



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

**“DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE CONTROL DE LAS  
FUENTES DIFUSAS EN LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA,  
REGIÓN DE VALPARAÍSO”**

**INFORME FINAL**

Versión 2

Solicitado por

SEREMI Medio Ambiente, Región de Valparaíso

Ministerio de Medio Ambiente

Santiago de Chile  
DICIEMBRE de 2015





### **Equipo de Trabajo**

---

Rodrigo Ramos

Valentina Escanilla

Claudio Reyes

Mauricio Carter

César Mattar

Alejandro Palma

**Unidad de Biodiversidad, Centro Nacional del Medio Ambiente.**

### **Contraparte Técnica**

---

Dino Figueroa

**Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de Valparaíso**

Julio Galleguillos

**Secretaría Regional Ministerial de Agricultura, Región de Valparaíso**

Hernán Latuz

**Ministerio del Medio Ambiente**



## INDICE

RESUMEN EJECUTIVO .....	22
INTRODUCCION.....	23
OBJETIVO GENERAL .....	26
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	26
METODOLOGIA GENERAL DEL ESTUDIO.....	27
1. Objetivos y actividades.....	27
2. Reuniones de trabajo y ajustes con la contraparte técnica del proyecto.....	29
3. Cronograma .....	29
METODOLOGIA DEL ESTUDIO POR OBJETIVOS .....	31
OBJETIVO 1. IDENTIFICAR LAS FUENTES EMISORAS DIFUSAS PRESENTES EN LA CUENCA DEL RIO ACONCAGUA. ....	31
OBJETIVO 2. ESPACIALIZAR TODAS LAS FUENTES DIFUSAS IDENTIFICADAS PROVENIENTES DE ACTIVIDADES: AGRICOLA, PECUARIA, INDUSTRIAL, MINERA, AGROINDUSTRIAL, ENTRE OTRAS. ....	32
OBJETIVO 3: CALCULAR EL INVENTARIO DE EMISIONES ESPACIALIZADO QUE INCLUYA TODOS LOS PARÁMETROS DESEADOS .....	35
3.1. Modelos de transporte de productos fitosanitarios (PFS) .....	35
3.1.1. Escorrentía superficial de PFS genérico disueltos en agua: Modelo de escurrimiento potencial gLOAD.....	35
3.1.2. Escorrentía superficial de PFS específico disueltos en agua: Modelo SYNOPS-2.....	37
3.1.2.1. Clasificación del riesgo de los plaguicidas utilizados en la cuenca .....	38
3.1.2.2. Aplicación del modelo SoilFug y el escenario ambiental.....	39
3.1.3. Escorrentía superficial de ingrediente activo adsorbido al suelo: Modelo gLe .....	40
3.1.3.1. Erosión de suelo por evento de lluvia: modelo MULSE .....	40
3.1.3.2. Escorrentía superficial de ingrediente activo por erosión de suelo: Modelo gLe.....	41
3.1.4. Deriva de PFS: modelo %D.....	42
3.2. Escorrentía superficial de microorganismos: sub-modelo SWAT.....	43
3.2.1. Estimación de la demanda y suministro de Nitrógeno .....	44
3.2.2. Cálculo de la dosis de abono/estiércol y contenido bacteriano. ....	48
3.2.3. Estimación del requerimiento de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> por cultivo .....	49
3.3. Escorrentía superficial de nutrientes: Sub-modelos SWAT.....	52
3.3.1 a) Nitrato .....	52

3.3.2 b) Fósforo .....	52
3.4. Volumen de precipitaciones .....	54
3.5. Cultivos .....	58
3.5.1. Caracterización de cultivos frutícolas .....	58
3.5.1.2. Estado fenológico de cultivos frutícolas .....	65
3.5.2. Caracterización de cultivos de hortalizas .....	67
3.5.3. Caracterización de viñas .....	72
3.6. Contaminación difusa de las actividades mineras .....	75
OBJETIVO 4: GENERAR UN PLAN DE GESTIÓN DE LA CUENCA, INCORPORANDO TODAS LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y CONTRL POSIBLES DE REALIZAR. ....	77
RESULTADOS .....	78
OBJETIVO 1. IDENTIFICAR LAS FUENTES EMISORAS DIFUSAS PRESENTES EN LA CUENCA DEL RIO ACONCAGUA. ....	78
OBJETIVO 2. ESPACIALIZAR TODAS LAS FUENTES DIFUSAS IDENTIFICADAS PROVENIENTES DE ACTIVIDADES: AGRICOLA, PECUARIA, INDUSTRIAL, MINERA, AGROINDUSTRIAL, ENTRE OTRAS. ....	78
1. Usos de suelo en el rubro agrícola .....	86
2. Tecnología utilizada en el rubro Agrícola / Agroindustrial. ....	87
A. Producción agrícola: .....	88
a.1 Producción de hortalizas .....	88
a.2 Producción de frutales.....	92
a.3 Producción de semillas.....	95
a.4 Producción de flores.....	95
B. Producción Pecuaria: .....	96
C. Producción Agroindustrial: .....	97
3. Identificar los tipos de riego.....	97
4. Identificar los agroquímicos aplicados según especie cultivada. ....	99
OBJETIVO 3: CALCULAR EL INVENTARIO DE EMISIONES ESPACIALIZADO QUE INCLUYA TODOS LOS PARÁMETROS DESEADOS .....	133
3.1. Modelos de transporte de productos fitosanitarios (PFS) .....	137
3.1.1. Escorrentía superficial de PFS genérico disueltos en agua: Modelo de escurrimiento potencial gLOAD .....	137
3.1.1.1. Modelo de escurrimiento potencial gLOAD: cultivos frutícolas.....	140
3.1.1.2. Modelo de escurrimiento potencial gLOAD: hortalizas.....	145
3.1.1.3. Modelo de escurrimiento potencial gLOAD: viñedos.....	149
3.1.1.4. Resultados y patrones generales del modelo gLOAD.....	153

3.1.2. Escorrentía superficial de PFS específicos disueltos en agua.....	154
3.1.2.1 Selección de ingredientes activos usados en la cuenca .....	154
3.1.2.1.1 Deriva de PFS: modelo % Densidad de drenaje.....	154
3.1.2.1.2 Modelo SYNOPSIS-2 de escorrentía de ingrediente activo.....	157
3.1.2.1.1.1 Ingrediente activo: Methomyl.....	158
3.1.2.1.2. Ingrediente activo: Metamidofos.....	162
3.1.2.1.3 Ingrediente activo: Pyraclostrobin.....	165
3.1.2.1.4 Ingrediente activo: Azinphos.....	167
3.1.2.1.5 Ingrediente activo: Clorpirifos .....	169
3.1.2.1.6. Resultados y patrones generales del modelo SYNOPSIS-2 .....	172
3.1.2.1.6. Resultados y patrones generales del modelo SYNOPSIS-2 .....	173
3.1.2.1.7. Determinación del Riesgo.....	174
3.1.3. Escorrentía superficial de ingrediente activo adsorbido al suelo.....	177
3.1.3.1. Erosión de suelo por evento de lluvia: modelo MULSE .....	177
3.1.3.2. Escorrentía superficial de ingrediente activo adsorbido al suelo: Modelo gLe.....	179
3.1.3.2.1. Ingrediente activo: Pendimethalin.....	179
3.1.3.2.2. Ingrediente activo: Azinphos.....	182
3.1.3.2.3. Ingrediente activo: Clorpirifos .....	184
3.1.3.2.4. Ingrediente activo: Methomyl.....	187
3.1.3.2.5. Ingrediente activo: Oxyfluorfen .....	189
3.1.3.2.6. Resultados y patrones generales del modelo gLE.....	192
3.2. Escorrentía superficial de microorganismos: sub-modelo SWAT.....	193
3.2.1. Escorrentía superficial de microorganismos: cultivos frutícolas .....	193
3.2.2. Escorrentía superficial de microorganismos: hortalizas .....	200
3.2.3. Escorrentía superficial de microorganismos: viñedos .....	204
3.2.4. Resultados y patrones generales del modelo SWAT de microorganismos	209
3.3. Escorrentía superficial de nutrientes: Sub-modelos SWAT.....	210
3.3.1. Escorrentía superficial de nutrientes: Nitrato .....	210
3.3.2. Escorrentía superficial de nutrientes: Fósforo.....	212
3.3.3 Resultados y patrones generales del modelo SWAT de nutrientes.....	215
3.4. Contaminación difusa de las actividades mineras .....	216
3.4.1. Recopilación de información.....	216
3.4.2 Caracterización de la presencia de metales pesados en aguas superficiales .....	218

3.4.2 Caracterización de la presencia de metales pesados en sedimentos de aguas superficiales .....	225
3.4.2 Caracterización de la presencia de metales pesados en suelos.....	227
OBJETIVO 4: GENERAR UN PLAN DE GESTIÓN DE LA CUENCA, INCORPORANDO TODAS LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y CONTROL POSIBLES DE REALIZAR.....	241
A. Diagnóstico .....	243
B. Plan de medidas .....	251
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	270
BIBLIOGRAFIA.....	272
ANEXOS.....	275

