillos las estaciones meteorológicas presentes. Finalmente, se presentan las delimitaciones de las juntas de vigilancias de ambas cuencas, en base a la Mapoteca Digital de la DGA.

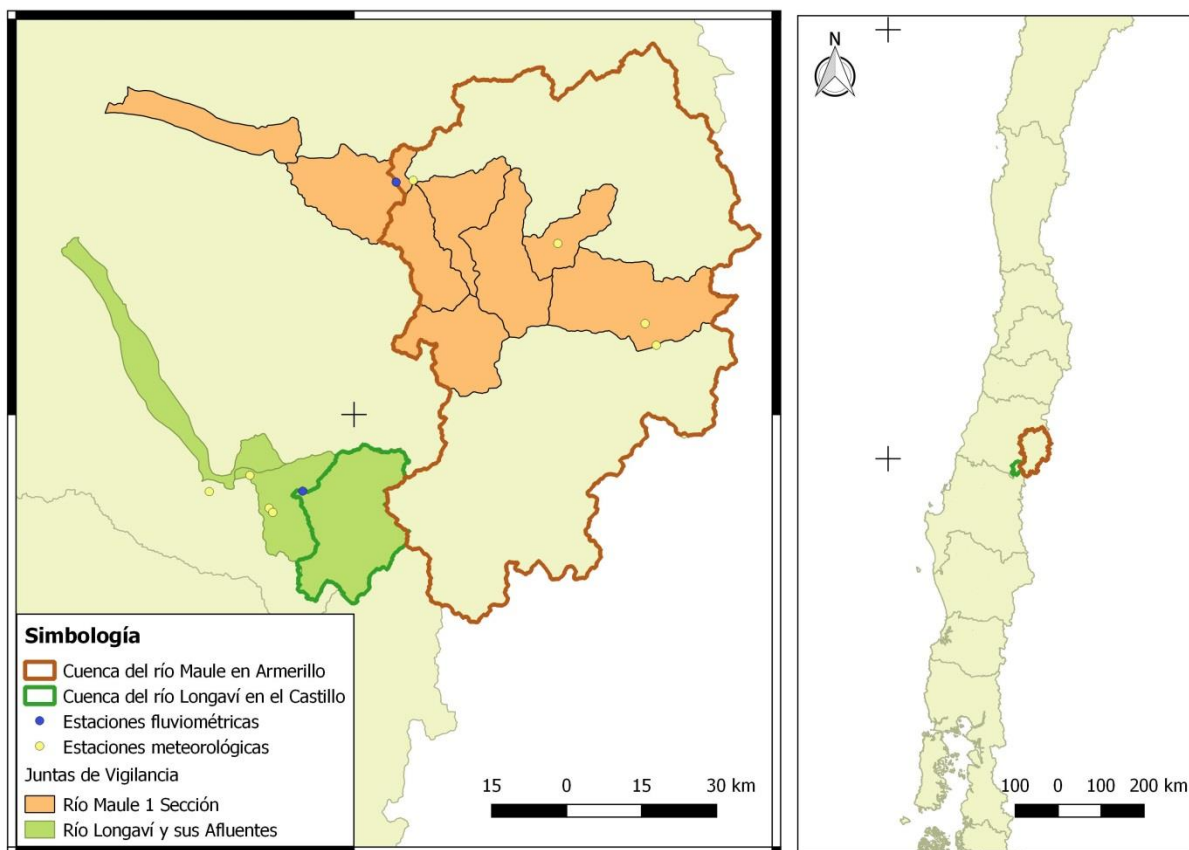


Figura 2.1: Cuencas de estudio y jurisdicción de juntas de vigilancia. Fuente: Elaboración propia.

2.2 Régimen hidro-meteorológico

La cuenca del río Maule en Armerillo tiene un área de 5.470 km², con elevaciones promedio de 2.200 msnm y máximas de 3.900 msnm, en base al Modelo Digital de Elevación Global Aster GDem. La precipitación media anual medida en la estación Armerillo es de 2.267 mm (periodo de análisis 1948-2018).

La Figura 2.2 muestra la curva de variación estacional de los caudales medios mensuales en régimen natural para dicha estación; en ella se puede observar un máximo importante en la temporada de deshielo que en el período pluvial, por lo que se clasifica como de régimen nivo-pluvial.

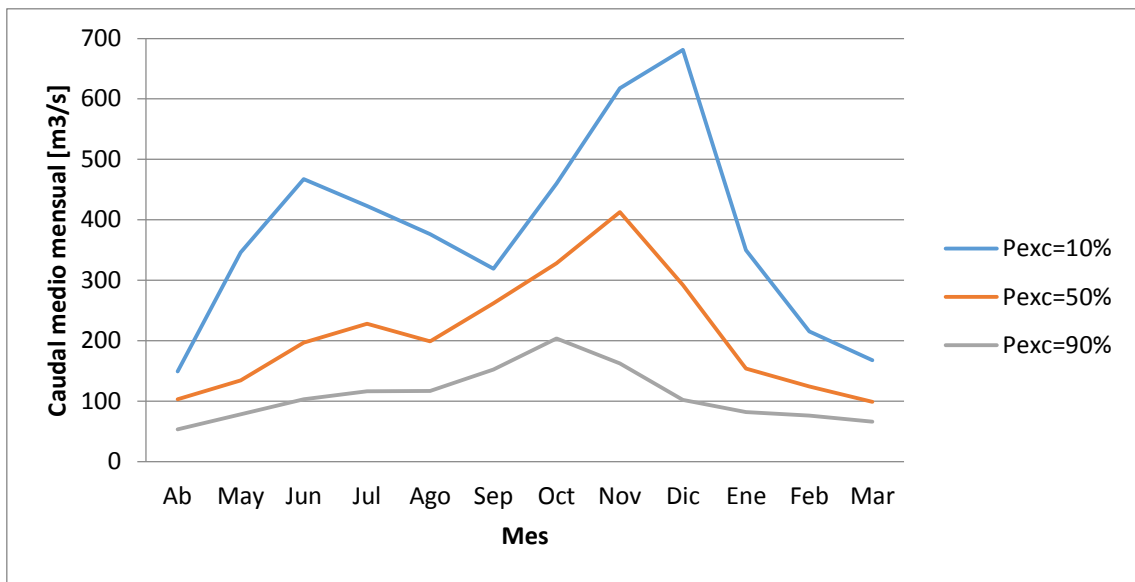


Figura 2.2: Curva de variación estacional en régimen natural de Maule en Armerillo. Periodo de análisis: 1984-2018. Fuente: Elaboración propia.

La cuenca del río Longaví en el Castillo tiene un área de 469 km², con elevaciones promedio de 1.400 msnm y máximas de 3.200 msnm, en base al Modelo Digital de Elevación Global Aster GDem. La precipitación media anual medida en la estación Bullileo es de 2.073 mm (periodo de análisis: 1949-2018).

La Figura 2.3 muestra la curva de variación estacional de los caudales medios mensuales medidos en dicha estación, en ella se puede observar que esta cuenca tiene un régimen pluvio-nival.

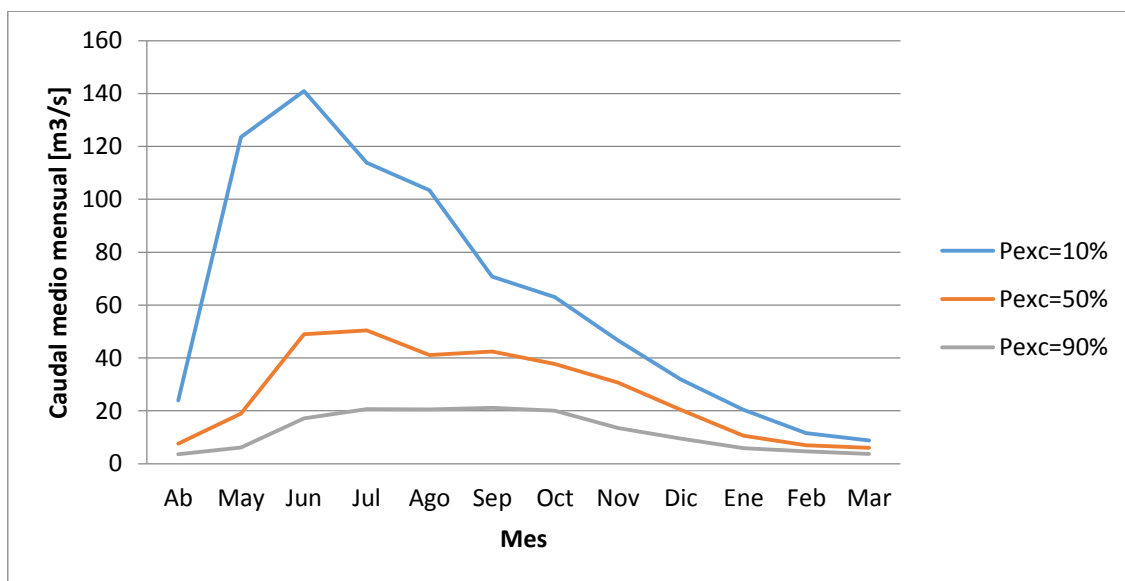


Figura 2.3: Curva de variación estacional en régimen natural de Longaví en el Castillo. Periodo de análisis: 1984-2018. Fuente: Elaboración propia.

2.3 Juntas de Vigilancia y principales usuarios

En Chile, quienes gestionan el agua son las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA), es decir, es en estas organizaciones donde se toman las decisiones, especialmente respecto a la distribución del recurso hídrico (Fuster, 2013). Según el Código de Aguas, Artículo 266 (BNC, 2020), “las juntas de vigilancia tienen por objeto administrar y distribuir las aguas a que tienen derecho sus miembros en las fuentes naturales, explotar y conservar las obras de aprovechamiento común y realizar los demás fines que les encomiende la ley”. Asimismo, realizan una misión de apoyo a las comunidades de agua, de mejoramiento de la infraestructura, incorporación de tecnologías y de conservación del recurso hídrico.

La junta de vigilancia del río Maule realiza también una labor de reconstitución de caudales a régimen natural, ya que los datos provistos por la DGA en la estación Maule en Armerillo incorporan extracciones aguas arriba del punto de control. El caudal en régimen natural es relevante para los pronósticos de caudales, cuyos modelos intentan replicar la hidrología de la cuenca sin intervenciones.

La junta de vigilancia del río Maule 1ª Sección gestiona las aguas de la parte alta de la cuenca del río Maule, las cuales se destinan principalmente a uso agrícola e hidroeléctrico. Las comunas regadas corresponden a Talca, Villa Alegre, San Javier, Linares, Yervas Buenas, Colbún, San Clemente, Maule y la parte norte de Longaví. Por otro lado, la junta de vigilancia del río Longaví y sus afluentes, gestiona las aguas del río Longaví, las cuales se destinan principalmente a uso agrícola. Las comunas regadas corresponden a Parral, Retiro y la parte sur de Longaví.

La región del Maule es una de las que tiene mayor participación en la producción agrícola del país. Los cultivos que dominan son los anuales, permanentes y las praderas artificiales (DGA, 2004). La Tabla 2.1 muestra las superficies de los principales cultivos

de las comunas regadas por las juntas del río Maule y del río Longaví (Censo Agropecuario, 2007).

Tabla 2.1: Superficies de riego de los principales cultivos, por cuenca. Fuente: Elaboración propia.

Cultivo	Río Maule	Río Longaví
Arroz	3.747	13.384
Maíz	14.942	3.618
Poroto consumo interno	2.238	1.362
Trigo blanco	8.802	5.863
Remolacha azucarera	2.632	1.952
Espárrago	213	676
Arándano	878	771
Frambuesa	1.586	1.211
Plantas forrajeras	19.410	9.854
Total	54.448	38.691

Por otro lado, la cuenca alta del río Maule es una de las zonas con mayor potencial hidroeléctrico del país: es una hoya hidrográfica de gran extensión, posee un nivel importante de escorrentía, altas pendientes, y cercanía a los grandes centros de consumo en la zona centro-sur de Chile (Arias, 2011). Por ello, cuenta con un número considerable de centrales hidroeléctricas, que constituyen un sistema complejo, como se muestra en la Figura 2.4.

El río Maule nace en el embalse natural laguna del Maule, que es la principal reserva de agua, donde está ubicada la central hidroeléctrica Los Cóndores. Por otro lado, el río Cipreses es un afluente que alimenta a la laguna Invernada, donde se encuentra la bocatoma de la central Cipreses. El embalse Melado es un lago artificial creado a partir de la construcción de una presa que almacena las aguas del río Melado, y las aguas captadas por una bocatoma en el río Maule. El embalse Colbún almacena aguas del río Maule, junto con las provenientes de la descarga de la central Pehuenche. Finalmente, las aguas generadas por la central Colbún son conducidas al embalse Machicura (Arias, 2011).

Los principales usuarios de agua no consuntivos del río Maule, es decir, que extraen agua que luego retornan al sistema, son las empresas hidroeléctricas Enel y Colbún. La primera tiene actualmente 6 centrales en operación con una potencia nominal de 882 MW, mientras que la segunda tiene 6 centrales con una potencia de 664MW. Según los estatutos de la junta de vigilancia del río Maule, estas empresas no tienen representantes en el directorio de la junta, sin embargo, participan regularmente de las reuniones en calidad de invitados. Además, en años secos suelen celebrar convenios de colaboración entre la junta de vigilancia del río Maule, Enel y Colbún, para almacenar agua de los regantes en primavera y liberarla en verano, cuando las necesidades de riego son mayores (Junta de vigilancia del río Maule, 2020).

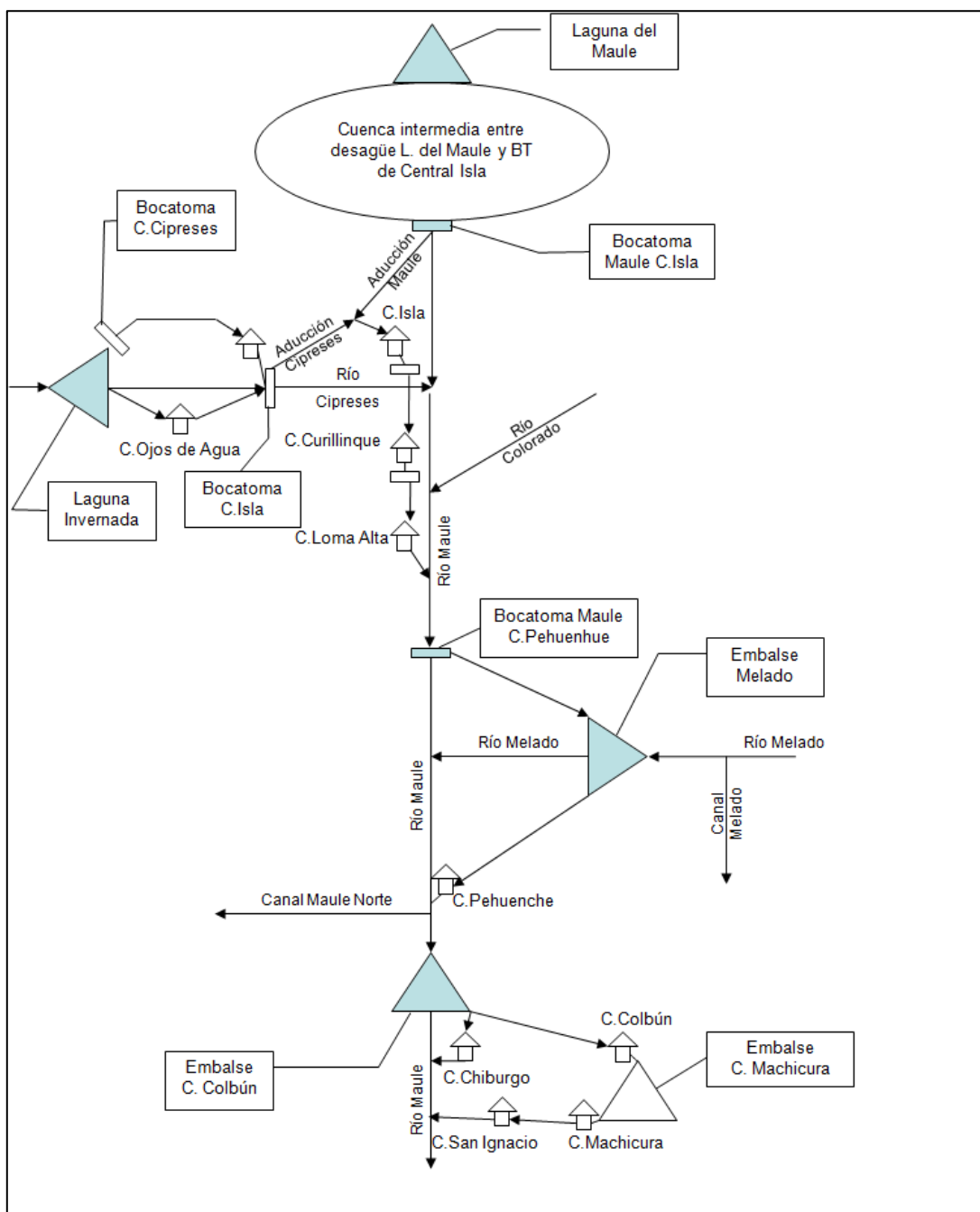


Figura 2.4: Esquema del sistema hidroeléctrico de la cuenca Maule Alto. Fuente: Arias, 2011.

2.4 Demandas de agua por sector productivo

Según el estudio de Escenarios Hídricos 2030 (2018) la región del Maule presenta captaciones de agua que superan a los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) otorgados (ver Tabla 2.2). A su vez, un 91% de las extracciones son devueltas al sistema natural, mientras que cerca de un 9% no retorna al ambiente de donde se extrajo.

Tabla 2.2: Extracciones de agua en la Región del Maule

Tipo	Extracción [m³/s]	Explicación
DAA	318,39	Expresados en el Catastro Público de Aguas (CPA)
Captación	549,10	Volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por diferentes usuarios.
Devolución	499,03	Volumen de agua que después de ser utilizada por parte de los diferentes usuarios, es retornada al sistema natural. Calculada como la diferencia entre Captación y HH azul.
Huella Hídrica (HH) azul	50,07	Volumen de agua fresca extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo.
Huella Hídrica (HH) verde	99,37	Volumen de agua lluvia utilizada por parte de diferentes sectores, que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.

La captación de agua se puede desglosar a su vez en las demandas de agua por sector, lo que se observa en la Tabla 2.3 (BID, 2020). Si bien la generación eléctrica es la que presenta mayores extracciones, un 99,5% de estas se devuelven al sistema. En cambio, el uso agrícola es el que presenta mayores extracciones que no retornan al ambiente.

Tabla 2.3: Demandas de agua en la Región del Maule

Uso	Captación [m ³ /s]	Devolución [m ³ /s]	HH Azul [m ³ /s]	HH Verde [m ³ /s]
Generación eléctrica	447,19	444,91	2,1	0
Agrícola (riego)	96,51	58,47	38,04	8,15
Agua potable y saneamiento	1,75	1,62	0,13	0
Industrial	1,21	1,11	0,10	0
Forestal	0	0	0	35,44
Pecuario	0,14	0,09	0,05	0

Por otra parte, según la actualización del balance hídrico nacional desarrollado por la DGA (2018), la gran cuenca del río Maule posee un área cultivada de 326.250 ha. cuya demanda de agua para riego se estima en 129 m³/s, mientras que el consumo de agua potable se estima en 0.94 m³/s .

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

A continuación se presenta la metodología propuesta. En ella, se utilizan métodos mixtos que analizan tanto cuantitativa como cualitativamente el modelo de toma de decisiones y la utilidad de los pronósticos de volúmenes de deshielo en la gestión hídrica.

3.1 Modelo de toma de decisiones en el sector agrícola de las cuencas de los ríos Maule y Longaví

Para caracterizar el modelo de gestión hídrica de las cuencas de los ríos Maule y Longaví, se realizó entrevistas en profundidad a informantes clave para la investigación (ver Anexo A), y se complementó con información recolectada de las memorias anuales de estas organizaciones (Junta de vigilancia del río Maule, 2020; Junta de vigilancia del río Longaví, 2020). La Tabla 3.1 muestra las fechas de cada entrevista.

Tabla 3.1: Entrevistas a representantes de juntas de vigilancia.

ID	Organización	Fecha entrevista
1	Representante de la Junta de Vigilancia Río Longaví	05-07-2017 12-05-2020
2	Representante de la Junta de Vigilancia Río Maule	05-07-2017 24-04-2020

Las entrevistas se analizaron de manera cualitativa, a través de una exploración de datos y agrupación en torno a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se organizan las Juntas de Vigilancia?
- ¿Qué decisiones toman?
- ¿En qué se basan para tomar decisiones?
- ¿Cómo comunican la información a los regantes?

Por otra parte, se realizó entrevistas semi-estructuradas a agricultores socios de ambas juntas de vigilancia (ver Anexo B) con el objetivo de comprender las decisiones que toman en torno al uso del agua dependiendo de si el año es húmedo, normal o seco, así como las fuentes y necesidades de información. Los entrevistados fueron contactados por el método en cadena o por redes (también conocido como “bola de nieve”), que es una técnica de muestreo no probabilística en la que se contacta a participantes clave, quienes sugieren a nuevos entrevistados entre las personas que identifican (Hernández et al., 2014). En este caso, se comenzó por entrevistar a agricultores con distintos tipos y superficies de cultivo, recomendados por los representantes de las juntas de vigilancia entrevistados anteriormente, quienes a su vez sugirieron a otros agricultores de la zona.

Tabla 3.2: Entrevistas a regantes del área de estudio.

ID	Cuenca	Fecha entrevista	Superficie total [ha.]	Cultivos
1	Longaví	27-08-2018	10	Remolacha, Trigo
2	Longaví	27-08-2018	53	Trigo, remolacha, porotos y

ID	Cuenca	Fecha entrevista	Superficie total [ha.]	Cultivos
				arándanos
3	Longaví	27-08-2018	350	Arroz, trigo, remolacha, cereza, manzana, arveja
4	Longaví	27-08-2018	4	Maíz silo
5	Longaví	30-10-2019	53	Trigo, remolacha, arándanos
6	Longaví	30-10-2019	430	Remolacha, trigo, raps, manzana, arándano, nogales
7	Longaví	04-11-2019	6	Espárragos, frambuesas, chacra
8	Longaví	11-11-2019	19,5	Trigo, maíz, espárragos, frambuesa, praderas
9	Longaví	13-11-2019	2	Maíz y praderas
10	Maule	04-12-2019	1.5	Praderas y berries
11	Maule	04-12-2019	40	Praderas, trigo, maíz y arroz
12	Maule	04-12-2019	780	Frutales
13	Maule	28-11-2019	19	Arándanos, kiwi, avena, claveles, nogales
14	Maule	27-11-2019	48	Maíz y praderas
15	Maule	04-11-2019	367,5	Espárragos, semillas de maíz y canola, arándanos, kiwis y cerezos
16	Maule	04-11-2019	6	Pradera
17	Maule	04-11-2019	70	Trigo, maíz y poroto
18	Maule	05-11-2019	680	Espárragos, manzanos, peras, cebada, maíz
19	Maule	04-11-2019	80	Praderas y maíz
20	Maule	04-11-2019	193	Remolacha, trigo, frijol, maíz, praderas, espárrago

Con la información recogida de las entrevistas, se realizó un análisis de contenido, que es una técnica que cuantifica los mensajes en categorías y subcategorías, y los somete a análisis (Hernández et al., 2014). En este caso, se agrupó las respuestas en las siguientes categorías:

- ¿En qué información se basan para tomar decisiones?
- ¿Cuáles son las fuentes de información que utilizan?
- ¿Qué información nueva requieren?
- ¿En qué formato?

Las respuestas se contabilizaron según el número de menciones, identificándose aquellas que fueron repetidas por el mayor número de entrevistados. A su vez, en base a la información recolectada se construyó las tablas de decisión que se explican en la sección 3.3.1.

3.2 Capacidad predictiva de los pronósticos de caudales de deshielo disponibles

Para analizar la capacidad predictiva de los pronósticos de caudales de deshielo, se realizó una revisión bibliográfica de los modelos de pronóstico disponibles y se estimaron las probabilidades de acierto en cada caso.

3.2.1 Caracterización de modelos de pronóstico

Se indagó en tres modelos de pronóstico de caudales de deshielo, dos de ellos se encuentran disponibles públicamente: uno provisto por la Dirección General de Aguas (DGA) y otro provisto por el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN), sin embargo, ambos se elaboran únicamente para la cuenca del río Maule. El tercer modelo de pronóstico fue desarrollado recientemente por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, para las cuencas de los ríos Maule y Longaví.

Para comprender las diferencias entre los modelos de pronóstico y sus metodologías, se realizó una revisión de los documentos disponibles en las páginas web de la DGA (DGA, 2020-a) y del Coordinador Eléctrico (Coordinador Eléctrico, 2020), complementando con una entrevista realizada al encargado de elaborar los pronósticos de caudales de deshielo de la DGA (ver Anexo C), cuya individualización se puede observar en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Entrevista al encargado de pronóstico de la DGA.

ID	Organización	Fecha entrevista
1	Encargado pronósticos DGA - División de Hidrología	20-10-2017

En el caso del modelo de la Universidad de Chile, se recurrió a informes generados por el equipo de trabajo, los cuales aún no se encuentran publicados. A partir de ello, se obtuvo una descripción de cada modelo de pronóstico, sus diferencias y similitudes.

3.2.2 Estimación de probabilidades de acierto con modelos de pronóstico

Para estimar las probabilidades de acierto de los modelos de pronóstico, se procedió a analizar los caudales observados en ambas cuencas, clasificándolos en escenarios hidrológicos (seco, normal y húmedo), para luego comparar con lo obtenido por los modelos de pronóstico.

En primer lugar, se revisó la información fluviométrica disponible en ambas cuencas, eligiéndose las estaciones DGA de Maule en Armerillo y Longaví en el Castillo, que cuentan con más de 30 años de registro. Se consideró como periodo para la clasificación de escenarios hidrológicos los registros de volúmenes de deshielo (m^3) desde el año 1984 hasta 2019, obtenidos a partir de los caudales medios mensuales de septiembre a marzo. Con el registro de volúmenes para ambas estaciones se realizó un análisis de frecuencia, calculando los periodos de retorno y las frecuencias.

Posteriormente, se ajustaron las funciones de distribución Normal, LogNormal, Pearson, LogPearson y Gumbel, analizándose a través del test chi-cuadrado (χ^2). Cuando

el valor de χ^2 calculado es menor que el χ^2 para un alfa de 0,05, se considera que la distribución se ajusta al set de datos. Además se realizó un análisis gráfico de los datos, con lo cual seleccionó la distribución con mejor ajuste a estos.

Finalmente, para clasificar los escenarios hidrológicos en años “seco”, “normal” y “húmedo”, se siguió la metodología de Espíldora et al. (1975), adoptando los límites sugeridos por Barriá (2010):

$$\begin{aligned} & \text{Si } P_{exc} > 70\% \text{ se considera un año seco} \\ & \text{Si } 30\% \leq P_{exc} \leq 70\% \text{ se considera un año normal} \\ & \text{Si } P_{exc} < 30\% \text{ se considera un año húmedo} \end{aligned}$$

Los límites de cada tipo de año se determinaron en base a las probabilidades de excedencia obtenidas de la función de distribución con mejor ajuste a los datos. Con estos límites, se categorizó los volúmenes de deshielo observados, en un escenario hidrológico. Finalmente, se obtuvo la probabilidad de que un año sea húmedo, normal o seco en el “periodo de análisis” (2001 – 2018). Este periodo corresponde a los años en que se cuenta con resultados de los tres modelos de pronóstico. El mismo procedimiento se repitió para los volúmenes de deshielo pronosticados por los modelos, obteniendo la probabilidad de obtener un año húmedo, normal o seco asociada a cada modelo de pronóstico.

Con la información recopilada se obtuvieron las probabilidades condicionales mediante el Teorema de Bayes, cuya formulación se presenta a continuación:

$$P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

Es decir, la probabilidad de que ocurra un evento A, dado que ya ocurrió un evento B, es la probabilidad de la intersección de ambos eventos entre la probabilidad del evento condicionante B. En este caso, el evento A es un escenario hidrológico observado, mientras que el evento B es un escenario hidrológico pronosticado. Es decir, se busca la probabilidad de que ocurra un año húmedo, normal o seco, dado un pronóstico húmedo, normal o seco.

3.3 Utilidad de los modelos de pronóstico de deshielo en la gestión hídrica

Para estimar las utilidades esperadas de los modelos de pronóstico se siguió la metodología de construcción de árboles de decisión, los cuales requieren una valoración de las decisiones de los agricultores ante cada escenario hidrológico y las probabilidades condicionales calculadas en la sección anterior.

3.3.1 Construcción de tablas de decisión

Para valorar las decisiones de los agricultores ante un escenario húmedo, normal o seco, se analizó la información obtenida de las entrevistas a los regantes de las cuencas

del río Maule y Longaví (Ver agricultores entrevistados en la Tabla 3.2), donde se consultó por:

- Principales cultivos elegidos ante un año húmedo, normal y seco
- Superficie de los cultivos para cada tipo de año
- Rendimiento asociado a cada cultivo
- Costos y ganancias asociadas a los cultivos

A su vez, se recurrió tanto a las Fichas Técnicas Económicas provistas por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA, 2020) como a estudios de comportamiento económico de cultivos en el centro sur de Chile del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (González, 2018), para precisar:

- Costos (incluye labores, insumos y otros costos) asociados a los cultivos mencionados por los agricultores.
- Precio de venta e ingresos de cada cultivo.
- Rendimiento máximo, mínimo y promedio por ha. de cada cultivo

En base a esta información, se calculó la utilidad por hectárea asociada a cada cultivo. Dicha información se confirmó y ajustó con dos entrevistas (Ver Anexo D) realizadas vía correo electrónico a los expertos:

1. Profesional de la Unidad de Desarrollo y Gestión del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) de la Región del Maule (17 marzo 2020).
2. Ingeniero Agrónomo con experiencia en cultivos de la Región del Maule (22 marzo 2020).

De esta manera, se combinó el conocimiento de los agricultores con el de expertos, en rendimientos, costos y precios, lo que se resumió en una “tabla de decisión” para cada agricultor, que contiene:

- Alternativas de combinación de cultivo
- Rendimientos según tipo de año (húmedo, normal, seco)
- Utilidad de cada alternativa, según tipo de año

3.3.2 Construcción de árboles de decisión por agricultor

El análisis de decisiones es una forma estructurada de incluir la información probabilística en la evaluación de una decisión. Este análisis a menudo involucra la construcción de árboles de decisión para representar las alternativas disponibles para el tomador de decisiones, la incertidumbre que enfrentan y su preferencia por diferentes resultados (Nidumolu et al. 2020). Un árbol de decisiones es un proceso de decisión-azar, donde secuencialmente se van tomando decisiones y va actuando el azar condicionando las decisiones posteriores (Rodríguez, 2014; Woodward et al. 2014; Tehrany et al. 2013). La Figura 3.1 muestra un esquema de árbol de decisión, donde destacan los siguientes elementos:

- Vértice de azar: son vértices que representan puntos en los que la naturaleza elige un estado. De estos vértices salen tantos arcos como estados de la naturaleza posibles se tiene en ese punto, y se representan mediante un círculo.

- Vértice de decisión: son vértices que representan puntos en los que hay que tomar una decisión. De ellos salen tantos arcos como alternativas posibles existen en ese punto, y se representan mediante un cuadrado.
- Vértice inicial o raíz: es la raíz del árbol, de donde salen tantos arcos como decisiones iniciales hay, ya que en un proceso de estas características lo primero es tomar una decisión.
- Vértice terminal u hoja: son los vértices finales de una rama que es sucesión de estados y decisiones. Se les asigna el beneficio del camino seguido para llegar a él, y se representan por un triángulo.

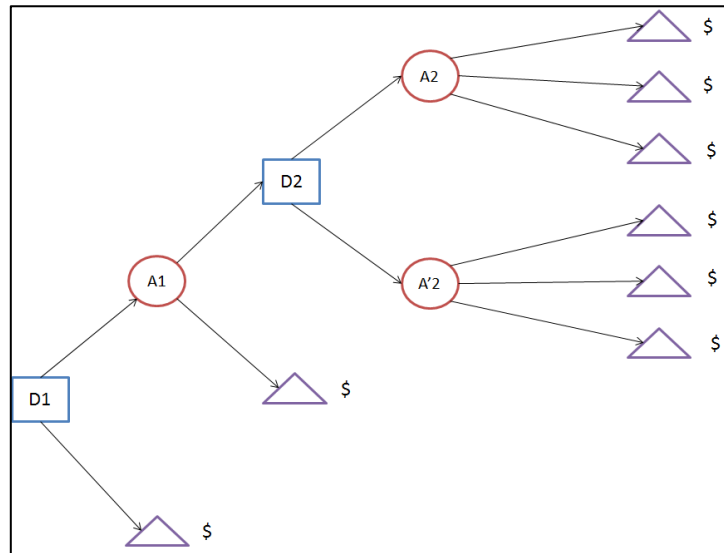


Figura 3.1: Diagrama de ejemplo de árbol de decisión. Elaboración propia.

El árbol se construye de la raíz a las hojas, mostrando el proceso secuencial que es seguido. Una vez acabado, se valora de las hojas a la raíz de la siguiente forma:

- Nodos de azar: se emplea el criterio del valor esperado.

$$E_x = \sum_{i=1}^n X_i P_{X_i}$$

Donde:

- E_x : Valor esperado de x
- X_i : i-ésimo resultado de x
- P_{X_i} : Probabilidad de que ocurra X_i

- Nodos de decisión: se elige la mejor decisión según el criterio del mayor valor esperado. Las decisiones no seleccionadas se consideran rechazadas y con ello todos los caminos que salgan de ese arco.

$$\text{Máx}(E_{X_1}, E_{X_2}, \dots, E_{X_n})$$

En el presente estudio, se construyó árboles de decisión asociados a agricultores de cada cuenca, tres en la cuenca del río Longaví y dos en la cuenca del río Maule, dado que la información provista de ellos era la más completa. Los árboles de decisión incluyen las utilidades de las decisiones agrícolas tomadas con y sin la información de pronósticos de caudales de deshielo, sumado a la probabilidad de que ocurra un escenario hidrológico dado un pronóstico de volumen de deshielo (estimada en la sección anterior).

De esta manera, el valor esperado se calcula como:

$$E_A = \sum_{i=1}^n A_i P_{Ai}$$

Donde:

E_A : Valor esperado de la elección del agricultor

A_i : Utilidad de la elección del agricultor, ante un escenario húmedo, normal y seco

P_{Ai} : Probabilidad de que ocurra un año húmedo, normal o seco

Finalmente, se selecciona el mayor valor esperado.

$$\text{Máx}(E_{A1}, E_{A2}, \dots, E_{An})$$

3.3.3 Construcción de árboles de decisión por cuenca

Para extender este método a nivel de cuenca y construir un árbol de decisión agregado, se establecieron los siguientes supuestos:

- A través del Censo Agropecuario (2007), se extrajo las superficies totales de los cultivos mencionados por los agricultores, por cuenca. En base a dicha información, se supuso que las superficies cultivadas por cuenca, corresponden a las decisiones agregadas de los usuarios en un “año normal”.
- Para obtener las elecciones de cultivo de un “año húmedo” y un “año seco” por cuenca se usó como base las respuestas de los agricultores entrevistados, los cuales eligen cultivos con mayor rentabilidad en años húmedo y cultivos con menor demanda hídrica en años secos. De esta manera, se aumentó o disminuyó las superficies de cultivos en cada caso.

Con las tres alternativas por cuenca, las probabilidades de cada escenario hidrológico en el periodo de análisis (2001-2018) y las probabilidades de acierto de los modelos de pronóstico en dicho periodo, se construyó un árbol de decisión “agregado” por cuenca. Finalmente, se estimó la diferencia entre las utilidades esperadas con y sin modelo de pronóstico de cada cuenca.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Modelo de toma de decisiones en el sector agrícola de las cuencas de los ríos Maule y Longaví

A continuación, se presenta el actual modelo de toma de decisiones para la gestión del recurso hídrico que llevan a cabo las juntas de vigilancia del río Maule y del río Longaví.

4.1.1 Junta de vigilancia del río Maule

¿Cómo se organiza?

La junta de vigilancia del río Maule está formada por directores elegidos en una asamblea general, los cuales representan a cada sistema de riego. El presidente del directorio, el asesor técnico y el repartidor de aguas, tienen la función principal de control y distribución del agua a todos los sistemas de la cuenca del río Maule. Los directores, por su parte, deben velar para que el agua distribuida esté dispuesta en forma correcta en cada bocatoma de sus sistemas. Este control se lleva a cabo a través de las estaciones fluviométricas de la DGA y estaciones propias de la junta de vigilancia.

En la temporada de riego 2012-13, los cálculos de caudales que llevaba la junta de vigilancia, discrepaban de la información proporcionada por la DGA nivel central. Por esto, la administración de la junta de vigilancia desarrolló un plan de trabajo con el fin de optimizar su gestión, centrado principalmente en dos objetivos: la medición del caudal reconstituido en Armerillo y la medición de los caudales distribuidos a sus usuarios. Esta labor, descrita también en la sección 2.3, es fundamental para elaborar los modelos pronósticos de caudales de deshielo.

¿Qué decisiones toman?

La junta de vigilancia del río Maule toma decisiones operacionales, donde analiza el volumen de agua disponible, las fuentes de las que proviene y cómo distribuirlo en el periodo de riego; y decisiones de planificación, entre las que destacan:

- Impulsar proyectos de medición de caudales
- Buscar fuentes de obtención de mejores pronósticos
- Buscar convenios de ahorros de aguas o canjes de agua con las hidroeléctricas

¿En qué se basan para tomar decisiones?

La junta de vigilancia del río Maule distribuye el agua basándose en los pronósticos de caudales de deshielo de la DGA y del CEN. El directorio tiene un equipo de asesores técnicos que analiza la información hidro-meteorológica y los volúmenes de agua disponible en los embalses, para tomar decisiones de reparto de agua. Trabajan con una proyección inicial en el mes de mayo, posteriormente se incorporan las rutas de nieves y se analizan los resultados del primer informe de pronóstico de deshielo del CEN en agosto. A partir de ello y un análisis de los caudales medios mensuales reconstituidos de Maule en Armerillo, del caudal medio mensual entregado para riego en la temporada y del estado del embalse Laguna Maule, el Directorio y los asesores efectúan un calendario de riego para toda la temporada. El pronóstico del CEN se actualiza mensualmente en

función a las observaciones, por lo que también se ajusta el calendario de riego. Cabe mencionar que la junta de vigilancia del río Maule tiene información de los últimos 10 años del agua repartida mes a mes, lo que les ayuda a comprender las decisiones que han tomado y sus efectos, para mejorar la gestión actual.

¿Cómo comunican la información a los regantes?

La junta de vigilancia del río Maule presenta anualmente una memoria (digital e impresa), en la cual detalla las actividades correspondientes al periodo iniciado en el mes de septiembre de cada año (inicio temporada de riego) y finalizado en mayo del año posterior.

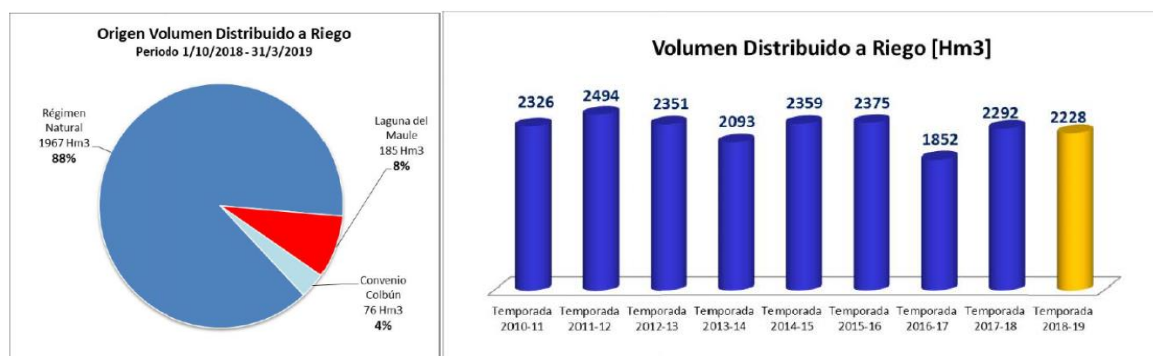
Desde el año 2012 la Junta declara 3 principios básicos:

1. Levantamiento de información de usuarios y derechos, estableciendo con exactitud sus puntos de captación.
2. Educar y facilitar herramientas a los usuarios, con el objeto que todos tengan acceso a la información que procesan.
3. Mayor integración entre los usuarios, que permita promover las confianzas y así tener planificaciones adecuadas en el uso de las aguas, principalmente en las extracciones desde el embalse Laguna del Maule.

A su vez, a partir de la temporada 2014-15 se envía semanalmente al diario El Centro los datos de volumen Laguna del Maule y Caudal Río Maule, para ser publicados los días martes de cada semana.

Los reportes se comunican a los regantes vía correo electrónico, páginas web, WhatsApp, Facebook, diarios, radiales, mensajes de texto, reuniones en comunidades o asambleas extraordinarias. Además, tienen dos maneras de presentar los datos: la primera con más detalles, cuadros, tendencias, gráficos y estadísticas para los administradores o directores de las OUAS; la segunda muy fácil de entender, con gráficos y cuadros simplificados que expliquen la situación al regante. La Figura 4.1 muestra a modo de ejemplo dos figuras ilustrativas de un reporte de volumen para riego a los usuarios.