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ocurrencia de precipitaciones máximas (Pmax) durante el periodo de estudio de 10 años para las 5 estaciones de monitoreo.....	57
Figura 2. Fuentes puntuales y difusas de la cuenca del río Aconcagua. ....	79
Figura 3. Mapa general de la cuenca, hidrografía y elevaciones. (Fuente: elaboración propia). ....	80
Figura 4. Usos de suelo cuenca río Aconcagua. (Fuente: IDE 2015). ....	83
Figura 5. Porcentaje de Usos de suelo, en superficie, en la Cuenca del Aconcagua (Fuente: Elaboración propia, en base a información del Censo Agropecuario (INE, 2007)). ....	86
Figura 6. Superficie regada, por sistemas de riego, presentes en la Cuenca del Aconcagua. (Fuente: Elaboración propia, en base a datos de CIREN, 2007). Datos sin desglosar, para mayor detalle ver Tabla 37. ....	98
Figura 7. Distribución de la aplicación de plaguicidas, durante el año, en tres estratos de productores de la Cuenca. (Fuente: SAG, 2005). Mayor detalle en Tabla 40.....	106
Figura 8. Composición (%) en superficie de los cultivos anuales esenciales presentes en la Cuenca. (Fuente: Elaboración propia, en base a datos de CIREN, 2007). ....	109
Figura 9. Áreas de vigilancia de la cuenca del Río Aconcagua con las que se analizaron los resultados de los modelos aplicados. ....	134
Figura 10. Resultados de la función de la pendiente de Beinat y Van der Berg (1996) aplicados al modelo de elevación digital de la cuenca del Río Aconcagua. Los valores de menor y mayor pendiente están representados por una coloración oscura y clara, respectivamente. ....	138
Figura 11. Valores calculados de IP (intercepción Planta) respecto a las aplicaciones de PFS. El gradiente de coloración hacia rojo indica una mayor intercepción de los cultivos en la zona. ....	139
Figura 12. Valores de % de Carbono Orgánico estimados en la cuenca del Río Aconcagua de acuerdo a Padarian (2012). ....	140
Figura 13. Valores de escurrimiento potencial (gLOAD) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 10 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	142
Figura 14. Valores de escurrimiento potencial (gLOAD) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 30 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	142
Figura 15. Valores de escurrimiento potencial (gLOAD) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	143
Figura 16. Frecuencia porcentual de los valores GLOAD en <b>cultivos frutícolas</b> dentro de los rangos de la Tabla 53 para los eventos de precipitaciones de (a) 10 mm, (b) 30 mm y (c) 50 mm. En el eje-x se muestran las áreas de vigilancia.....	144

Figura 17. Valores de escurrimiento potencial ( <i>gLOAD</i> ) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 10 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	146
Figura 18. Valores de escurrimiento potencial ( <i>gLOAD</i> ) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 30 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	146
Figura 19. Valores de escurrimiento potencial ( <i>gLOAD</i> ) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	147
Figura 20. Frecuencia porcentual de los valores <b>GLOAD</b> en <b>cultivos de hortalizas</b> dentro de los rangos de la Tabla 54 para los eventos de precipitaciones de (a) 10 mm, (b) 30 mm y (c) 50 mm. En el eje-x se muestran las áreas de vigilancia. ....	148
Figura 21. Valores de escurrimiento potencial ( <i>gLOAD</i> ) en cultivos de viñedos para un evento de precipitaciones de 10 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	150
Figura 22. Valores de escurrimiento potencial ( <i>gLOAD</i> ) en cultivos de viñedos para un evento de precipitaciones de 30 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	150
Figura 23. Valores de escurrimiento potencial ( <i>gLOAD</i> ) en cultivos de viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	151
Figura 24. Frecuencia porcentual de los valores <b>GLOAD</b> en <b>viñedos</b> dentro de los rangos de la Tabla 55 para los eventos de precipitaciones de (a) 10 mm, (b) 30 mm y (c) 50 mm. En el eje-x se muestran las áreas de vigilancia.....	152
Figura 25. IDD, donde los colores más oscuros representan una mayor densidad de drenaje respecto a aquellos pixeles más claros.....	155
Figura 26. Cantidad de producto fitosanitario ( $\text{g ha}^{-1}$ ) aplicado a cultivos frutícolas de la cuenca del Río Aconcagua transportado por deriva.....	156
Figura 27. Cantidad de producto fitosanitario ( $\text{g ha}^{-1}$ ) aplicado a cultivos de hortalizas de la cuenca del Río Aconcagua transportado por deriva.....	156
Figura 28. Cantidad de producto fitosanitario ( $\text{g ha}^{-1}$ ) aplicado a viñedos de la cuenca del Río Aconcagua transportado por deriva.....	157
Figura 29. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Methomyl ( <i>SYNOPS-2</i> ) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	159
Figura 30. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Methomyl ( <i>SYNOPS-2</i> ) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	160
Figura 31. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Methomyl ( <i>SYNOPS-2</i> ) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	161

Figura 32. Valores de descarga total a escorrentía superficial (SYNOPS-2) del ingrediente activo Methomyl para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.....	162
Figura 33. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Metamidofos (SYNOPS-2) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	163
Figura 34. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Metamidofos (SYNOPS-2) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	163
Figura 35. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Metamidofos (SYNOPS-2) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	164
Figura 36. Valores de descarga total a escorrentía superficial (SYNOPS-2) I del ingrediente activo Metamidofos para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.....	164
Figura 37. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Pyraclostrobin (SYNOPS-2) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	165
Figura 38. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Pyraclostrobin (SYNOPS-2) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	166
Figura 39. Valores de descarga total a escorrentía superficial (SYNOPS-2) del ingrediente activo Pyraclostrobin para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.....	166
Figura 40. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Azynphos (SYNOPS-2) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	167
Figura 41. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Azynphos (SYNOPS-2) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	168
Figura 42. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Azynphos (SYNOPS-2) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	168
Figura 43. Valores de descarga total a escorrentía superficial (SYNOPS-2) del ingrediente activo Azynphos para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.....	169
Figura 44. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Clorpirifos (SYNOPS-2) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	170
Figura 45. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Clorpirifos (SYNOPS-2) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.....	170

Figura 46. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Clorpirifos(SYNOPS-2) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	171
Figura 47. Valores de descarga total a escorrentía superficial (SYNOPS-2) del ingrediente activo Clorpirifos para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.....	171
Figura 48. Ubicación espacial de la agrupación zonal de las áreas de vigilancia para la estimación del riesgo mediante PRISW-1. ....	174
Figura 49. Cantidad de suelo erosionado (ton ha <sup>-1</sup> ) estimada mediante el modelo MUSLE para un evento de precipitación de 10 mm en la zona agrícola de la cuenca del Río Aconcagua.....	177
Figura 50. Cantidad de suelo erosionado (ton ha <sup>-1</sup> ) estimada mediante el modelo MUSLE para un evento de precipitación de 30 mm en la zona agrícola de la cuenca del Río Aconcagua.....	178
Figura 51. Cantidad de suelo erosionado (ton ha <sup>-1</sup> ) estimada mediante el modelo MUSLE para un evento de precipitación de 50 mm en la zona agrícola de la cuenca del Río Aconcagua.....	178
Figura 52. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Pendimethalin (gLE) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	180
Figura 53. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Pendimethalin (gLE) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	180
Figura 54. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Pendimethalin (gLE) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	181
Figura 55. Valores de descarga total del ingrediente activo Pendimethalin adsorbido al suelo (gLE) para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.....	181
Figura 56. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Azynphos (gLE) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	182
Figura 57. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Azynphos (gLE) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	183
Figura 58. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Azynphos (gLE) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	183
Figura 59. Valores de descarga total del ingrediente activo Azynphos adsorbido al suelo (gLE) para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.....	184

Figura 60. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Clorpirifos ( <i>gLE</i> ) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	185
Figura 61. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Clorpirifos ( <i>gLE</i> ) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	185
Figura 62. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Clorpirifos ( <i>gLE</i> ) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	186
Figura 63. Valores de descarga total del ingrediente activo Clorpirifos adsorbido al suelo ( <i>gLE</i> ) para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.....	186
Figura 64. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Methomyl ( <i>gLE</i> ) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	187
Figura 65. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Methomyl( <i>gLE</i> ) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	188
Figura 66. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Methomyl ( <i>gLE</i> ) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	188
Figura 67. Valores de descarga total del ingrediente activo Methomyl adsorbido al suelo ( <i>gLE</i> ) para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.....	189
Figura 68. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Oxyfluorfen ( <i>gLE</i> ) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	190
Figura 69. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Oxyfluorfen( <i>gLE</i> ) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	190
Figura 70. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Oxyfluorfen( <i>gLE</i> ) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	191
Figura 71. Valores de descarga total del ingrediente activo Oxufluorfen adsorbido al suelo ( <i>gLE</i> ) para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.....	191
Figura 72. Valores de escurrimiento de microorganismos generado por cultivos <b>frutícolas</b> para un evento de precipitaciones de 10 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	197
Figura 73. Valores de escurrimiento de microorganismos generado por cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 30 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	197

Figura 74. Valores de escurrimiento de microorganismos generado por cultivos <b>frutícolas</b> para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	198
Figura 75. Frecuencia porcentual de los valores en <b>cultivos frutícolas</b> dentro de los percentiles 0-20% (verde oscuro), 20-40% (verde claro), 40-60% (amarillo), 60-80% (naranja) y 80-100% (rojo) para los eventos de precipitaciones de (a) 10 mm, (b) 30 mm y (c) 50 mm. En el eje-x se muestran las áreas de vigilancia.....	199
Figura 79. Frecuencia porcentual de los valores SWAT en <b>cultivos de hortalizas</b> dentro de los percentiles 0-20% (verde oscuro), 20-40% (verde claro), 40-60% (amarillo), 60-80% (naranja) y 80-100% (rojo) para los eventos de precipitaciones de (a) 10 mm, (b) 30 mm y (c) 50 mm. En el eje-x se muestran las áreas de vigilancia.....	203
Figura 80. Valores de escurrimiento de microorganismos (SWAT) generado por <b>viñedos</b> para un evento de precipitaciones de 10 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	206
Figura 81. Valores de escurrimiento de microorganismos (SWAT) generado por <b>viñedos</b> para un evento de precipitaciones de 30 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	206
Figura 82. Valores de escurrimiento de microorganismos (SWAT) generado por <b>viñedos</b> para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. ....	207
Figura 83. Frecuencia porcentual de los valores SWAT en viñedos dentro de los percentiles 20% (verde oscuro), 40% (verde claro), 60% (amarillo), 80% (naranja) y 100% (rojo) para los eventos de precipitaciones de (a) 10 mm, (b) 30 mm y (c) 50 mm. En el eje-x se muestran las áreas de vigilancia. ....	208
Figura 84. Valores de escurrimiento de nitratos en un escenario de precipitaciones de 50mm para los cultivos frutícolas de la cuenca del Río Aconcagua.....	210
Figura 85. Valores de escurrimiento de nitratos en un escenario de precipitaciones de 50 mm para los cultivos de hortalizas de la cuenca del Río Aconcagua. ....	211
Figura 86. Valores de escurrimiento de nitratos en un escenario de precipitaciones de 50 mm para los cultivos de viñedos de la cuenca del Río Aconcagua. ....	211
Figura 87. Valores de descarga total del nitrato para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados. ....	212
Figura 88. Valores de escurrimiento de fosforo en un escenario de precipitaciones de 10 mm para los cultivos totales (suma de frutícola, hortalizas y viñedos) de la cuenca del Río Aconcagua.....	213
Figura 89. Valores de escurrimiento de fosforo en un escenario de precipitaciones de 30 mm para los cultivos totales (suma de frutícola, hortalizas y viñedos) de la cuenca del Río Aconcagua.....	213
Figura 90. Valores de escurrimiento de fosforo en un escenario de precipitaciones de 50 mm para los cultivos totales (suma de frutícola, hortalizas y viñedos) de la cuenca del Río Aconcagua.....	214

Figura 91. Mapa esquemático de las estaciones de muestro de metales pesados en la cuenca del Río Aconcagua. El círculo rojo indica una planta de Molibdeno (estación 3). Fuente: Gaete (2007).....	220
Figura 92. Mapa de las estaciones de muestreo para metales pesados en la cuenca del Río Aconcagua. Modificado de CENMA (2008). .....	221
Figura 93. Valores promedio de metales pesados registrados en durante el periodo 1998-2008 en la cuenca del Río Aconcagua. La serie no incluye los datos recopilados de Pizarro (2010). Elaboración propia.....	224
Figura 94. Mapa esquemático de las estaciones de muestreo de metales pesados en sedimentos de aguas superficiales de la cuenca del Río Aconcagua. Modificado de Copaja (2012).....	226
Figura 95. Mapa esquemático de las estaciones de muestreo de metales pesados en suelos ubicados a diferentes distancias de la fundición Chagres. Figura modificada de González (1984). .....	228
Figura 96. Mapa esquemático de las estaciones de muestreo de metales pesados en suelos agrícolas ubicados a diferentes distancias de la fundición Chagres. Figura modificada de González (1985). .....	229
Figura 97. Mapa esquemático de las estaciones de muestreo de metales pesados en suelos ubicados a diferentes distancias de la fundición Chagres. Figura de DeGregori (2003). .....	231
Figura 98. Mapa de los puntos de muestreo de cobre en suelos agrícolas de la cuenca del Río Aconcagua. Figura de Aguilar (2011). .....	233
Figura 99. Valores promedio e intervalo de confianza del 95% para la concentración de Cobre total en los suelos de las zonas muestreadas en la cuenca del Río Aconcagua. Elaboración propia con valores de Aguilar (2011).....	233
Figura 100. Pronóstico de concentraciones de cobre en suelos agrícolas, de acuerdo al modelo propuesto (unidades relativas de 0 a 255). Las unidades relativas de acuerdo a clasificación realizada en ArcGIS 9.2. Elaborado por Hormazabal (2013).....	239
Figura 101. Las concentraciones reales de cobre, en base a los estudios de Neaman et al. (2006) y Aguilar et al. (2011). Elaborado por Hormazabal (2013). .....	240
Figura 102. Acierto y error del pronóstico, respecto a la realidad. Fuente: Elaborado por los autores. Elaborado por Hormazabal (2013). .....	240
Figura 103. Diagrama de las fases o etapas que considera el Plan de Gestión de la contaminación en la cuenca del río Aconcagua. Las flechas moradas indican el orden cronológico en el cual se desarrollan las etapas. Las flechas burdeo hacen referencia a la información que se traspa de una fase previa a la otra (Fuente: elaboración propia). .....	241
Figura 104. Esquema conceptual de la fase 3 “Desarrollo del modelo de gestión” y sus sub etapas. .....	242
Figura 105. Resultado del análisis de <i>Hot spot</i> para el modelo GLoad. Se muestran en el mapa las zonas frías, calientes y aleatorias de la emisión potencial calculada por el modelo. El gráfico corresponde al histograma de los valores por zona.....	245

Figura 106. Resultado del análisis de *Hot spot* para el modelo de nutrientes  $\text{NO}_3$ . Se muestran en el mapa las zonas frías, calientes y aleatorias de la emisión potencial calculada por el modelo. El gráfico corresponde al histograma de los valores por zona. 246

Figura 107. Contribuciones de los parámetros de escorrentía (Q), pendiente (F1), Intercepción planta (F2) y dosis de aplicación a los valores del modelo SYNOPS-2 evaluado para los ingredientes activos Methomyl y Metamidofos. .... 249

Figura 108. Caracterización del transporte de la contaminación difusa y sitios en donde es posible la aplicación de medidas para su control. .... 252

Figura 109. Valores de elasticidad para los parámetros del modelo SYNOPS-2 evaluados dentro de cada área de vigilancia. .... 267

Figura 110. Modelo de aplicación de medidas para el cumplimiento de objetivos de restauración. .... 268

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Objetivos y actividades de esta consultoría.....	27
Tabla 2. Cronograma de actividades .....	29
Tabla 3. Comunas/Localidades presentes en la Cuenca del Aconcagua, considerados para el levantamiento de información de esta actividad. ....	33
Tabla 4. Fuentes de información a consultar. ....	33
Tabla 5. Parámetros del modelo gLOAD, unidades y fuente de obtención de cada uno. .	36
Tabla 6. Parámetros del modelo SYNOPS-2, unidades y fuente de obtención de cada uno. ....	37
Tabla 7. Intervalos, puntajes y pesos (W) de la clasificación del riesgo a plaguicidas para organismo no objetivo en los sistemas de aguas superficiales (mayor detalle puede encontrarse en el <i>paper</i> original de Finizioet al. (2001)). ....	38
Tabla 8. Niveles de riesgo .....	39
Tabla 9. Parámetros del modelo MUSLE, unidades y fuente de obtención de cada uno..	41
Tabla 10. Parámetros del modelo gLe, unidades y fuente de obtención de cada uno. ....	42
Tabla 11. Parámetros del modelo $DDI_i$ y %D, unidades y fuente de obtención de cada uno. ....	43
Tabla 12. Parámetros del de sub-modelo SWAT para microorganismos, unidades y fuente de obtención de cada uno.....	44
Tabla 13. Valores de Demanda, suministro y dosis de Nitrógeno (N) aplicada a distintas especies de cultivos frutícolas. ....	46
Tabla 14. Valores de Demanda, suministro y dosis de Nitrógeno (N) aplicada a distintas especies de cultivos de hortalizas.....	47
Tabla 15. Valores de Demanda, suministro y dosis de Nitrógeno (N) aplicada a viñedos. 47	
Tabla 16. Valores de dosis de Nitrógeno a ser aplicadas a cada tipo de cultivo.....	48
Tabla 17. Dosis de abono aplicado y contenido de bacterias por hectárea para cada tipo de cultivo. ....	49
Tabla 18. Estimaciones de las dosis de aplicación de fósforo para hortalizas, viñas y frutales.....	51
Tabla 19. Parámetros, unidades y fuente de obtención de cada sub-modelo SWAT para a) Nitrato y b) Fósforo. ....	53
Tabla 20. Estaciones de monitoreo de precipitaciones y su ubicación geográfica (UTM WGS 84 19S).....	54
Tabla 21. Valores de precipitaciones máximas mensuales en milímetros ( $P_{max}$ ) en la estación de monitoreo: a) Catemu, b) Los andes, c) Quillota, d) Río Aconcagua y e) San Felipe.....	55
Tabla 22. Clasificación y abundancia por provincia comuna y distrito de los cultivos totales frutícolas presentes en la cuenca del Río Aconcagua.....	58