Figura 4.1: Gráficos difundidos a los regantes mediante la página web de la junta de vigilancia



¿Cómo se informan los regantes?

A partir de las entrevistas semi-estructuradas realizadas a los regantes del río Maule, se puede observar que las decisiones de estos agricultores se basan primordialmente en su propia experiencia (30%), complementado con información del mercado, revista de campo y estudios disponibles en línea de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) (30%). También recurren a la junta de vigilancia del río Maule que informa mediante reuniones locales y boletines (20%) y a la experiencia de otros agricultores (20%).

Requieren especialmente información de pronósticos de volúmenes de deshielo con mayor anticipación –mayo a junio- (21%), caudales (21%), alturas de nieve (21%) y climatología (21%). También mencionan la necesidad de contar con programas de riego por mes (8%) e información agronómica de los cultivos (8%).

4.1.2 Junta de vigilancia del río Longaví

La jurisdicción de la junta de vigilancia del río Longaví corresponde a la cuenca del Longaví hasta la última bocatoma cercana a la Ruta 5 (Ver jurisdicción en Figura 2.1), agrupándose en 20 bocatomas y 38 organizaciones de usuarios de aguas.

¿Cómo se organiza?

El directorio de la junta está compuesto por un presidente, un vicepresidente y cinco directores representantes de las comunidades y canales asociados en la administración y reparto de las aguas del río Longaví. El directorio hace seguimiento a un plan estratégico definido por los usuarios, con objetivos generales de mejoramiento y líneas de trabajo definidas.

La junta de vigilancia ha desarrollado y difundido dos planes estratégicos: el plan 2012-2015 y el plan 2015-2020. Ambos planes incluyen la línea de trabajo “modernización y tecnología”, en la cual destaca la incorporación de telemetría en canales, ampliación red de monitoreo DGA, sistema de manejo de demanda y oferta de aguas y control de compuertas, revisión del estado de nieve en la estación Nevado Longaví, y convenios de colaboración con universidades para la generación de información.

¿Qué decisiones toman?

La junta de vigilancia del río Longaví se encarga principalmente de la administración y registro de reparto de aguas del río Longaví. La Figura 4.2 muestra la ubicación de los embalses presentes en la cuenca. A continuación se muestran las labores asociadas a cada periodo del año.

1. En otoño comienzan con la mantención y mejoramiento de canales e infraestructura.
2. En invierno monitorean la condición del río y llenado del embalse Digua al mes de septiembre, en dicho mes se tiene disponible y operativa la red. Con esto se definen los principales aspectos de la temporada, tales como cuota de administración y directorio.
3. En primavera se inicia la temporada de distribución de aguas, que consta de las siguientes etapas:

- Extracción libre del río: mientras existe más agua disponible en el río que la requerida por los usuarios, se habla de una extracción libre. Esta situación suele durar entre septiembre y noviembre de cada año.
 - Prorrato de cuotas: comienza cuando aumenta la demanda de agua por parte de los regantes y a su vez disminuye el caudal del río. El prorrato empieza aproximadamente en octubre-noviembre de cada año, con acciones que van desde 1 l/s, y disminuyen hasta que no es posible suplir la demanda. Como situación extrema se puede mencionar que el año 2019 el inicio de la temporada se adelantó en dos meses, comenzando el prorrato en la tercera semana de septiembre, y con tasas de reparto 0.7 l/s.
4. Llegando al verano se toman decisiones respecto a los embalses:
- Apertura de embalses: los embalses de Bullileo y Digua se abren cuando el caudal del río no alcanza para suplir la demanda. Esto sucede aproximadamente en diciembre de cada año. La temporada 2016 – 2017 fue “deficitaria”, pues no se completó el llenado del Embalse Bullileo (38 millones de m³, de una capacidad máxima de 60), lo que solo ha sucedido 6 veces desde que fue construido en el año 1949.
 - Vaciado de embalses: El cierre de los embalses suele coincidir con el término de la temporada de riego, por lo que la demanda de agua disminuye. Esto sucede aproximadamente a mediados de marzo.

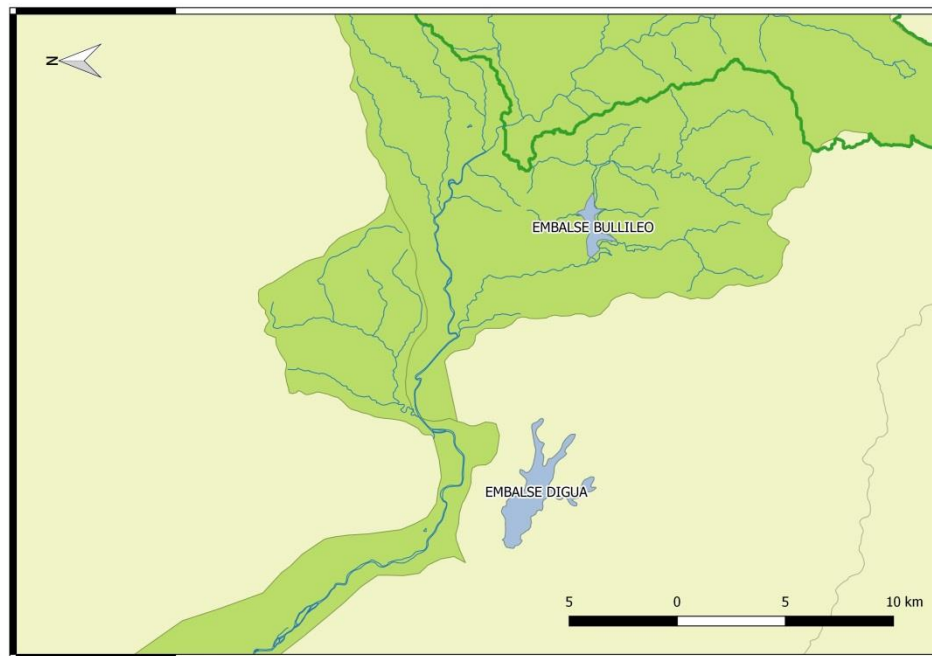


Figura 4.2: Ubicación de embalses de la cuenca del río Longaví. Elaboración propia.

Cabe mencionar que, según informan en su memoria anual, algunas veces se producen lluvias durante los últimos meses del año, lo que permite volver a llenar embalses y detener la baja en la tasa prorrataada. Su principal reserva de agua es el embalse Bullileo.

¿En qué se basan para tomar decisiones?

Como fuente de información utilizan la red de estaciones DGA y el seguimiento permanente de la red de reparto de aguas. Se basan principalmente en la precipitación acumulada registrada, en comparación a años anteriores y en comparación a las proyecciones emitidas por la DGA. A esto se suma un análisis de los caudales en el río Longaví Quiriquina, el proceso de llenado del embalse Bullileo y los registros de nieve y temperaturas.

Esta junta de vigilancia no cuenta con un pronóstico de volumen de deshielo, por lo que se basa en los pronósticos desarrollados por la DGA y el CEN para la cuenca del río Maule, los que suelen no ser consistentes con la situación del río Longaví. Realizan un posterior seguimiento del pronóstico mediante estimaciones propias.

A partir de las entrevistas en profundidad realizadas, los representantes de la junta de vigilancia del río Longaví consideran necesario contar con un pronóstico específico para esta cuenca, además señalan que requieren antecedentes del volumen de deshielo al menos a principios de septiembre, para proyectar y planificar la temporada. Luego, necesitan los pronósticos de caudales medios mensuales y semanales para la distribución del agua a las redes de canales.

¿Cómo comunican la información a los regantes?

Al igual que la junta de vigilancia del río Maule, la junta del río Longaví difunde a los regantes una memoria anual impresa y digital, disponible en la página web de la junta. Uno de los principales contenidos de dicha memoria corresponde a la distribución de sus aguas en la temporada de riego (septiembre a marzo).

La junta de vigilancia del río Longaví también realiza asambleas anuales y locales, así como visitas a los predios de los regantes. La Figura 4.3 muestra a modo de ejemplo un informe del estado de la red hídrica comunicada por la junta a los usuarios.



Figura 4.3: Reporte difundido a los regantes mediante la página web de la junta de vigilancia

¿Cómo se informan los regantes?

A partir de las entrevistas semi-estructuradas realizadas a los agricultores del río Longaví, se puede observar que los regantes recurren principalmente a la junta de vigilancia (31%), la cual informa el estado del embalse y de la nieve a través de reuniones, visitas a los predios y página web. Existe un grupo de regantes que menciona que “siempre lo hace igual y le resulta” (24%), así como otros se guían por su “olfato”, analizando visualmente la nieve en la cordillera y los días de lluvia (15%). Algunos agricultores también obtienen información agrícola mediante asesorías técnicas de INDAP (15%) y otros complementan con información obtenida en internet, mirando la revista de campo y el precio internacional (15%).

Pese a que dicen que “casi siempre le aciertan”, mencionan que hay espacio para mejorar la información, especialmente los pronósticos de volúmenes de deshielo (50%) de nieve (25%) y climatología (25%). Les gustaría obtener información directamente a través de los canalistas y técnicos, o a través de asambleas y reuniones locales. Les interesa que sea la junta la encargada de comunicar la información, tanto de manera presencial como online.

Cabe mencionar que durante las entrevistas, los regantes de la Junta de Vigilancia del río Longaví expresaron que durante los últimos años les “falta agua”, pues no les llega la cantidad que señala su Derecho de Aprovechamiento de Agua (DAA). Su percepción es que ha nevado poco, y que “se va muy rápido” o “ya no se afirma”, es decir, se derrite al poco tiempo de haber caído, por lo que no queda nieve para alimentar los caudales en las temporadas de mayor demanda agrícola. Asimismo, mencionan que “las lluvias que caen a última hora no sirven de nada”, refiriéndose a que la nieve caída en los últimos meses de invierno no permanece en la temporada de riego. Además, mencionan que el sistema de riego es principalmente tendido o botado, por lo cual existe una ineficiencia en el uso del recurso hídrico. Finalmente, señalan que la apertura del embalse Bullileo en un año normal, debiese ocurrir entre diciembre y enero (idealmente desde el 1° de enero), pero últimamente ha empezado utilizarse esta agua desde principios de noviembre.

4.1.3 Análisis del modelo de toma de decisiones

Los hallazgos encontrados en ambas cuencas de estudio apuntan a que los regantes cuentan con redes formales de traspaso de información, que incluyen asambleas, reuniones locales y boletines, y también redes informales, a través de la interacción frecuente con otros agricultores y su intercambio de experiencia y conocimiento. Las redes formales actúan como intermediarios para el traspaso de información gubernamental y estudios de investigación científica, así como la interacción con otros actores de la cuenca (como por ejemplo, las hidroeléctricas). También a través de las asambleas conocen a otros agricultores con los que después interactúan de manera informal.

Con esto, se puede inferir que si se requiere difundir nueva información sería relevante canalizarla a través de las juntas de vigilancia, que son la principal red formal de apoyo a los regantes. A su vez, las juntas deben diversificar los espacios de comunicación, combinando asambleas, con visitas a los predios, difusión de boletines y espacios de interacción entre los agricultores, logrando de esta manera una comunicación y disseminación efectivas.

Los pronósticos de volúmenes de deshielo fueron mencionados como la principal necesidad de información en ambas cuencas, pese a que la cuenca del río Maule ya cuenta con pronósticos disponibles por dos entidades públicas, esto demuestra que se requiere avanzar en pronósticos con métricas más significativas para los agricultores, vinculándolos con las necesidades de los usuarios y mejorando la transferibilidad a través de una difusión y comunicación apropiadas al contexto. Como menciona Nidumolu et al. (2020) para facilitar el uso eficaz de los pronósticos en la toma de decisiones, es vital comprender el papel que juegan los sistemas y sus límites, en la traducción del conocimiento en acción, apuntando a mejorar la prominencia, la credibilidad y la legitimidad de la información que se produce.

Para que las juntas comuniquen la información de manera efectiva, es importante que los investigadores y desarrolladores de pronósticos capaciten a los administradores y presten apoyo continuo en la comprensión de conceptos e interpretación de los resultados de los modelos, de manera que aborden de manera efectiva las complejidades de la información científica. En este sentido, se necesita identificar dónde y cuándo la innovación del pronóstico de volumen de deshielo estacional tiene un valor potencial, para luego focalizar la difusión y el desarrollo de capacidades.

4.2 Capacidad predictiva de los pronósticos de caudales de deshielo disponibles

A continuación se analiza la capacidad predictiva de tres modelos de pronóstico para reproducir los caudales observados en la temporada de deshielo.

4.2.1 Modelos de pronóstico

Modelo de la Dirección General de Aguas (DGA)

Desde 1975 la DGA entrega al inicio de la temporada de riego un volumen pronosticado de deshielo para los meses de septiembre a marzo de cada año. El informe muestra las proyecciones del volumen y caudales de las cuencas entre los ríos Copiapó y Ñuble a partir de los datos de la red hidrométrica de la DGA (DGA, 2020-a).

Según información provista por el encargado de la DGA, los pronósticos comenzaron a desarrollarse con correlaciones simples que consideraban precipitaciones y rutas de nieve. Como ejemplo, en algunos casos se ponderaba la precipitación dependiendo del mes en que caía (siendo mayo el mes con menor peso y agosto el mes con mayor peso), y finalmente se hacía una revisión visual de los resultados.

Con los años, empezaron a considerar otros estudios que incluían análisis de componentes principales, modelos de inteligencia artificial y redes neuronales. Luego, en función a sus resultados analizaban cual funciona mejor para cada cuenca, en un análisis experto en conjunto con varios profesionales de la institución. Actualmente el pronóstico se basa principalmente en la acumulación de nieve al 31 de agosto y los caudales medios de agosto. A su vez, entregan información del volumen almacenado en los embalses al 31 de agosto y de las precipitaciones acumuladas entre abril y agosto del año en curso (DGA, 2020-a).

Para el modelo de pronóstico desarrollado por la DGA es fundamental el comportamiento histórico de precipitación y nieve. En función a esto, se busca años anteriores parecidos al año actual para identificar patrones hidro-meteorológicos que permitan elegir los predictores más adecuados al ejecutar el modelo de pronóstico. Por ejemplo, en el sur son relevantes las lluvias de primavera, que pueden distorsionar los resultados, mientras que en algunas cuencas influye el caudal de agosto. Además, existiría una zona de cambio de régimen en la cuenca del río Teno, siendo más lluvioso al sur y más seco al norte.

Según el encargado DGA, uno de los puntos que podría mejorarse son los datos en cordillera, con información que se transmita satelitalmente en tiempo real. También es relevante contar con información de la distribución del manto nieve durante el invierno, así como la exposición a vientos predominantes. En este momento se mide la profundidad de nieve mediante rutas de nieve, obteniendo información de ciertos puntos que no necesariamente representan la variación de la cuenca.

Modelo Coordinador Eléctrico Nacional

El Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) es un organismo técnico e independiente, encargado de la coordinación de la operación del conjunto de instalaciones del Sistema Eléctrico Nacional. El CEN presenta anualmente informes de pronóstico de caudales de deshielo correspondientes a la temporada de deshielo desde el año hidrológico 1999/00 (período octubre - marzo), en diversas cuencas y puntos de control. La primera comunicación de este pronóstico se realiza el 1º de septiembre de cada año (CEN, 2020).

La metodología utilizada considera medidas puntuales de rutas de nieve para obtener el equivalente en agua de la cubierta nival, suponiendo que existe una relación entre ellas. Asimismo, supone que existe una relación entre el equivalente en agua de nieve de la cuenca y la precipitación registrada durante el período pluvial. Teniendo en consideración que las precipitaciones se manifiestan principalmente en los meses de invierno, en los modelos se plantean por separado las precipitaciones del período abril – septiembre (otoño – invierno) de las del período octubre – marzo (primavera – verano). A su vez, considera que las precipitaciones más influyentes en la magnitud del deshielo son las que se producen en los meses de junio, julio y agosto, y eventualmente precipitaciones nivales en meses posteriores, por lo que también establece relaciones considerando trimestres (CEN, 2020).

El pronóstico se calcula para 10 puntos de interés hidroeléctrico para la cuenca del río Maule. Sin embargo, dado que la junta de vigilancia del río Maule gestiona sus aguas en base al caudal de la estación Maule en Armerillo, debe reconstruir dicho valor en base a los siguientes puntos de pronóstico del CEN:

$$VD_{M.A.} = VD_{e3} + VD_{e9} - VD_{e10}$$

Donde:

$VD_{M.A.}$: Volumen de deshielo pronosticado para estación Maule en Armerillo

VD_{e3} : Volumen de deshielo pronosticado por el CEN en el punto “afluentes Laguna Invernada”

VD_{eg}: Volumen de deshielo pronosticado por el CEN en el punto “Desagüe Laguna Invernada y Laguna del Maule”

VD_{e10}: Volumen de deshielo pronosticado por el CEN en el punto “Maule en Armerillo”

De esta manera, la junta del río Maule puede utilizar el volumen pronosticado por el CEN en la estación Maule en Armerillo, que es donde se realiza el control y distribución de sus aguas.

Modelo estadístico de la Universidad de Chile

El modelo estadístico de la Universidad de Chile se desarrolló en el marco de dos proyectos de pronósticos de caudales de deshielo para la región del Maule, el primero financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC) entre los años 2017 y 2020, y el segundo financiado por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) entre 2020 y 2021. Este pronóstico se comunica a las juntas de vigilancia de la zona cordillerana de la Región del Maule desde el año 2019, pero es posible ejecutar este modelo de pronóstico desde el año 2001, fecha en que se cuenta con disponibilidad de imágenes satelitales MODIS.

Este modelo se basa en la regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR), un método estadístico que es similar al análisis de componentes principales, pero en vez de encontrar hiperplanos de máxima varianza entre una variable de respuesta y los predictores, encuentra un modelo de regresión lineal al proyectar las variables predichas y observadas a un nuevo espacio (Isamit et al. 2020).

El modelo parte del siguiente set potencial de predictores:

- Caudal medio de Abril a Agosto (QmAMJJA)
- Caudal medio de Junio a Agosto (QmJJA)
- Precipitación acumulada de Abril a Agosto (PpAMJJA)
- Precipitación acumulada de Junio a Agosto (PpJJA)
- Equivalente en Agua de Nieve máximo de la temporada (SWEmax)
- Cobertura nival fraccional máxima en el mes de agosto (fSCAmax_A)
- Cobertura nival fraccional media en el mes de agosto (fSCAmed_A)
- Cobertura nival fraccional el 31 de agosto (fSCA_31A)
- Cobertura nival fraccional media en los meses de Junio a Agosto (fSCAmed_JJA)

Luego, el modelo se ejecuta con todos los predictores propuestos y se identifica el número de componentes principales necesarias para explicar el 95% de la varianza de la información. El volumen pronosticado abarca los meses desde septiembre a marzo de cada año, y se comunica a fines de agosto.

El principal desafío de este modelo de pronóstico radica en su dependencia a las observaciones de caudales medios mensuales, que en el caso de la estación Maule en Armerillo son reconstituidos por la junta de vigilancia, lo cual genera un desfase para la obtención de la información, mientras que en el caso de la estación Longaví en el Castillo los caudales no se encuentran disponibles en tiempo real, sino que se actualizan cada uno a dos meses.

4.2.2 Capacidad predictiva de los modelos de pronóstico en la estación Maule en Armerillo

Para realizar una comparación entre los volúmenes observados y los volúmenes pronosticados por los modelos, se obtuvo primero los caudales medios mensuales observados desde el año 1984 al 2018 (DGA, 2020-b), en la estación Maule en Armerillo, los que fueron transformados a volúmenes de deshielo [mill m³]. En el caso del modelo de pronóstico del CEN, el volumen se calculó entre los meses de octubre y marzo, mientras que en el caso de la DGA y la Universidad de Chile, el volumen consideró desde septiembre a marzo. Los volúmenes estacionales obtenidos, constituyen el periodo para la clasificación de escenarios hidrológicos.

Posteriormente se realizó un análisis de frecuencia y se ajustó cinco funciones de distribución las cuales fueron evaluadas con el test χ^2 y un análisis gráfico de los datos (explicado en la sección 3.2.2). Todas las distribuciones analizadas se ajustaron a las series de volúmenes (Ver Anexo E), por lo que se ha seleccionado por simplicidad la distribución normal. Los valores obtenidos con el test Chi Cuadrado, se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Valores obtenidos en el test Chi 2, para serie de volúmenes de deshielo con distribución normal, Maule en Armerillo

	Caso sep-mar	Caso oct-mar
Chi 2 (calculado)	1,04	1,77
Chi 2 (0,05)	5,99	5,99
Test	Aceptado	Aceptado

En base a las probabilidades de excedencia obtenidas de la función de distribución normal, se extrajo los volúmenes correspondientes al 70% y 30% de probabilidad de excedencia, que corresponden a los cortes entre un año seco, normal y húmedo (ver sección 3.2.2), los cuales se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Volúmenes [mill m³] para un 70% y 30% de probabilidad de excedencia

	Volumen sep-mar [mill m ³]	Volumen oct-mar [mill m ³]
70%	3.834	3.242
30%	5.571	4.824

Con los límites expuestos, se obtuvo la clasificación de un año seco, normal y húmedo para el periodo coincidente de los tres modelos de pronóstico de deshielo, es decir, desde el año hidrológico 2001-02, como se muestra en la Tabla 4.3. El periodo de análisis de este estudio se considera entre los años 2001 y 2018. Los datos se muestran en dos columnas dado que el volumen de septiembre a marzo es comparable con los pronósticos de la DGA y la Universidad de Chile, mientras que el volumen de octubre a marzo es comparable con el pronóstico del CEN.

Tabla 4.3: Clasificación de años secos, normales y húmedos según el volumen de agua acumulado entre los meses de septiembre a marzo y desde octubre a marzo, estación Maule en Armerillo

Año Hidrológico	Volumen deshielo Sep-Mar	Volumen deshielo Oct-Mar
2001-02	Normal	Normal
2002-03	Húmedo	Húmedo
2003-04	Seco	Seco
2004-05	Seco	Seco
2005-06	Húmedo	Húmedo
2006-07	Húmedo	Húmedo
2007-08	Seco	Seco
2008-09	Normal	Normal
2009-10	Normal	Normal
2010-11	Seco	Seco
2011-12	Normal	Normal
2012-13	Seco	Seco
2013-14	Seco	Seco
2014-15	Normal	Normal
2015-16	Normal	Normal
2016-17	Seco	Seco
2017-18	Seco	Normal
2018-19	Normal	Normal

En función a esta clasificación se obtuvo las probabilidades de que un año sea seco, normal y húmedo, a partir de los datos observados en el periodo de análisis, las que se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Probabilidades de tener un año húmedo, normal o seco en el periodo de análisis, Maule en Armerillo

Año	Volumen Sep-Mar	Volumen Oct-Mar
Seco	0,44	0,39
Normal	0,39	0,44
Húmedo	0,17	0,17

Una vez calculadas las probabilidades de tener un año húmedo, normal o seco en el periodo de análisis, se obtienen las probabilidades asociadas a cada uno de los pronósticos de caudales de deshielo.

Pronóstico DGA

La DGA publica pronósticos desde el año 1975, pero dado que el objetivo de este estudio consiste en comparar los resultados entre los modelos de pronósticos, se utilizó el periodo coincidente, es decir, desde el año 2001 al 2018. La Tabla 4.5 muestra las probabilidades de obtener un pronóstico de volumen de deshielo asociado a un año húmedo, normal o seco, utilizando el modelo de la DGA desde el año 2001.

Tabla 4.5: Probabilidades de tener un pronóstico de año húmedo, normal o seco en el periodo de análisis, utilizando el modelo de pronóstico de DGA, Maule en Armerillo

Año	Volumen Sep-Mar
Seco	0,39
Normal	0,39
Húmedo	0,22

Finalmente, la Tabla 4.6 y Figura 4.4 presentan las probabilidades condicionales de tener un año determinado (seco, normal o húmedo) dado el pronóstico comunicado por la DGA.

Tabla 4.6: Matriz de contingencia con probabilidades condicionales según el pronóstico DGA, Maule en Armerillo

Pronóstico	Observado		
	Seco	Normal	Húmedo
Seco	0,86	0,14	0,00
Normal	0,29	0,57	0,14
Húmedo	0,00	0,50	0,50

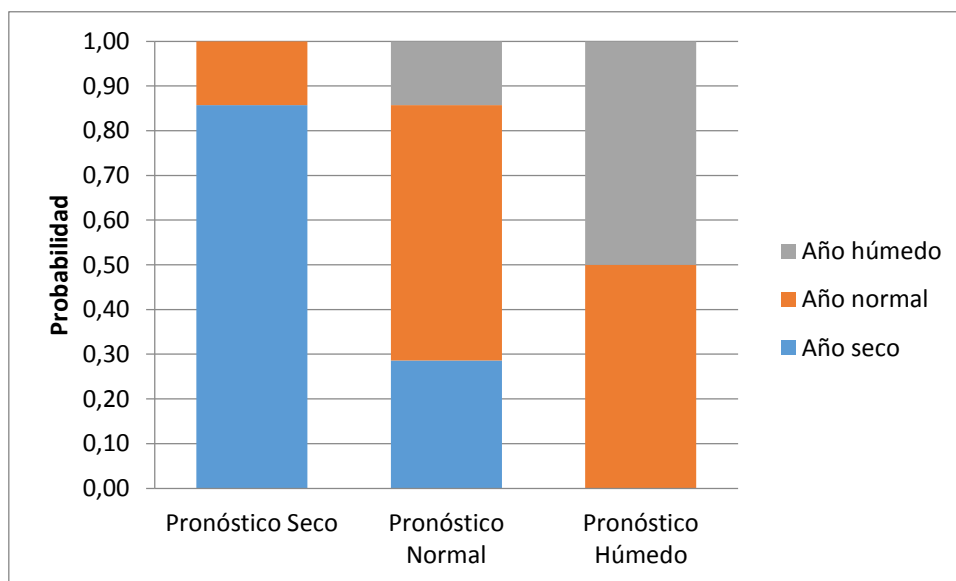


Figura 4.4: Probabilidades condicionales según pronóstico DGA, Maule en Armerillo

Pronóstico Coordinador Eléctrico Nacional (CEN)

El CEN publica sus pronósticos desde el año 1999, pero se considera el periodo coincidente desde el año 2001. La Tabla 4.7 muestra las probabilidades de obtener un pronóstico de volumen de deshielo asociado a un año seco, normal y húmedo en el periodo 2001 a 2018 utilizando los pronósticos de volúmenes del CEN.

Tabla 4.7: Probabilidades de tener un pronóstico de año húmedo, normal o seco en el periodo de análisis, utilizando el modelo de pronóstico del CEN en Armerillo

Año	Volumen Oct-Mar
Seco	0,61
Normal	0,28
Húmedo	0,11

Finalmente, la Tabla 4.8 y la Figura 4.5 presentan las probabilidades condicionales de tener un año determinado (seco, normal o húmedo) dado el pronóstico comunicado por el CEN.

Tabla 4.8: Matriz de contingencia con probabilidades condicionales según el pronóstico del CEN, Maule en Armerillo

Pronóstico	Observado		
	Seco	Normal	Húmedo
Seco	0,55	0,45	0,00
Normal	0,20	0,60	0,20
Húmedo	0,00	0,00	1,00

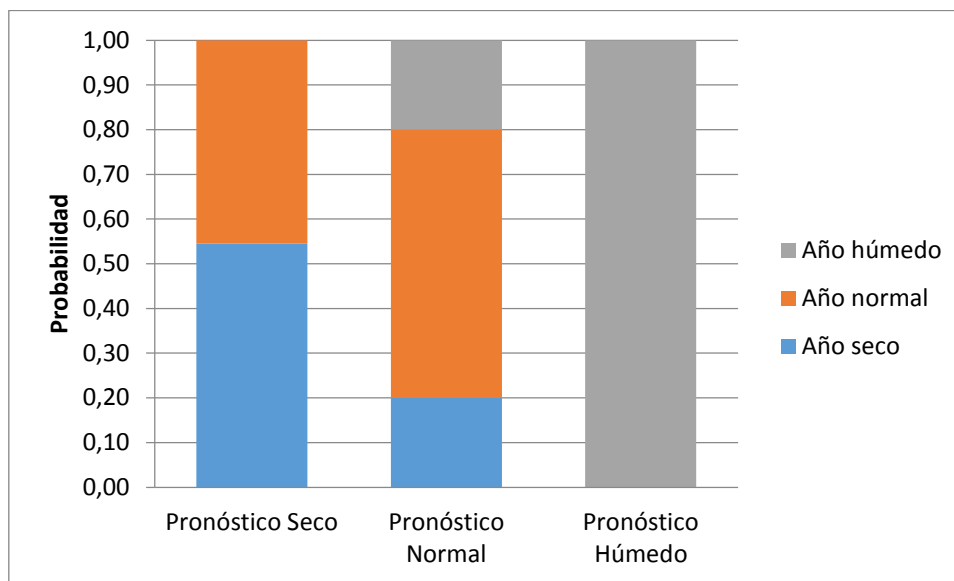


Figura 4.5: Probabilidades condicionales según pronóstico CEN, Maule en Armerillo

Pronóstico Universidad de Chile

El modelo desarrollado por la Universidad de Chile se puede correr desde el año 2001, dada la limitante de imágenes MODIS disponibles. La Tabla 4.9 muestra las probabilidades de obtener un volumen de deshielo asociado a un año seco, normal y húmedo en el período analizado, utilizando los pronósticos de volúmenes de la Universidad de Chile

Tabla 4.9: Probabilidades de tener un pronóstico de año húmedo, normal o seco en el periodo de análisis, utilizando el modelo de pronóstico de la Universidad de Chile, Maule en Armerillo

Año	Volumen Sep-Mar
Seco	0,44
Normal	0,33
Húmedo	0,22

Finalmente, la Tabla 4.10 y la Figura 4.6 presentan las probabilidades condicionales de tener un año determinado (seco, normal o húmedo) dado el pronóstico de la Universidad de Chile.

Tabla 4.10: Matriz de contingencia con probabilidades condicionales según el pronóstico de la Universidad de Chile, Maule en Armerillo

Pronóstico	Observado		
	Seco	Normal	Húmedo
Seco	0,88	0,13	0,00
Normal	0,17	0,83	0,00
Húmedo	0,00	0,25	0,75

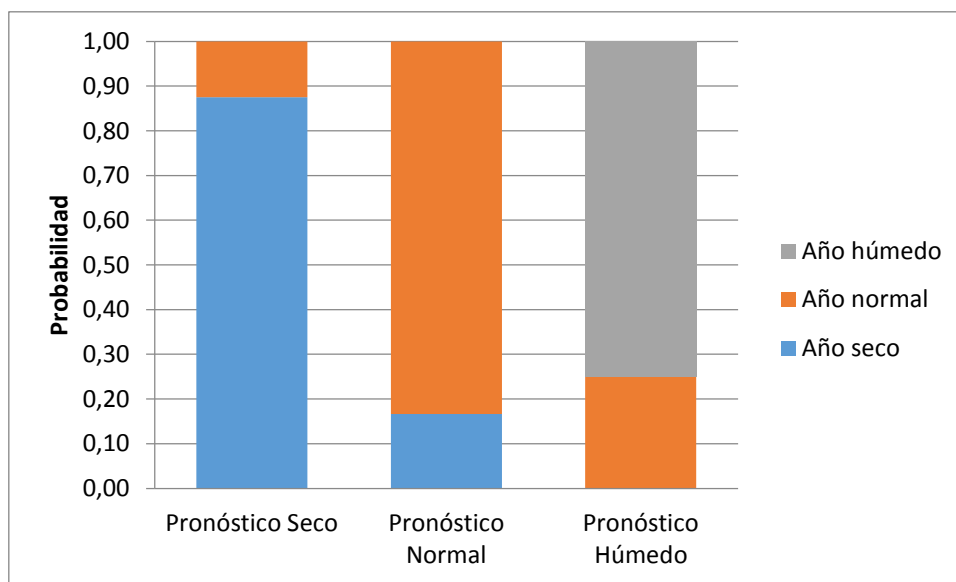


Figura 4.6: Probabilidades condicionales según pronóstico de la Universidad de Chile, Maule en Armerillo

4.2.3 Capacidad predictiva de los modelos de pronóstico en la estación Longaví en el Castillo

Para realizar una comparación entre los volúmenes observados y los volúmenes pronosticados por el modelo de la Universidad de Chile (único desarrollado para esta cuenca), se obtuvo primero los caudales medios mensuales observados desde el año 1984 al 2018 (DGA, 2020-b), en la estación Longaví en el Castillo, los que fueron

transformados a volúmenes de deshielo [mill m³] desde septiembre a marzo. Los volúmenes estacionales obtenidos, constituyen el periodo de análisis para la clasificación de escenarios hidrológicos.

Posteriormente se realizó un análisis de frecuencia y se ajustó cinco funciones de distribución las cuales fueron evaluadas con el test χ^2 y un análisis gráfico de los datos (explicado en la sección 3.2.2). Todas las distribuciones analizadas se ajustaron a las series de volúmenes (Ver Anexo E), optándose por utilizar la distribución normal. Los valores obtenidos con el test Chi Cuadrado, se presentan en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Valores obtenidos en el test Chi 2, para serie de volúmenes de deshielo con distribución normal, Longaví en el Castillo

	Volumen (sep-mar)
Chi 2 (calculado)	1,07
Chi 2 (0,05)	5,99
Test	Aceptado

En base a las probabilidades de excedencia obtenidas de la función de distribución normal, se extrajo los volúmenes correspondientes al 70% y 30% de probabilidad de excedencia, que corresponden a los cortes entre un año seco, normal y húmedo (ver sección 3.2.2), los cuales se presentan en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12: Volúmenes [mill m³] para un 70% y 30% de probabilidad de excedencia, Longaví en el Castillo

	Volumen (sep-mar)
70%	362
30%	511

Con los límites expuestos, se obtuvo la clasificación de un año seco, normal y húmedo para el periodo coincidente de los tres modelos de pronóstico de deshielo, es decir, desde el año hidrológico 2001-02, como se muestra en la Tabla 4.13. El periodo de análisis de este estudio se considera entre los años 2001 y 2018. Dado que esta cuenca no cuenta con pronósticos de volumen de deshielo del CEN, solo se realizan los cálculos para el periodo de septiembre a marzo.

Tabla 4.13: Clasificación de años secos, normales y húmedos según el volumen de agua acumulado entre los meses de septiembre a marzo y desde octubre a marzo, estación Longaví en el Castillo

Año Hidrológico	Volumen deshielo Sep-Mar
2001-02	Normal
2002-03	Húmedo
2003-04	Seco
2004-05	Normal
2005-06	Normal

Año Hidrológico	Volumen deshielo Sep-Mar
2006-07	Húmedo
2007-08	Seco
2008-09	Seco
2009-10	Normal
2010-11	Seco
2011-12	Húmedo
2012-13	Seco
2013-14	Seco
2014-15	Normal
2015-16	Normal
2016-17	Seco
2017-18	Normal
2018-19	Normal

En función a esta clasificación se obtuvo las probabilidades de que un año sea seco, normal y húmedo, a partir de los datos observados en el periodo de análisis, la que se presentan en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14: Probabilidades de tener un año húmedo, normal o seco en el periodo de análisis, Longaví en el Castillo

Año	Volumen Sep-Mar
Seco	0,39
Normal	0,44
Húmedo	0,17

Una vez calculadas las probabilidades de tener un año húmedo, normal o seco en el periodo de análisis, se obtienen las probabilidades asociadas a cada uno de los pronósticos de caudales de deshielo. En este caso, la cuenca del río Longaví solo dispone del pronóstico provisto por la Universidad de Chile.

Pronóstico Universidad de Chile

El modelo desarrollado por la Universidad de Chile se puede correr desde el año 2001, dada la limitante de imágenes MODIS disponibles. La Tabla 4.15 muestra las probabilidades de obtener un volumen de deshielo asociado a un año seco, normal y húmedo en el período analizado, utilizando los pronósticos de volúmenes de la Universidad de Chile

Tabla 4.15: Probabilidades de tener un pronóstico de año húmedo, normal o seco en el periodo de análisis, utilizando el modelo de pronóstico de la Universidad de Chile, Longaví en el Castillo

Año	Volumen Sep-Mar
Seco	0,333
Normal	0,556

Año	Volumen Sep-Mar
Húmedo	0,111

Finalmente, la Tabla 4.16 y la Figura 4.6 presentan las probabilidades condicionales de tener un año determinado (seco, normal o húmedo) dado el pronóstico de la Universidad de Chile.

Tabla 4.16: Matriz de contingencia con probabilidades condicionales según el pronóstico de la Universidad de Chile, Longaví en el Castillo

Pronóstico	Observado		
	Seco	Normal	Húmedo
Seco	0,67	0,33	0,00
Normal	0,30	0,60	0,10
Húmedo	0,00	0,00	1,00

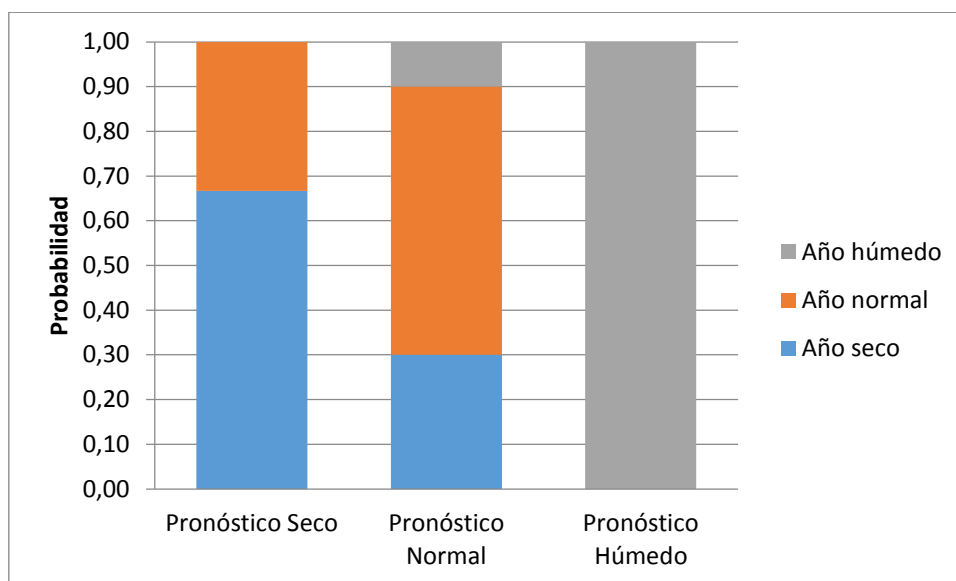


Figura 4.7: Probabilidades condicionales según pronóstico de la Universidad de Chile, Longaví en el Castillo

4.2.4 Análisis de la capacidad predictiva de los modelos de pronóstico

Los últimos 20 años han estado marcados por una sequía prolongada, lo que se puede observar en las probabilidades estimadas en dicho periodo de análisis (2001-2018), donde se observa que los años secos y normales tienen mayor una recurrencia (cerca de un 40% cada uno), que los años húmedos (17%). Los modelos de pronóstico disponibles también reflejan esta situación.

Si bien los tres modelos de pronóstico descritos muestran diferencias en sus metodologías, todos ellos utilizan un modelo estadístico para pronosticar el volumen de deshielo en las cuencas de estudio. Esta aproximación tiene la ventaja de utilizar fuentes de información de fácil acceso para alimentar los predictores requeridos, sin embargo,

puede tener deficiencias para representar los procesos físicos que ocurren en la cuenca, por tanto sus resultados deben tomarse con precaución. Por otro lado, es relevante contar con disponibilidad de caudales observados en régimen natural, los cuales en el caso de río Maule deben ser reconstituidos, ya que presentan extracciones aguas arriba de punto de control.

En el caso de la cuenca del río Maule en el periodo de análisis (2001-2018), cuando los modelos pronostican un año “húmedo”, el CEN le acierta un 100% de las veces, la Universidad de Chile un 75% y la DGA un 50%. En cambio, cuando los modelos pronostican un año seco, el pronóstico de la Universidad de Chile le acierta un 88%, la DGA un 86% y el pronóstico del CEN un 55% de las veces. Por último, cuando los modelos pronostican un año normal, el pronóstico de la Universidad de Chile le acierta un 83%, el pronóstico del CEN un 60% y el pronóstico de la DGA un 57% de las veces. En base a estos porcentajes, sería conveniente usar el modelo de la Universidad de Chile si el año es seco o normal, y el modelo del CEN si el año es húmedo.

En la cuenca del río Longaví solo se cuenta con el pronóstico de la Universidad de Chile, el cual siempre le acierta a un año húmedo, cuando pronostica un año seco un 67% de las veces el año es efectivamente seco, y cuando pronostica un año normal le acierta un 60% de las veces. Por tanto, las probabilidades de acierto muestran que este modelo tiene mejor desempeño en la cuenca del Maule.

En resumen, la capacidad predictiva de los modelos de pronóstico varía dependiendo de si el año es seco, normal o húmedo, lo que podría deberse a los predictores seleccionados en cada caso y al peso que se les da dentro del análisis estadístico. El principal desafío de los tres modelos de pronóstico es su dependencia a las observaciones de precipitaciones y caudales en régimen natural, siendo estos últimos reconstituidos por la junta de vigilancia del río Maule. En ambas cuencas los caudales medios mensuales se obtienen con un desfase, ya que no se encuentran disponibles en tiempo real.