Tabla 23. Clasificación y abundancia de los cultivos frutícolas presentes en la cuenca del Río Aconcagua. ....	64
Tabla 24. Estados fenológicos de los cultivos frutícolas presentes en la cuenca del Río Aconcagua.....	65
Tabla 25. Estado fenológico al mes de octubre de cada tipo de cultivo y su porcentaje de intercepción correspondiente a esa fecha.....	66
Tabla 26. Parámetros de los modelos de intercepción, unidades y fuente de obtención de cada uno.....	67
Tabla 27. Clasificación y abundancia por provincia comuna y distrito de los cultivos totales de hortalizas presentes en la cuenca del Río Aconcagua. ....	68
Tabla 28. Porcentaje de intercepción correspondiente a los cultivos de hortalizas de acuerdo a su etapa de crecimiento disponible en literatura.....	71
Tabla 29. Clasificación y abundancia por provincia comuna y distrito de las viñas presentes en la cuenca del Río Aconcagua. ....	73
Tabla 30. Plataformas de búsqueda y palabras clave utilizadas en la recopilación de información sobre la actividad minera en la cuenca del Río Aconcagua. ....	75
Tabla 31. Distribución por comuna, en hectáreas, de los usos de suelo agrícola, presentes en la Cuenca del Aconcagua. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de INE, 2015). ....	87
Tabla 32. Eficiencia de la aplicación del agua, según método de riego (Fuente: INIA, 2010). ....	88
Tabla 33. Principales especies de hortalizas cultivadas, al aire libre y bajo invernadero, en la Cuenca del Aconcagua: Superficie y Tecnologías asociadas. (Fuente: Elaboración propia, en base a datos de Odepa, 2015). Para e detalle por comuna ver Tabla 45. ....	89
Tabla 34. Principales especies frutales en producción, superficie y tecnologías asociadas, de la Cuenca del Aconcagua. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de Odepa, 2015). Para detalle por comuna ver Tabla 46. ....	93
Tabla 35. Producción de bovinos, equinos y caprinos, número de cabezas y tecnologías asociadas en la Cuenca del Aconcagua (INE 2014). ....	96
Tabla 36. Distribución en número de cabezas, por comuna de las principales especies de ganado de la Cuenca.....	96
Tabla 37. Plantas agroindustriales, por tipo de producción, número y ubicación en la Cuenca del Aconcagua. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de ODEPA, 2015d) ....	97
Tabla 38. Superficie bajo riego (hectáreas), según sistema y comuna/localidad de la Cuenca del Aconcagua.(Fuente: Elaboración propia, en base a CIREN, 2007). ....	99
Tabla 39. Especies de hortalizas y frutales analizados para este estudio. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIREN, 2007).....	99
Tabla 40. Agroquímicos aplicados, según especie cultivada dentro de la Cuenca.*Cantidad por hectárea. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de ODEPA; 2015) .....	100

Tabla 41. Principales plaguicidas, utilizados por cultivo y diferenciados por grupo químico de la Cuenca.(Fuente: SAG, 2005).....	107
Tabla 42. Determinación de la superficie de aplicación de fertilizantes en la Cuenca. (Fuente: SAG, 2005).....	108
Tabla 43. Distribución por superficie (ha), de cultivos anuales esenciales en las comunas/localidades de la Cuenca.(Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIREN, 2007). ....	110
Tabla 44. Distribución por superficie (ha), de cultivo de hortalizas presentes en la Cuenca. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIREN, 2007).....	111
Tabla 45. Hortalizas, por comuna (superficie), de las comunas de la Cuenca del Aconcagua (Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIREN, 2007). ....	112
Tabla 46. Frutales, por comuna (superficie), de las comunas de la Cuenca del Aconcagua (Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIREN, 2007).....	119
Existen en la Cuenca un total de 83.187 cabezas de ganado, compuestas principalmente por bovinos, ovinos, cerdos, caprinos y equinos. La .....	126
Tabla 47, muestra la composición comunal del ganado, donde se aprecie que los animales predominantes corresponden a bovinos, caprinos y equinos.....	126
Tabla 47. Número de cabezas de ganado, presentes en la Cuenca, por Comuna. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIREN, 2007). ....	127
Tabla 48. Plantas agroindustriales, por tipo de producción, número y ubicación en la Cuenca del Aconcagua. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de ODEPA, 2015d) .....	128
Tabla 49. Distribución, por comuna, de los usos de suelo presentes en la Cuenca del Aconcagua (ODEPA, 2007). ....	130
Tabla 50. Variación en términos de superficie de las principales especies frutales cultivadas en la Región de Valparaíso.(Fuente: Odepa, 2015). ....	131
Tabla 51. Variación en términos de superficie de las principales hortalizas cultivadas en la Región de Valparaíso.(Fuente: Odepa, 2015).....	132
Tabla 52. Provincia y comunas de la cuenca del Río Aconcagua ubicada en las áreas de vigilancia propuestas para la clasificación de los resultados modelados.....	135
Tabla 53. Categorías de intensidad del escurrimiento potencial para cultivos frutícolas, de acuerdo a los valores de gLOAD obtenidos en los escenarios de 10, 30 y 50 mm de precipitaciones.....	141
Tabla 54. Categorías de intensidad del escurrimiento potencial para cultivos de hortalizas, de acuerdo a los valores de gLOAD obtenidos en los escenarios de 10, 30 y 50 mm de precipitaciones.....	145
Tabla 55. Categorías de intensidad del escurrimiento potencial para viñedos, de acuerdo a los valores de gLOAD obtenidos en los escenarios de 10, 30 y 50 mm de precipitaciones. ....	149
Tabla 56. Áreas de vigilancia con mayor descarga total registrada en los resultados del modelo gLOAD para cada tipo de cultivo bajo un evento de precipitaciones de 50 mm. ....	153

Tabla 57. Categoría y puntaje PRISW-1 de los ingredientes activos seleccionados para la modelación SYNOPS-2 .....	154
Tabla 59. Áreas de vigilancia afectadas por las descargas totales (suma de descargas por cultivo) de ingrediente activo a la cuenca del Río Aconcagua bajo un escenario de 50 mm de precipitaciones.....	172
Tabla 60. Áreas de vigilancia afectadas por las descargas totales (suma de descargas por cultivo) de ingrediente activo a la cuenca del Río Aconcagua bajo un escenario de 50 mm de precipitaciones.....	173
Tabla 61. Agrupación zonal de las áreas de vigilancia para la estimación del riesgo mediante PRISW-1. Para conocer el detalle de las provincias, comunas y distritos ver la Tabla 52.....	174
Tabla 62. Valores PEC total (suma de la esorrentía en el área) y PEC (concentración diluida en el río) para cada agrupación de áreas de vigilancia y para cada uno de los productos fitosanitarios (PFS) modelados en SYNOPS-2.....	175
Tabla 63. Valores del índice PRISW-1 para cada producto fitosanitario (PFS) en cada grupo de áreas de vigilancia. En paréntesis aparece el nivel de riesgo para cada ingrediente activo.....	176
Tabla 65. Áreas de vigilancia afectadas por las descargas totales (suma de descargas por cultivo) de ingrediente activo a la cuenca del Río Aconcagua bajo un escenario de 50 mm de precipitaciones.....	192
Tabla 66. Categorías de intensidad del escurrimiento de microorganismos, de acuerdo a los valores SWAT de cultivos frutícolas obtenidos entre los escenarios de 10, 30 y 50 mm de precipitaciones.....	193
Tabla 67. Aporte total de microorganismos por cultivos frutícolas (UFC ha <sup>-1</sup> ), calculados a partir de los valores promedio de la Tabla 13 para cada área de vigilancia en los eventos de lluvias de 10, 30 y 50 mm. ....	196
Tabla 68. Categorías de intensidad del escurrimiento de microorganismos, de acuerdo a los valores SWAT de hortalizas obtenidos entre los escenarios de 10, 30 y 50 mm de precipitaciones.....	200
Tabla 69. Aporte total de microorganismos por cultivos de hortalizas totales (UFC ha <sup>-1</sup> ) para cada área de vigilancia en los eventos de lluvias de 10, 30 y 50 mm.....	201
Tabla 70. Categorías de intensidad del escurrimiento de microorganismos, de acuerdo a los valores SWAT-viñedos obtenidos en los escenarios de 10, 30 y 50 mm de precipitaciones.....	204
Tabla 71. Aporte total de microorganismos por viñedos (UFC ha <sup>-1</sup> ) para cada área de vigilancia en los eventos de lluvias de 10, 30 y 50 mm. ....	205
Tabla 72. Áreas de vigilancia con mayor descarga total registrada en los resultados del modelo SWAT de microorganismos para cada tipo de cultivo bajo un evento de precipitaciones de 50 mm. ....	209
Tabla 73. Número de publicaciones e informes técnicos encontrados con información sobre las descargas de metales pesados en la cuenca del Río Aconcagua para las plataformas consultadas. ....	216
Tabla 74 .Faenas Mineras Activas en la cuenca del Río Aconcagua. ....	217