4.3 Utilidad de los modelos de pronóstico de deshielo en la gestión hídrica

A continuación se presentan los resultados de la valoración mediante árboles de decisión.

4.3.1 Tabla de decisión

La Tabla 4.17, Tabla 4.18 y Tabla 4.19 muestran a modo de ejemplo los beneficios, calculados a partir de las utilidades asociadas a cada alternativa de cultivo (tanto tipo de cultivo como superficie de cada uno de ellos) de uno de los agricultores entrevistados (agricultor ID 2), para un año normal, húmedo y seco, respectivamente. A su vez, para cada tipo de año cambian los rendimientos de los cultivos según cada situación. Como

ejemplo, el trigo tiene un rendimiento de 70 [qm¹/ha] en un año normal y de 80 [qm/ha] en un año húmedo.

La columna “alternativas”, corresponde a las combinaciones de cultivo y de superficies elegidas por cada agricultor para cada escenario hidrológico, las cuales están asociadas a un año normal, húmedo y seco. Por ejemplo en la Tabla 4.17, el agricultor ID 2 cultiva 30 ha. de trigo, 20 ha de remolacha y 3 ha. de arándano cuando supone que el año será normal, en cambio, solo cultiva 15 ha. de trigo si considera que el año será seco. De esta manera se refleja la principal decisión que toman los agricultores al iniciar la temporada, que corresponde a la elección de cultivos y sus respectivas superficies.

La Tabla 4.17 muestra que el agricultor ID 2 obtiene la mayor utilidad al cultivar suponiendo un escenario normal, cuando el año hidrológico efectivamente refleja un comportamiento normal, y obtiene la menor utilidad al cultivar suponiendo un escenario seco, cuando el año hidrológico es normal.

La Tabla 4.18 muestra que el agricultor ID 2 obtiene la mayor utilidad al cultivar suponiendo un escenario húmedo, cuando el año hidrológico efectivamente refleja un comportamiento húmedo, y obtiene la menor utilidad al cultivar suponiendo un escenario seco, cuando el año hidrológico es húmedo.

La Tabla 4.19 muestra que el agricultor ID 2 obtiene la mayor utilidad al cultivar suponiendo un escenario seco, cuando el año hidrológico efectivamente refleja un comportamiento seco, y obtiene la menor utilidad al cultivar suponiendo un escenario normal, cuando el año hidrológico es seco.

El Anexo F muestra las tablas decisión de cada agricultor.

¹ Un quintal métrico (qm) equivale a 100 kgs.

Tabla 4.17: Valorización de alternativas de cultivo en un año normal. Agricultor ID 2.

					Normal						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	30	Trigo	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 8.132.220	\$ 36.225.431
		20	Remolacha	\$ 35.000	qm	110	\$ 3.850.000	\$ 2.997.948	\$ 852.052	\$ 17.041.040	
		3	Arándano	\$ 2.100	kg	6000	\$ 12.600.000	\$ 8.915.943	\$ 3.684.057	\$ 11.052.171	
2	Húmedo	15	Trigo	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 4.066.110	\$ 35.148.995
		20	Remolacha	\$ 35.000	ton	110	\$ 3.850.000	\$ 2.997.948	\$ 852.052	\$ 17.041.040	
		15	Poroto	\$ 89.286	qm	28	\$ 2.500.000	\$ 1.563.877	\$ 936.123	\$ 14.041.845	
3	Seco	15	Trigo	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 4.066.110	\$ 4.066.110

Tabla 4.18: Valorización de alternativas de cultivo en un año húmedo. Agricultor ID 2.

					Húmedo						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	30	Trigo	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 12.482.220	\$ 51.355.431
		20	Remolacha	\$ 35.000	qm	120	\$ 4.200.000	\$ 2.997.948	\$ 1.202.052	\$ 24.041.040	
		3	Arándano	\$ 2.100	kg	6600	\$ 13.860.000	\$ 8.915.943	\$ 4.944.057	\$ 14.832.171	
2	Húmedo	15	Trigo	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 6.241.110	\$ 53.698.995
		20	Remolacha	\$ 35.000	ton	120	\$ 4.200.000	\$ 2.997.948	\$ 1.202.052	\$ 24.041.040	
		15	Poroto	\$ 89.286	qm	35	\$ 3.125.000	\$ 1.563.877	\$ 1.561.123	\$ 23.416.845	
3	Seco	15	Trigo	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 6.241.110	\$ 6.241.110

Tabla 4.19: Valorización de alternativas de cultivo en un año seco. Agricultor ID 2.

					Seco						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	30	Trigo	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 5.957.220	-\$ 15.649.569
		20	Remolacha	\$ 35.000	qm	75	\$ 2.625.000	\$ 2.997.948	-\$ 372.948	-\$ 7.458.960	
		3	Arándano	\$ 2.100	kg	2000	\$ 4.200.000	\$ 8.915.943	-\$ 4.715.943	-\$ 14.147.829	
2	Húmedo	15	Trigo	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 2.978.610	-\$ 11.867.076
		20	Remolacha	\$ 35.000	ton	75	\$ 2.625.000	\$ 2.997.948	-\$ 372.948	-\$ 7.458.960	
		15	Poroto	\$ 89.286	qm	12	\$ 1.071.428,57	\$ 1.563.877	-\$ 492.448	-\$ 7.386.726	
3	Seco	15	Trigo	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 2.978.610	\$ 2.978.610

Este procedimiento se repitió para cinco agricultores que entregaron información más completa respecto a sus decisiones de cultivo, dos pertenecientes a la junta de vigilancia del río Maule y tres pertenecientes a la junta de vigilancia del río Longaví, como se puede observar en la Tabla 4.20.

Tabla 4.20: Cultivos de agricultores entrevistados

ID	Cuenca	Superficie total [ha.]	Cultivos
2	Longaví	53	Trigo, remolacha, porotos y arándanos
8	Longaví	19,5	Trigo, maíz, espárragos, frambuesa, praderas
9	Longaví	2	Maíz y praderas
11	Maule	40	Praderas, trigo, maíz y arroz
17	Maule	70	Trigo, maíz y poroto

4.3.2 Árbol de decisión por agricultor

La Figura 4.8, Figura 4.9, Figura 4.10 y Figura 4.11 muestran a modo de ejemplo el árbol de decisión asociado a un agricultor entrevistado de la cuenca del río Longaví (agricultor ID 2). Esta cuenca solo dispone del modelo de pronóstico de caudales elaborado por la Universidad de Chile, por lo que el agricultor tiene cuatro opciones iniciales:

1. Cultivar suponiendo que habrá un escenario hidrológico normal.
2. Cultivar suponiendo que habrá un escenario hidrológico húmedo.
3. Cultivar suponiendo que habrá un escenario hidrológico seco.
4. Cultivar luego de observar los resultados del pronóstico de la U. de Chile.

Cabe mencionar que en el caso de la cuenca del río Maule se cuenta con dos opciones más:

1. Cultivar luego de observar los resultados del pronóstico DGA.
2. Cultivar luego de observar los resultados del pronóstico del CEN.

Posterior a estas elecciones ocurre un escenario hidrológico determinado por un suceso aleatorio. En los tres primeros casos las probabilidades de esta situación azarosa están determinadas por los volúmenes observados en el periodo de análisis (2001-2018), en cambio, en el cuarto caso corresponden a las probabilidades condicionales del modelo de pronóstico.

Frente a los resultados del pronóstico de la U. de Chile, el agricultor debe decidir si sigue las recomendaciones del pronóstico o cultiva según su experiencia suponiendo un escenario hidrológico distinto. Una vez que el agricultor toma esta segunda decisión, ocurre un nuevo suceso de azar determinado por las probabilidades condicionales estimadas en la sección anterior.

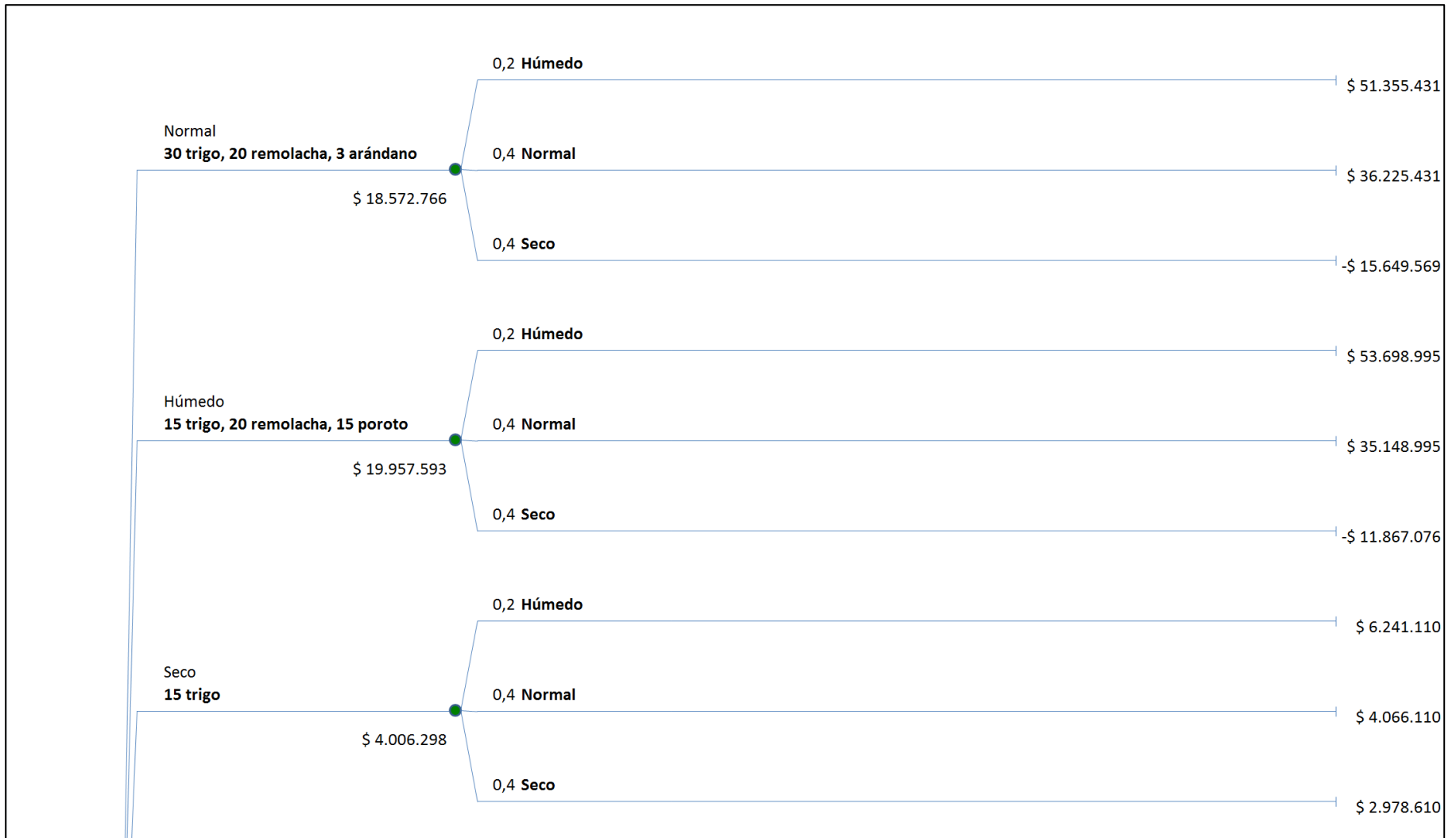


Figura 4.8: Árbol de decisión agricultor ID2. Cuenca del río Longaví. Parte 1.

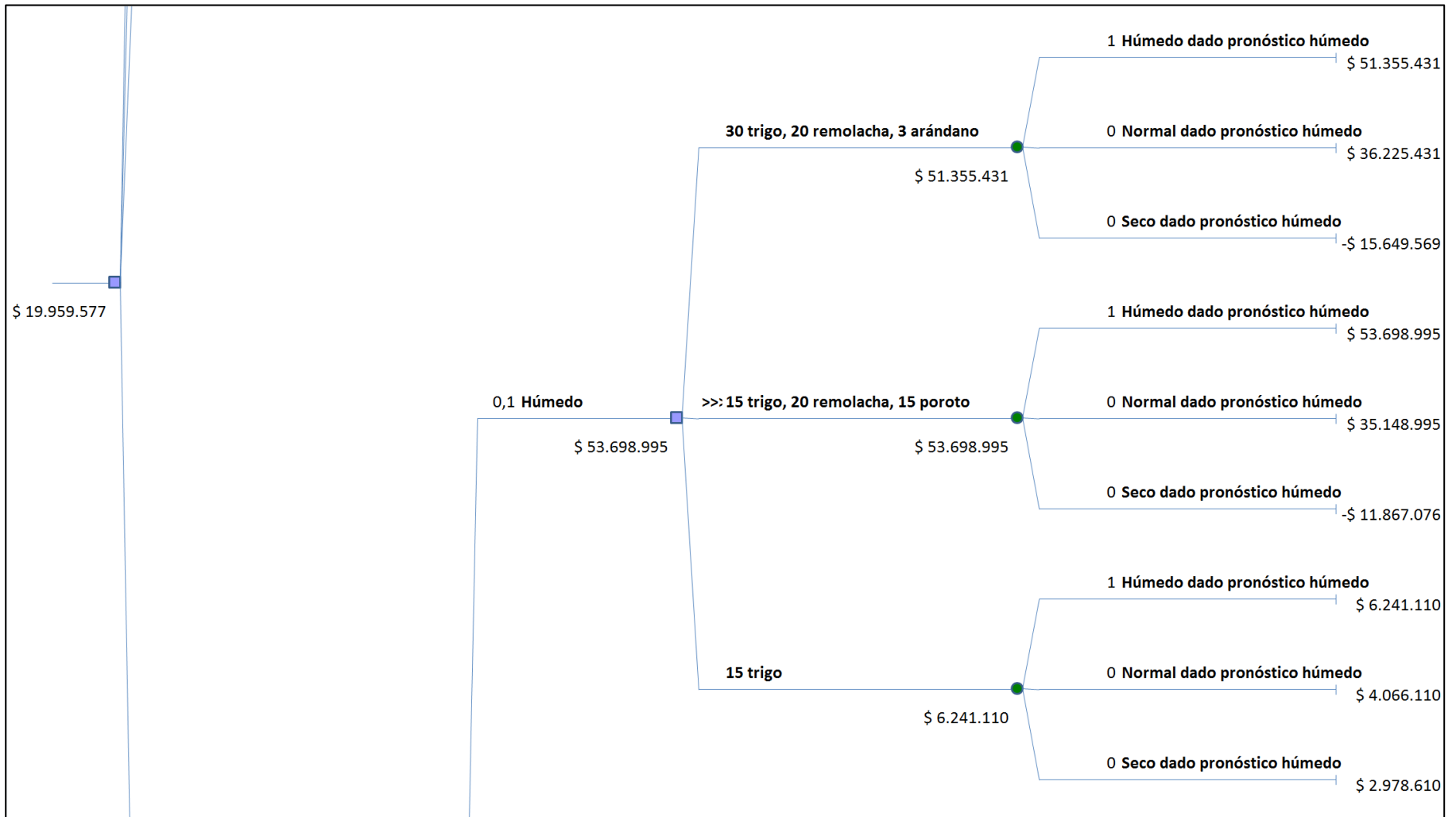


Figura 4.9: Árbol de decisión agricultor ID2. Cuenca del río Longaví. Parte 2.

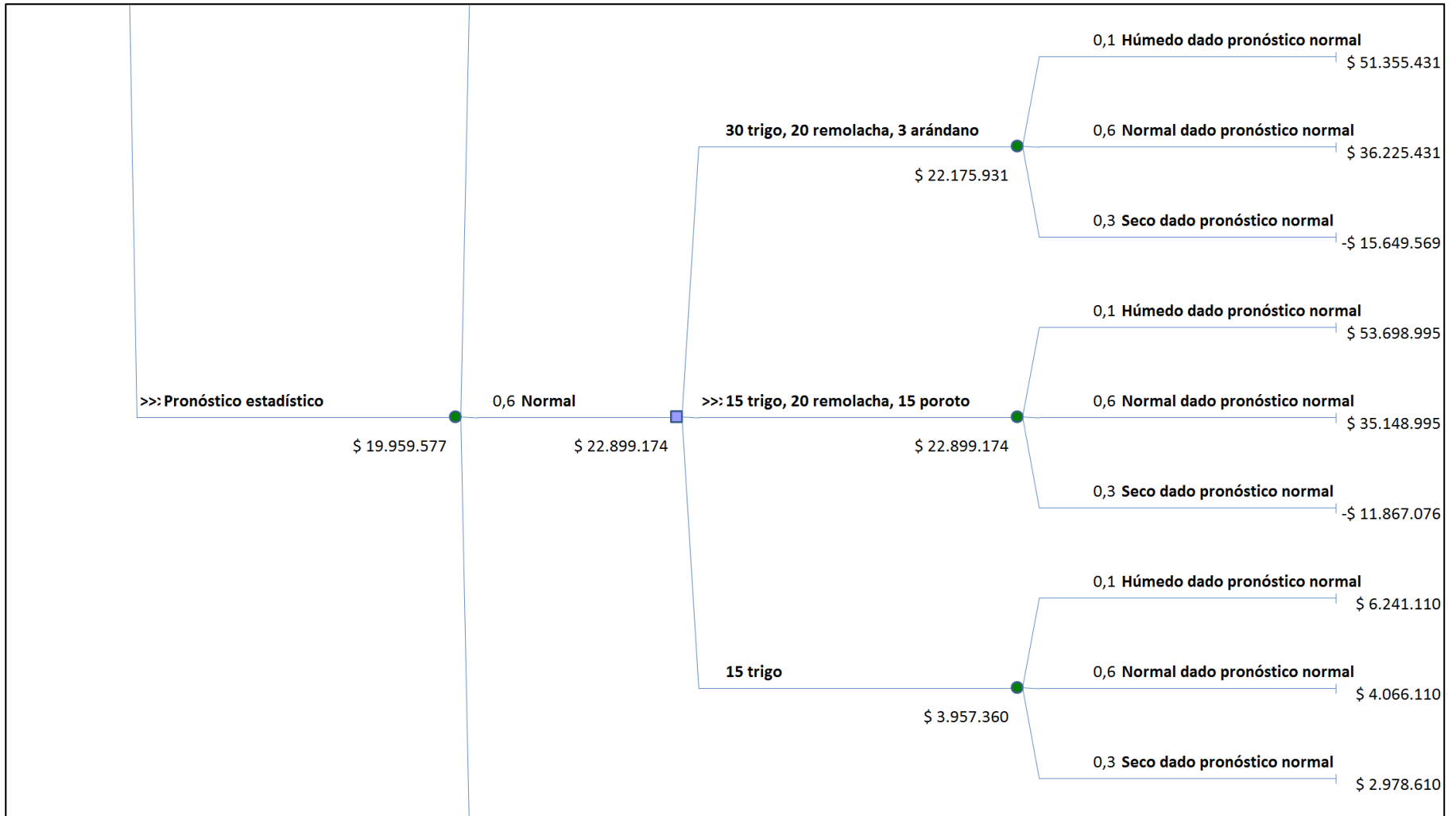


Figura 4.10: Árbol de decisión agricultor ID2. Cuenca del río Longaví. Parte 3.

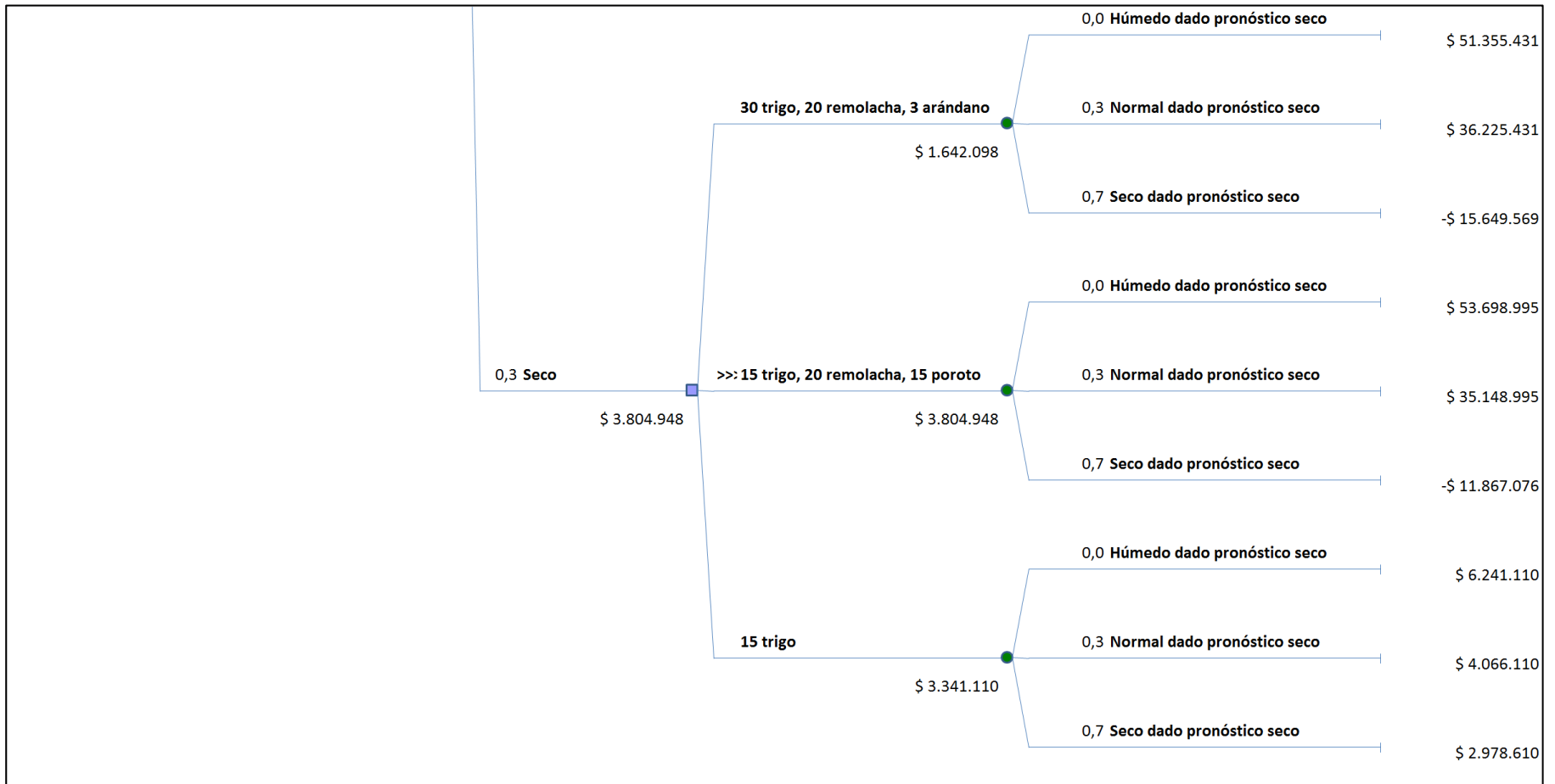


Figura 4.11: Árbol de decisión agricultor ID2. Cuenca del río Longaví. Parte 4.

Según este árbol de decisión, el valor asociado al “nodo raíz” corresponde al modelo de pronóstico de la U. de Chile, opción con la cual el agricultor obtendría la mayor utilidad para su producción. Por tanto, es conveniente que considere los resultados del modelo de pronóstico para determinar la combinación de cultivos y sus respectivas áreas. El Anexo G muestra los árboles de decisión de cada agricultor.

Finalmente, la Tabla 4.21 muestra la estimación de las utilidades de cada una de las alternativas de los agricultores del río Longaví. En ella se observa que para los tres agricultores es más conveniente elegir la combinación de cultivos en función del pronóstico de la U. de Chile.

Tabla 4.21: Estimación de utilidades de agricultores cuenca del río Longaví

	Cultivo Alternativa 1 (año normal)	Cultivo Alternativa 2 (año húmedo)	Cultivo Alternativa 3 (año seco)	Pronóstico U. de Chile	Elección conveniente
Agricultor 1 (ID 2)	\$ 18.572	\$ 19.957	\$ 4.006	\$ 19.959	Pronóstico Universidad de Chile
Agricultor 2 (ID 8)	\$ 10.748	\$ 10.726	\$ 7.249	\$ 10.830	Pronóstico Universidad de Chile
Agricultor 3 (ID 9)	\$ 837	\$ 711	\$ 964,0	\$ 964,2	Pronóstico Universidad de Chile

*Montos expresados en miles

Por su parte, la Tabla 4.22 muestra la estimación de utilidades de los agricultores del río Maule, donde se observa que para uno de los agricultores sería más conveniente elegir la combinación de cultivos en función del pronóstico estadístico de la U. de Chile y para el otro agricultor según el pronóstico del CEN. Siendo en general todas las alternativas de pronóstico con mejores resultados económicos que la elección de cultivos sin considerar estos conocimientos.

Tabla 4.22: Estimación de utilidades de agricultores cuenca del río Maule

	Cultivo Alternativa 1 (año normal)	Cultivo Alternativa 2 (año húmedo)	Cultivo Alternativa 3 (año seco)	Pronóstico U. de Chile	Pronóstico DGA	Pronóstico CEN	Elección conveniente
Agricultor 1 (ID 11)	\$ 14.601	\$ 14.948	\$ 12.610	\$ 15.550	\$ 15.428	\$ 15.641	Pronóstico CEN
Agricultor 2 (ID 17)	\$ 20.067	\$ 20.698	\$ 18.411	\$ 25.915	\$ 25.078	\$ 23.579	Pronóstico Universidad de Chile

*Montos expresados en miles

4.3.3 Árbol de decisión por cuenca

La Junta de Vigilancia del río Maule provee de agua para riego a las comunas de Talca, Villa Alegre, San Javier, Linares, Yerbabuena, Colbún, San Clemente, Maule y la parte norte de Longaví. Por su parte, la Junta de Vigilancia del río Longaví provee agua para riego a las comunas de Parral, Retiro y la parte sur de Longaví. Con las

superficies del Censo Agropecuario (2007) para estas comunas, se supuso que dicha configuración correspondía a la situación en un “año normal”.

Luego, para variar las superficies hacia un año húmedo y seco, se consideró los órdenes expuestos en la Tabla 4.23, obtenidos mediante entrevistas a agricultores (Anexo B) y a expertos en cultivos de la región del Maule (Anexo D).

Tabla 4.23: Orden de cultivos, según rentabilidad y demanda hídrica

PRIORIDAD	RENTABILIDAD (+)	DEMANDA AGUA (-)
1	Arándano	Poroto
2	Frambuesa	Espárrago
3	Espárrago	Trigo
4	Remolacha	Frambuesa
5	Poroto	Forrajeras
6	Forrajeras	Remolacha
7	Maíz	Arándano
8	Arroz	Maíz
9	Trigo	Arroz

En función a las prioridades señaladas en la Tabla 4.23, se asignó las variaciones de porcentaje expuestas en la Tabla 4.24 y Tabla 4.25 a las superficies de cultivos, en la situación húmeda y seca respectivamente. En el caso de la situación húmeda, se comenzó duplicando y triplicando las superficies de los cultivos con mayor rentabilidad, mientras que en la situación seca se disminuyó a la mitad los cultivos con mayor demanda de agua.

Tabla 4.24: Variaciones de superficie de cultivos para las cuencas de los ríos Maule y Longaví, situación húmeda.

SITUACIÓN HÚMEDA		MAULE		LONGAVÍ	
CULTIVO	PRIORIDAD	VARIACIÓN	PORCENTAJE [%]	VARIACIÓN	PORCENTAJE [%]
Arroz (con cáscara)	8	Disminuye	-6	Disminuye	-18
Maíz (grano seco)	7	Disminuye	-21	Disminuye	-19
Poroto consumo interno	5	Se mantiene	0	Se mantiene	0
Trigo blanco	9	Aumenta	-20	Disminuye	-26
Remolacha azucarera	4	Aumenta	100	Aumenta	100
Espárrago	3	Aumenta	100	Aumenta	100
Arándano	1	Aumenta	200	Aumenta	200
Frambuesa	2	Aumenta	200	Aumenta	200
Plantas forrajeras	6	Disminuye	-14	Disminuye	-20

Tabla 4.25: Variaciones de superficie de cultivos para las cuencas de los ríos Maule y Longaví, situación seca.

SITUACIÓN SECA		MAULE		LONGAVÍ	
CULTIVO	PRIORIDAD	VARIACIÓN	PORCENTAJE [%]	VARIACIÓN	PORCENTAJE [%]
Arroz (con cáscara)	9	Disminuye	-100	Disminuye	-100
Maíz (grano seco)	8	Disminuye	-50	Disminuye	-50
Poroto consumo interno	1	Aumenta	83	Aumenta	33
Trigo blanco	3	Aumenta	42	Aumenta	15
Remolacha azucarera	6	Disminuye	-33	Disminuye	-33
Espárrago	2	Aumenta	876	Aumenta	67
Arándano	7	Disminuye	-33	Disminuye	-33
Frambuesa	2	Aumenta	200	Aumenta	200
Plantas forrajeras	6	Disminuye	-14	Disminuye	-20

Finalmente, las superficies de los cultivos mencionados por los agricultores en estas comunas y su variación si el año es húmedo o seco, se muestran en la Tabla 4.26 para la cuenca del río Maule, y en Tabla 4.27 para la cuenca del río Longaví.

Tabla 4.26: Superficies por cultivo para cada tipo de año, en la cuenca del río Maule.

Cultivo	Superficie (ha)		
	Censo 2007 "Año normal"	Situación "Año húmedo"	Situación "Año seco"
Arroz (con cáscara)	3.747	3.534	0.0
Maíz (grano seco)	14.942	11.769	7.471
Poroto consumo interno	2.238	2.238	4.106
Trigo blanco	8.802	7.047	12.538
Remolacha azucarera	2.632	5.264	1.755
Espárrago	213	427	2.081
Arándano	878	2.632	585
Frambuesa	1.586	4.759	1.879
Plantas forrajeras	19.410	16.778	20.288
Total	54.448	54.448	50.701

Tabla 4.27: Superficies por cultivo para cada tipo de año, en la cuenca del río Longaví.

Cultivo	Superficie (ha)		
	Censo 2007 "Año normal"	Situación "Año húmedo"	Situación "Año seco"
Arroz (con cáscara)	13.384	10.962	0.0
Maíz (grano seco)	3.618	2.941	1.809
Poroto consumo interno	1.362	1.361	1.814
Trigo blanco	5.863	4.322	6.768

Cultivo	Superficie (ha)		
	Censo 2007 "Año normal"	Situación "Año húmedo"	Situación "Año seco"
Remolacha azucarera	1.952	3.905	1.302
Espárrago	677	1.353	1.128
Arándano	771	2.313	514
Frambuesa	1.211	3.634	1.468
Plantas forrajeras	9.854	7.902	10.505
Total	38.691	38.691	25.307

La Tabla 4.28 muestra la valoración de las utilidades por cuenca de estudio, en función a las superficies de cultivo estimadas anteriormente, siendo el pronóstico de la U. de Chile la elección conveniente en la cuenca del río Longaví y el pronóstico del CEN en la cuenca del río Maule

Tabla 4.28: Valoración de utilidades por cuenca

	Alternativa de cultivo año normal	Alternativa de cultivo año húmedo	Alternativa de cultivo año seco)	Pronóstico U. de Chile	Pronóstico DGA	Pronóstico CEN	Elección conveniente
Cuenca Longaví	\$ 18.029	\$ 23.777	\$ 13.070	\$ 23.780	No aplica	No aplica	Pronóstico Universidad de Chile
Cuenca Maule	\$ 23.778	\$ 30.525	\$ 22.001	\$ 31.514	\$ 31.304	\$ 33.218	Pronóstico CEN

*Montos expresados en millones

Finalmente, la diferencia entre las utilidades esperadas al utilizar un modelo de pronóstico, frente a las de no utilizarlo y cultivar como si un año fuese húmedo, normal y seco, se muestran en la Tabla 4.29 y la Tabla 4.30.

Tabla 4.29: Diferencia de utilidades esperadas del pronóstico U. de Chile en cada escenario hidrológico, para la cuenca del río Longaví

	Pronóstico U. de Chile
Año húmedo	\$ 2.896
Año normal	\$ 5.750.610
Año seco	\$ 10.709.393

*Montos expresados en miles

Tabla 4.30: Diferencia de las utilidades esperadas de los tres modelos de pronóstico, en cada escenario hidrológico, para la cuenca del río Maule

	Pronóstico Universidad de Chile	Pronóstico DGA	Pronóstico CEN
Año húmedo	\$ 989.081	\$ 779.206	\$ 2.693.181
Año normal	\$ 7.736.441	\$ 7.526.566	\$ 9.440.541
Año seco	\$ 9.513.442	\$ 9.303.567	\$ 11.217.542

*Montos expresados en miles

Esta diferencia de las utilidades esperadas es positiva para todos los modelos de pronóstico. Por tanto, se infiere que si los usuarios percibieran este aumento en las utilidades esperadas, al considerar los modelos de pronóstico en sus decisiones de cultivo, podría existir una disposición a pagar por la investigación, desarrollo y actualización de los modelos de pronóstico.

4.3.4 Análisis de las utilidades de los modelos de pronóstico

En base a los resultados obtenidos con los árboles de decisión por agricultor, se puede describir dos tipos de agricultores:

- **Agricultor Tipo 1:** Los cultivos que estos agricultores seleccionan en un año seco, solo resultarían convenientes en un escenario seco. Si el año es húmedo o normal, el agricultor se restringe de cultivar toda la superficie disponible y se limita a especies con menor demanda hídrica, que no necesariamente implican mayor rentabilidad, por tanto existe una pérdida de oportunidad. Para este tipo agricultor (1) el árbol de decisiones asigna mayores utilidades esperadas al cultivar siempre como si el año fuese húmedo o normal, pues en el largo plazo sus utilidades son considerablemente mayores a las pérdidas de cultivar como un año seco. Cuatro de los cinco agricultores tienen estas características.
- **Agricultor Tipo 2:** Si este agricultor decidiera cultivar como si fuese un año seco, le resultarían convenientes los tres escenarios, con utilidades similares a si hubiese cultivado como si el año fuese húmedo o normal, y utilidades esperadas superiores si el escenario es seco. Para este tipo de agricultor (2) el árbol de decisiones otorga mayores beneficios al cultivar como si fuese un año seco. El único caso corresponde al agricultor ID 9.

Luego, si comparamos las utilidades esperadas a nivel de cuenca, la situación es idéntica al agricultor Tipo 1, es decir, se observan mayores beneficios al cultivar como si el año fuese húmedo. A raíz de esto, dicha alternativa obtiene mayores valores esperados que las otras alternativas de cultivo, acercándose incluso a los resultados de usar los pronósticos de volúmenes de deshielo. Lo anterior explica que el pronóstico del CEN tenga un mayor valor esperado en la cuenca del río Maule, pues dicho modelo acierta el 100% de las veces al pronosticar un año húmedo (que es el que obtiene mayores utilidades), le sigue el pronóstico estadístico con un 75% y luego el pronóstico DGA con un 50%. En cambio, la cuenca del río Longaví solo dispone del pronóstico estadístico, y en este caso el modelo acierta 100% de las veces al pronosticar un año húmedo.

En este contexto, es relevante recordar que el 24% de los agricultores entrevistados en el río Longaví dicen que “siempre lo hacen igual”, expresando que siempre cultivan pensando en un año “bueno” (normal a húmedo), lo que podría explicarse en las elevadas utilidades esperadas al cultivar como si fuese un año húmedo. Sin embargo, también es importante considerar las limitaciones del método, pues al usar el valor esperado se compensan beneficios de un año húmedo con un año seco, cuando en la realidad el año es húmedo o seco, no una combinación de ambos. En el sentido agronómico, si un año es seco se generan pérdidas irrecuperables en las plantaciones que podrían hacer quebrar a un agricultor, antes de alcanzar a recuperarse para compensar con un año húmedo. Por tanto, la correcta interpretación de estos resultados es fundamental.

Como mencionan Nidumolu et al. (2020), la estructura del análisis de decisiones es tanto una fortaleza como una debilidad, ya que “fuerza una separación artificial y una simplificación de la decisión del proceso complejo, confuso e intuitivo de tomar decisiones en un predio”, por lo que el árbol de decisiones construido siempre será una simplificación del sistema agrícola real. A esto se suma que el enfoque clásico del análisis de decisiones depende en gran medida de la cuantificación, lo que por un lado refuerza la claridad, pero por otro la limita, ya que las preferencias por los resultados a menudo se basan en más que el valor numérico.

También es importante tener presente que existen otros factores no analizados en este estudio, como lo son la eficiencia de riego, los manejos agrícolas y otros requerimientos de los cultivos, que pueden influir en los resultados presentados. Por ejemplo, en un escenario seco, si un agricultor reduce sus hectáreas tendrá más agua disponible por cultivo, por tanto los rendimientos pueden ser superiores. A su vez, existen manejos agrícolas que aplican agua mediante aspersores cuando se presentan heladas, lo que aumenta el requerimiento hídrico. En el caso de los berries, una sequía prolongada puede expresar sus consecuencias años después, y si esta ocurre en periodos clave, el cultivo se puede secar por completo, lo que significa invertir nuevamente y esperar tres años más para que vuelva a dar frutos. Para la planificación de estos cultivos, los agricultores requieren pronósticos de largo plazo, pero para su manejo requieren pronósticos estacionales, de manera que el pronóstico de volumen de deshielo es insuficiente para hacer frente a estos riesgos.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

Los modelos de pronóstico de deshielo son una herramienta útil para la toma de decisiones en el contexto agrícola de las cuencas de los ríos Maule y Longaví, pues su valoración mediante la metodología de los árboles de decisión es positiva en todos los casos estudiados. El acceso a estos pronósticos tiene el potencial de ayudar a los agricultores a tomar decisiones más informadas sobre qué cultivar, cuándo y en qué superficie, reduciendo los riesgos de producción. Además, pueden ser un medio para que los agricultores incorporen la variabilidad climática y sus implicancias en la agricultura.

Las juntas de vigilancia son las encargadas de gestionar el agua en una cuenca, además constituyen la principal red formal de apoyo a los regantes, las cuales canalizan la información a través de asambleas, reuniones locales y boletines. Es principalmente a través de esta organización que los agricultores reciben información hidrológica y proyecciones para la temporada, observándose una demanda explícita de pronósticos de volúmenes de deshielo.

El periodo de análisis de este estudio (2001-2018) ha estado marcado por una sequía prolongada, donde los años húmedos tienen una menor recurrencia (17%) que los años normales y secos (40%). Los modelos de pronóstico evaluados muestran que si el año es seco o normal sería conveniente usar el modelo de la Universidad Chile, ya que su probabilidad de acierto es superior al 85% de las veces en río Maule, y superior al 60% en río Longaví. Por otro lado, que si el año es húmedo sería preferible usar el modelo del CEN en río Maule y de la Universidad de Chile en el río Longaví, ya que aciertan un 100% de las veces.

Los agricultores de las cuencas de los ríos Maule y Longaví obtendrían utilidades esperadas mayores si usaran como fuente de información los modelos de pronóstico de volúmenes de deshielo disponibles para planificar los cultivos y sus superficies. Esta situación se replica al observar los resultados agregados a nivel de cuenca, donde el modelo de pronóstico de la Universidad de Chile destaca en el río Longaví y el modelo de pronóstico del CEN en el río Maule. En otras palabras, si comparamos las utilidades esperadas agregadas a nivel de cuenca, al decidir usar un modelo de pronóstico, frente a la decisión de no utilizarlo y elegir una configuración de cultivo a priori, las primeras son mayores en el orden de los miles de millones de pesos.

Esta diferencia en las utilidades esperadas, constituye un monto que los agricultores no están recibiendo y por tanto, se infiere que si los usuarios percibieran dicha pérdida de oportunidad, podría haber una disposición a pagar por la investigación, desarrollo y actualización de los modelos. A su vez, la valoración de los regantes puede ser un insumo para tomar decisiones de políticas públicas en el ámbito de los pronósticos de caudales de deshielo. Por otro lado, los usuarios mencionaron que se requiere avanzar en modelos de pronósticos semanales, para tomar decisiones de manejo de cultivos anuales, y en modelos de pronóstico de mediano y largo plazo para decisiones relativas al cultivo de frutales. Todos estos flancos de investigación requieren inversión público-privada, y tienen un beneficio inmediato en la actividad agrícola.

El análisis de decisiones permite explorar el valor de los pronósticos, estructurando las decisiones más relevantes e incorporando el factor de azar a través de las probabilidades. Esta herramienta ayuda a pasar de un problema hidrológico a un enfoque centrado en el tomador de decisiones y sus necesidades de información. Sin embargo, constituye un análisis parcial y no una descripción completa de cómo se toman las decisiones en el mundo real, y debe tomarse como tal. En el caso de estudio, se redujo el problema de la valoración a una estimación de las utilidades económicas esperadas, sin embargo, en futuras investigaciones se podría ampliar el concepto de utilidad hacia una combinación de atributos de los modelos de pronóstico que valoren los agricultores de ambas cuencas.