Tabla 75. Concentraciones de metales pesados disueltos en el Río Aconcagua.....	218
Tabla 76. Concentraciones promedio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) de metales pesados entre las distintas estaciones de muestreo. Modificado del informe realizado por la Universidad mayor (Proyecto fondo SAG 55-14-300).....	219
Tabla 77. Valores de concentraciones promedio $\pm$ desviación estándar de metales pesados medidos durante el año 2007 para cada estación calculados a partir de los datos de Gaete (2007).....	219
Tabla 78. Valores promedio de concentraciones de metales pesados disueltos ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) registrados en la cuenca de del Río Aconcagua durante el año 2008. Valores obtenidos de CENMA (2008). Ver Figura 92 para la ubicación de las estaciones de muestreo.....	222
Tabla 79. Valores promedio $\pm$ desviación estándar de los metales pesados disueltos registrados en la cuenca de del Río Aconcagua durante el periodo 1980-2007.....	223
Tabla 80. Valores de toxicidad aguda (LC50 de 48 horas) para <i>Daphnia magna</i> de los metales pesados presentes en las aguas superficiales de la cuenca del Río Aconcagua .....	224
Tabla 81. Estaciones de muestreo y zonación del río. Modificado de Copaja (2012).....	225
Tabla 82. Valores promedio de las concentraciones ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) de metales pesados totales registrados en los sedimentos de aguas superficiales de la cuenca de del Río Aconcagua durante. Datos obtenidos de Copaja (2012).....	226
Tabla 83. Distancia a la fundición Chagres de los puntos de muestro y valores de concentraciones de metales pesados totales ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en suelos superficiales (0-20 cm.). Datos obtenidos de González (1984).....	227
Tabla 84. Valores de concentraciones de metales pesados totales ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en suelos superficiales (0-20 cm.) para los distintos puntos de muestreo. Datos obtenidos de González (1985). .....	230
Tabla 85. Valores de concentraciones de metales pesados totales ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en suelos superficiales (0-20 cm.) para los distintos puntos de muestreo en la cuenca del Río Aconcagua. Datos obtenidos de DeGregori (2003).....	231
Tabla 86. Tipo de cultivo y valores de concentraciones de Cobre ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en suelos superficiales (0-20 cm.) para los distintos puntos de muestreo en la cuenca del Río Aconcagua. Datos obtenidos de Aguilar (2003). .....	234
Tabla 87. Valores reales de concentraciones de cobre utilizados para validar el modelo de predicciones espaciales de cobre. Elaborado por Hormazabal (2013).....	238
Tabla 88. Probables causas de errores en pronóstico del modelo, en cada una de las zonas de estudio. Elaborado por Hormazabal (2013). .....	238

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe de avance corresponde a la última entrega del estudio “Diagnóstico de las fuentes difusas en la cuenca del río Aconcagua”. Este informe contempla el desarrollo de las actividades que responden a los cuatro objetivos específicos de esta consultoría. Como primera actividad, se recopilieron las fuentes puntuales potenciales que podrían contribuir a un evento de contaminación difusa en la cuenca, a las cuales se les asignó el uso de suelo en el cual están emplazadas y la comuna a la cual pertenecen. Del mismo modo, desde la cartografía de usos de suelo se identificaron dos usos potenciales de contaminación difusa. Esta información dará un panorama general de cómo se distribuyen las fuentes en la cuenca, información primordial para el diseño posterior del plan de gestión.

El contexto de este estudio se centra en desarrollo de la actividad agropecuaria, la cual es la principal actividad que se ejerce en la cuenca. Es por esto que información del uso del suelo dentro de esta actividad, los tipos de cultivos, tipos de riego y agroquímicos aplicados se adjunta en este avance, dando una visión de las distintas variables dentro del rubro que se podrían involucrar en los procesos de contaminación difusa en la cuenca.

Por último, es desarrollado uno de los modelos propuestos para estimar la carga contaminante provenientes de fuentes difusas, específicamente este modelo estima la carga potencial de las actividades agrícolas en las aguas superficiales producto de la escorrentía superficial. Este modelo se aplicó considerando tres eventos de lluvia diferentes: 10mm, 30mm y 50mm, por ende se evalúa la carga contaminante debido a tres tipos de escorrentías diferentes.

Finalmente, se analizan los resultados obtenidos de los modelos a través de dos análisis espaciales y estadísticos, los cuales sintetizan la información necesaria para un mejor manejo de la información y consolidación del plan de gestión: zonas críticas y medidas, específicamente.

## INTRODUCCION

En el año 2010 y de acuerdo con lo establecido en la Ley N° 19.300/1994 MINSEGPRES sobre Bases Generales del Medio Ambiente, se implementó el desarrollo de Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA), como parte de las acciones concretas sobre prevención y conservación de los recursos hídricos y sus ecosistemas asociados. Siendo estas normas los instrumentos consagrados por la Ley General de Bases del Medio Ambiente (Ley 19.300) para la regulación de calidad de aguas de las cuencas hidrográficas en Chile. Tal es el caso de la cuenca del río Aconcagua que constituye el soporte para los principales asentamientos humanos, procesos productivos y de servicios de la Región de Valparaíso. Debido a sus características únicas se ha convertido en un centro vital para el desarrollo socioeconómico del país que cuenta con una importante actividad industrial y acoge a una gran cantidad de habitantes, por lo que su gestión es compleja y responde a intereses de variados sectores de importancia en el desarrollo de la región y del país.

La cuenca del Río Aconcagua se encuentra situada entre los paralelos 32° 20' y 33° 07' latitud sur, y entre los meridianos 71° 31' y 70° 00' longitud oeste. Tiene una superficie estimada de 7.337 Km<sup>2</sup> y geográficamente está inserta en su totalidad dentro de la Región de Valparaíso. El río Aconcagua nace por la confluencia de los ríos Juncal y Blanco, con el gran aporte andino proveniente del río Colorado, que recibe por su lado norte a poco más de 13 Km aguas abajo. Estos tres ríos provienen de la alta cordillera de Los Andes con alturas entre 5.400 y 7.000 m.s.n.m., lo cual permite una glaciación importante y una nivación estacional considerable, y contribuye a fijar las características hidrológicas del río Aconcagua. Su régimen hidrológico es de alimentación mixta, o nivo-pluvial. En su zona alta y media el río Aconcagua es de régimen marcadamente nival, presentando un gran aumento de caudal en los meses de primavera producto de los deshielos cordilleranos. En la zona baja, el río Aconcagua posee un régimen pluvial, por lo cual presenta crecidas asociadas directamente con las precipitaciones. En su nacimiento después de la confluencia de los ríos Juncal y Blanco (1.420 m.s.n.m.), tiene las características de un río importante con un promedio anual de caudal natural de 20.5 m<sup>3</sup>/s. Entra al valle central en el sector del puente Las Vizcachas, en la Primera Sección, con un promedio anual de caudal natural de 33.0 m<sup>3</sup>/s. En su curso medio, el río Aconcagua recibe aportes de varios esteros de marcado régimen pluvial; por el lado norte, los esteros Catemu y Los Litres, mientras que por la ribera sur llegan los afluentes Lo Campo y Los Loros. En su curso inferior, luego de recibir los aportes del estero Rautén, su principal tributario corresponde al estero Limache, una subcuenca regulada por el embalse Los Aromos. Finalmente, y luego de un recorrido de aproximadamente 190 kilómetros desde su nacimiento, desemboca al Océano Pacífico, en la comuna de Concón.