Por último, para que esta herramienta sea efectivamente útil se requiere la conjunción de un equipo multidisciplinario, que sea capaz de generar los modelos, actualizarlos y comunicarlos de manera oportuna. Esta comunicación no puede basarse únicamente en la entrega de información unidireccional, sino que debe estar pensada y retroalimentada por los usuarios finales. En este sentido, es importante explorar fuentes, canales y entornos que los agricultores usen regularmente, ayudando a desarrollar un entendimiento común que permita la incorporación de los modelos de pronóstico en su toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

Arias Reyes, C. S. (2011). Análisis de los efectos de distintos escenarios de registro histórico en la estimación de caudales de crecida. aplicación a obras hidráulicas de la cuenca del río Maule. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Arora, A., Bansal, S., & Ward, P. S. (2019). Do farmers value rice varieties tolerant to droughts and floods? Evidence from a discrete choice experiment in Odisha, India. *Water resources and economics*, 25, 27-41.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2020). Modelización hidroeconómica de la Cuenca del Río Maule, Chile: diagnóstico bajo condiciones actuales y bajo cambio climático. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Modelacion-hidroeconomica-de-la-cuenca-del-Rio-Maule-Chile-Diagnostico-bajo-condiciones-actuales-y-bajo-cambio-clim%C3%A1tico.pdf>

Barría, P. (2010). Pronóstico de caudales medios mensuales en las cuencas de los ríos Baker y Pascua. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Barton, D. N., Kelemen, E., Dick, J., Martin-Lopez, B., Gómez-Baggethun, E., Jacobs, S., ... & Dunford, R. (2018). (Dis) integrated valuation—Assessing the information gaps in ecosystem service appraisals for governance support. *Ecosystem services*, 29, 529-541.

Biblioteca Nacional del Congreso (BNC) (2020). Código de Aguas. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5605>

Censo Agropecuario (2007). Informe metodológico y tablas de resultados. Disponible en: <https://www.ine.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>

Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) (2020). Pronósticos de caudales de deshielo. Disponibles en: <https://www.coordinador.cl/operacion/documentos/estudios-de-la-programacion-de-la-operacion/pronostico-de-deshielo/pronosticos-deshielo/>

Cornwell, E., Molotch, N. P., and McPhee, J. (2016). Spatio-temporal variability of snow water equivalent in the extra-tropical Andes Cordillera from distributed energy balance modeling and remotely sensed snow cover. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(1), 411-430.

Crouzat, E., Arpin, I., Brunet, L., Colloff, M. J., Turkelboom, F., & Lavorel, S. (2018). Researchers must be aware of their roles at the interface of ecosystem services science and policy. *Ambio*, 47(1), 97-105.

Dirección General de Aguas (DGA) (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del río Maule. Santiago, Chile, 152 págs. Disponible en: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Maule.pdf>

Dirección General de Aguas (DGA) (2018). Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional a las macrozonas Norte y Centro, SIT N° 435. In Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación. Elaborado por UNTEC en UTP con la P.U. Católica de Chile.

Dirección General de Aguas (DGA) (2020-a). Pronósticos de caudales de deshielo. Disponibles en: <https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Paginas/default.aspx>

Dirección General de Aguas (DGA) (2020-b). Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea. Disponible en: <https://dga.mop.gob.cl/servicioshidrometeorologicos/Paginas/default.aspx>

Escenarios Hídricos 2030 (2018). Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile. Fundación Chile. Santiago, Chile. Disponible en: <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/12/resumen-radiografia-del-agua-1.pdf>.

Espíldora, B; Brown, E; Cabrera, G. e Ísensee, P (1975). Elementos de la hidrología. Ed Centro de Recursos Hidráulicos. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

Fuster, R. (2013). El estado de la gestión integrada de los recursos hídricos en Chile: estudio de casos en la cuenca del Río Limarí (Doctoral dissertation, Universitat Autònoma de Barcelona).

González, J. (2018). Comportamiento económico de cultivos anuales en el centro sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Disponible en: <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/2018/03/Comportamiento-economico-de-cultivos-anuales-en-el-centro-sur-de-Chile.pdf>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. Sexta Edición. Mcgrawhill.

Isamit, M.; Vásquez, C.; Vásquez, N.; Ximena, V.; Lagos, M. (2020) Evaluación De Métodos Estadísticos Para Pronósticos De Volumen De Deshielo En Cuencas Del Maule. XXIV Congreso Chileno De Ingeniería Hidráulica. Universidad Diego Portales.

Junta de vigilancia del río Longaví (2020). Memorias anuales de la junta de vigilancia del río Logaví. Disponible en: http://www.juntariolongavi.cl/?page_id=2619

Junta de vigilancia del río Maule (2020). Memorias anuales de la junta de vigilancia del río Maule. Disponible en: <http://jvriomaule.cl/documentos/>

Karlsson, M., Alfredsson, E., & Westling, N. (2020). Climate policy co-benefits: a review. *Climate Policy*, 20(3), 292-316.

Lagos, M., Cornwell, E., McPhee, J. and Vargas, X. (2015). La cobertura nival fraccional como predictor de volumen estacional de deshielo. Sociedad de Ingeniería Hidráulica. XXII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.

Nidumolu, U., Lim-Camacho, L., Gaillard, E., Hayman, P., & Howden, M. (2020). Linking climate forecasts to rural livelihoods: Mapping decisions, information networks and value chains. *Weather and Climate Extremes*, 27, 100174.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) (2020). Fichas técnicas de costos de cultivos. Disponibles en: <https://www.odepa.gob.cl/fichas-de-costos>

Olander, L., Polasky, S., Kagan, J. S., Johnston, R. J., Wainger, L., Saah, D., ... & Yoskowitz, D. (2017). So you want your research to be relevant? Building the bridge between ecosystem services research and practice. *Ecosystem Services*, 26, 170-182.

Pérez-Soba, M., Verweij, P., Saarikoski, H., Harrison, P. A., Barton, D. N., & Furman, E. (2018). Maximising the value of research on ecosystem services: Knowledge integration and guidance tools mediating the science, policy and practice interfaces. *Ecosystem services*, 29, 599-607.

Rodríguez, P. (2014). Sistema de soporte de decisiones para gestión de riesgo ante aluviones en la mina El Teniente, Codelco. Memoria para optar al título de Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

Rusch, V. E., Rusch, G. M., Goijman, A. P., Varela, S. A., & Claps, L. (2017). Ecosystem services to support environmental and socially sustainable decision-making. *Ecología austral*, 27(01bis), 162-176.

Shee, A., Azzarri, C., & Haile, B. (2020). Farmers' willingness to pay for improved agricultural technologies: Evidence from a field experiment in Tanzania. *Sustainability*, 12(1), 216.

Stephen, C. (2017). Wildlife health 2.0: Bridging the knowledge-to-action gap. *Journal of wildlife diseases*, 53(1), 1-4.

Tehrany, M., Pradhan, B., and Jebur, M.(2013). Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Journal of Hydrology*, 504, 69-79.

Videla, Y. (2013). Modelación hidrológica de la cuenca alta del río Maipo mediante la aplicación del software "Cold Region Hydrological Model" (2008-2012). Memoria para optar al título de Geógrafo. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile.

Wall, T. U., McNie, E., & Garfin, G. M. (2017). Use-inspired science: making science usable by and useful to decision makers. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(10), 551-559.

Weichselgartner, J. and Kasperson, R. (2010). Barriers in the science-policy-practice interface: Toward a knowledge-action-system in global environmental change research. *Global Environmental Change*, 20(2): 266-277

Woodward, M., Kapelan, Z., and Gouldby, B. (2014). Adaptive flood risk management under climate change uncertainty using real options and optimization. *Risk Analysis*, 34(1), 75-92.

Wright, W. C., Eppink, F. V., & Greenhalgh, S. (2017). Are ecosystem service studies presenting the right information for decision making?. *Ecosystem services*, 25, 128-139.

ANEXOS

ANEXO A. Guías de entrevistas en profundidad a representantes de organizaciones de usuarios de aguas

Funciones y organización de la OUA

- ¿Cómo se gestiona el agua en su organización?
- ¿Qué funciones desempeñan cotidianamente? ¿Cómo?
- ¿Con qué actores se relacionan, y de qué manera?

Toma de decisiones

- ¿Qué decisiones de planificación deben tomar?
- ¿Qué información relevante utilizan para tomar dichas decisiones?
- ¿Qué fuentes de información usan?
- Si utilizan pronósticos ¿en qué formato? ¿Con cuánta anticipación lo usan y requieren?

Información científico-técnica con la cual han dispuesto históricamente, respecto a modelación e hidrología de nieve (o hidrología en general).

- ¿Han dispuesto de información respecto a modelaciones hidrológicas?
- ¿Disponen de un pronóstico de caudales de caudales de deshielo? ¿con que precisión y certeza?
- ¿Quién la ha hecho llegar y cómo?

Aporte de dicha información a la toma de decisiones en gestión hídrica: utilidad y pertinencia

- ¿Se ha utilizado, en qué?
- ¿Qué aspectos positivos y negativos ha tenido?

Visualización de aporte futuro, de los pronósticos de caudales de deshielo a la gestión a la toma de decisiones

- ¿De qué manera podría serles útil?

Requerimientos de nueva información en torno a la temática.

- ¿Qué información les sería más relevante?

ANEXO B. Guías de entrevistas semi-estructuradas a agricultores

1. Completar la información

Fecha	
Nombre	
Edad	
Teléfono	
Ocupación específica	
Tiempo que lleva en su ocupación	
Sector donde vive	
Hectáreas totales	
Derechos de agua (canal/pozo)	
Extracción real de agua	

2. Señale hacia abajo los cultivos que tiene actualmente

Cultivo	Hectáreas	Tipo de riego	Rendimiento por hectárea	Utilidad por hectárea [\$]

¿En qué momento del año decide como configurará los cultivos en su predio?

--

¿En qué información se basa? ¿Dónde la obtiene? ¿Qué tan certera es?

¿Qué tipo de información necesita para tomar decisiones respecto al agua en su predio?

3. En el caso hipotético de tener certeza que habrá un año **húmedo**, qué cultivaría:

Cultivo	Hectáreas	Tipo de riego	Rendimiento por hectárea	Utilidad por hectárea [\$]

Si finalmente el año resultó ser seco:

- ¿Cuántas hectáreas tiene que sacrificar?

- ¿Cuánto rendimiento menos obtiene por hectárea, por cultivo?

- ¿Cuál es la pérdida económica por hectárea?

4. En el caso hipotético de tener certeza que habrá un año **seco**, qué cultivaría:

Cultivo	Hectáreas	Tipo de riego	Rendimiento por hectárea	Utilidad por hectárea [\$]

Si finalmente el año resultó ser húmedo:

- Cuántas hectáreas pierde de haber cultivado?

- Cuánto rendimiento menos obtiene por hectárea por cultivo, respecto al óptimo?

- Cuál es la pérdida económica por no haber cultivado todo o haber preferido otros cultivos?

5. Considerando todos los cultivos que tiene actualmente y aquellos que le gustaría cultivar. Ordene en orden de prioridad según rentabilidad

Cultivo más rentable						Cultivo menos rentable

6. Considerando todos los cultivos que tiene actualmente y aquellos que le gustaría cultivar. Ordene en orden de prioridad según requerimiento de agua

Cultivo con menos demanda de agua						Cultivo con más demanda de agua

ANEXO C. Guía de entrevista en profundidad al encargado de pronósticos DGA

Información general

- ¿Desde cuándo la DGA realiza pronósticos de caudales de deshielo?
- ¿Cómo se comunican estos pronósticos?
- ¿Cuál es el equipo profesional que trabaja en estos pronósticos?

Metodología de pronósticos

- ¿Qué metodología ha usado para emitir estos pronósticos?
- ¿Cuál es la metodología actual de pronóstico de caudales de deshielo?
- ¿Cuáles son las fuentes de información que utiliza?
- ¿Qué variables y parámetros considera?
- ¿Qué decisiones toma? ¿en qué se basa?

Espacios de mejora

- ¿Cómo han funcionado históricamente los pronósticos de caudales de deshielo en el río Maule?
- ¿De qué manera podrían mejorarse?

ANEXO D. Guía de entrevista a expertos en cultivos de la región del Maule

Estimado(a)

Me encuentro haciendo una tesis de magíster, cuyo objetivo es valorar la utilidad de contar con pronósticos de caudales de deshielo, para el sector agrícola de las cuencas de los ríos Maule y Longaví. Para realizar esta valoración económica, realicé entrevistas a agricultores de ambas cuencas, quienes me entregaron datos de ganancias, costos, utilidades y rendimientos promedios, mínimos y máximos de los principales cultivos. Con esta información, sumada a fichas técnicas del INIA y ODEPA, construí las tablas que se muestran a continuación. Al respecto, quisiera comprobar esta información con su conocimiento técnico y experiencia en la zona de estudio.

1. Según su experiencia, los rendimientos máximos y mínimos que se muestran en la tabla ¿son realistas para la región del Maule?
2. ¿Ud sabe cuánto disminuirían o aumentarían los rendimientos de los cultivos en casos de extrema sequía y humedad? ¿Podría señalarlo?
3. ¿Ud conoce los costos y ganancias de los cultivos mostrados? ¿Los valores de la tabla son realistas para la región del Maule?
4. ¿Ud podría ordenar estos cultivos según sus demandas de agua?

ID	Cultivo	PRECIOS			RENDIMIENTOS		
		Costo unitario	Precio venta	Unidad	Rend. mín.	Rend. prom.	Rend. máx.
1	Trigo convencional	\$ 10.628	\$ 14.500	qm/ha	65	70	80
2	Maíz	\$ 7.534	\$ 11.110	qm/ha	126	140	154
4	Arroz convencional	\$ 13.382	\$ 20.500	qm/ha	59	65	72
5	Remolacha	\$ 27.254	\$ 35.000	t/ha	¿?	110	¿?
6	Poroto	\$ 62.555	\$ 100.000	qm/ha	25	28	31
8	Espárragos	\$ 625	\$ 800	kg/ha	4950	5500	6050
9	Arándano	\$ 1.486	\$ 2.100	kg/ha	5400	6000	6600
10	Frambuesas	\$ 695	\$ 1.000	kg/ha	8550	9500	10450
11	Empastadas (alfalfa)	\$ 71	100	kg/ha	16200	18000	19800

ID	Cultivo	COSTOS				INGRESOS	UTILIDAD	FUENTE
		Labores	Insumos	Otros costos	Total Costo			
1	Trigo convencional	\$ 232.100	\$ 417.050	\$ 94.776	\$ 743.926	\$ 1.015.000	\$ 271.074	INIA
2	Maíz	\$ 542.600	\$ 486.640	\$ 100.866	\$ 1.130.106	\$ 1.666.500	\$ 536.394	INIA
4	Arroz convencional	\$ 449.500	\$ 372.220	\$ 115.041	\$ 936.761	\$ 1.435.000	\$ 498.239	INIA
5	Remolacha	\$ 1.162.800	\$ 1.439.585	\$ 395.563	\$ 2.997.948	\$ 3.850.000	\$ 852.052	INIA
6	Poroto	\$ 819.500	\$ 581.823	\$ 162.554	\$ 1.563.877	\$ 2.500.000	\$ 936.123	INIA
8	Espárragos	\$ 2.618.000	\$ 513.790	\$ 297.520	\$ 3.429.310	\$ 4.400.000	\$ 970.690	ODEPA
9	Arándano	\$ 5.338.000	\$ 2.483.003	\$ 1.094.940	\$ 8.915.943	\$ 12.600.000	\$ 3.684.057	ODEPA
10	Frambuesas	\$ 5.444.000	\$ 542.088	\$ 613.574	\$ 6.599.662	\$ 9.500.000	\$ 2.900.338	ODEPA
11	Empastadas (alfalfa)	\$ 889.000	\$ 278.124	\$ 110.877	\$ 1.278.001	\$ 1.800.000	\$ 521.999	ODEPA

ANEXO E. Análisis de frecuencia

Tabla 7.1: Análisis de frecuencia. Series de volúmenes de deshielo (septiembre-marzo), Maule en Armerillo. Periodo de análisis 1984-2018.

Pexc. (%)	Volumen de deshielo Septiembre a Marzo(mill m ³)				
	Normal	Log-Normal	Pearson	Log-Pearson	Gumbel
95	1976	2337	2156	2186	2301
90	2578	2687	2653	2637	2687
85	2985	2953	3002	2970	2971
80	3308	3183	3288	3251	3213
75	3585	3395	3538	3502	3431
70	3834	3597	3768	3736	3638
65	4065	3795	3984	3958	3839
60	4283	3993	4193	4174	4039
55	4495	4193	4398	4388	4240
50	4702	4401	4603	4602	4448
45	4910	4618	4811	4820	4665
40	5121	4851	5025	5045	4896
35	5340	5103	5251	5280	5145
30	5571	5384	5493	5532	5422
25	5820	5704	5758	5806	5738
20	6097	6083	6059	6115	6110
15	6420	6557	6417	6477	6575
10	6826	7206	6879	6933	7211
5	7429	8288	7587	7605	8266
1	8558	10773	8994	8822	10656
0,5	8971	11859	9535	9243	11677
Chi2(calculado)	1,04	1,38	0,57	0,64	1,18
Chi2(0,05)	5,99	5,99	3,84	3,84	5,99
Test	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Tabla 7.2: Análisis de frecuencia. Series de volúmenes de deshielo (octubre-marzo), Maule en Armerillo. Periodo de análisis 1984-2018.

Pexc. (%)	Volumen de deshielo Octubre a Marzo (mill m ³)				
	Normal	Log-Normal	Pearson	Log-Pearson	Gumbel
95	1550	1914	1746	1789	1846
90	2099	2220	2182	2177	2198
85	2469	2453	2490	2466	2457
80	2763	2656	2743	2711	2676
75	3016	2844	2967	2932	2876
70	3242	3023	3173	3138	3064
65	3452	3200	3367	3336	3247
60	3652	3377	3555	3530	3429
55	3844	3557	3741	3722	3613
50	4033	3744	3926	3915	3802
45	4223	3940	4116	4112	3999
40	4415	4151	4311	4317	4209
35	4614	4380	4518	4533	4437
30	4824	4636	4739	4765	4689
25	5051	4929	4983	5019	4976
20	5304	5277	5261	5307	5316
15	5598	5714	5593	5647	5739
10	5968	6315	6023	6080	6318
5	6517	7324	6685	6727	7280
1	7546	9671	8014	7926	9457
0,5	7922	10707	8529	8350	10386
Chi2(calculado)	1,77	1,65	1,02	1,10	1,44
Chi2(0,05)	5,99	5,99	3,84	3,84	5,99
Test	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Tabla 7.3: Análisis de frecuencia. Series de volúmenes de deshielo (septiembre-marzo), Longaví en el Castillo. Periodo de análisis 1984-2018.

Pexc. (%)	Precipitación Anual (mm)				
	Normal	Log-Normal	Pearson	Log-Pearson	Gumbel
95	203	233	227	219	230
90	254	264	265	260	264
85	289	288	292	289	288
80	317	308	315	314	309
75	341	326	335	336	327
70	362	344	354	356	345
65	382	361	372	375	362
60	401	378	389	393	380
55	419	395	406	412	397
50	436	413	424	430	415
45	454	432	441	448	433
40	472	451	460	467	453
35	491	472	479	487	474
30	511	496	501	508	498
25	532	523	524	531	525
20	556	554	551	557	557
15	584	593	583	587	597
10	619	646	625	624	652
5	670	734	690	679	742
1	767	931	823	778	947
0,5	803	1015	876	812	1035
Chi2(calculado)	1,07	0,80	0,35	0,94	0,82
Chi2(0,05)	5,99	5,99	3,84	3,84	5,99
Test	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

ANEXO D. Tablas de decisión

Tabla 7.4: Valorización de alternativas de cultivo en un año normal, Cuenca del río Longaví. Agricultor ID 8.

					Normal						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	2	Trigo	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 542.148	\$ 13.489.733
		2,5	Maíz	\$ 11.903,57	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 1.340.985	
		1,5	Espárragos	\$ 800	kg	5500	\$ 4.400.000	\$ 3.429.310	\$ 970.690	\$ 1.456.035	
		1,7	Frambuesas	\$ 1.000	kg	9500	\$ 9.500.000	\$ 6.599.662	\$ 2.900.338	\$ 4.930.575	
		10	Empastadas	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 5.219.990	
2	Húmedo	4	Trigo	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 1.084.296	\$ 13.806.869
		5	Maíz	\$ 11.903,57	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 2.681.970	
		1,5	Espárragos	\$ 800	kg	5500	\$ 4.400.000	\$ 3.429.310	\$ 970.690	\$ 1.456.035	
		1,7	Frambuesas	\$ 1.000	kg	9500	\$ 9.500.000	\$ 6.599.662	\$ 2.900.338	\$ 4.930.575	
		7	Empastadas	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 3.653.993	
3	Seco	1	Trigo	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 271.074	\$ 7.811.644
		0	Maíz	\$ 11.903,57	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 0	
		0	Espárragos	\$ 800	kg	5500	\$ 4.400.000	\$ 3.429.310	\$ 970.690	\$ 0	
		1,7	Frambuesas	\$ 1.000	kg	9500	\$ 9.500.000	\$ 6.599.662	\$ 2.900.338	\$ 4.930.575	
		5	Empastadas	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 2.609.995	

Tabla 7.5: Valorización de alternativas de cultivo en un año húmedo, Cuenca del río Longaví. Agricultor ID 8.

					Húmedo						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	2	Trigo	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 832.148	\$ 18.271.358
		2,5	Maíz	\$ 11.903,57	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 1.757.610	
		1,5	Espárragos	\$ 800	kg	6050	\$ 4.840.000	\$ 3.429.310	\$ 1.410.690	\$ 2.116.035	
		1,7	Frambuesas	\$ 1.000	kg	10450	\$ 10.450.000	\$ 6.599.662	\$ 3.850.338	\$ 6.545.574,60	
		10	Empastadas	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 7.019.990	
2	Húmedo	4	Trigo	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 1.664.296	\$ 18.755.119
		5	Maíz	\$ 11.903,57	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 3.515.220	
		1,5	Espárragos	\$ 800	kg	6050	\$ 4.840.000	\$ 3.429.310	\$ 1.410.690	\$ 2.116.035	
		1,7	Frambuesas	\$ 1.000	kg	10450	\$ 10.450.000	\$ 6.599.662	\$ 3.850.338	\$ 6.545.574,60	
		7	Empastadas	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 4.913.993	
3	Seco	1	Trigo	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 416.074	\$ 10.471.644
		0	Maíz	\$ 11.903,57	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 0	
		0	Espárragos	\$ 800	kg	6050	\$ 4.840.000	\$ 3.429.310	\$ 1.410.690	\$ 0	
		1,7	Frambuesas	\$ 1.000	kg	10450	\$ 10.450.000	\$ 6.599.662	\$ 3.850.338	\$ 6.545.574,60	
		5	Empastadas	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 3.509.995	

Tabla 7.6: Valorización de alternativas de cultivo en un año seco, Cuenca del río Longaví. Agricultor ID 8.

					Seco						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	2	Trigo	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 397.148	\$ 4.390.581
		2,5	Maíz	\$ 11.903,57	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 1.833	
		1,5	Espárragos	\$ 800	kg	2000	\$ 1.600.000	\$ 3.429.310	-\$ 1.829.310	-\$ 2.743.965	
		1,7	Frambuesas	\$ 1.000	kg	8550	\$ 8.550.000	\$ 6.599.662	\$ 1.950.338	\$ 3.315.575	
		10	Empastadas	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 3.419.990	
2	Húmedo	4	Trigo	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 794.296	\$ 3.763.565
		5	Maíz	\$ 11.903,57	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 3.666	
		1,5	Espárragos	\$ 800	kg	2000	\$ 1.600.000	\$ 3.429.310	-\$ 1.829.310	-\$ 2.743.965	
		1,7	Frambuesas	\$ 1.000	kg	8550	\$ 8.550.000	\$ 6.599.662	\$ 1.950.338	\$ 3.315.575	
		7	Empastadas	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 2.393.993	
3	Seco	1	Trigo	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 198.574	\$ 5.224.144
		0	Maíz	\$ 11.903,57	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 0	
		0	Espárragos	\$ 800	kg	2000	\$ 1.600.000	\$ 3.429.310	-\$ 1.829.310	\$ 0	
		1,7	Frambuesas	\$ 1.000	kg	8550	\$ 8.550.000	\$ 6.599.662	\$ 1.950.338	\$ 3.315.575	
		5	Empastadas	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 1.709.995	

Tabla 7.7: Valorización de alternativas de cultivo en un año normal, Cuenca del río Longaví. Agricultor ID 9.

					Normal						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	1	Maíz	\$ 11.903,57	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 536.394	\$ 1.058.393
		1	Empastadas	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 521.999	
2	Húmedo	2	Maíz	\$ 11.903,57	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 1.072.788	\$ 1.072.788
3	Seco	2	Empastadas	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 1.043.998	\$ 1.043.998

Tabla 7.8: Valorización de alternativas de cultivo en un año húmedo, Cuenca del río Longaví. Agricultor ID 9.

					Húmedo						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	1	Maíz	\$ 11.903,57	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 703.044	\$ 1.405.043
		1	Empastadas	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 701.999	
2	Húmedo	2	Maíz	\$ 11.903,57	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 1.406.088	\$ 1.406.088
3	Seco	2	Empastadas	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 1.403.998	\$ 1.403.998

Tabla 7.9: Valorización de alternativas de cultivo en un año seco, Cuenca del río Longaví. Agricultor ID 9.

					Seco						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	1	Maíz	\$ 11.903,57	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 733	\$ 342.732
		1	Empastadas	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 341.999	
2	Húmedo	2	Maíz	\$ 11.903,57	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 1.467	\$ 1.467
3	Seco	2	Empastadas	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 683.998	\$ 683.998

Tabla 7.10: Valorización de alternativas de cultivo en un año normal, Cuenca del río Maule. Agricultor ID 11.

					Normal						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	10	Trigo	\$ 14.500,00	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 2.710.740	\$ 18.586.635
		15	Maíz	\$ 11.903,57	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 8.045.910	
		15	Empastadas	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 7.829.985	
2	Húmedo	5	Trigo	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 1.355.370	\$ 19.412.885
		10	Maíz	\$ 11.903,57	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 5.363.940	
		10	Empastadas	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 5.219.990	
		15	Arroz	\$ 22.076,92	qm	65	\$ 1.435.000	\$ 936.761	\$ 498.239	\$ 7.473.585	
3	Seco	30	Trigo	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 8.132.220	\$ 13.352.210
		10	Empastadas	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 5.219.990	

Tabla 7.11: Valorización de alternativas de cultivo en un año húmedo, Cuenca del río Maule. Agricultor ID 11.

					Húmedo						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	10	Trigo	\$ 14.500,00	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 4.160.740	\$ 25.236.385
		15	Maíz	\$ 11.903,57	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 10.545.660	
		15	Empastadas	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 10.529.985	
2	Húmedo	5	Trigo	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 2.080.370	\$ 25.922.462
		10	Maíz	\$ 11.903,57	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 7.030.440	
		10	Empastadas	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 7.019.990	
		15	Arroz	\$ 22.076,92	qm	72	\$ 1.589.538	\$ 936.761	\$ 652.777	\$ 9.791.661,92	
3	Seco	30	Trigo	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 12.482.220	\$ 19.502.210
		10	Empastadas	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 7.019.990	

Tabla 7.12: Valorización de alternativas de cultivo en un año normal, Cuenca del río Maule. Agricultor ID 11.

					Seco						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	10	Trigo	\$ 14.500,00	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 1.985.740	\$ 7.126.724
		15	Maíz	\$ 11.903,57	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 10.999	
		15	Empastadas	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 5.129.985	
2	Húmedo	5	Trigo	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 992.870	\$ 6.926.470
		10	Maíz	\$ 11.903,57	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 7.333	
		10	Empastadas	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 3.419.990	
		15	Arroz	\$ 22.076,92	qm	50	\$ 1.103.846	\$ 936.761	\$ 167.085	\$ 2.506.277	
3	Seco	30	Trigo	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 5.957.220	\$ 9.377.210
		10	Empastadas	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 3.419.990	

Tabla 7.13: Valorización de alternativas de cultivo en un año normal, Cuenca del río Maule. Agricultor ID 17.

					Normal						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	50	Trigo	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 13.553.700	\$ 32.276.160
		20	Poroto	\$ 89.286	kg	28	\$ 2.500.000	\$ 1.563.877	\$ 936.123	\$ 18.722.460	
2	Húmedo	40	Trigo	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 10.842.960	\$ 34.929.360
		10	Maíz	\$ 11.904	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 5.363.940	
		20	Poroto	\$ 89.286	kg	28	\$ 2.500.000	\$ 1.563.877	\$ 936.123	\$ 18.722.460	
3	Seco	70	Trigo	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 18.975.180	\$ 18.975.180

Tabla 7.14: Valorización de alternativas de cultivo en un año húmedo, Cuenca del río Maule. Agricultor ID 17.

					Húmedo						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad	Utilidad total	Utilidad sumada	
1	Normal	50	Trigo	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 20.803.700	\$ 44.883.303
		20	Poroto	\$ 89.286	kg	31	\$ 2.767.857	\$ 1.563.877	\$ 1.203.980	\$ 24.079.602,86	
2	Húmedo	40	Trigo	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 16.642.960	\$ 47.753.003
		10	Maíz	\$ 11.904	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 7.030.440	
		20	Poroto	\$ 89.286	kg	31	\$ 2.767.857	\$ 1.563.877	\$ 1.203.980	\$ 24.079.602,86	
3	Seco	70	Trigo	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 29.125.180	\$ 29.125.180

Tabla 7.15: Valorización de alternativas de cultivo en un año seco, Cuenca del río Maule. Agricultor ID 17.

					Seco						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad	Utilidad total	Utilidad sumada	
1	Normal	50	Trigo	\$ 14,500	qm	65	\$ 942,500	\$ 743,926	\$ 198,574	\$ 9,928,700	\$ 79,731
		20	Poroto	\$ 89,286	kg	12	\$ 1,071,428.57	\$ 1,563,877	-\$ 492,448	-\$ 9,848,969	
2	Húmedo	40	Trigo	\$ 14,500	qm	65	\$ 942,500	\$ 743,926	\$ 198,574	\$ 7,942,960	-\$ 1,898,676
		10	Maíz	\$ 11,904	qm	95	\$ 1,130,839.29	\$ 1,130,106	\$ 733	\$ 7,333	
		20	Poroto	\$ 89,286	kg	12	\$ 1,071,428.57	\$ 1,563,877	-\$ 492,448	-\$ 9,848,969	
3	Seco	70	Trigo	\$ 14,500	qm	65	\$ 942,500	\$ 743,926	\$ 198,574	\$ 13,900,180	\$ 13,900,180

Tabla 7.16: Valorización de alternativas de cultivo en un año normal, Cuenca del río Maule.

Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Normal					
					Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total
1 Normal	3747	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	65	\$ 1.435.000	\$ 936.761	\$ 498.239	\$ 1.867.051.005	\$ 34.777.097.549
	14942	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 8.014.563.135	
	2238	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	28	\$ 2.500.000	\$ 1.563.877	\$ 936.123	\$ 2.094.622.019	
	8802	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 2.386.061.117	
	2632	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	110	\$ 3.850.000	\$ 2.997.948	\$ 852.052	\$ 2.242.686.069	
	213	Espárrago	\$ 800	kg	5500	\$ 4.400.000	\$ 3.429.310	\$ 970.690	\$ 206.999.643	
	877	Arándano	\$ 2.100	kg	6000	\$ 12.600.000	\$ 8.915.943	\$ 3.684.057	\$ 3.232.575.815	
	1586	Frambuesa	\$ 1.000	kg	9500	\$ 9.500.000	\$ 6.599.662	\$ 2.900.338	\$ 4.600.371.119	
	19410	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 10.132.167.630	
2 Húmedo	3534	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	65	\$ 1.435.000	\$ 936.761	\$ 498.239	\$ 1.760.801.538	\$ 49.235.163.644
	11769	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 6.312.960.448	
	2238	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	28	\$ 2.500.000	\$ 1.563.877	\$ 936.123	\$ 2.094.622.019	
	7047	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 1.910.353.354	
	5264	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	110	\$ 3.850.000	\$ 2.997.948	\$ 852.052	\$ 4.485.372.138	
	427	Espárrago	\$ 800	kg	5500	\$ 4.400.000	\$ 3.429.310	\$ 970.690	\$ 413.999.285	
	2632	Arándano	\$ 2.100	kg	6000	\$ 12.600.000	\$ 8.915.943	\$ 3.684.057	\$ 9.697.727.444	
	4758	Frambuesa	\$ 1.000	kg	9500	\$ 9.500.000	\$ 6.599.662	\$ 2.900.338	\$ 13.801.113.356	
	16778	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 8.758.214.062	
3 Seco	0	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	65	\$ 1.435.000	\$ 936.761	\$ 498.239	\$ 0	\$ 32.957.874.946
	7471	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 4.007.281.567	
	4105	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	28	\$ 2.500.000	\$ 1.563.877	\$ 936.123	\$ 3.843.014.265	
	12538	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 3.398.628.225	
	1755	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	110	\$ 3.850.000	\$ 2.997.948	\$ 852.052	\$ 1.495.124.046	
	2081	Espárrago	\$ 800	kg	5500	\$ 4.400.000	\$ 3.429.310	\$ 970.690	\$ 2.019.952.502	
	585	Arándano	\$ 2.100	kg	6000	\$ 12.600.000	\$ 8.915.943	\$ 3.684.057	\$ 2.155.050.543	
	1879	Frambuesa	\$ 1.000	kg	9500	\$ 9.500.000	\$ 6.599.662	\$ 2.900.338	\$ 5.448.671.645	
	20288	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 10.590.152.152	

Tabla 7.17: Valorización de alternativas de cultivo en un año húmedo, Cuenca del río Maule.

Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Húmedo					
					Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total
1 Normal	3747	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	72	\$ 1.589.538	\$ 936.761	\$ 652.777	\$ 2.446.152.982	\$ 46.843.232.600
	14942	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 10.504.574.109	
	2238	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	31	\$ 2.767.857	\$ 1.563.877	\$ 1.203.980	\$ 2.693.965.769	
	8802	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 3.662.387.367	
	2632	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	120	\$ 4.200.000	\$ 2.997.948	\$ 1.202.052	\$ 3.163.921.069	
	213	Espárrago	\$ 800	kg	6050	\$ 4.840.000	\$ 3.429.310	\$ 1.410.690	\$ 300.829.643	
	877	Arándano	\$ 2.100	kg	6600	\$ 13.860.000	\$ 8.915.943	\$ 4.944.057	\$ 4.338.162.815	
	1586	Frambuesa	\$ 1.000	kg	10450	\$ 10.450.000	\$ 6.599.662	\$ 3.850.338	\$ 6.107.213.619	
	19410	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 13.626.025.230	
2 Húmedo	3534	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	72	\$ 1.589.538	\$ 936.761	\$ 652.777	\$ 2.306.948.188	\$ 66.251.365.073
	11769	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 8.274.307.627	
	2238	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	31	\$ 2.767.857	\$ 1.563.877	\$ 1.203.980	\$ 2.693.965.769	
	7047	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 2.932.219.104	
	5264	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	120	\$ 4.200.000	\$ 2.997.948	\$ 1.202.052	\$ 6.327.842.138	
	427	Espárrago	\$ 800	kg	6050	\$ 4.840.000	\$ 3.429.310	\$ 1.410.690	\$ 601.659.285	
	2632	Arándano	\$ 2.100	kg	6600	\$ 13.860.000	\$ 8.915.943	\$ 4.944.057	\$ 13.014.488.444	
	4758	Frambuesa	\$ 1.000	kg	10450	\$ 10.450.000	\$ 6.599.662	\$ 3.850.338	\$ 18.321.640.856	
	16778	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 11.778.293.662	
3 Seco	0	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	72	\$ 1.589.538	\$ 936.761	\$ 652.777	\$ 0	\$ 44.823.773.163
	7471	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 5.252.287.054	
	4105	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	31	\$ 2.767.857	\$ 1.563.877	\$ 1.203.980	\$ 4.942.633.462	
	12538	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 5.216.586.025	
	1755	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	120	\$ 4.200.000	\$ 2.997.948	\$ 1.202.052	\$ 2.109.280.713	
	2081	Espárrago	\$ 800	kg	6050	\$ 4.840.000	\$ 3.429.310	\$ 1.410.690	\$ 2.935.568.302	
	585	Arándano	\$ 2.100	kg	6600	\$ 13.860.000	\$ 8.915.943	\$ 4.944.057	\$ 2.892.108.543	
	1879	Frambuesa	\$ 1.000	kg	10450	\$ 10.450.000	\$ 6.599.662	\$ 3.850.338	\$ 7.233.373.311	
	20288	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 14.241.935.752	

Tabla 7.18: Valorización de alternativas de cultivo en un año seco, Cuenca del río Maule.

					Seco						
Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total	
1	Normal	3747	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	50	\$ 1.103.846	\$ 936.761	\$ 167.085	\$ 626.118.197	\$ 5.505.192.314
		14942	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 10.956.432	
		2238	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	12	\$ 1.071.429	\$ 1.563.877	-\$ 492.448	-\$ 1.101.877.981	
		8802	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 1.747.897.992	
		2632	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	75	\$ 2.625.000	\$ 2.997.948	-\$ 372.948	-\$ 981.636.431	
		213	Espárrago	\$ 800	kg	2000	\$ 1.600.000	\$ 3.429.310	-\$ 1.829.310	-\$ 390.100.358	
		877	Arándano	\$ 2.100	kg	2000	\$ 4.200.000	\$ 8.915.943	-\$ 4.715.943	-\$ 4.138.004.185	
		1586	Frambuesa	\$ 1.000	kg	8550	\$ 8.550.000	\$ 6.599.662	\$ 1.950.338	\$ 3.093.528.619	
	19410	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 6.638.310.030		
2	Húmedo	3534	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	50	\$ 1.103.846,15	\$ 936.761	\$ 167.085	\$ 590.487.288	\$ 757.894.201
		11769	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 8.630.230	
		2238	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	12	\$ 1.071.429	\$ 1.563.877	-\$ 492.448	-\$ 1.101.877.981	
		7047	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 1.399.420.479	
		5264	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	75	\$ 2.625.000	\$ 2.997.948	-\$ 372.948	-\$ 1.963.272.862	
		427	Espárrago	\$ 800	kg	2000	\$ 1.600.000	\$ 3.429.310	-\$ 1.829.310	-\$ 780.200.715	
		2632	Arándano	\$ 2.100	kg	2000	\$ 4.200.000	\$ 8.915.943	-\$ 4.715.943	-\$ 12.414.012.556	
		4758	Frambuesa	\$ 1.000	kg	8550	\$ 8.550.000	\$ 6.599.662	\$ 1.950.338	\$ 9.280.585.856	
	16778	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 5.738.134.462		
3	Seco	0	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	50	\$ 1.103.846,15	\$ 936.761	\$ 167.085	\$ 0	\$ 3.856.057.381
		7471	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 5.478.216	
		4105	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	12	\$ 1.071.429	\$ 1.563.877	-\$ 492.448	-\$ 2.021.621.449	
		12538	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 2.489.649.325	
		1755	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	75	\$ 2.625.000	\$ 2.997.948	-\$ 372.948	-\$ 654.424.287	
		2081	Espárrago	\$ 800	kg	2000	\$ 1.600.000	\$ 3.429.310	-\$ 1.829.310	-\$ 3.806.693.498	
		585	Arándano	\$ 2.100	kg	2000	\$ 4.200.000	\$ 8.915.943	-\$ 4.715.943	-\$ 2.758.669.457	
		1879	Frambuesa	\$ 1.000	kg	8550	\$ 8.550.000	\$ 6.599.662	\$ 1.950.338	\$ 3.663.969.978	
	20288	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 6.938.368.552		

Tabla 7.19: Valorización de alternativas de cultivo en un año normal, Cuenca del río Longaví.

Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Normal					
					Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total
1 Normal	13384	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	65	\$ 1.435.000	\$ 936.761	\$ 498.239	\$ 6.668.530.424	\$ 25.289.539.268
	3618	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 1.940.432.115	
	1362	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	28	\$ 2.500.000	\$ 1.563.877	\$ 936.123	\$ 1.274.578.271	
	5863	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 1.589.347.523	
	1952	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	110	\$ 3.850.000	\$ 2.997.948	\$ 852.052	\$ 1.663.461.120	
	676	Espárrago	\$ 800	kg	5500	\$ 4.400.000	\$ 3.429.310	\$ 970.690	\$ 656.429.113	
	771	Arándano	\$ 2.100	kg	6000	\$ 12.600.000	\$ 8.915.943	\$ 3.684.057	\$ 2.839.855.338	
	1211	Frambuesa	\$ 1.000	kg	9500	\$ 9.500.000	\$ 6.599.662	\$ 2.900.338	\$ 3.513.179.419	
9854	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 5.143.725.946		
2 Húmedo	10962	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	65	\$ 1.435.000	\$ 936.761	\$ 498.239	\$ 5.461.496.622	\$ 37.308.715.339
	2941	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 1.577.695.672	
	1362	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	28	\$ 2.500.000	\$ 1.563.877	\$ 936.123	\$ 1.274.578.271	
	4321	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 1.171.432.737	
	3905	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	110	\$ 3.850.000	\$ 2.997.948	\$ 852.052	\$ 3.326.922.239	
	1353	Espárrago	\$ 800	kg	5500	\$ 4.400.000	\$ 3.429.310	\$ 970.690	\$ 1.312.858.225	
	2313	Arándano	\$ 2.100	kg	6000	\$ 12.600.000	\$ 8.915.943	\$ 3.684.057	\$ 8.519.566.015	
	3634	Frambuesa	\$ 1.000	kg	9500	\$ 9.500.000	\$ 6.599.662	\$ 2.900.338	\$ 10.539.538.258	
7902	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 4.124.627.298		
3 Seco	0	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	65	\$ 1.435.000	\$ 936.761	\$ 498.239	\$ 0	\$ 18.342.033.558
	1809	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	140	\$ 1.666.500	\$ 1.130.106	\$ 536.394	\$ 970.216.057	
	1814	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	28	\$ 2.500.000	\$ 1.563.877	\$ 936.123	\$ 1.697.887.240	
	6768	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	70	\$ 1.015.000	\$ 743.926	\$ 271.074	\$ 1.834.503.460	
	1302	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	110	\$ 3.850.000	\$ 2.997.948	\$ 852.052	\$ 1.108.974.080	
	1128	Espárrago	\$ 800	kg	5500	\$ 4.400.000	\$ 3.429.310	\$ 970.690	\$ 1.095.369.064	
	514	Arándano	\$ 2.100	kg	6000	\$ 12.600.000	\$ 8.915.943	\$ 3.684.057	\$ 1.893.236.892	
	1468	Frambuesa	\$ 1.000	kg	9500	\$ 9.500.000	\$ 6.599.662	\$ 2.900.338	\$ 4.258.421.268	
10505	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	18000	\$ 1.800.000	\$ 1.278.001	\$ 521.999	\$ 5.483.425.495		

Tabla 7.20: Valorización de alternativas de cultivo en un año húmedo, Cuenca del río Longaví.

Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Húmedo					
					Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total
1 Normal	13384	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	72	\$ 1.589.538	\$ 936.761	\$ 652.777	\$ 8.736.904.101	\$ 34.052.198.296
	3618	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 2.543.296.822	
	1362	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	31	\$ 2.767.857	\$ 1.563.877	\$ 1.203.980	\$ 1.639.279.164	
	5863	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 2.439.504.273	
	1952	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	120	\$ 4.200.000	\$ 2.997.948	\$ 1.202.052	\$ 2.346.766.120	
	676	Espárrago	\$ 800	kg	6050	\$ 4.840.000	\$ 3.429.310	\$ 1.410.690	\$ 953.979.113	
	771	Arándano	\$ 2.100	kg	6600	\$ 13.860.000	\$ 8.915.943	\$ 4.944.057	\$ 3.811.126.338	
	1211	Frambuesa	\$ 1.000	kg	10450	\$ 10.450.000	\$ 6.599.662	\$ 3.850.338	\$ 4.663.914.419	
	9854	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 6.917.427.946	
2 Húmedo	10962	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	72	\$ 1.589.538	\$ 936.761	\$ 652.777	\$ 7.155.485.422	\$ 50.234.198.927
	2941	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 2.067.863.317	
	1362	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	31	\$ 2.767.857	\$ 1.563.877	\$ 1.203.980	\$ 1.639.279.164	
	4321	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 1.798.042.987	
	3905	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	120	\$ 4.200.000	\$ 2.997.948	\$ 1.202.052	\$ 4.693.532.239	
	1353	Espárrago	\$ 800	kg	6050	\$ 4.840.000	\$ 3.429.310	\$ 1.410.690	\$ 1.907.958.225	
	2313	Arándano	\$ 2.100	kg	6600	\$ 13.860.000	\$ 8.915.943	\$ 4.944.057	\$ 11.433.379.015	
	3634	Frambuesa	\$ 1.000	kg	10450	\$ 10.450.000	\$ 6.599.662	\$ 3.850.338	\$ 13.991.743.258	
	7902	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 5.546.915.298	
3 Seco	0	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	72	\$ 1.589.538	\$ 936.761	\$ 652.777	\$ 0	\$ 24.995.826.484
	1809	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	154	\$ 1.833.150	\$ 1.130.106	\$ 703.044	\$ 1.271.648.411	
	1814	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	31	\$ 2.767.857	\$ 1.563.877	\$ 1.203.980	\$ 2.183.711.459	
	6768	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	80	\$ 1.160.000	\$ 743.926	\$ 416.074	\$ 2.815.796.398	
	1302	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	120	\$ 4.200.000	\$ 2.997.948	\$ 1.202.052	\$ 1.564.510.746	
	1128	Espárrago	\$ 800	kg	6050	\$ 4.840.000	\$ 3.429.310	\$ 1.410.690	\$ 1.591.884.314	
	514	Arándano	\$ 2.100	kg	6600	\$ 13.860.000	\$ 8.915.943	\$ 4.944.057	\$ 2.540.750.892	
	1468	Frambuesa	\$ 1.000	kg	10450	\$ 10.450.000	\$ 6.599.662	\$ 3.850.338	\$ 5.653.258.768	
	10505	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	19800	\$ 1.980.000	\$ 1.278.001	\$ 701.999	\$ 7.374.265.495	

Tabla 7.21: Valorización de alternativas de cultivo en un año seco, Cuenca del río Longaví.

Alternativas	Hectáreas	Cultivo	Precio	Unidad	Seco					
					Rendimiento ha	Ganancia	Gasto	Utilidad por ha.	Utilidad por superficie	Utilidad total
1 Normal	13384	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	50	\$ 1.103.846	\$ 936.761	\$ 167.085	\$ 2.236.301.116	\$ 2.864.736.240
	3618	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 2.652.698	
	1362	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	12	\$ 1.071.429	\$ 1.563.877	-\$ 492.448	-\$ 670.493.158	
	5863	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 1.164.269.148	
	1952	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	75	\$ 2.625.000	\$ 2.997.948	-\$ 372.948	-\$ 728.106.380	
	676	Espárrago	\$ 800	kg	2000	\$ 1.600.000	\$ 3.429.310	-\$ 1.829.310	-\$ 1.237.070.888	
	771	Arándano	\$ 2.100	kg	2000	\$ 4.200.000	\$ 8.915.943	-\$ 4.715.943	-\$ 3.635.284.662	
	1211	Frambuesa	\$ 1.000	kg	8550	\$ 8.550.000	\$ 6.599.662	\$ 1.950.338	\$ 2.362.444.419	
9854	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 3.370.023.946		
2 Húmedo	10962	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	50	\$ 1.103.846,15	\$ 936.761	\$ 167.085	\$ 1.831.520.622	-\$ 3.025.224.074
	2941	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 2.156.813	
	1362	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	12	\$ 1.071.429	\$ 1.563.877	-\$ 492.448	-\$ 670.493.158	
	4321	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 858.127.612	
	3905	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	75	\$ 2.625.000	\$ 2.997.948	-\$ 372.948	-\$ 1.456.212.761	
	1353	Espárrago	\$ 800	kg	2000	\$ 1.600.000	\$ 3.429.310	-\$ 1.829.310	-\$ 2.474.141.775	
	2313	Arándano	\$ 2.100	kg	2000	\$ 4.200.000	\$ 8.915.943	-\$ 4.715.943	-\$ 10.905.853.985	
	3634	Frambuesa	\$ 1.000	kg	8550	\$ 8.550.000	\$ 6.599.662	\$ 1.950.338	\$ 7.087.333.258	
7902	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 2.702.339.298		
3 Seco	0	Arroz (con cáscara)	\$ 22.077	qm	50	\$ 1.103.846,15	\$ 936.761	\$ 167.085	\$ 0	\$ 1.934.976.547
	1809	Maíz (grano seco)	\$ 11.904	qm	95	\$ 1.130.839	\$ 1.130.106	\$ 733	\$ 1.326.349	
	1814	Poroto consumo interno	\$ 89.286	qm	12	\$ 1.071.429	\$ 1.563.877	-\$ 492.448	-\$ 893.175.260	
	6768	Trigo blanco	\$ 14.500	qm	65	\$ 942.500	\$ 743.926	\$ 198.574	\$ 1.343.856.992	
	1302	Remolacha azucarera	\$ 35.000	ton	75	\$ 2.625.000	\$ 2.997.948	-\$ 372.948	-\$ 485.404.254	
	1128	Espárrago	\$ 800	kg	2000	\$ 1.600.000	\$ 3.429.310	-\$ 1.829.310	-\$ 2.064.273.436	
	514	Arándano	\$ 2.100	kg	2000	\$ 4.200.000	\$ 8.915.943	-\$ 4.715.943	-\$ 2.423.523.108	
	1468	Frambuesa	\$ 1.000	kg	8550	\$ 8.550.000	\$ 6.599.662	\$ 1.950.338	\$ 2.863.583.768	
10505	Plantas forrajeras	\$ 100	kg	16200	\$ 1.620.000	\$ 1.278.001	\$ 341.999	\$ 3.592.585.495		

ANEXO F. Árboles de decisión

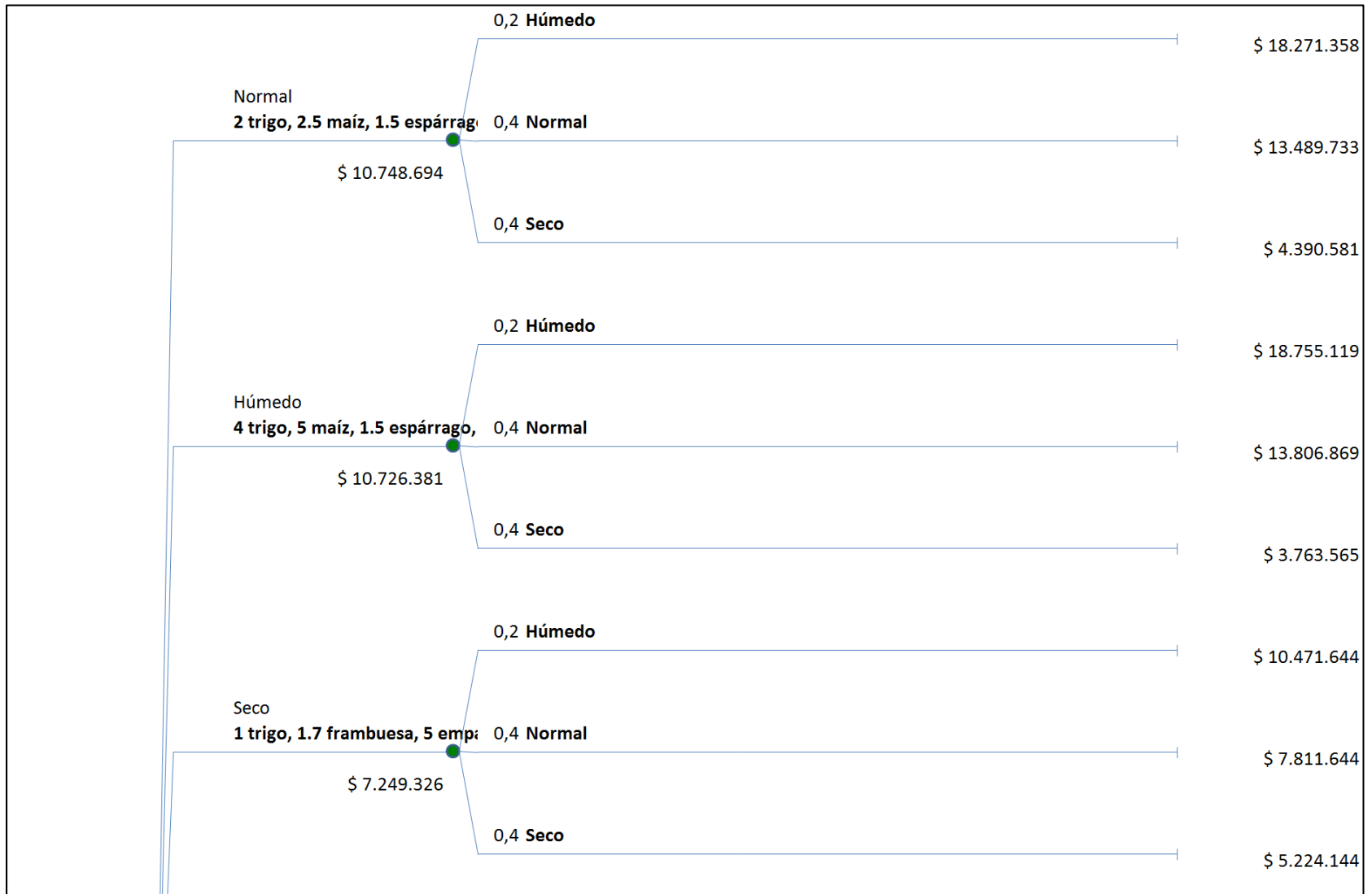


Figura 7.1: Árbol de decisión agricultor ID8. Cuenca del río Longaví. Parte 1.

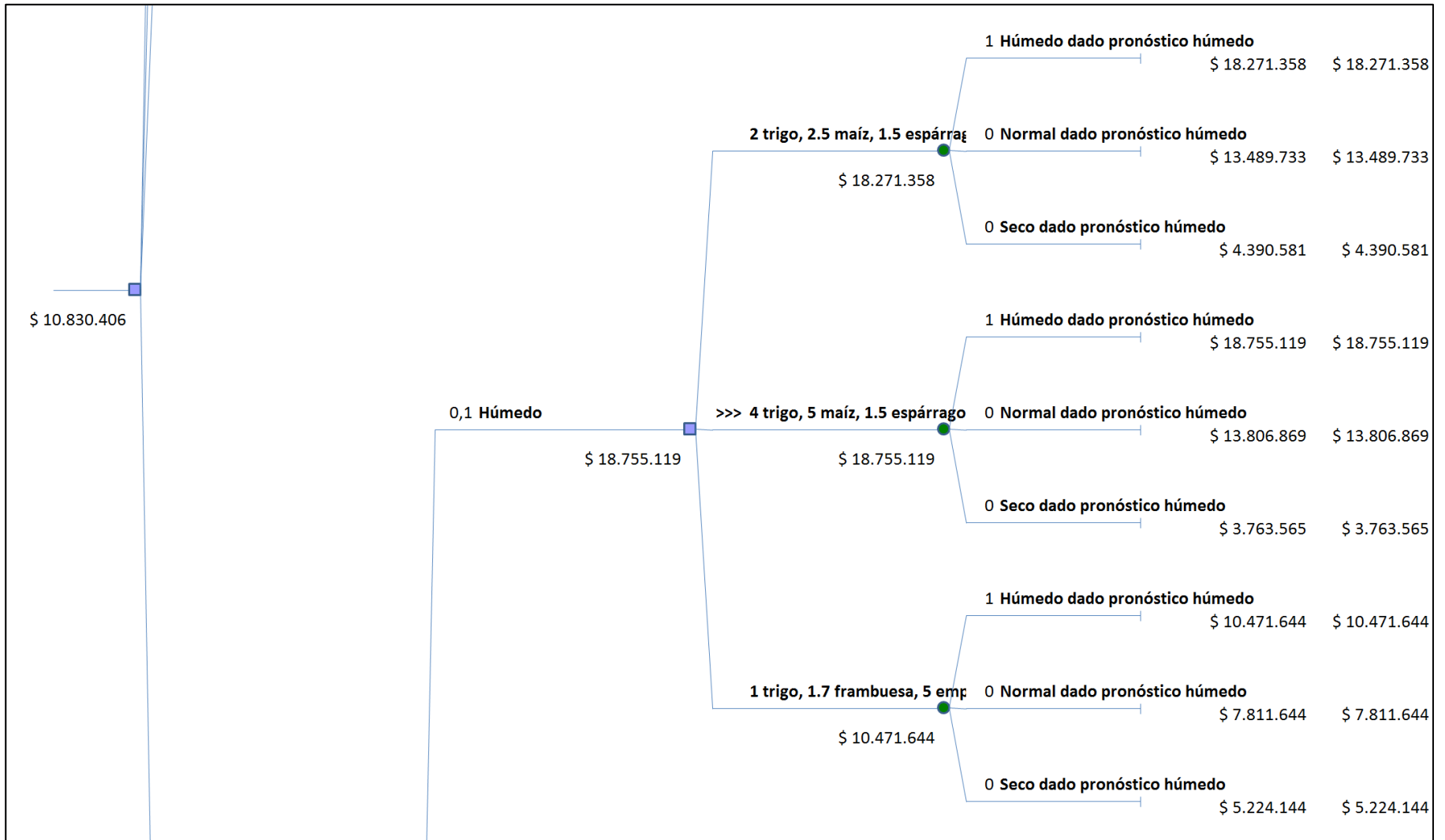


Figura 7.2: Árbol de decisión agricultor ID8. Cuenca del río Longaví. Parte 2.

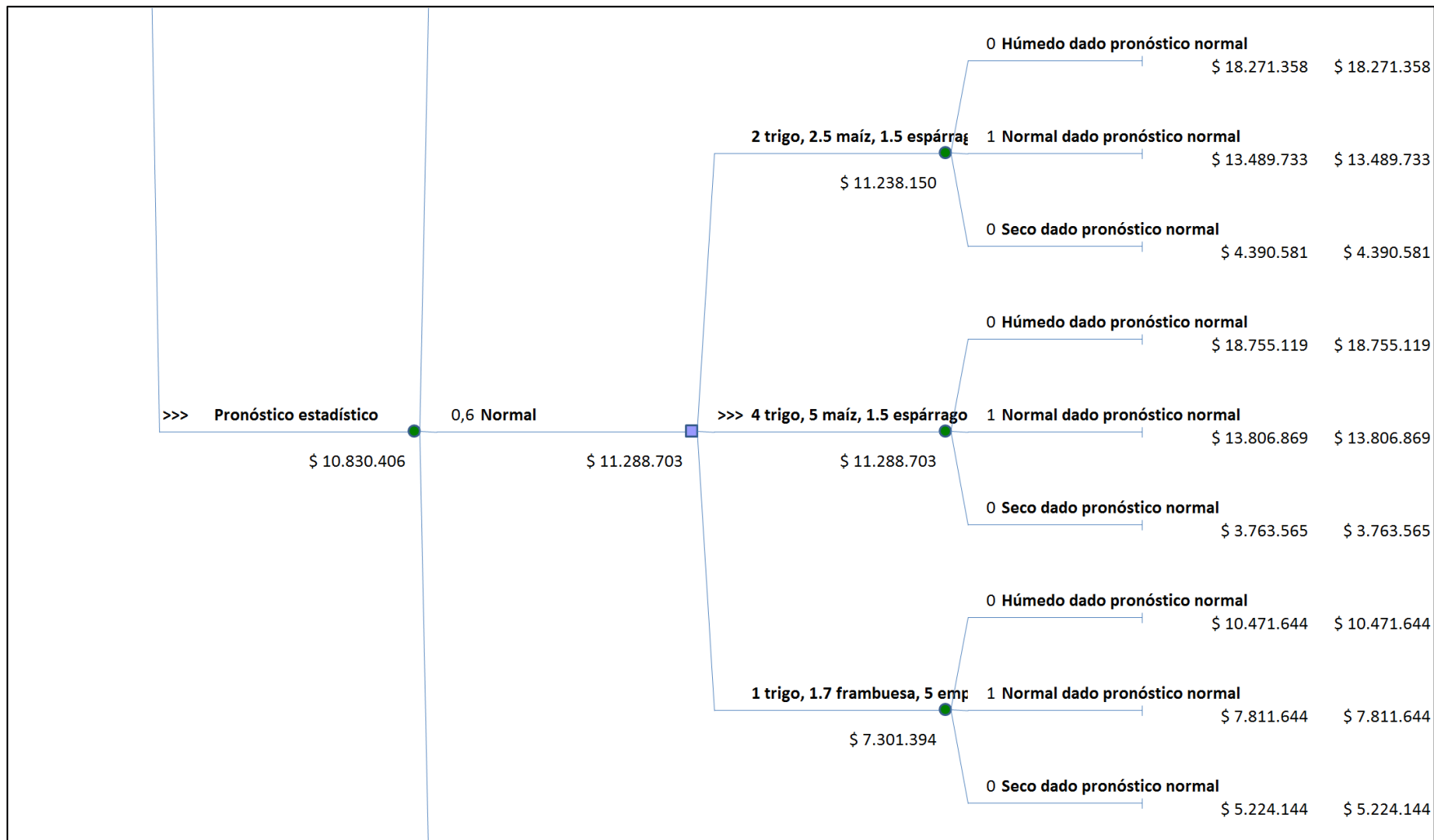


Figura 7.3: Árbol de decisión agricultor ID8. Cuenca del río Longaví. Parte 3.

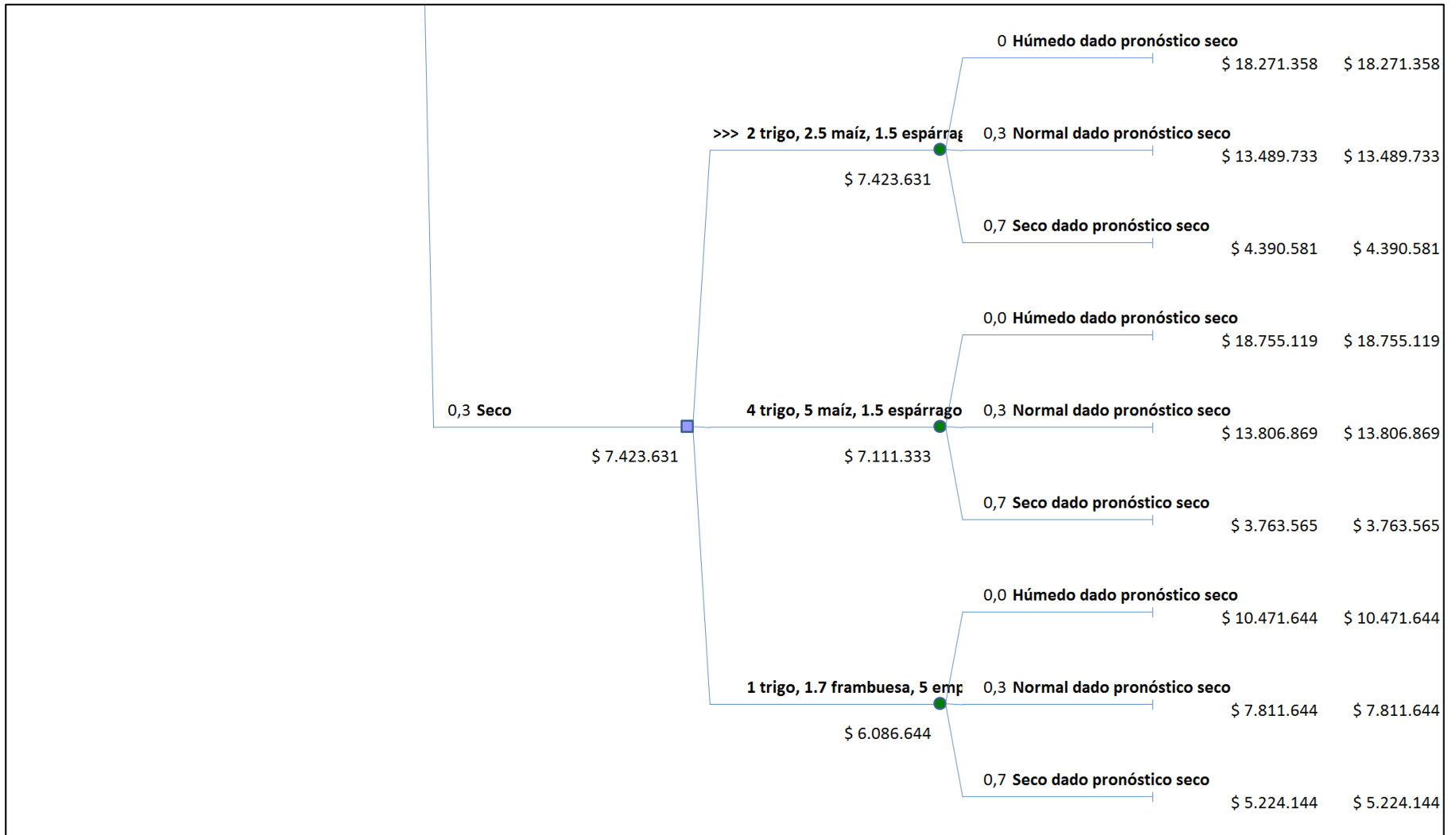


Figura 7.4: Árbol de decisión agricultor ID8. Cuenca del río Longaví. Parte 4.

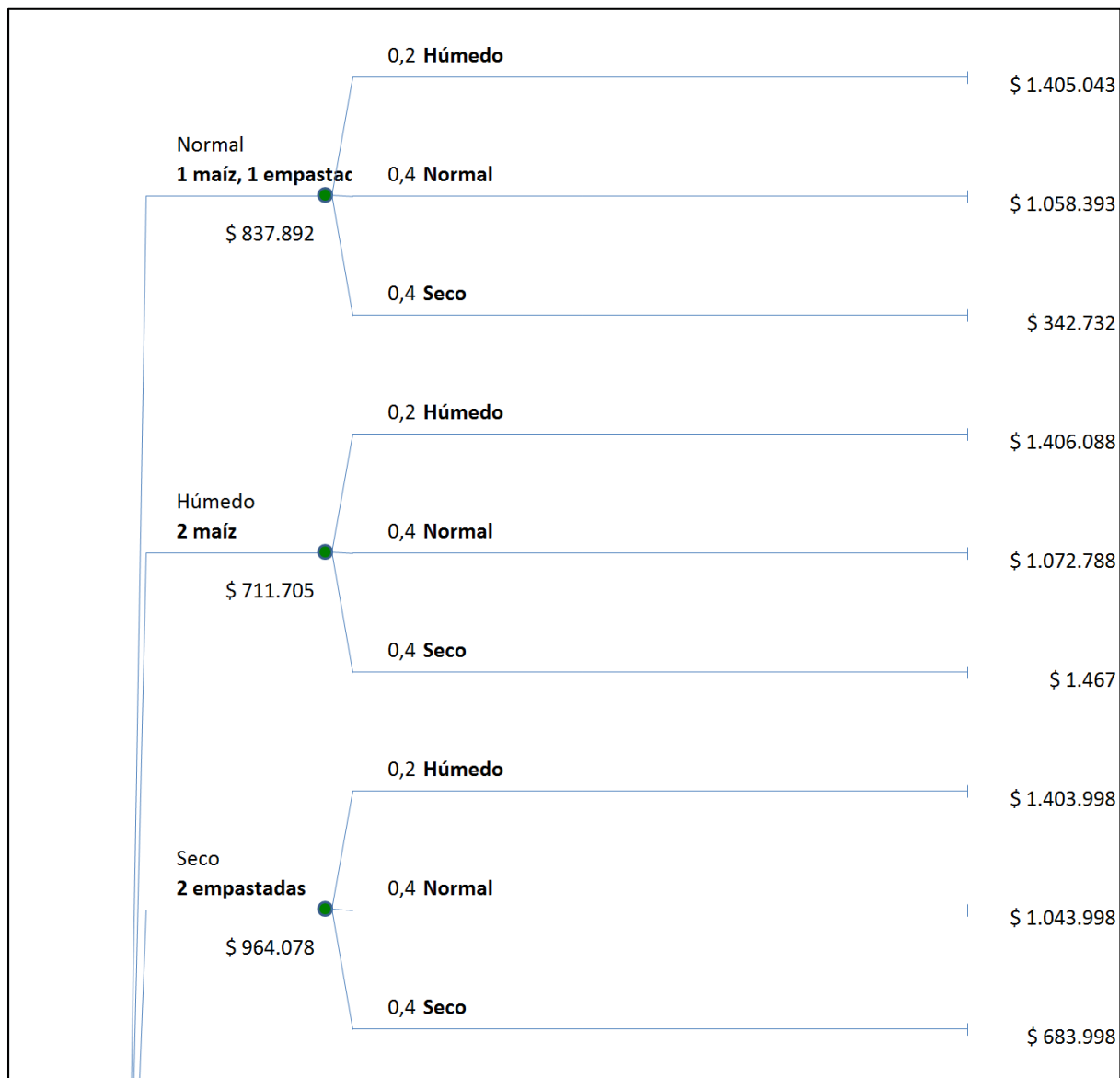


Figura 7.5: Árbol de decisión agricultor ID9. Cuenca del río Longaví. Parte 1.

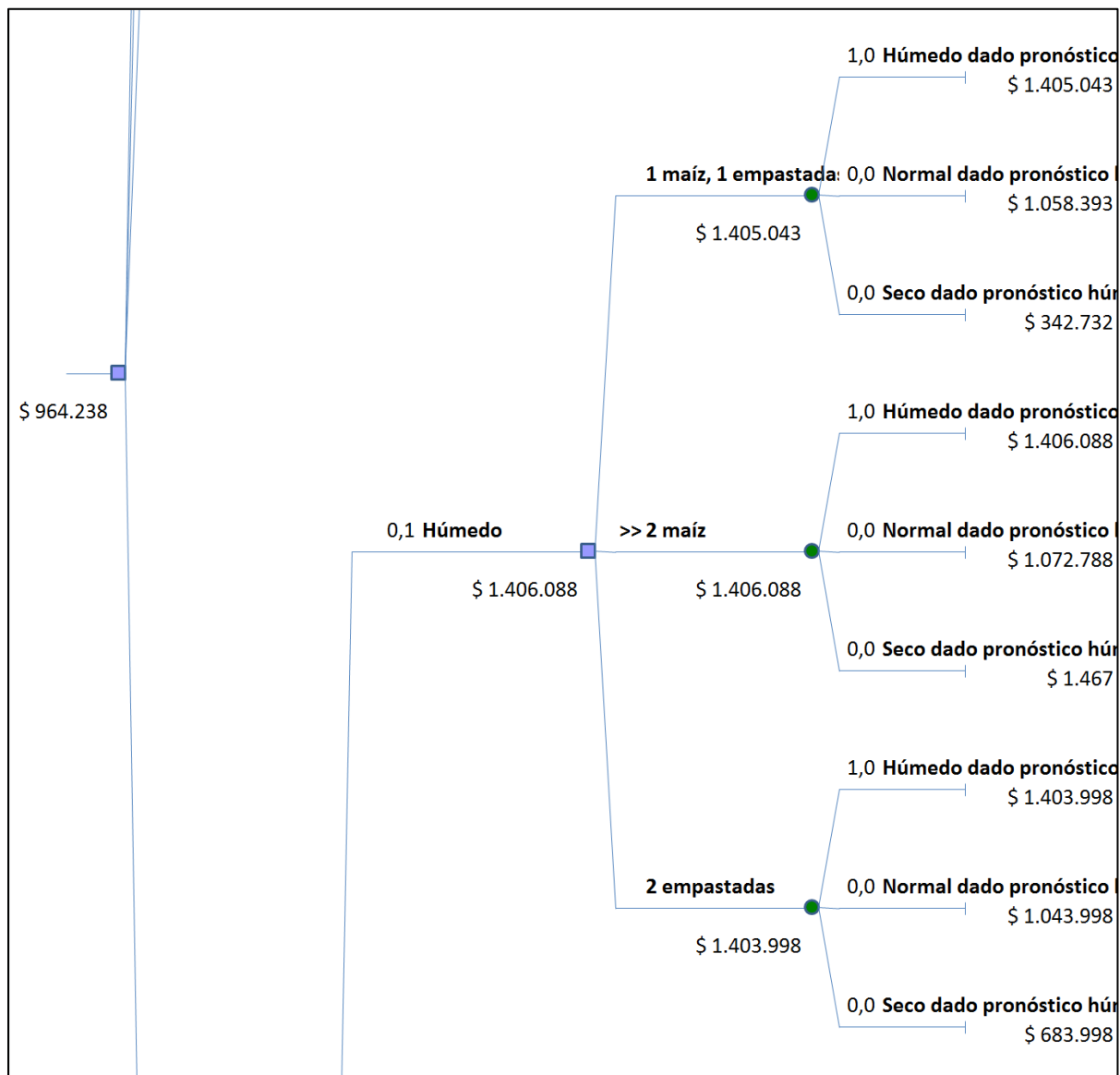


Figura 7.6: Árbol de decisión agricultor ID8. Cuenca del río Longaví. Parte 2.

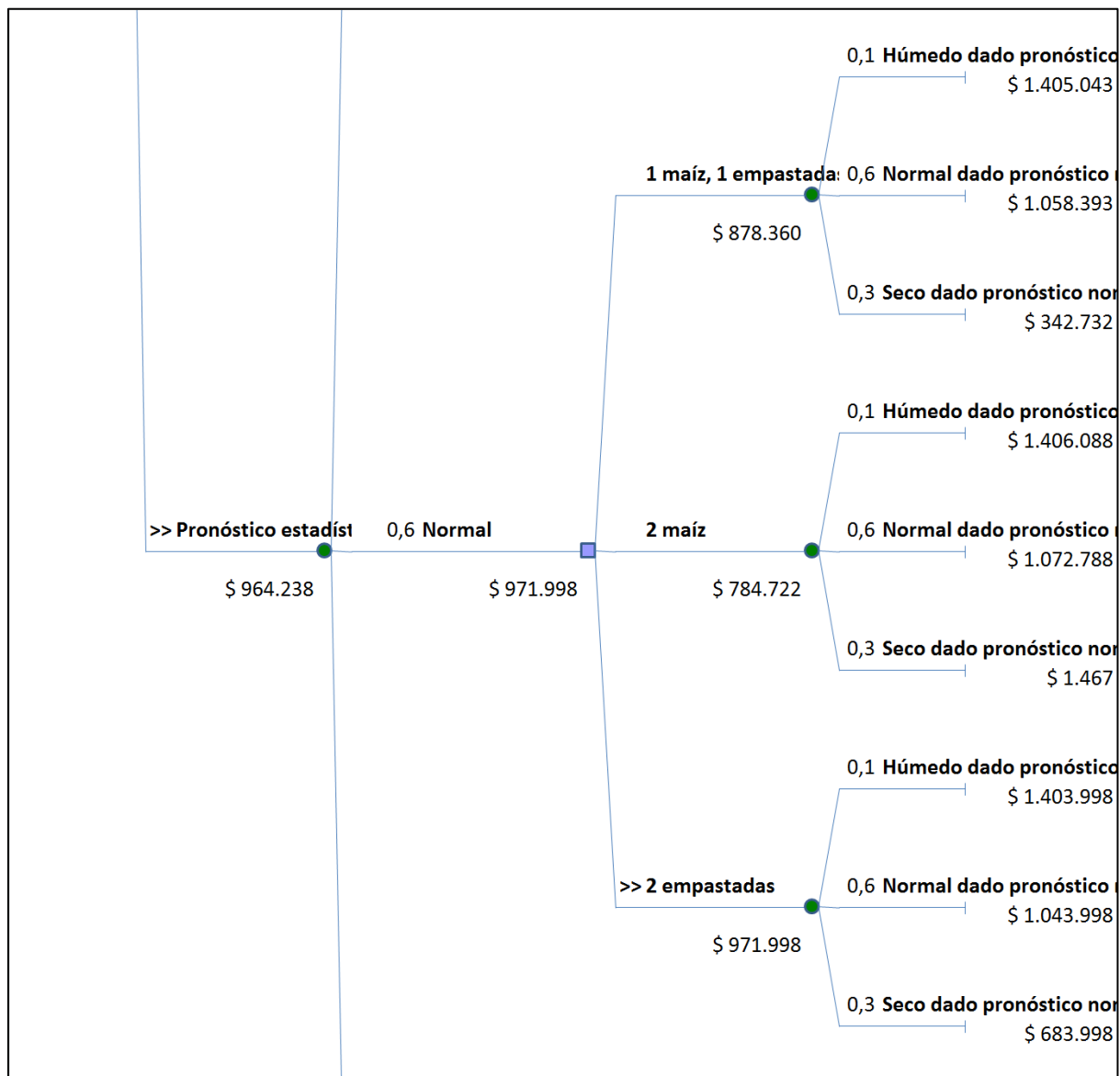


Figura 7.7: Árbol de decisión agricultor ID8. Cuenca del río Longaví. Parte 3.

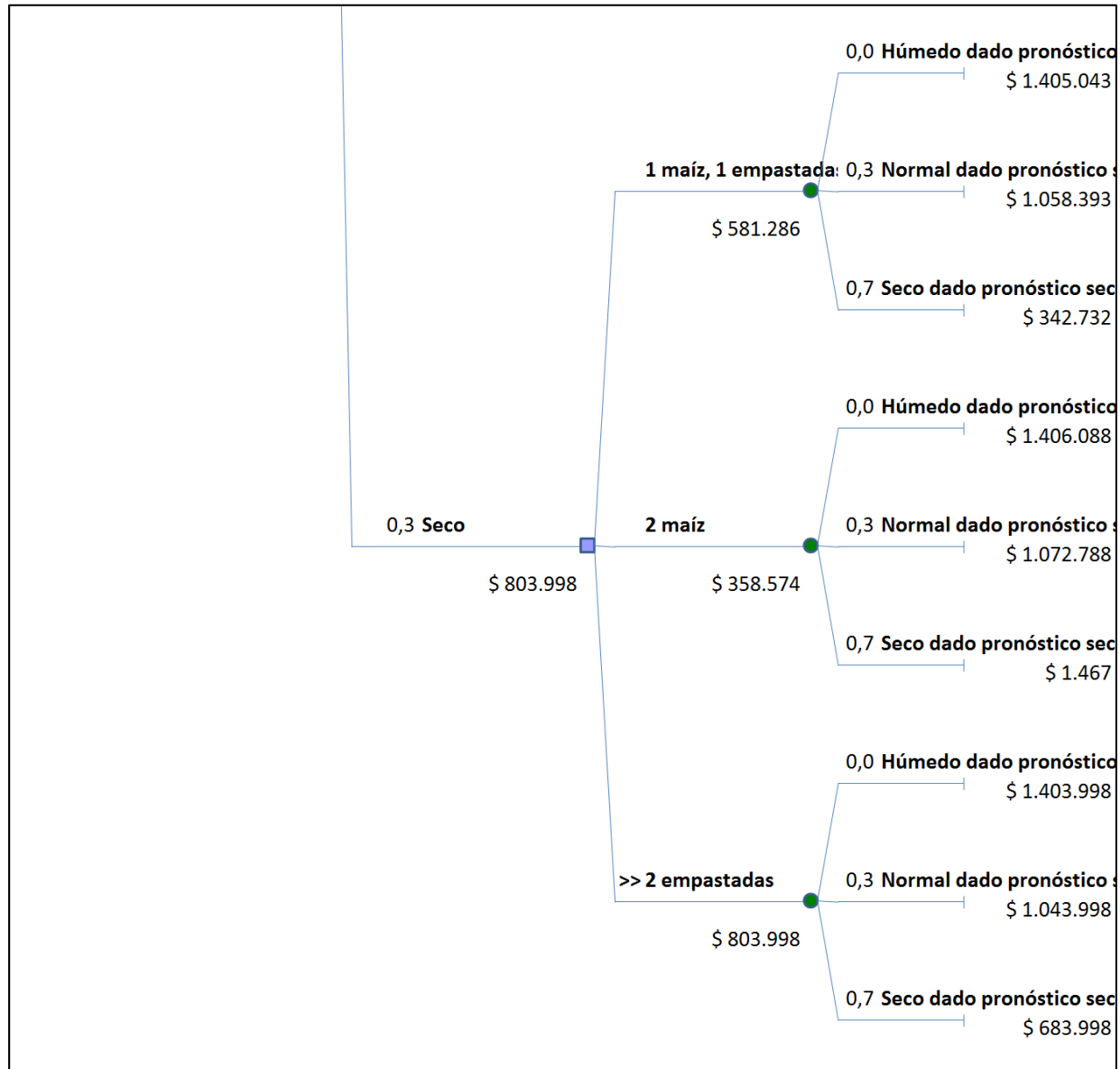


Figura 7.8: Árbol de decisión agricultor ID8. Cuenca del río Longaví. Parte 4.



Figura 7.9: Árbol de decisión agricultor ID11. Cuenca del río Maule. Parte 1.

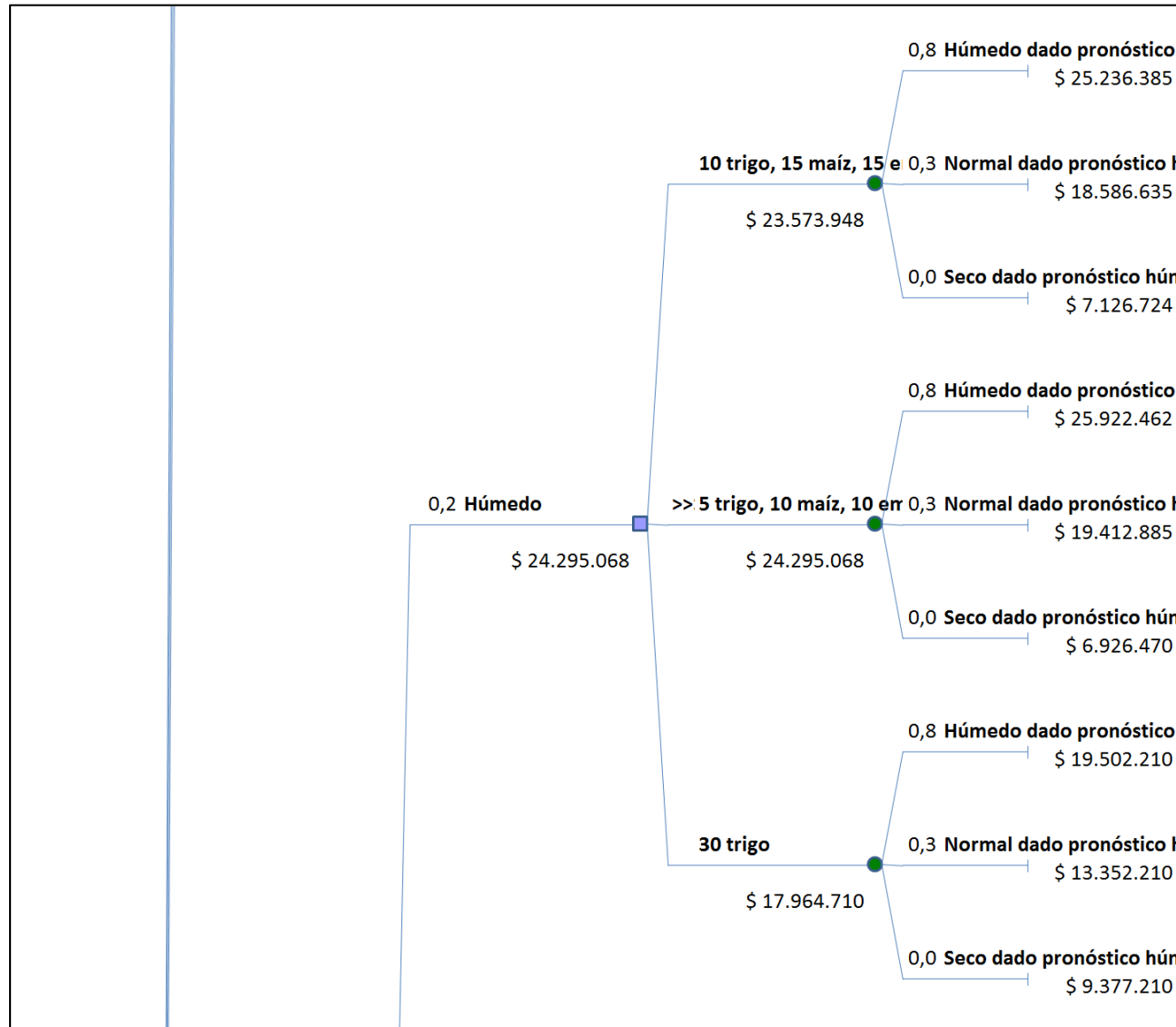


Figura 7.10: Árbol de decisión agricultor ID11. Cuenca del río Maule. Parte 2.