En términos generales la cuenca del río Aconcagua, de acuerdo a la Estrategia Regional de Desarrollo (ERD), es el segundo eje de crecimiento de la región donde se llevan a cabo diferentes actividades de minería en la cordillera, como es la División Andina de CODELCO Chile en el río Blanco, y en las cabeceras de algunos tributarios (Estero Catemu, Los Litres). Existen también importantes proyectos hidroeléctricos en la zona, que son alimentados con aguas de la parte alta de la primera sección del río Aconcagua, y una importante y extensa actividad agrícola. Otras actividades como extracción de áridos, industria manufacturera, turismo y servicio de transporte se desarrollan en la cuenca, haciendo de ella una zona de alta demanda y múltiples usos.

Todas estas actividades generan riesgos para la protección y conservación del medio ambiente, así como también para la preservación de la vida asociada a dicho entorno. La acción antrópica ha influido en la pérdida evidenciada en la calidad del suelo y aguas, junto con un manejo inadecuado de los residuos sólidos y de las fuentes puntuales y difusas que descargan sus residuos líquidos a los cursos y cuerpos de aguas de la cuenca. Esta degradación en la calidad del recurso hídrico ha motivado la necesidad de generar iniciativas orientadas a proteger y conservar dicho recurso.

En la actualidad se cuenta con una serie de normas de emisión, destacando el D.S. N° 90/00 que norma la emisión de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos (RILES) a las aguas marinas y continentales superficiales, cuyo cumplimiento para fuentes emisoras nuevas entró en vigencia en el año 2001 y a partir de septiembre de 2006 para fuentes emisoras antiguas, lo que permite contar con un instrumento de gestión ambiental que establece niveles de calidad en la cuenca, salvaguardando el aprovechamiento del recurso hídrico y maximizando de esta manera los beneficios sociales, económicos y ambientales.

A pesar de la importancia que el río Aconcagua representa para el sector agrícola en la cuenca, en este cuerpo superficial así como también en varios de sus afluentes se reportan altas concentraciones de nutrientes disueltos, incremento en los sólidos suspendidos y alta carga microbiológica. En términos generales, las fuentes emisoras que conforman un inventario de emisiones pueden clasificarse en fuentes fijas y fuentes difusas. La primera de ellas es definida como aquellas donde la ubicación del punto de descarga, generación o emisión al medio ambiente es plenamente identificable (emisiones de contaminantes a la atmósfera, el agua o el suelo). Actualmente en nuestro país existe amplio registro de sus emisiones a través de diferentes organismos, por lo que generalmente su estimación es de una complejidad moderada.

Por otro lado, las fuentes difusas son definidas como las fuentes de menores dimensiones o dispersas respecto de las cuales no resulta posible identificar u obtener información desglosada de sus emisiones, residuos o transferencia de contaminantes (no se encuentran establecidas en un lugar determinado), y por lo tanto, son de difícil estimación debido a su variabilidad, heterogeneidad en las causas que las determinan y vacíos de información existentes en nuestro país. Sin embargo, existen variados estudios locales

donde se enfatiza la responsabilidad de las fuentes difusas en la contaminación de ríos y lagos, y la necesidad de controlar sus emisiones mediante políticas públicas.

El presente estudio pretende analizar e identificar las causas y fuentes de contaminación difusa, así como también su incidencia e impacto en la calidad del agua en el río Aconcagua y su ecosistema asociado. A partir de lo cual generar una propuesta de control mediante acciones de fiscalización, monitoreo, buenas prácticas productivas y recomendación de obras y barreras físicas que inhiban el escurrimiento de aguas y la erosión hacia dicho río.

## **OBJETIVO GENERAL**

Contratar una consultora para identificar las principales fuentes de emisión difusa (contaminación) en el río Aconcagua y sus afluentes, evaluando y cuantificando el impacto en los cuerpos de agua, proponiendo además medidas de abatimiento, mitigación y control.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- a) Identificar las fuentes emisoras difusas presentes en la cuenca del río Aconcagua.
- b) Espacializar todas las fuentes difusas identificadas provenientes de actividad: agrícola, pecuaria, industrial, minera, agroindustrial, entre otras.
- c) Calcular el inventario de emisiones espacializado que incluya todos los parámetros deseados.
- d) Generar un plan de gestión de la cuenca, incorporando todas las medidas de mitigación y control posibles de realizar.

## METODOLOGIA GENERAL DEL ESTUDIO

De acuerdo a lo requerido en los términos de referencia y en base a la propuesta técnica desarrollada por CENMA, se han definido los siguientes componentes de la metodología de trabajo.

### 1. Objetivos y actividades

El presente trabajo se desarrolla bajo el marco de una objetivo específico general que tiene por finalidad identificar las principales fuentes de emisión difusa en el río Aconcagua y sus afluentes, evaluando y cuantificando el impacto en los cuerpos de agua, proponiendo además medidas de abatimiento, mitigación y control. Para su cumplimiento, la metodología se desarrolló con una serie de actividades agrupadas en cuatro objetivos específicos, las cuales se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 1. Objetivos y actividades de esta consultoría.

#### **OBJETIVO 1: IDENTIFICAR LAS FUENTES EMISORAS DIFUSAS PRESENTES EN LA CUENCA DEL RIO ACONCAGUA**

Actividades A: Identificar, cuantificar y caracterizar, por categoría las fuentes de contaminación difusa que podrían alterar la calidad de aguas en el río Aconcagua y sus principales afluentes, así como también su emplazamiento dentro de la cuenca. En particular detallar las fuentes difusas provenientes de la actividad agrícola, agroindustrial y minera de la cuenca.

#### **OBJETIVO 2: ESPACIALIZAR TODAS LAS FUENTES DIFUSAS IDENTIFICADAS PROVENIENTES DE ACTIVIDADES: AGRICOLA, PECUARIA, INDUSTRIAL, MINERA, AGROINDUSTRIAL, ENTRE OTRAS.**

Actividades B: distribuir espacialmente las fuentes difusas, generando la información desplegada en un SIG junto a los correspondientes mapas temáticos.  
C: sistematizar información ambiental asociada al área de influencia del río Aconcagua, especialmente aquellos factores que facilitan la contaminación difusa de las aguas superficiales; clima, geomorfología, suelos, hidrología, cubierta vegetal, entre otros.  
D: Recopilar información antrópica asociada a los aspectos productivos y asentamientos humanos del área de influencia; identificar los usos de suelo, la tecnología utilizada en el rubro agrícola y/o agroindustrial, los tipos de riego, los agroquímicos aplicados según especies cultivadas en

la zona (frutales, hortalizas, ornamentales), presión demográfica, los tipos de plantas de tratamientos y formas de eliminación de efluentes.

I: Generar un inventario de actividades agrícolas y agroindustrial, niveles de producción y prácticas productivas.

M: Revisar la red de canales y caudales de la zona proporcionado por el MOP.

### **OBJETIVO 3: CALCULAR EL INVENTARIO DE EMISIONES ESPACIALIZADO QUE INCLUYA TODOS LOS PARÁMETROS DESEADOS**

G: Medir o estimar la carga contaminante provenientes de fuentes difusas vertidas al río Aconcagua y sus principales afluentes, considerando caudales y concentraciones de parámetros priorizados en el estudio. Esta propuesta priorizada debe ser consensuada con la contraparte técnica.

Actividades

H: Determinar el tipo, caracterización y cantidad de emisión del contaminante por actividad productiva identificada. Comparar los resultados con los otros estudios para ver consistencia y comparación con fuentes puntuales.

J: Proyectar, en la medida de la información disponible, los escenarios de crecimiento del o los rubros productivos y su consiguiente aumento en la generación de emisiones difusas.

K: Establecer las fuentes de contaminación microbiana, según metodología analítica que identifica la contaminación proveniente de fuentes humanas o animales.

### **OBJETIVO 4: GENERAR UN PLAN DE GESTIÓN DE LA CUENCA, INCORPORANDO TODAS LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y CONTRL POSIBLES DE REALIZAR.**

E: Establecer, teóricamente, un programa priorizado de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que den cuenta espacial y temporalmente de las presiones que inciden en la calidad del agua del río Aconcagua.

F: Proponer un programa de monitoreo de calidad de aguas que de cuenta de los impactos de las fuentes difusas susceptibles de generar contaminación por nutrientes y por carga microbiana.

Actividades

L: Definir medidas de mitigación y control de las zonas potencialmente riesgosas de causar derrames y contaminación al río y sus afluentes.

N: Identificar las principales falencias en la información existente, generando los supuestos necesarios que permitan mejorar dicha condición.

O: Proponer mecanismos metodológicos que permitan superar los vacíos de información detectados.

P: Generar un plan de gestión respecto al control de la contaminación, involucrando a los diversos sectores y actores incidentes en la alteración

en la calidad de las aguas en el área de estudio. Rankear los principales aportantes de emisiones por parámetros y proponer medidas preliminares para la gestión de la contaminación.

Q: Desarrollar bases de datos compatibles y desplegables en un SIG bajo formato establecido por MMA para estos fines. Se debe establecer un SIG como herramienta de visualización y correlación de variables incidentes en la temática de calidad de aguas.