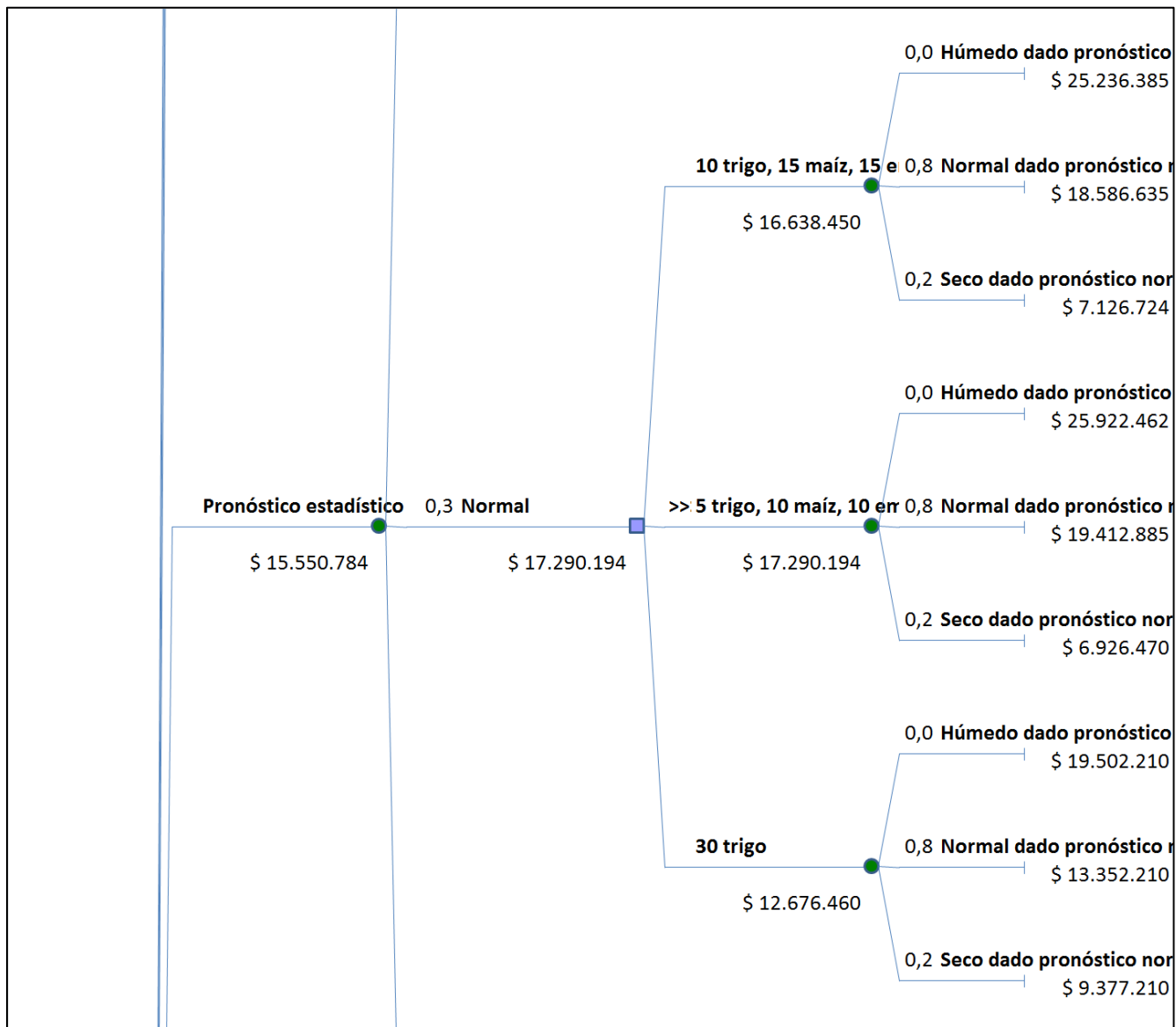


Figura 7.11: Árbol de decisión agricultor ID11. Cuenca del río Maule. Parte 3.

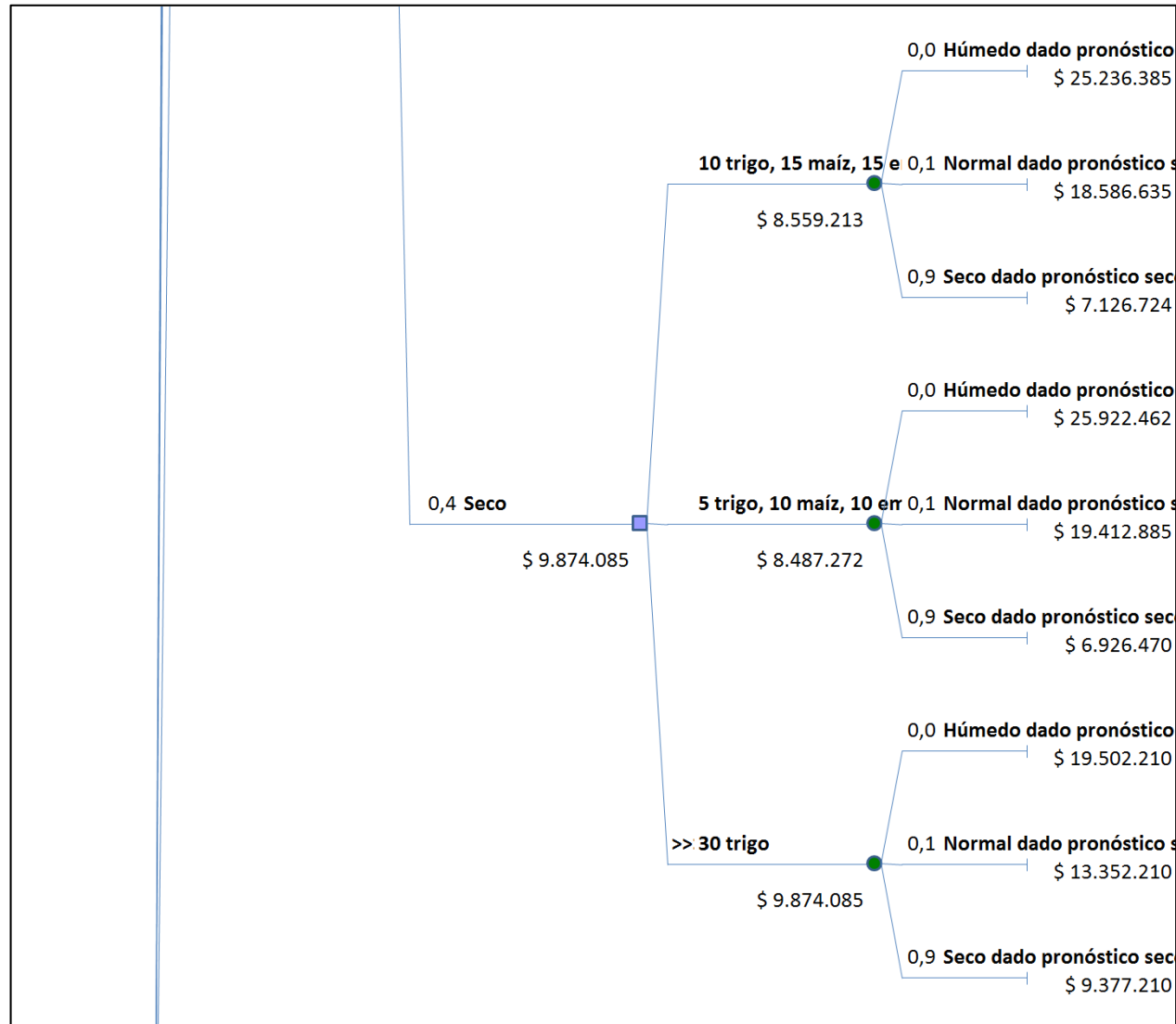


Figura 7.12: Árbol de decisión agricultor ID11. Cuenca del río Maule. Parte 4.

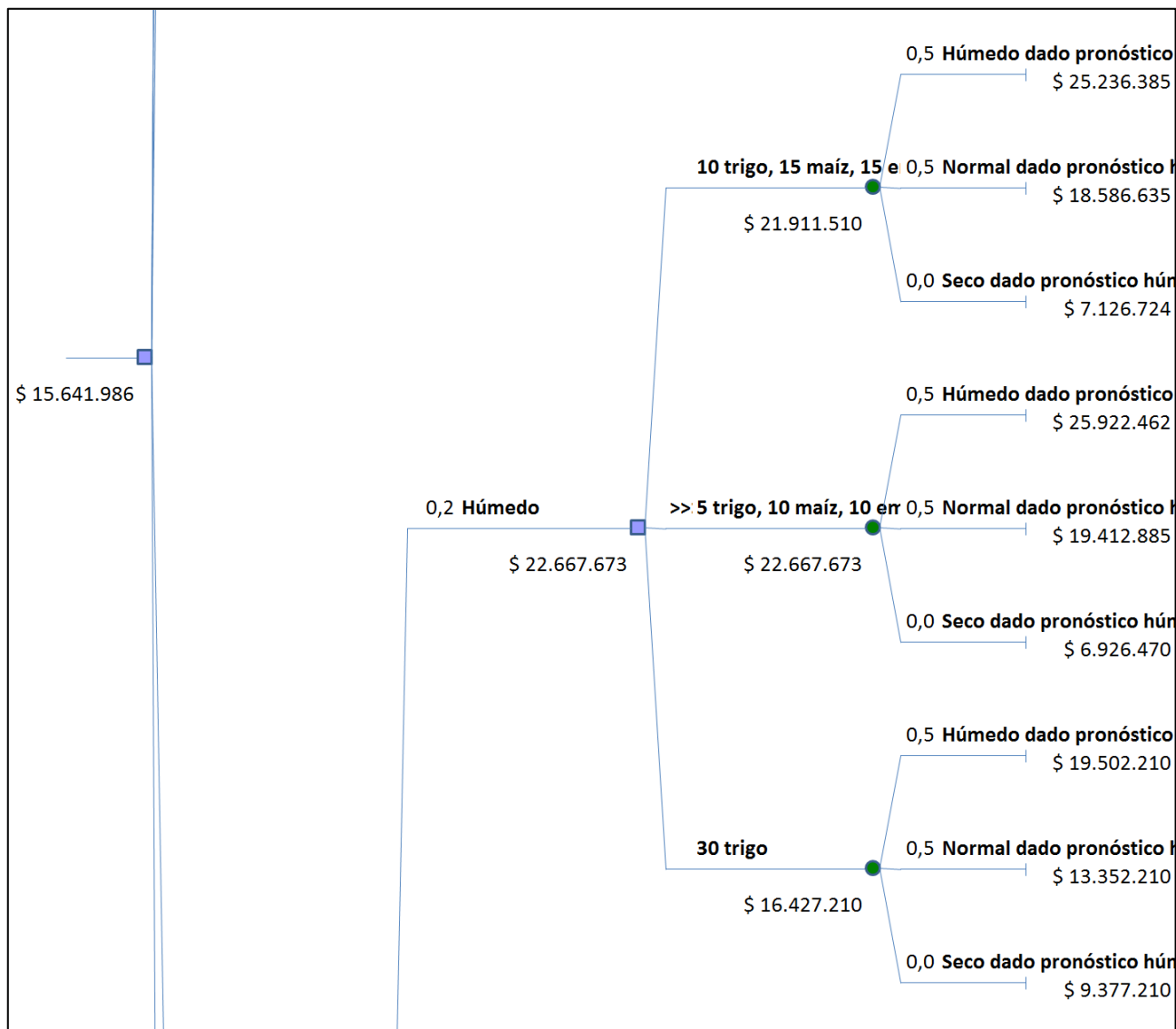


Figura 7.13: Árbol de decisión agricultor ID11. Cuenca del río Maule. Parte 5.

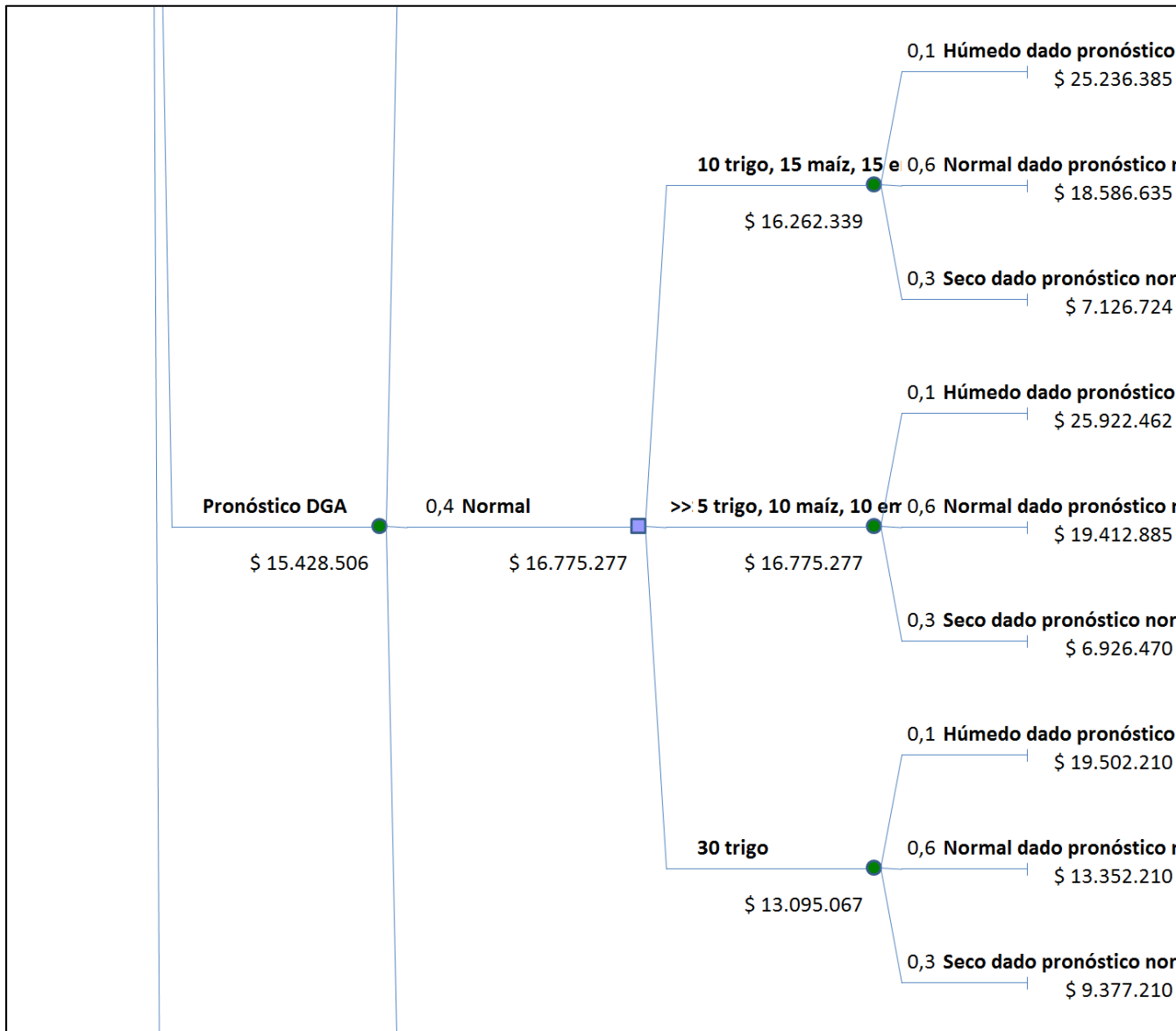


Figura 7.14: Árbol de decisión agricultor ID11. Cuenca del río Maule. Parte 6.

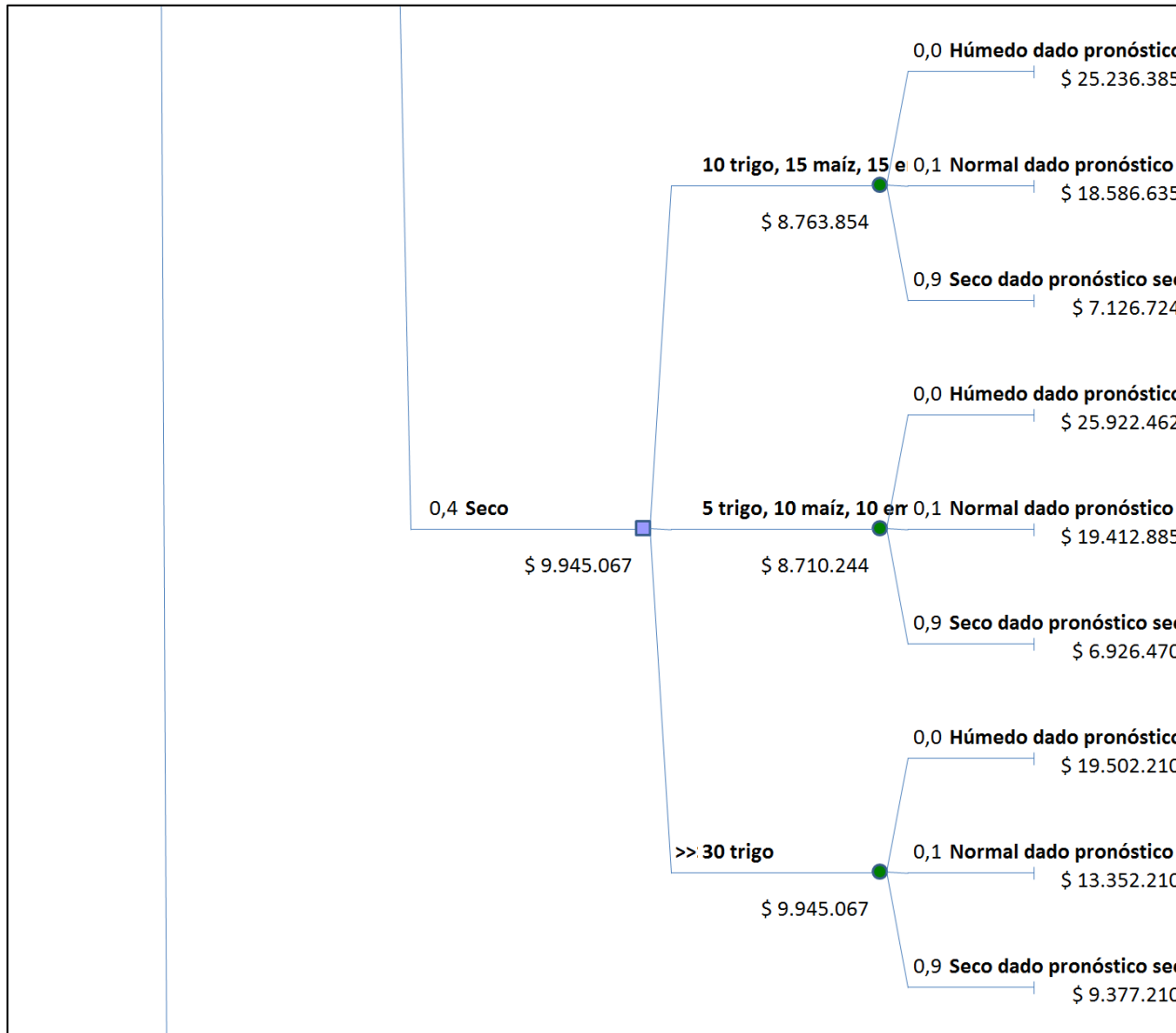


Figura 7.15: Árbol de decisión agricultor ID11. Cuenca del río Maule. Parte 7.

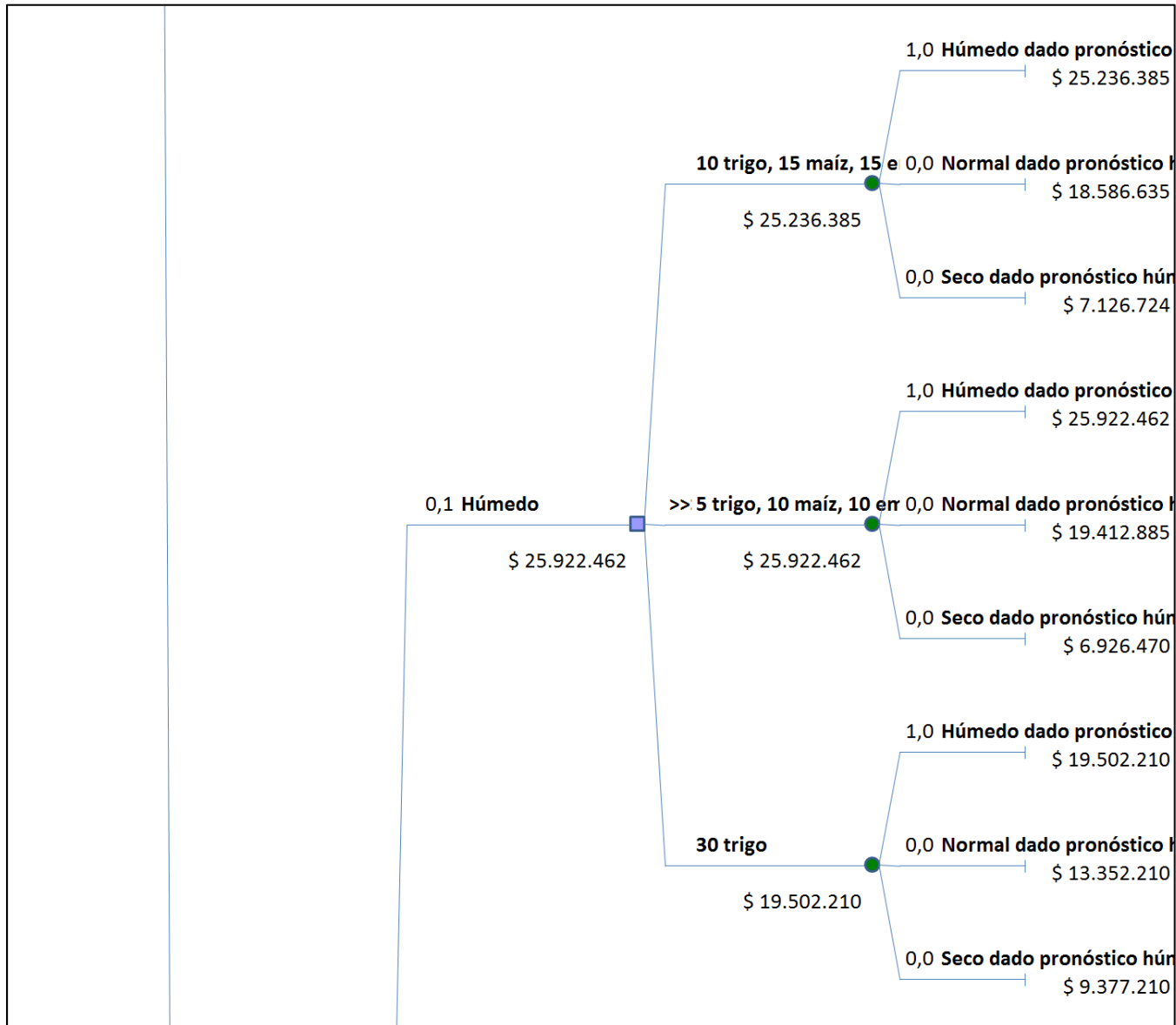


Figura 7.16: Árbol de decisión agricultor ID11. Cuenca del río Maule. Parte 8.

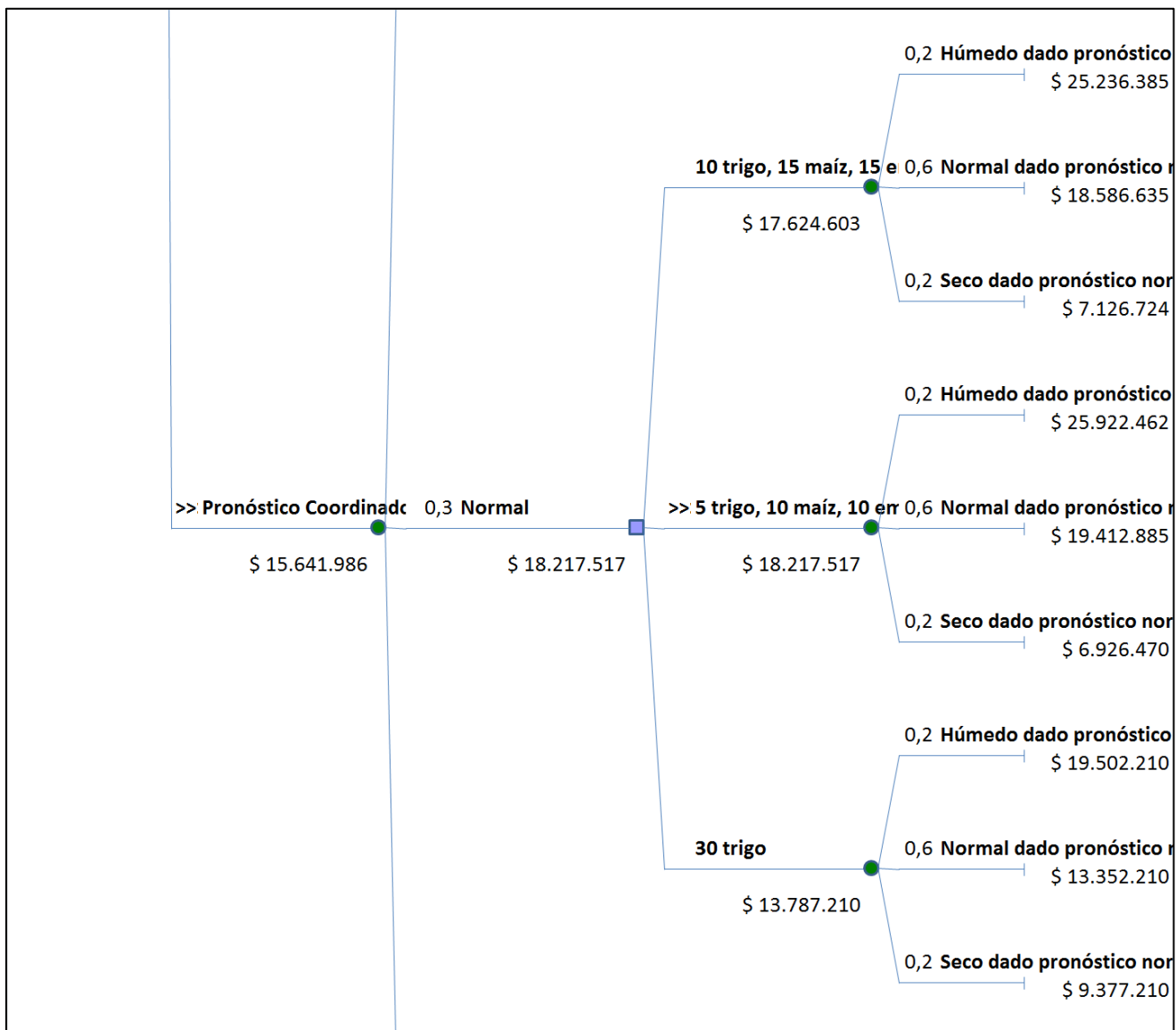


Figura 7.17: Árbol de decisión agricultor ID11. Cuenca del río Maule. Parte 9.

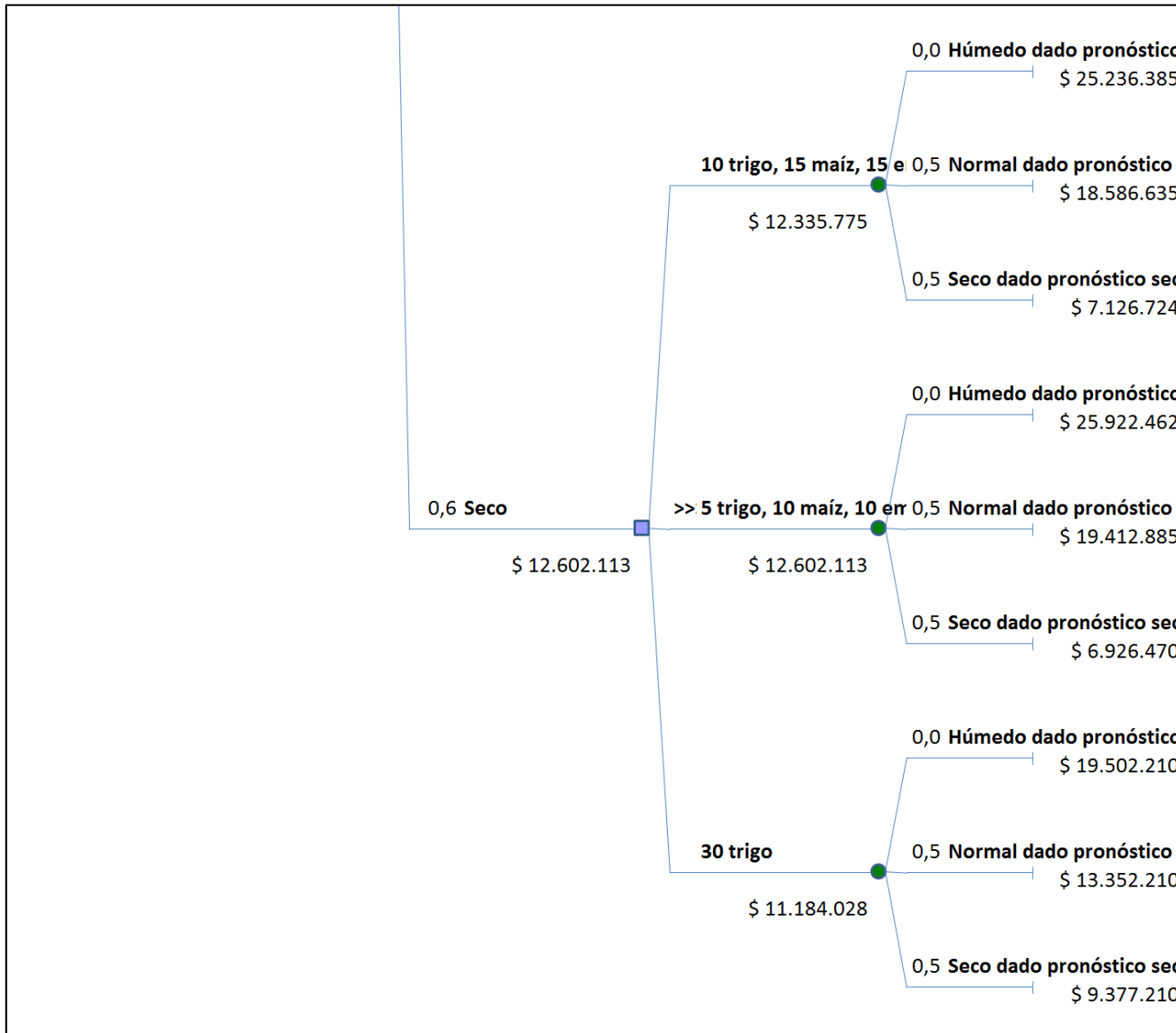


Figura 7.18: Árbol de decisión agricultor ID11. Cuenca del río Maule. Parte 10.

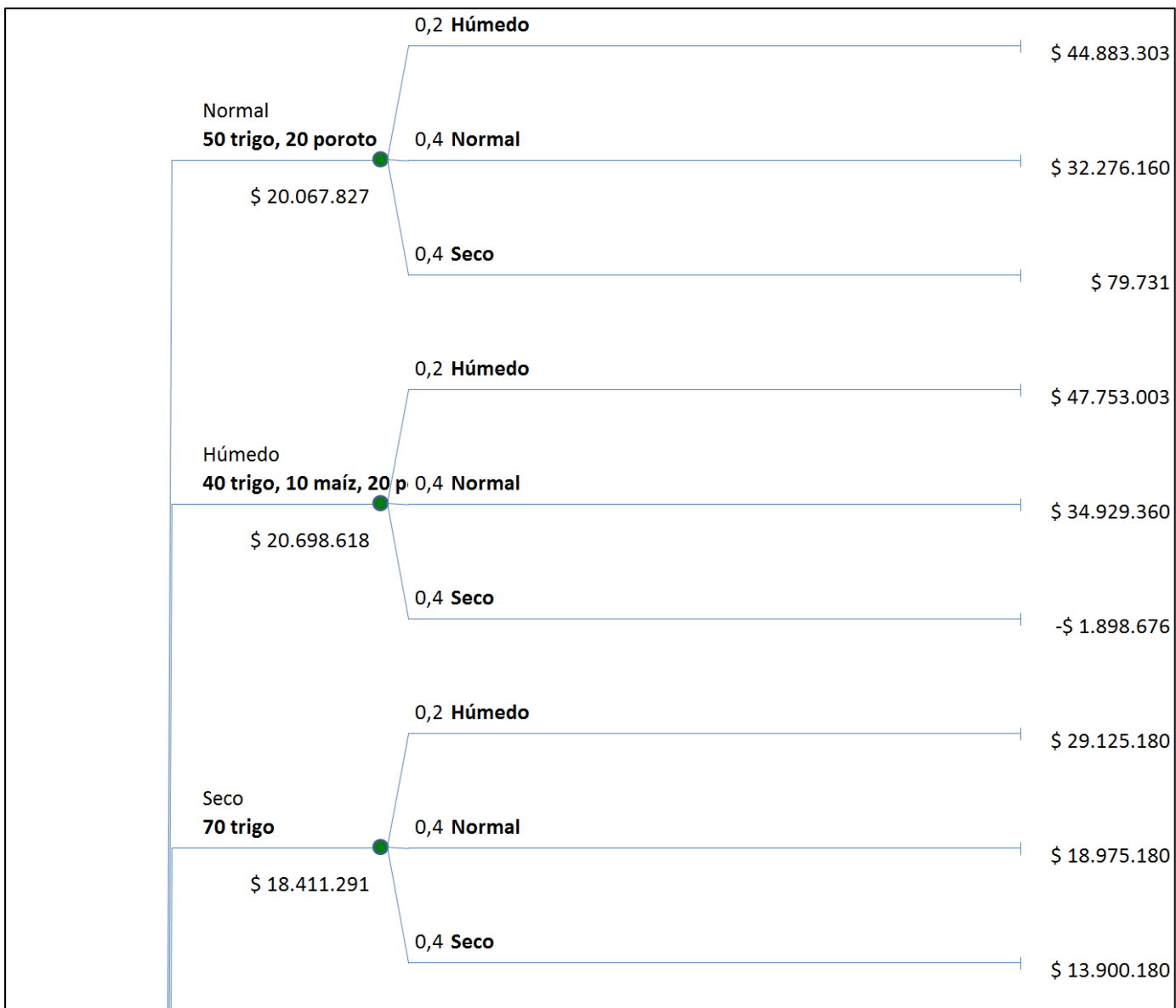


Figura 7.19: Árbol de decisión agricultor ID17. Cuenca del río Maule. Parte 1.

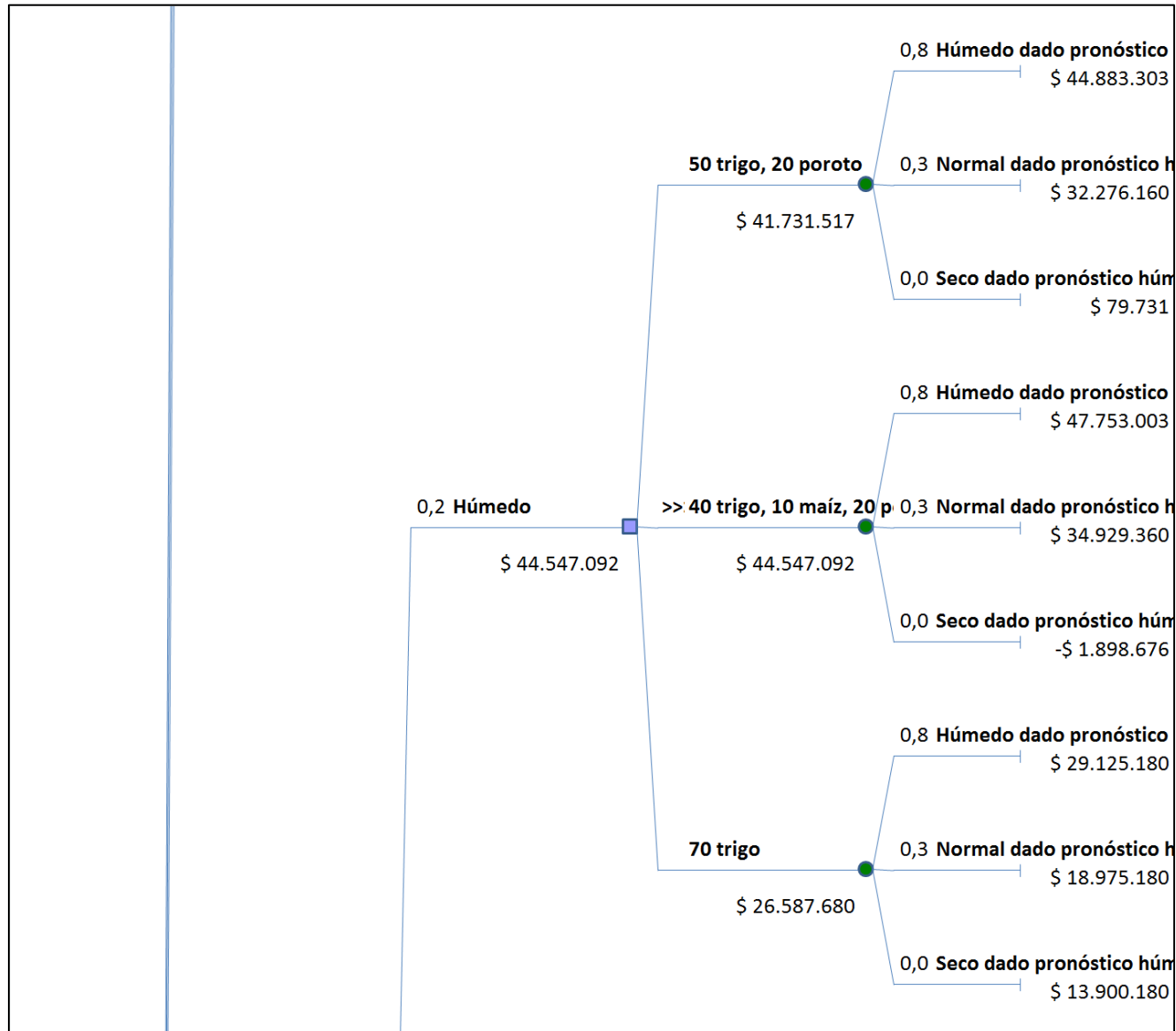


Figura 7.20: Árbol de decisión agricultor ID17. Cuenca del río Maule. Parte 2.

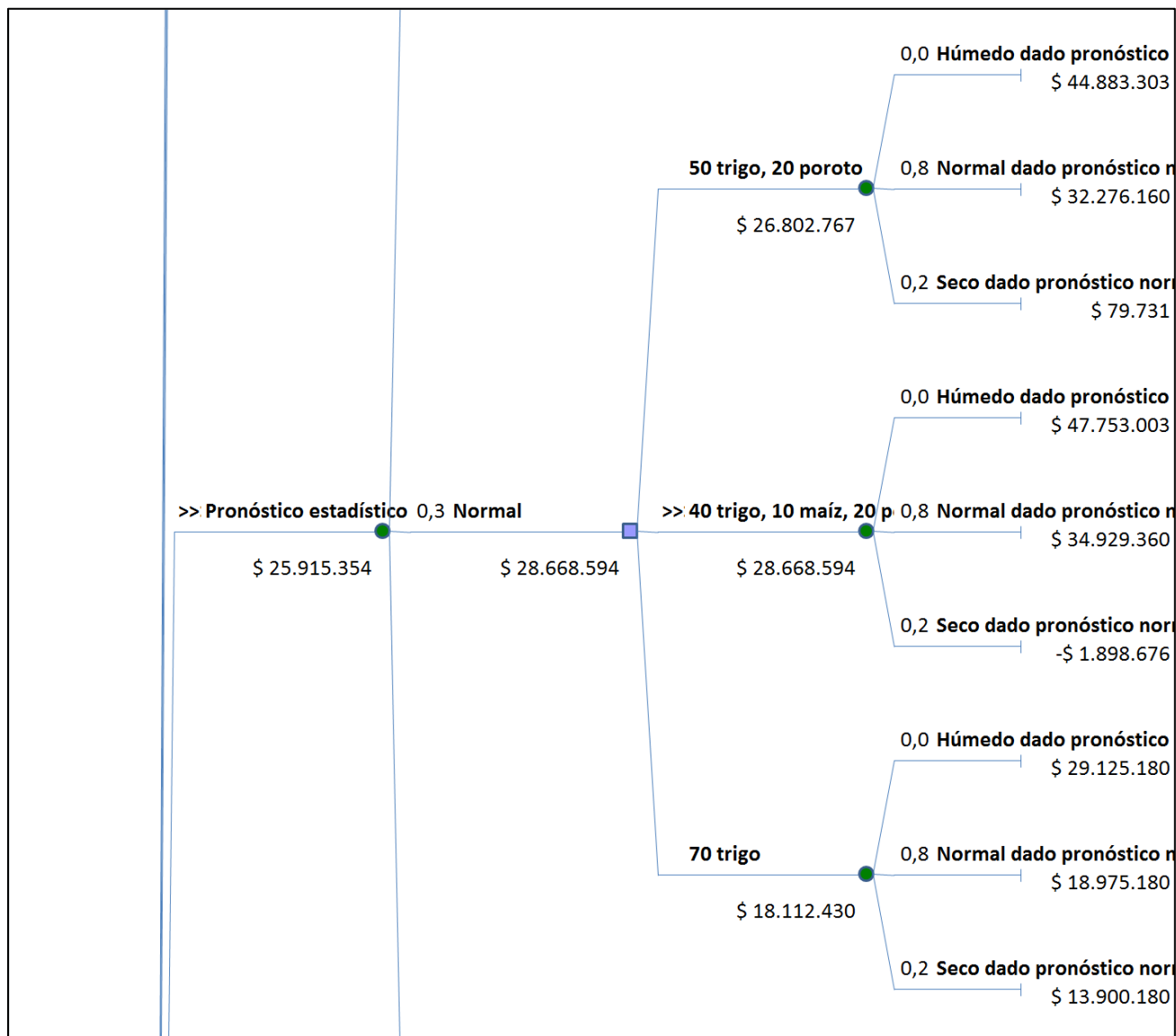


Figura 7.21: Árbol de decisión agricultor ID17. Cuenca del río Maule. Parte 3.

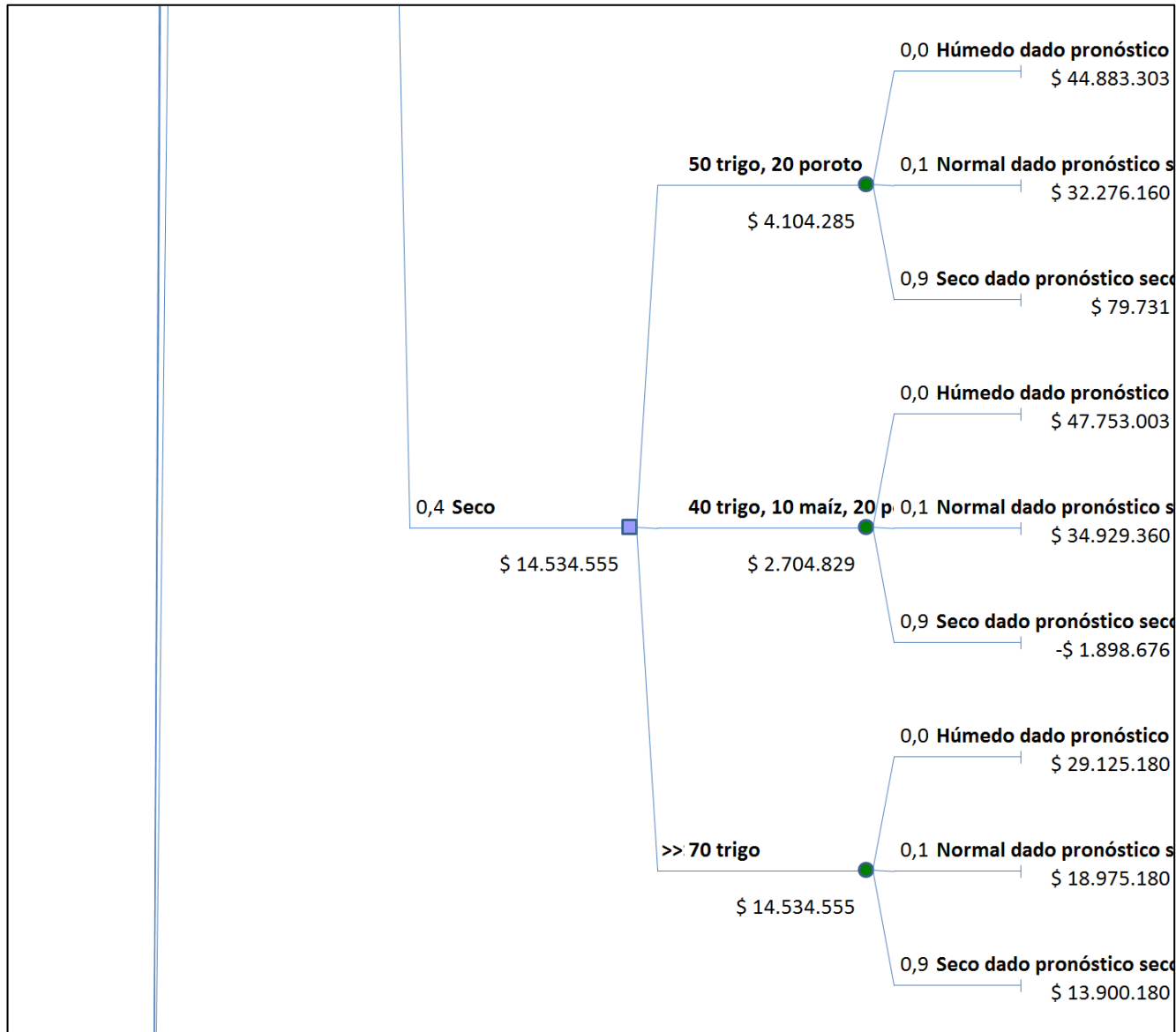


Figura 7.22: Árbol de decisión agricultor ID17. Cuenca del río Maule. Parte 4.

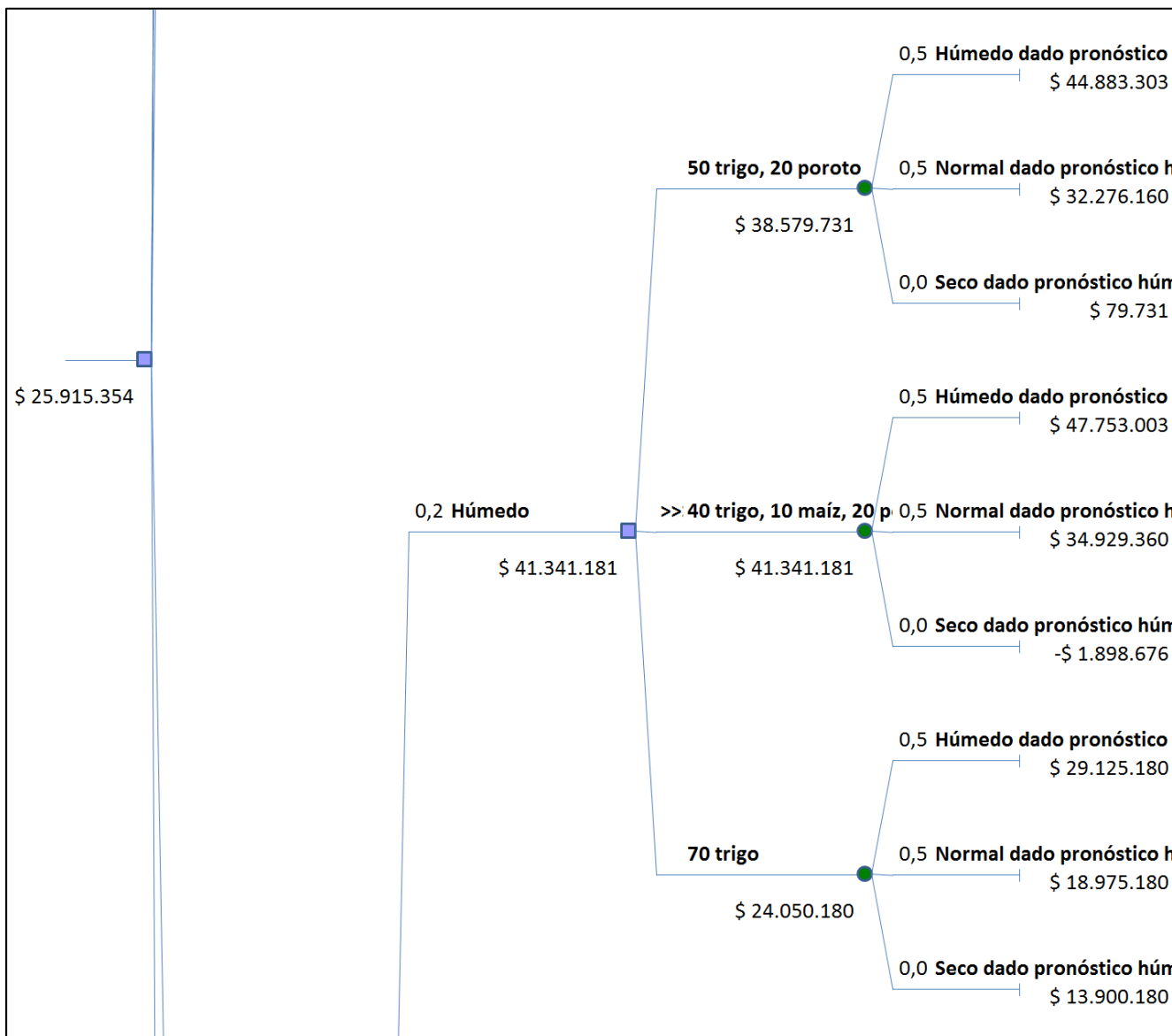


Figura 7.23: Árbol de decisión agricultor ID17. Cuenca del río Maule. Parte 5.

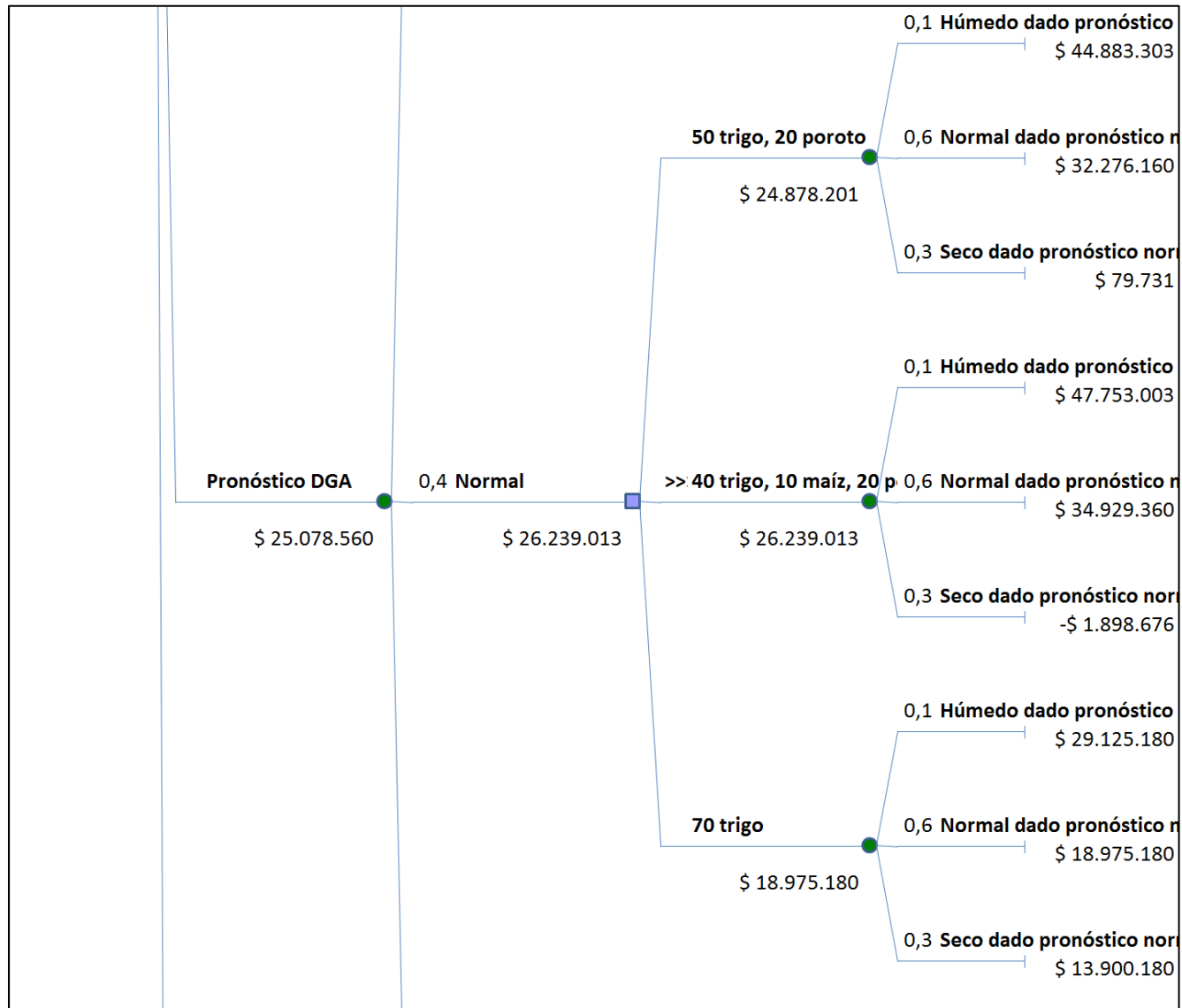


Figura 7.24: Árbol de decisión agricultor ID17. Cuenca del río Maule. Parte 6.

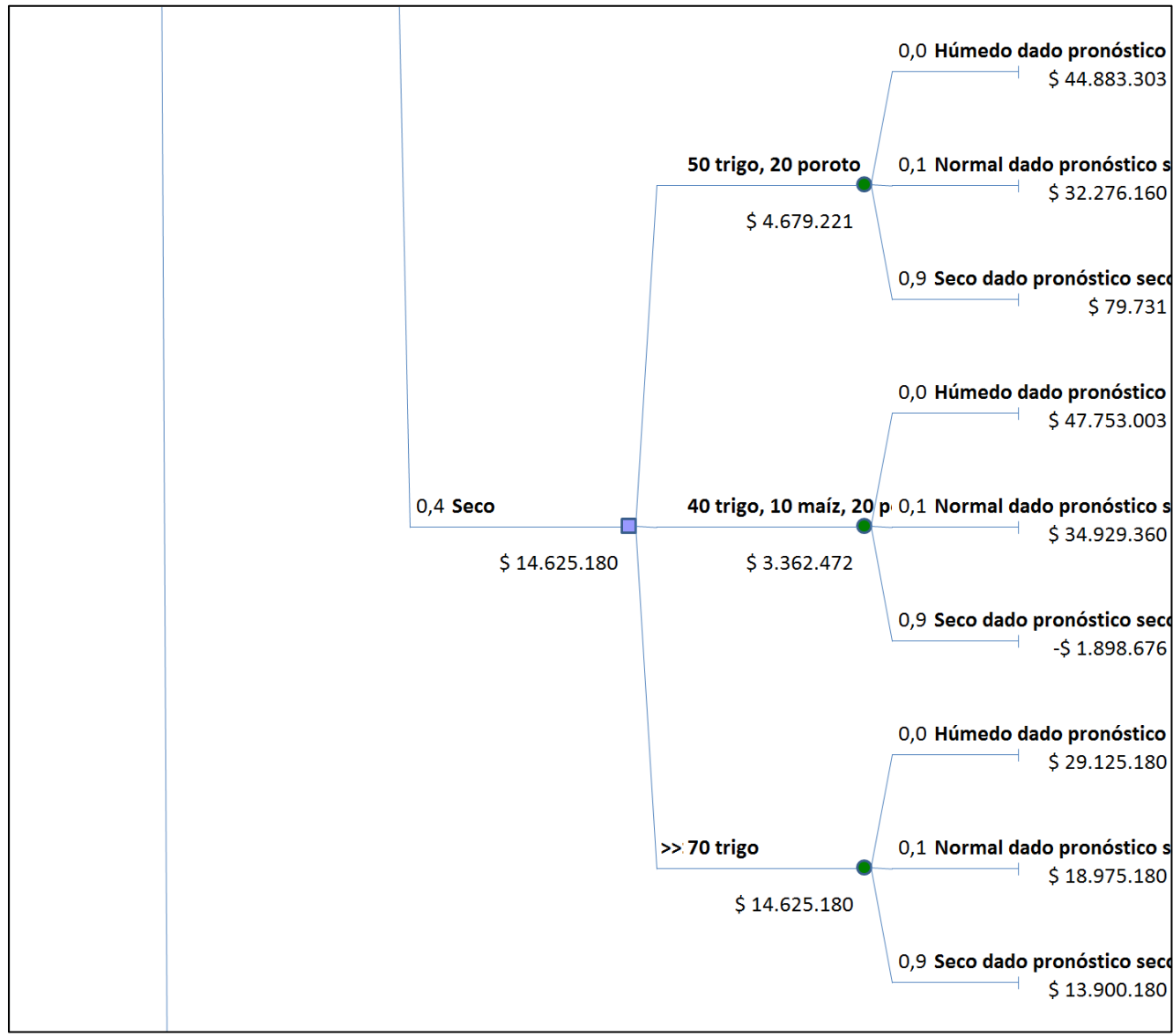


Figura 7.25: Árbol de decisión agricultor ID17. Cuenca del río Maule. Parte 7.

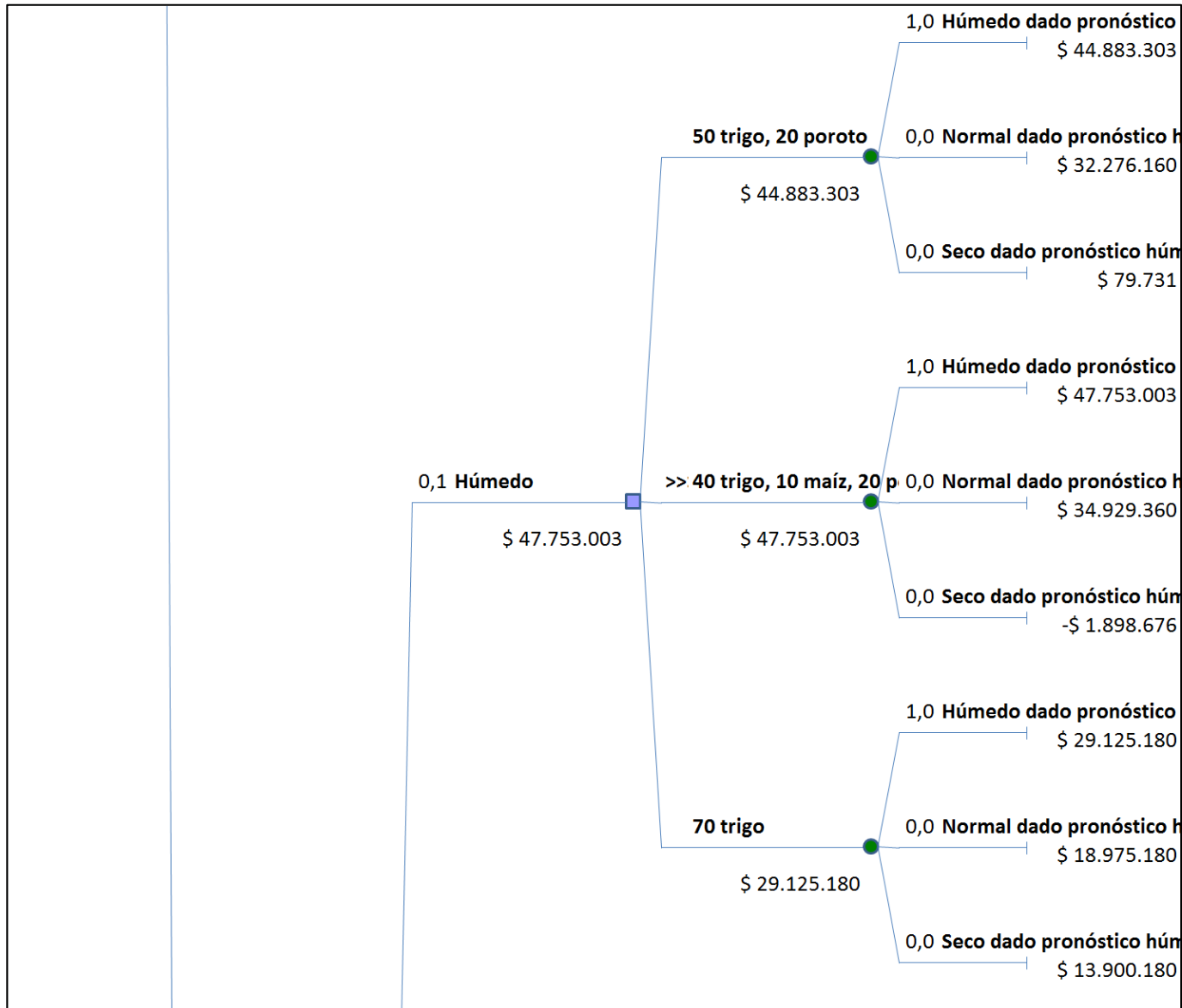


Figura 7.26: Árbol de decisión agricultor ID17. Cuenca del río Maule. Parte 8.

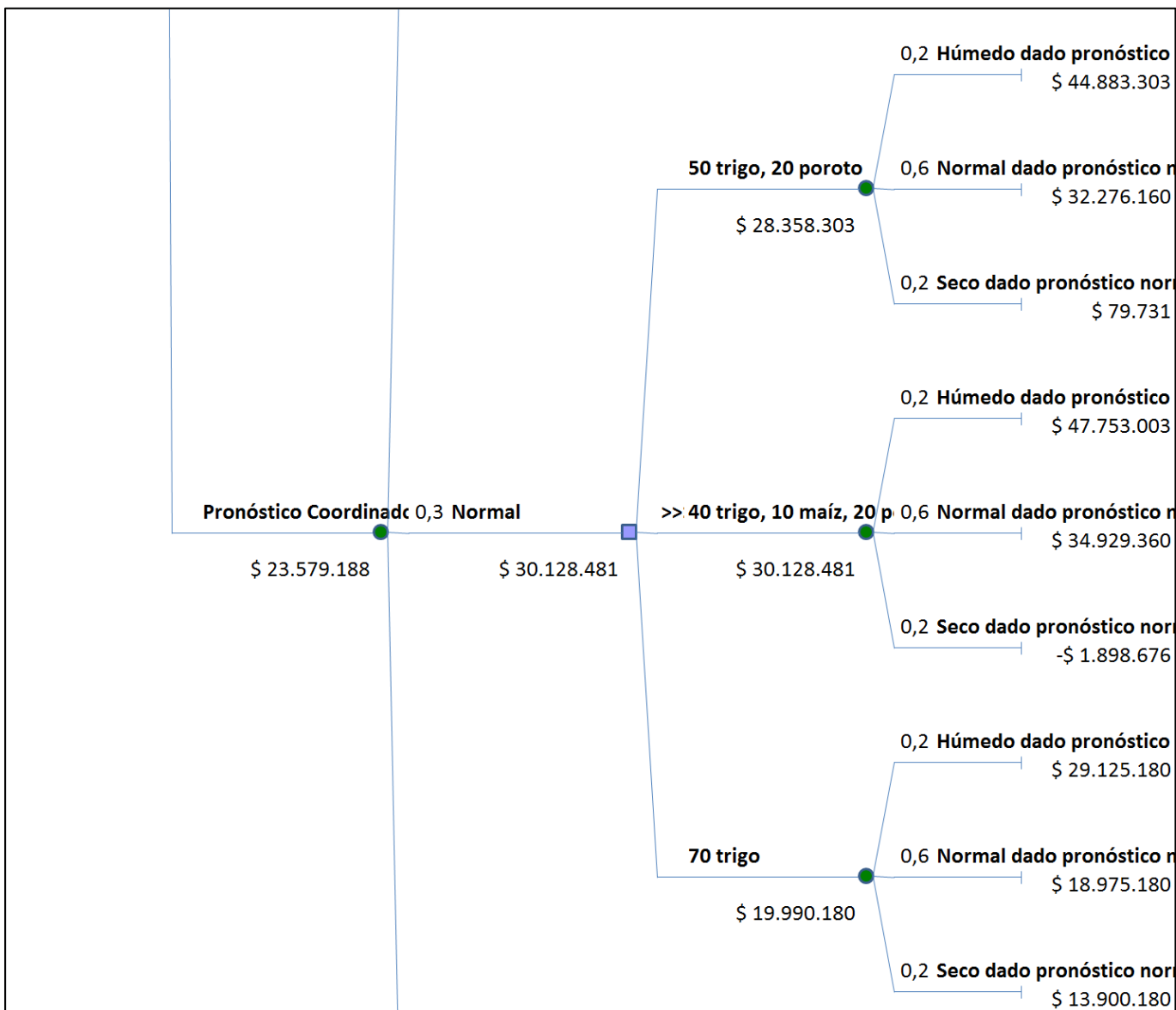


Figura 7.27: Árbol de decisión agricultor ID17. Cuenca del río Maule. Parte 9.

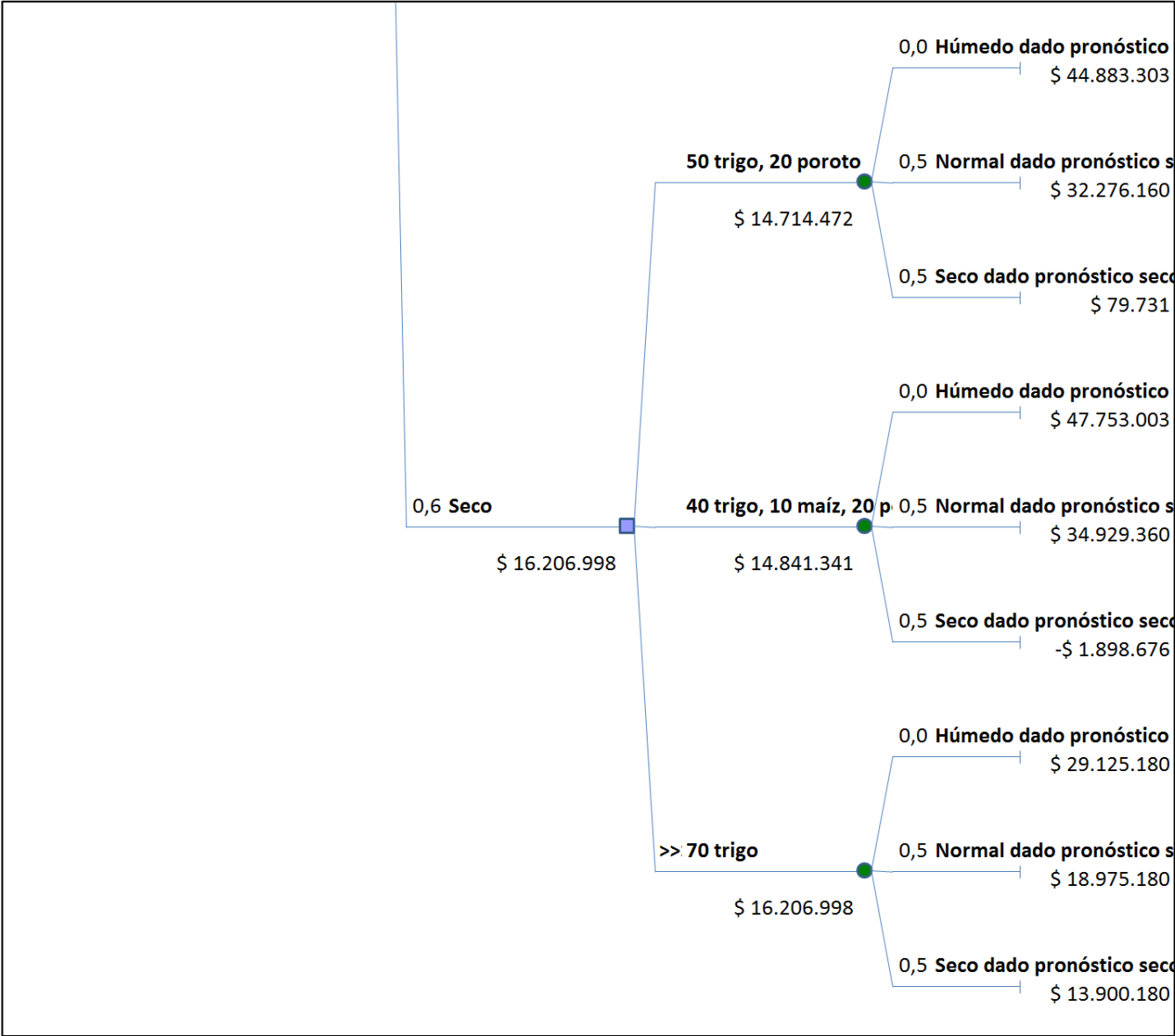


Figura 7.28: Árbol de decisión agricultor ID17. Cuenca del río Maule. Parte 10.

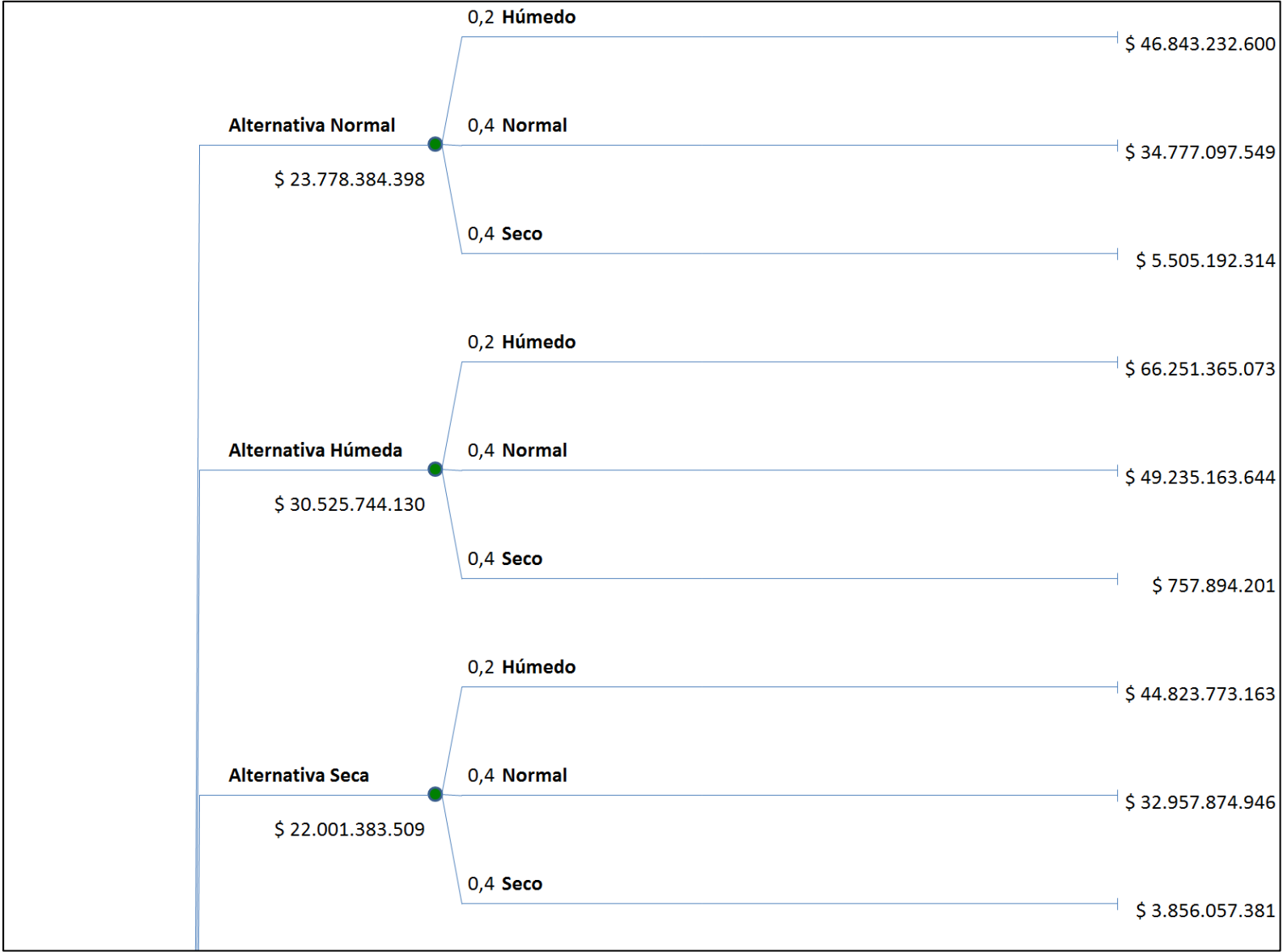


Figura 7.29: Árbol de decisión cuenca del río Maule. Parte 1.

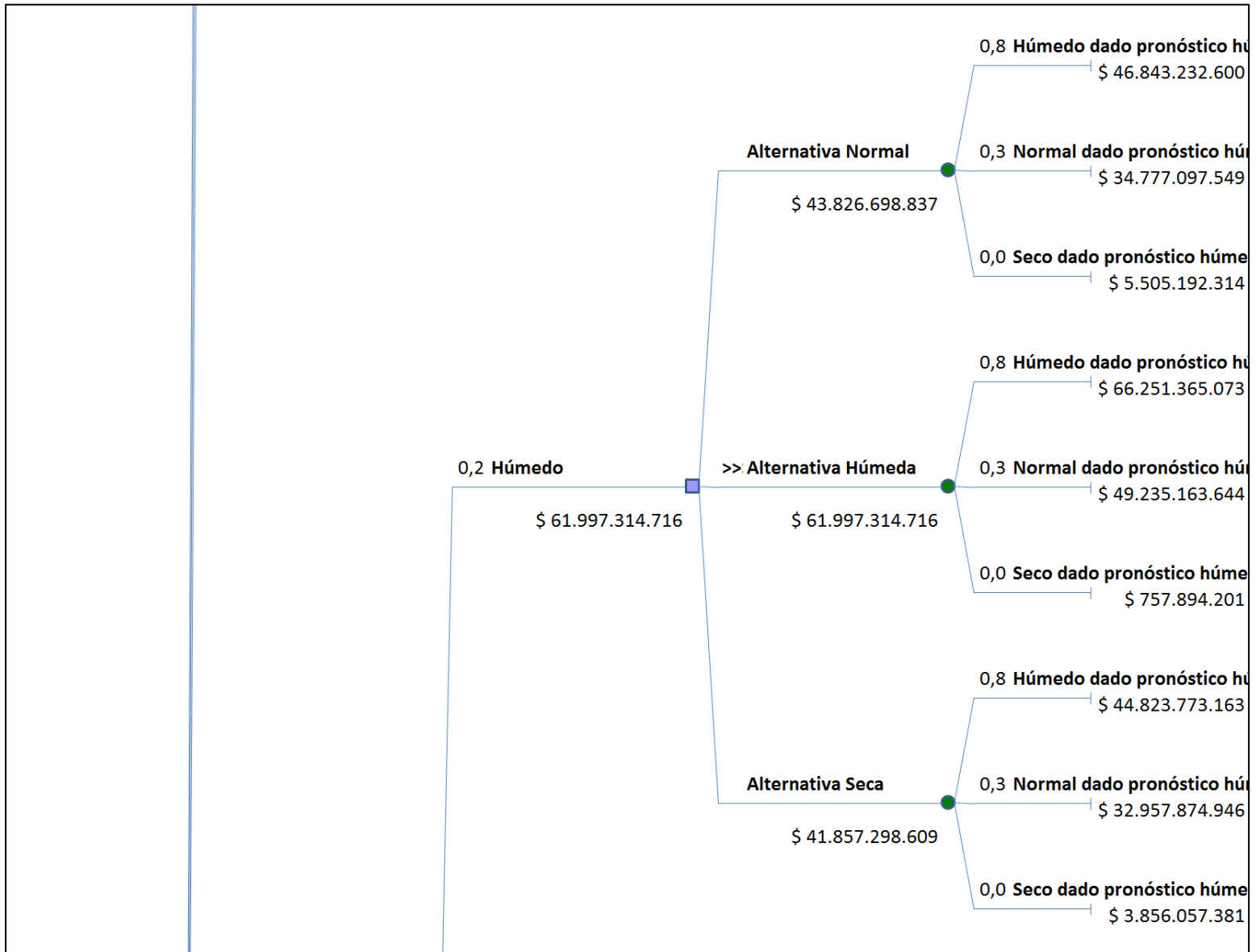


Figura 7.30: Árbol de decisión cuenca del río Maule. Parte 2.

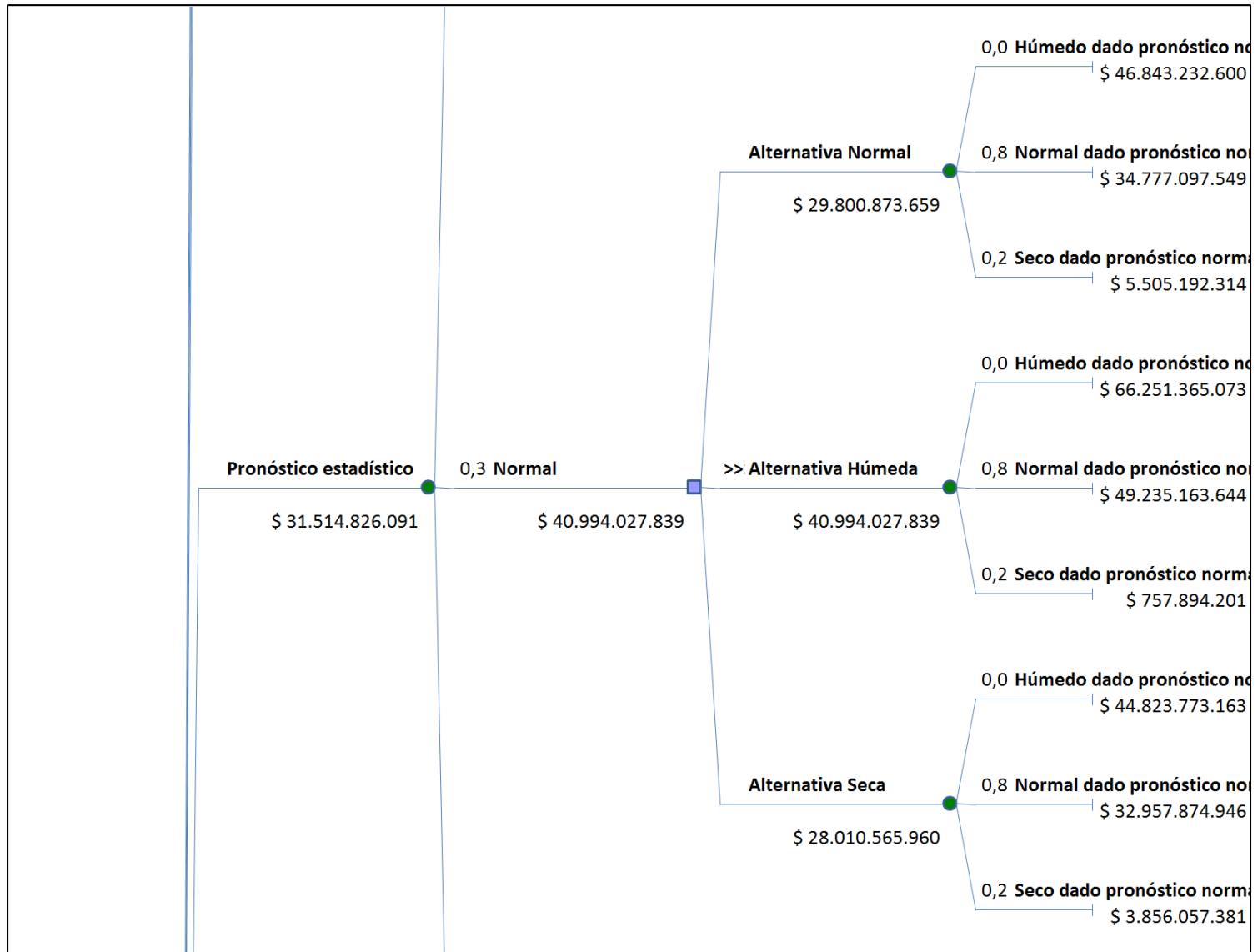


Figura 7.31: Árbol de decisión cuenca del río Maule. Parte 3.