Para el presente informa de avance se entrega el desarrollo de todas las actividades mencionadas anteriormente y que abarcan los cuatro objetivos específicos que abordan este estudio.

## 2. Reuniones de trabajo y ajustes con la contraparte técnica del proyecto

Durante todo el proceso de trabajo se realizarán reuniones con la contraparte técnica, instancia que servirá para resolver dudas de índole administrativa y práctica, unificar criterios respecto del desarrollo técnico de la consultoría. Revisión de la metodología propuesta y ajuste del plan y cronograma de trabajo y organización de las actividades.

## 3. Cronograma

La Tabla 2 da cuenta de las actividades generales que se desarrollaron en los meses de trabajo para dar cumplimiento al objetivo general de la consultoría.

Tabla 2. Cronograma de actividades

Hito	Actividad	Mes				
		1	2	3	4	5
1	Reunión inicio y de coordinaciones					
2	Identificar las fuentes emisoras difusas presentes en la cuenca del río Aconcagua.					
3	Espacializar todas las fuentes difusas identificadas provenientes de actividad: agrícola, pecuaria, industrial, minera, agroindustrial, entre otras					
4	Entrega informe avance 1					
5	Calcular el inventario de emisiones espacializado que					

Hito	Actividad	Mes
	incluya todos los parámetros deseados	
6	Generar un plan de gestión de la cuenca, incorporando todas las medidas de mitigación y control posibles de realizar.	
7	Análisis crítico de la información	
8	Entrega informe 2 (pre-final)	
9	Entrega y exposición informe final.	
10	Fin consultoría	

## METODOLOGIA DEL ESTUDIO POR OBJETIVOS

### ***OBJETIVO 1. IDENTIFICAR LAS FUENTES EMISORAS DIFUSAS PRESENTES EN LA CUENCA DEL RIO ACONCAGUA.***

**ACTIVIDAD A. IDENTIFICAR, CUANTIFICAR Y CARACTERIZAR, POR CATEGORÍA LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN DIFUSA QUE PODRÍAN ALTERAR LA CALIDAD DE AGUAS EN EL RÍO ACONCAGUA Y SUS PRINCIPALES AFLUENTES, ASÍ COMO TAMBIÉN SU EMPLAZAMIENTO DENTRO DE LA CUENCA. EN PARTICULAR DETALLAR LAS FUENTES DIFUSAS PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA, AGROINDUSTRIAL Y MINERA DE LA CUENCA.**

Para poder identificar, cuantificar y caracterizar las fuentes difusas que están presentes en la cuenca y que podrían alterar la calidad del agua en el río Aconcagua y sus afluentes, se utilizaron como información base las categorías de usos de suelo disponible en la cartografía del Catastro de Bosque Nativo de la V Región de Valparaíso (IDE, 2015). Específicamente se consideraron como potenciales fuentes de contaminación difusa aquellas categorías que puedan albergar actividades donde se genere este tipo de efecto debido a escurrimiento superficial o al transporte de partículas a través del viento. Esta información otorga un marco general de la contaminación difusa presente en la cuenca, la cual sería generada por una o por un conjunto de actividades que en su origen son de carácter puntual, sin embargo debido a que la contaminación puede originarse de múltiples fuentes y a la particularidad del transporte de los contaminantes, se cataloga como una fuente no puntual. Esta identificación a través de la cartografía de usos de suelo sirve además, para la posterior clasificación de los tipos de fuentes que haya en la cuenca.

Para un mayor detalle de las fuentes y su clasificación se utilizaron bases de datos georreferenciados de fuentes puntuales de la cuenca:

- Riquelme 2003
- BD Laboratorio de Ecotoxicología Universidad Mayor

Las fuentes identificadas fueron caracterizadas de acuerdo a la categoría de actividad a la cual corresponda y al mecanismo por el cual actúe el transporte del contaminante (e.g. esorrentía, material particulado, entre otros). Para categorizar la actividad económica de estas fuentes, se utilizó el documento CIIU.42012 (2014).

El producto de este objetivo se sistematiza en una base de datos Excel que incluye las fuentes identificadas por categoría de actividad, y el uso de suelo y comuna en los cuales está emplazado. Este se adjunta en los archivos complementarios ubicados en el CD complementario a este informe final.

***OBJETIVO 2. ESPACIALIZAR TODAS LAS FUENTES DIFUSAS IDENTIFICADAS PROVENIENTES DE ACTIVIDADES: AGRICOLA, PECUARIA, INDUSTRIAL, MINERA, AGROINDUSTRIAL, ENTRE OTRAS.***

**ACTIVIDAD B. DISTRIBUIR ESPACIALMENTE LAS FUENTES DIFUSAS, GENERANDO LA INFORMACIÓN DESPLEGADA EN UN SIG JUNTO A LOS CORRESPONDIENTES MAPAS TEMÁTICOS.**

Para espacializar las fuentes difusas, se construyó un mapa y cartografía digital con la información resultante del objetivo 1 donde se pueden reconocer los principales usos de suelo y (grupos de) fuentes puntuales como fuentes potenciales de contaminación difusa. Todo el manejo de cartografía y mapas digitales efectuado en esta actividad se realizó en el *software* ArcGIS 9.3.

**ACTIVIDAD C. SISTEMATIZAR LA INFORMACIÓN AMBIENTAL ASOCIADA AL ÁREA DE INFLUENCIA DEL RÍO ACONCAGUA, FACTORES QUE FACILITAN CONTAMINACIÓN DIFUSA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES, CLIMA, GEOMORFOLOGÍA, SUELOS, HIDROGRAFÍA, CUBIERTA VEGETAL, ENTRE OTROS.**

Se realizó búsqueda bibliográfica para caracterizar los factores relevantes que facilitan la contaminación difusa, tales como: hidrografía, clima, geomorfología, suelos, cubierta vegetal y actividades económicas. Dichas características generales propias de la cuenca influyen finalmente en las variables que consideran los modelos ejecutados en el presente estudio.

**ACTIVIDAD D. RECOPIRAR INFORMACIÓN ANTRÓPICA ASOCIADA A LOS ASPECTOS PRODUCTIVOS Y ASENTAMIENTOS HUMANOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA; IDENTIFICAR LOS USOS DE SUELO, LA TECNOLOGÍA UTILIZADA EN EL RUBRO AGRÍCOLA Y/O AGROINDUSTRIAL, LOS TIPOS DE RIEGO, LOS AGROQUÍMICOS APLICADOS SEGÚN ESPECIES CULTIVADAS EN LA ZONA (FRUTALES, HORTALIZAS, ORNAMENTALES), PRESIÓN DEMOGRÁFICA, LOS TIPOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTOS Y FORMAS DE ELIMINACIÓN DE EFLUENTES.**

Los factores antrópicos que inciden en la magnitud de la contaminación difusa tienen que ver con el contexto de la línea de producción implementada de acuerdo a los tipos de actividades que la generan. De esta forma se recopiló información sobre la tecnología utilizada en el rubro agrícola y/o agroindustrial, los tipos de riego, los agroquímicos aplicados según especies cultivadas en la zona (frutales, hortalizas, ornamentales), presión demográfica, los tipos de plantas de tratamientos y formas de eliminación de efluentes.

Para llevar a cabo el levantamiento de información se consideraron como Comunas/Localidades de estudio, en la Cuenca del Aconcagua, las detalladas en la Tabla 3.

Tabla 3. Comunas/Localidades presentes en la Cuenca del Aconcagua, considerados para el levantamiento de información de esta actividad.

<b>Comuna / Localidad</b>	<b>Comuna / Localidad</b>
1. Putaendo	11. Concón
2. San Felipe	12. Rinconada
3. Los Andes	13. San Esteban
4. Catemu	14. Hijuelas
5. Llaillay	15. La Cruz
6. Panquehue	16. Santa María
7. Nogales	17. Quintero
8. La Calera	18. Calle Larga
9. Quillota	19. Olmué
10. San Francisco de Limache	20. Villa Alemana

(Fuente: Elaboración propia, a partir de Odepa, 2015)

A partir de la definición de las Comunas/Localidades, se consultaron referencias bibliográficas disponibles en la Web, como sitios oficiales de estadísticas agropecuarias, manejo de cultivos, entre otros.

Tabla 4. Fuentes de información a consultar.

---

[www.odepa.cl](http://www.odepa.cl)  
[www.minagri.cl](http://www.minagri.cl)  
[www.ine.cl](http://www.ine.cl)  
[www.prochile.cl](http://www.prochile.cl)  
[www.fia.cl](http://www.fia.cl)  
[www.sofofa.cl](http://www.sofofa.cl)  
[www.sag.gob.cl](http://www.sag.gob.cl)

---

(Fuente: Elaboración Propia)

**ACTIVIDAD I. GENERAR UN INVENTARIO DE ACTIVIDADES AGRÍCOLAS Y AGROINDUSTRIAL, NIVELES DE PRODUCCIÓN Y PRÁCTICAS PRODUCTIVAS.**

Para llevar a cabo el inventario de actividades agrícolas y agroindustriales, niveles de producción, prácticas productivas y los escenarios de crecimiento del o los rubros productivos se realizó un levantamiento de información a través referencias bibliográficas disponibles en la Web (verTabla 4), como sitios oficiales de estadísticas agropecuarias, manejo de cultivos, entre otros.