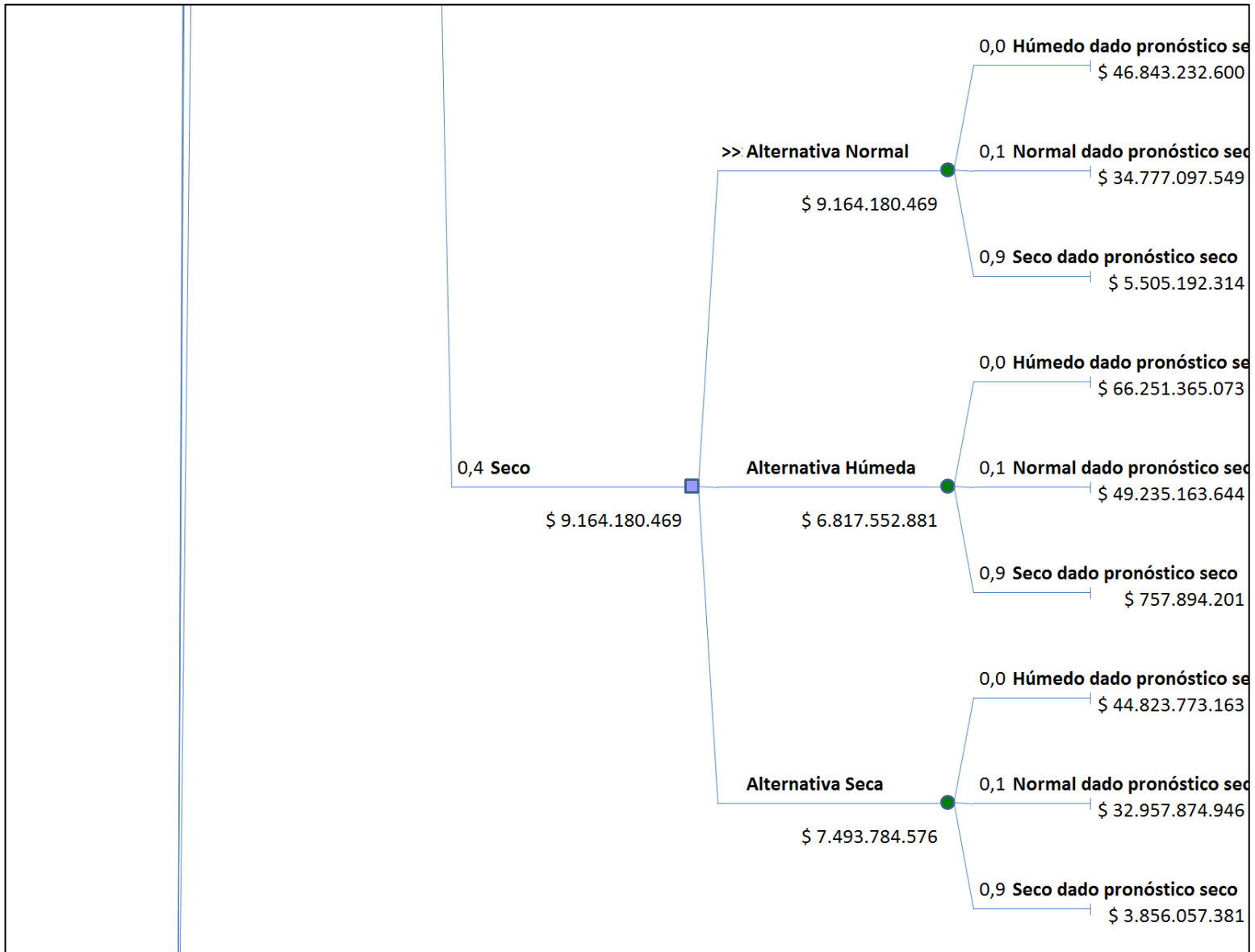


Figura 7.32: Árbol de decisión cuenca del río Maule. Parte 4.

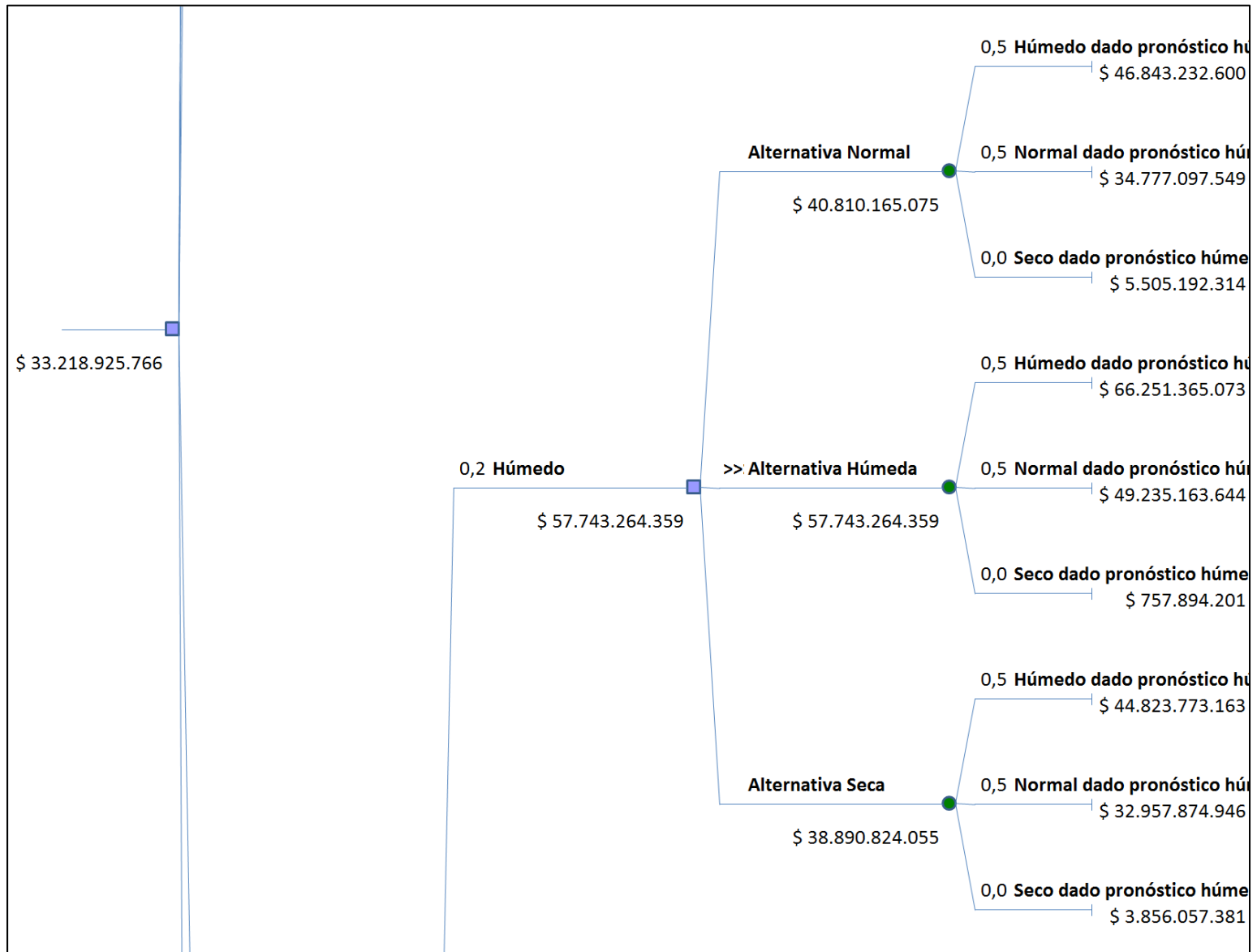


Figura 7.33: Árbol de decisión cuenca del río Maule. Parte 5.

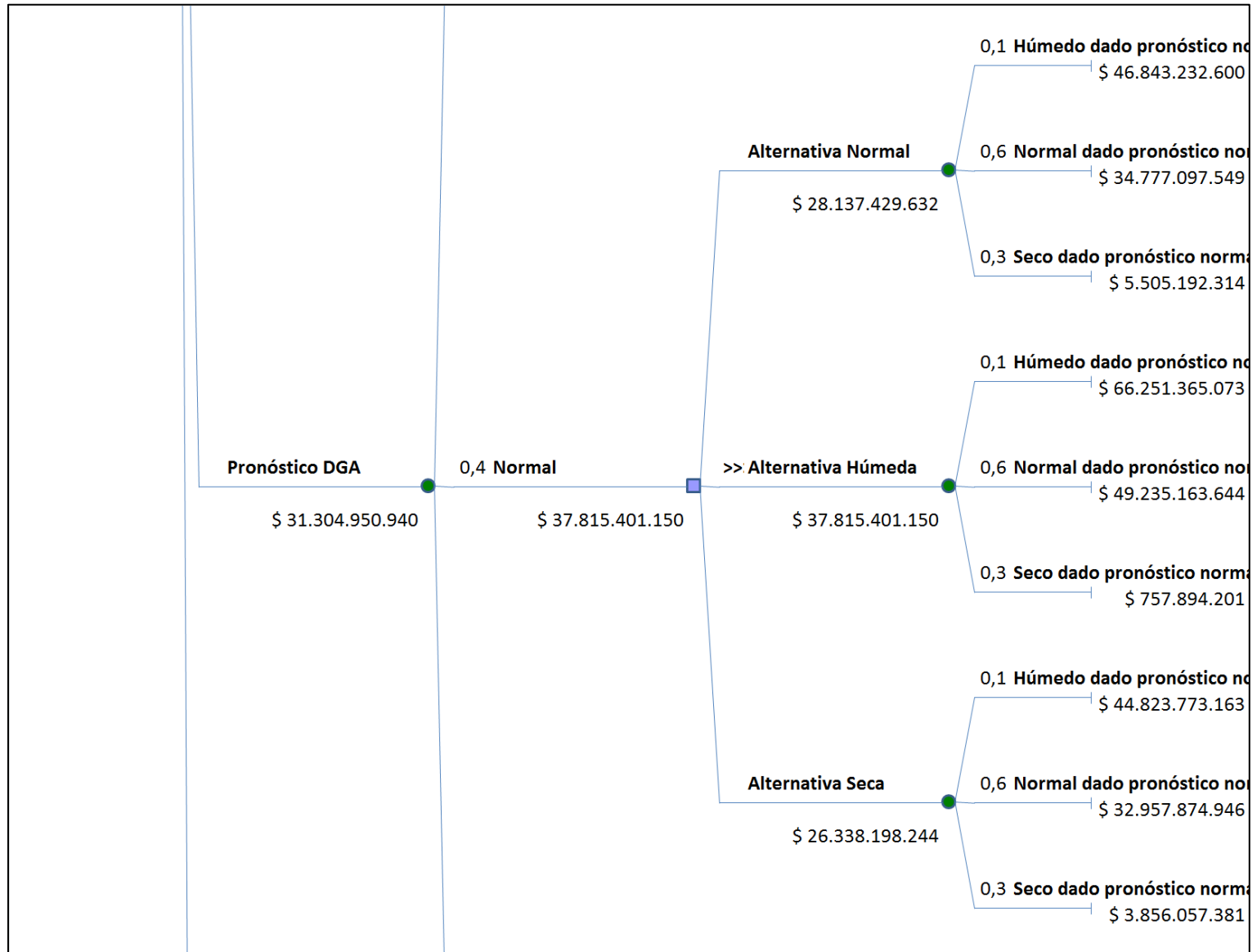


Figura 7.34: Árbol de decisión cuenca del río Maule. Parte 6.

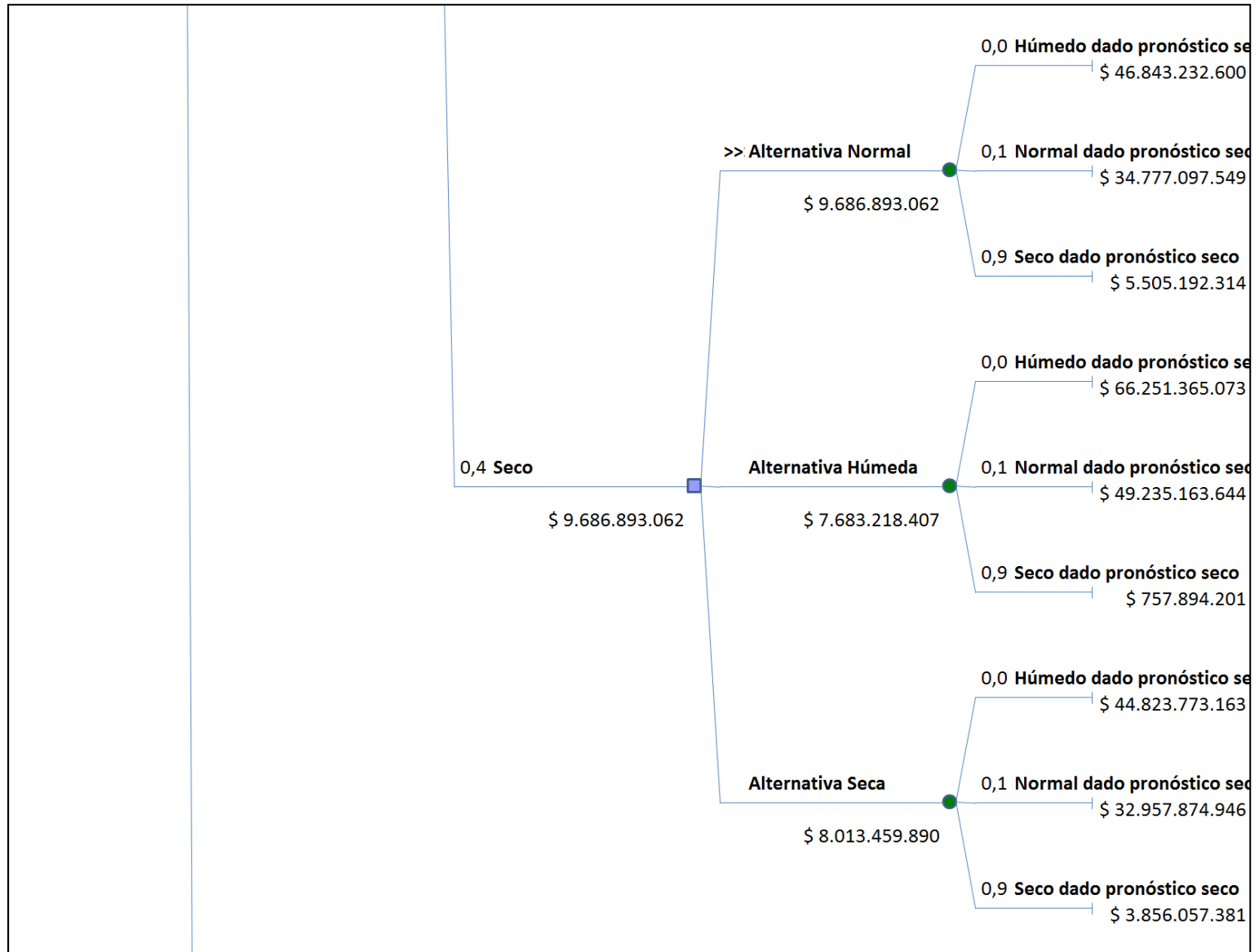


Figura 7.35: Árbol de decisión cuenca del río Maule. Parte 7.

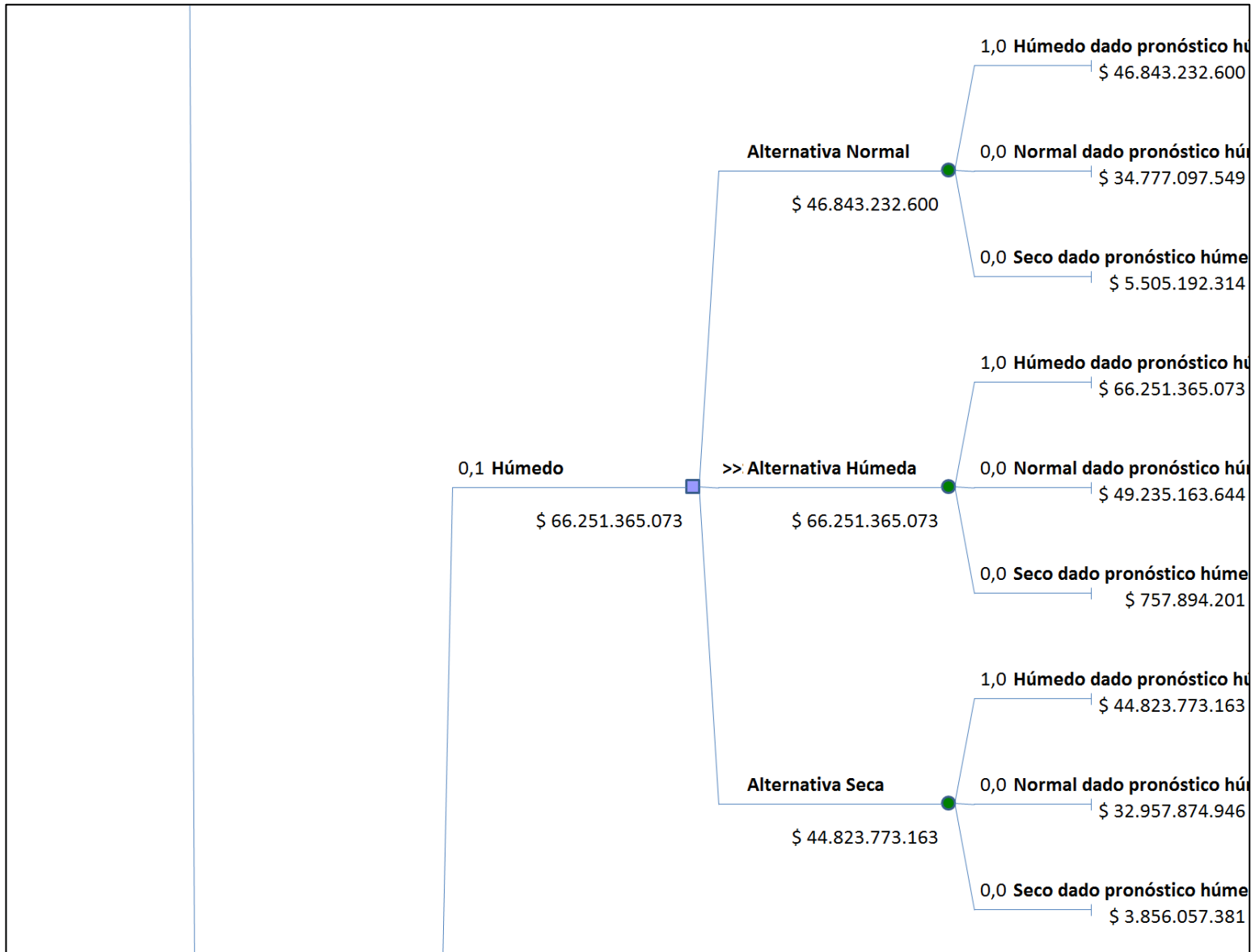


Figura 7.36: Árbol de decisión cuenca del río Maule. Parte 8.

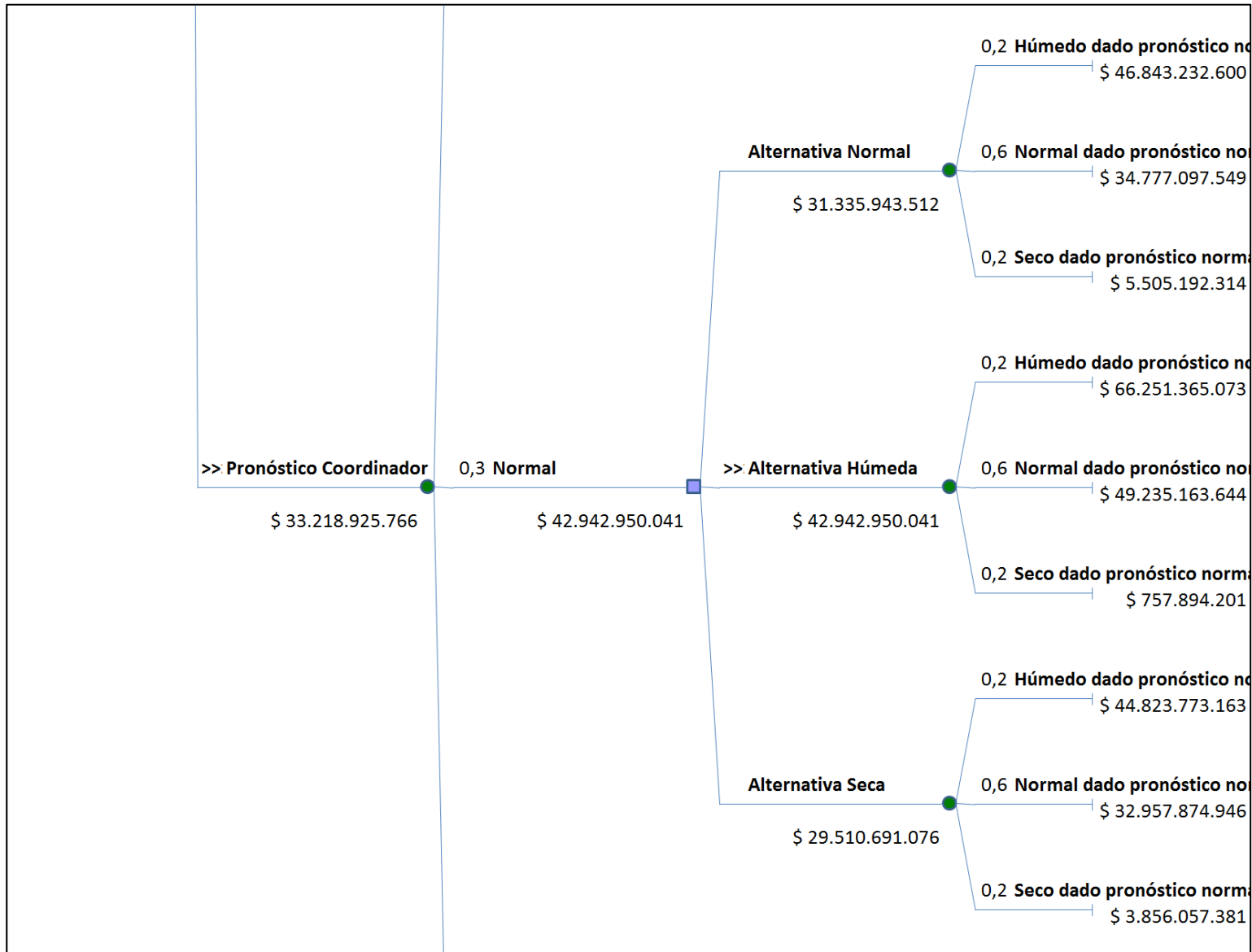


Figura 7.37: Árbol de decisión cuenca del río Maule. Parte 9.

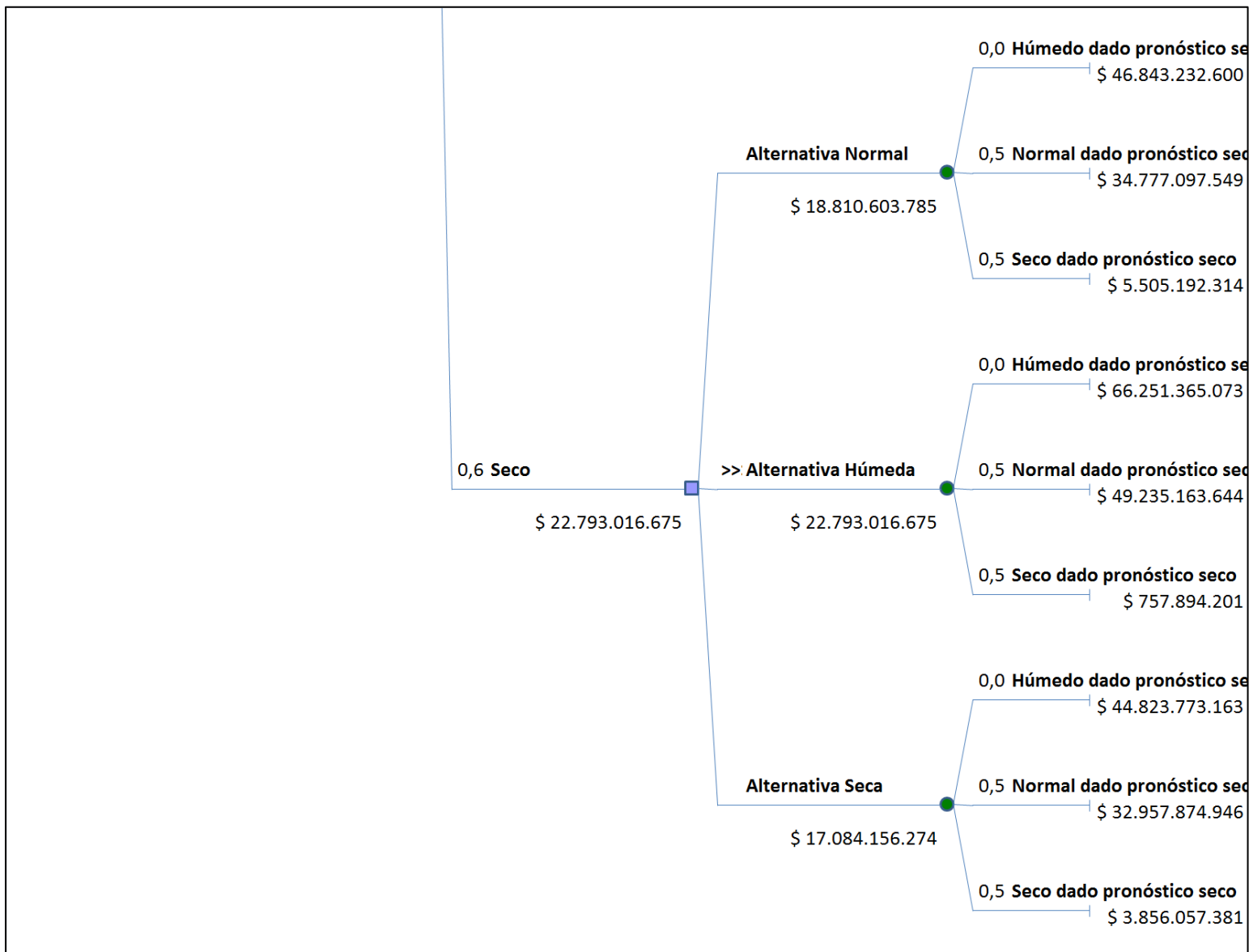


Figura 7.38: Árbol de decisión cuenca del río Maule. Parte 10.

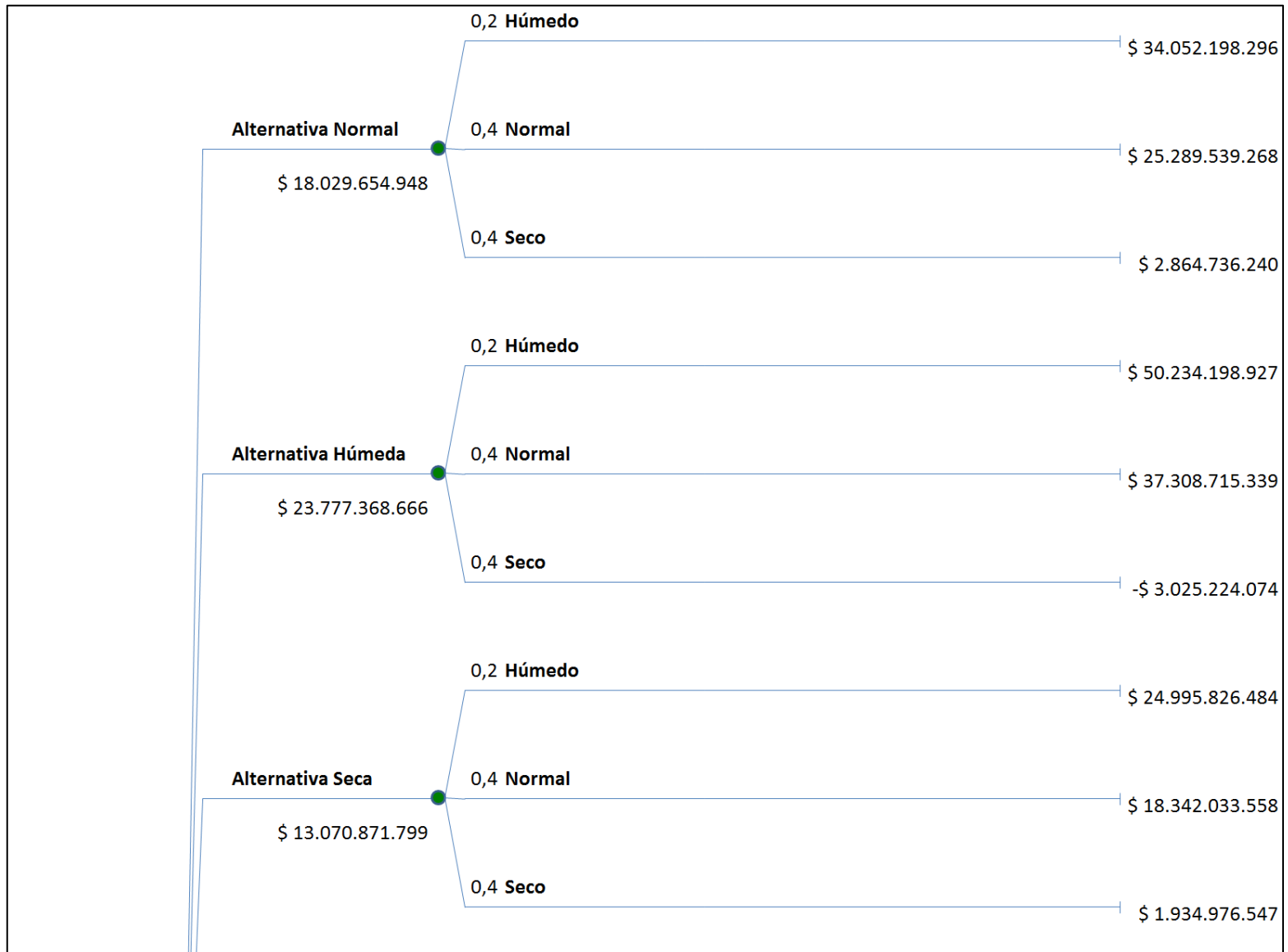


Figura 7.39: Árbol de decisión cuenca del río Longaví. Parte 1.

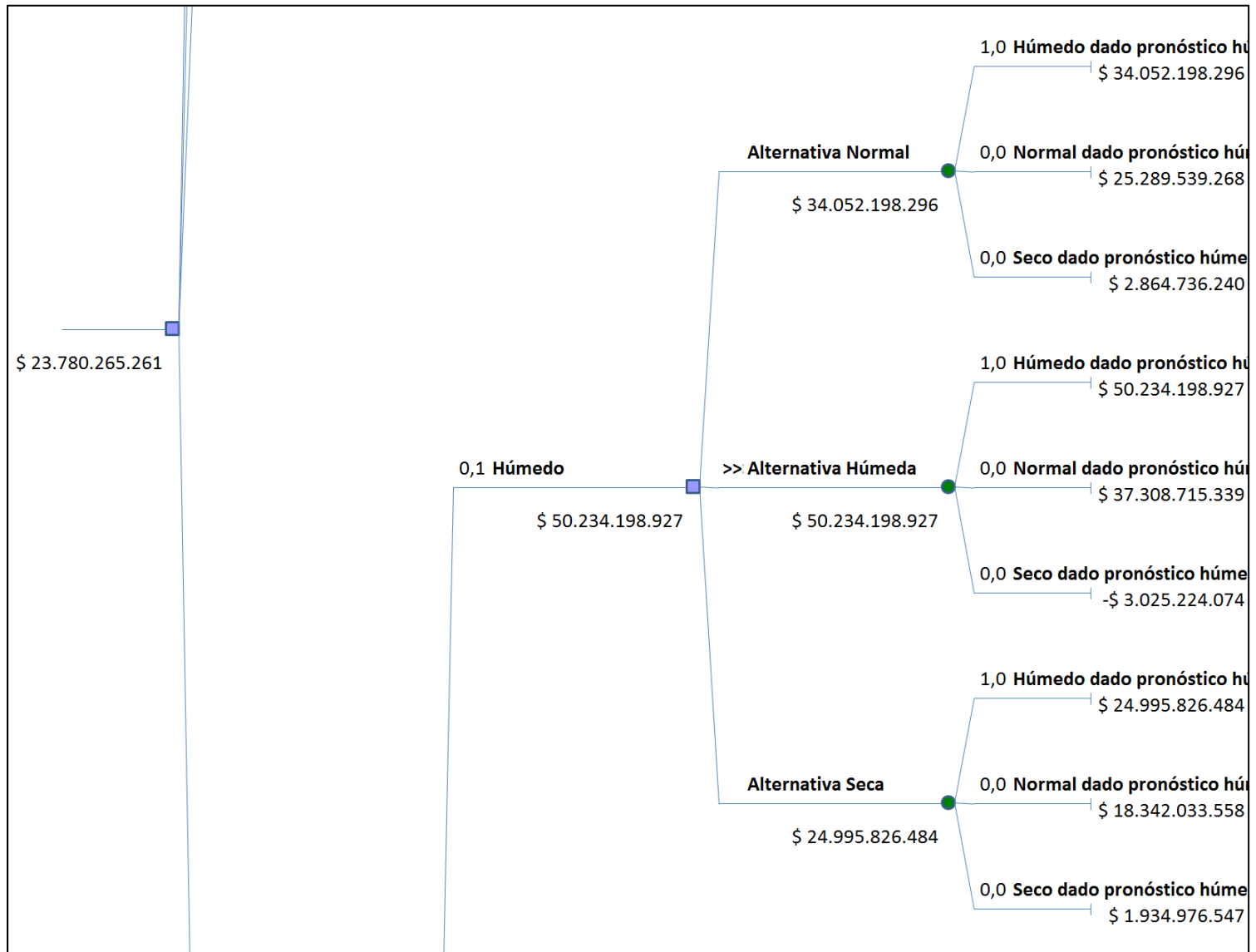


Figura 7.40: Árbol de decisión cuenca del río Longaví. Parte 2.

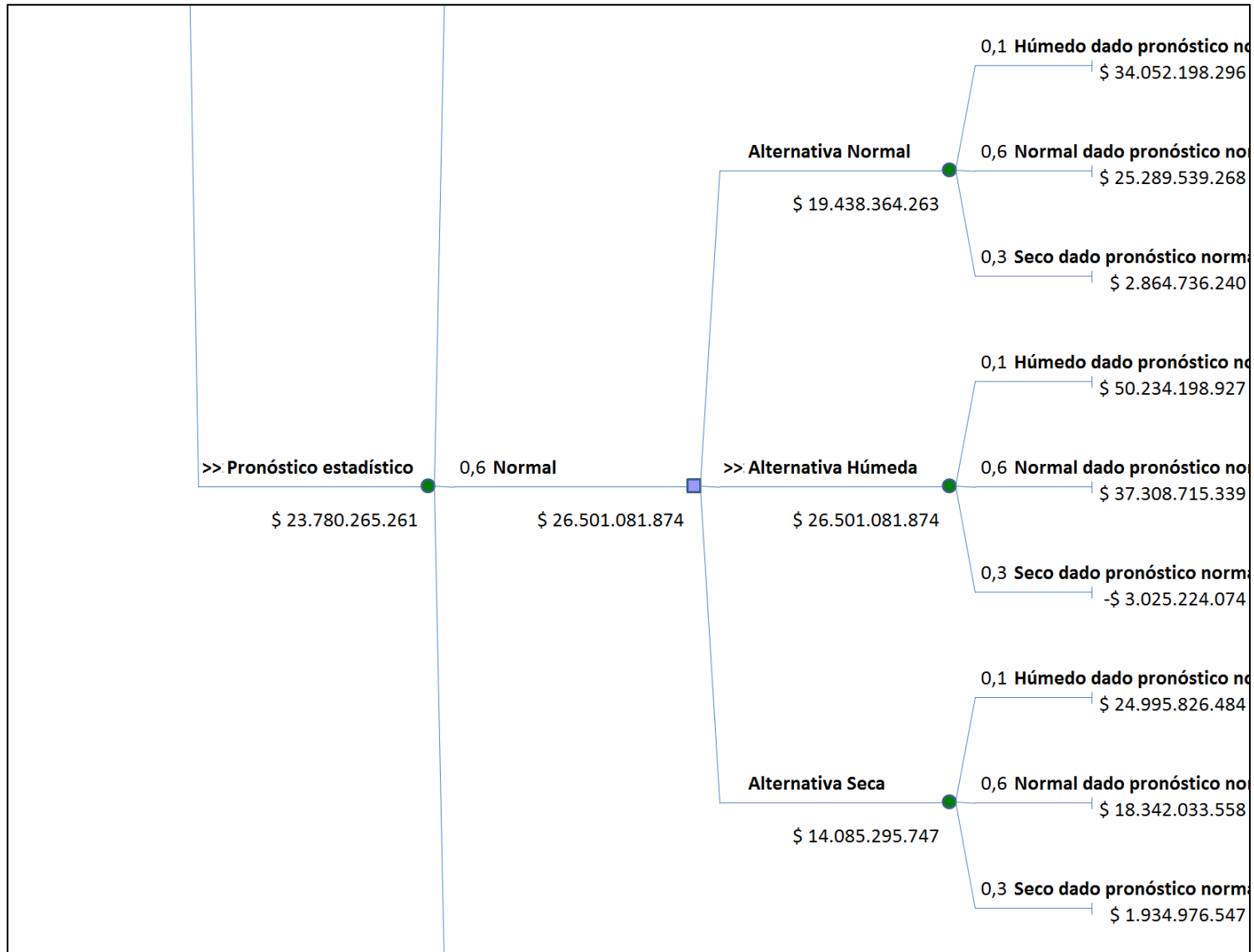


Figura 7.41: Árbol de decisión cuenca del río Longaví. Parte 3.

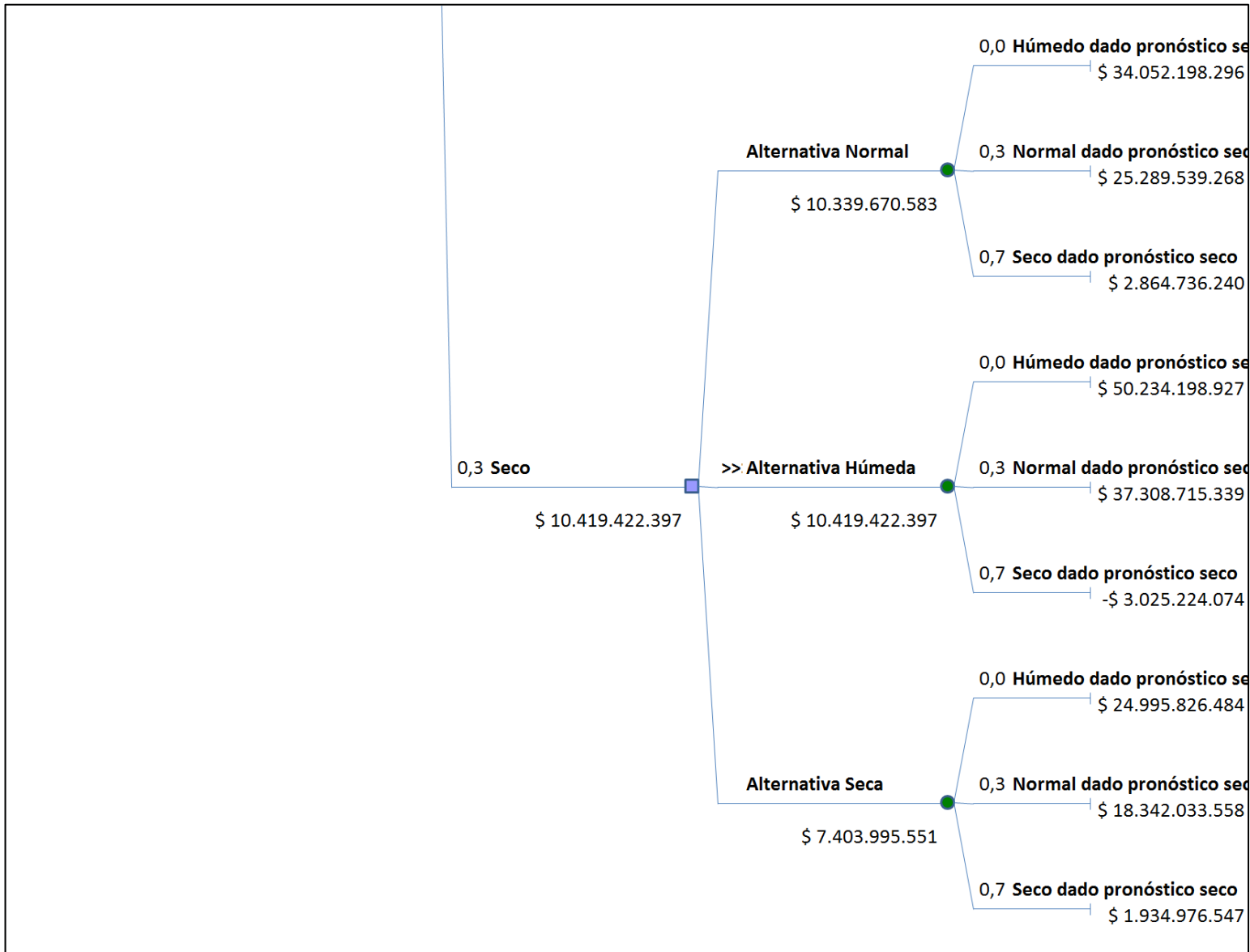


Figura 7.42: Árbol de decisión cuenca del río Longaví. Parte 4.