### **OBJETIVO 3: CALCULAR EL INVENTARIO DE EMISIONES ESPACIALIZADO QUE INCLUYA TODOS LOS PARÁMETROS DESEADOS**

**ACTIVIDAD G. MEDIR O ESTIMAR LA CARGA CONTAMINANTE PROVENIENTES DE FUENTES DIFUSAS VERTIDAS AL RÍO ACONCAGUA Y SUS PRINCIPALES AFLUENTES, CONSIDERANDO CAUDALES Y CONCENTRACIONES DE PARÁMETROS PRIORIZADOS EN EL ESTUDIO. ESTA PROPUESTA PRIORIZADA DEBE SER CONSENSUADA CON LA CONTRAPARTE TÉCNICA.**

Para la estimación de la carga de contaminante proveniente de fuentes difusas vertidas al río Aconcagua y sus principales afluentes, se utilizaron modelos de transporte de contaminantes espacialmente explícitos. Estos modelos tienen de común característica la incorporación de procesos físicos como la escorrentía y deriva en el transporte de contaminantes. En particular, la escorrentía corresponde a uno de los mecanismos más importantes de transporte hacia los sistemas fluviales, siendo una de las principales causas de contaminación difusa, especialmente en terrenos de uso agropecuario.

A continuación se presentan los modelos utilizados para estimar la carga contaminante proveniente de tres fuentes de contaminación asociadas a actividades agropecuarias: i) productos fitosanitarios (PFS), ii) microorganismos y iii) nutrientes. Todos los cálculos fueron realizados en el *software* ArcGIS 9.3.

#### 3.1. Modelos de transporte de productos fitosanitarios (PFS)

Para la estimación de la carga de PFS vertidos al río Aconcagua y sus principales afluentes se utilizaron modelos que dan cuenta de su transporte mediante escorrentía disueltos en agua, escorrentía adsorbidos al suelo y por deriva.

##### 3.1.1. Escorrentía superficial de PFS genérico disueltos en agua: Modelo de escurrimiento potencial *gLOAD*.

El modelo de *gLOAD* es un indicador espacialmente explícito que estima el potencial de escorrentía de un compuesto genérico aplicado en actividades agrícolas y que puede alcanzar los cursos de agua cercanos luego de un evento puntual de precipitaciones (Schriever et al. 2007, Ippolito et al. 2015). Las características ambientales que determinan el potencial de escorrentía y que definen al modelo *gLOAD* son el tipo y uso del suelo, la topografía, fenología de los cultivos y las precipitaciones. En la Tabla 5 se resumen los parámetros del modelo y la fuente de obtención para su implementación.

La simulación del escurrimiento potencial a través de *gLOAD* consideró una única dosis de aplicación para todos los cultivos ( $1 \text{ Kg ha}^{-1}$ ). Además como no se disponía de un escenario temporal de aplicación, se modelaron tres eventos de lluvias representativos de la zona (10, 30 y 50 mm; ver sección 4), distribuidos de forma homogénea en la cuenca

agrícola. El estado fenológico de los cultivos para determinar la intercepción fue equivalente al estado de crecimiento al mes de octubre (ver sección 5).

El modelo gLOAD es descrito en la siguiente ecuación:

$$gLOAD = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K A_p \times D_i \times \left(1 - \frac{I_k}{100}\right) \times \frac{1}{1 + \frac{KOC_{generico} \times OC}{100}} \times f \times \frac{Q}{P}$$

Tabla 5. Parámetros del modelo gLOAD, unidades y fuente de obtención de cada uno.

Parámetro	Descripción	Unidades	Fuente
Sub-índice k	Tipo de cultivo	---	Catastro frutícola (CIREN, 2014)
Sub-índice p	Unidad espacial, pixel	Ha	1 Ha (Decisión técnica)
A <sub>p</sub>	Área cultivada del pixel p	Ha	---
D <sub>i</sub>	Dosis de aplicación de PFS	kg Ha <sup>-1</sup>	1 Kg Ha <sup>-1</sup> (Decisión técnica)
I <sub>k</sub>	Intercepción del cultivo k	%	Strassemeyer (2007); Linders (2000)
KOC <sub>generico</sub>	Coeficiente de adsorción al suelo	Adimensional	100 (Shriever, 2007)
OC	Carbono orgánico del suelo	%	Padarian et al (2012)
f	Influencia de la pendiente	%	Modelo digital de elevación (DEM); Beinat y van der Berg, (1996)
Q	Volumen de escorrentía	mmagua escurrida	Lutz (1984); Maniak (1992)
P	Volumen de precipitación	mm agua escurrida	Base de datos DGA

**Fuente:** elaboración propia

### 3.1.2. Escorrentía superficial de PFS específico disueltos en agua: Modelo SYNOPS-2

El modelo SYNOPS-2 es una herramienta simple para la predicción de la proporción de ingrediente activo del PFS que escurre en la fase de agua posterior a un evento puntual de precipitación. Su formulación tiene una base teórica que comprende propiedades fisicoquímicas relacionadas con la cinética de descomposición del ingrediente activo y propiedades topográficas, de escorrentía y precipitaciones como las descritas en el modelo genérico gLOAD. En la Tabla 6 se resumen los parámetros del modelo y la fuente de obtención para su implementación.

La simulación fue aplicada a diferentes cultivos y para cada uno se utilizó una dosis de aplicación máxima promedio en Kg Ha<sup>-1</sup> del PFS seleccionado. Al igual que en modelo gLOAD, los escenarios de precipitaciones simulados fueron de 10, 30 y 50 mm y el estado fenológico de los cultivos para determinar la intercepción fue equivalente al estado de crecimiento al mes de octubre.

El modelo SYNOPS-2 es descrito en la siguiente ecuación:

$$L\%_{\text{escorrentía}} = \frac{Q}{P} \times F \times e^{\left(\frac{-\Delta t \ln 2}{DT_{50}}\right)} \times \frac{100}{1 + Kd} \times D$$

donde,

$$F = f_1 \times f_2 \times f_3 \text{ y } Kd = K_{oc} \times OC/100$$

Tabla 6. Parámetros del modelo SYNOPS-2, unidades y fuente de obtención de cada uno.

Parámetro	Descripción	Unidades	Fuente
L% <sub>escorrentía</sub>	Fracción de PFS aplicado que escurre disuelto en agua	%	---
Q	Volumen de escorrentía	mm	Lutz (1984); Maniak (1992)
P	Volumen de precipitación	mm	Base de datos DGA
f <sub>1</sub>	Influencia de la pendiente	%	Beinat y van der Berg (1996)
f <sub>2</sub>	Intercepción del cultivo	%	Richards (1959)
f <sub>3</sub>	Área buffer	m	3 metros (OECD, 2000)
DT <sub>50</sub>	Vida media del ingrediente activo	d	

$\Delta t$	Días transcurridos entre aplicación del PFS y evento de lluvia	d	3 días (OECD, 2000)
$K_{OC}$	Coeficiente de adsorción ingrediente activo al suelo	Adimensional	
D	Dosis de aplicación del PFS	$Kg\ ha^{-1}$	
OC	Carbono orgánico del suelo	%	Padarian et al (2012)

**Fuente:** elaboración propia

### 3.1.2.1. Clasificación del riesgo de los plaguicidas utilizados en la cuenca

Con el fin de clasificar los plaguicidas utilizados en la cuenca del río Aconcagua, respecto a su riesgo potencial para las aguas superficiales, se aplicó el indicador *PRISW-1* (Finizioet al., 2001). Este indicador evalúa el riesgo a un sistema de aguas superficiales adyacente a la zona tratada (inmediatamente después de la aplicación de los plaguicidas). Básicamente, se trata de un sistema basado en puntuación que clasifica diferentes ingredientes activos por la función del riesgo (Mattar, 2014). El primer paso para la aplicación de *PRISW-1* es el cálculo de la Concentración Ambiental Prevista (*PEC: Predicted Environmental Concentration*) mediante la estimación de la concentración de plaguicidas transportados por escorrentía a través del modelo de Fugacidad SoilFug (Di Guardo et al. 1994) sumado a una deriva de un 4% según Ganzelmeier et al. (1995), considerando el “peor de los casos” como escenario. El segundo paso para la aplicación del indicador requiere calcular la Tasa de Exposición Toxicológica (*TER: Toxicological Exposure Ratio =  $EC_{50}/PEC$* ) que se obtiene a partir de la relación entre la toxicidad aguda ( $CL_{50}$  o  $CE_{50}$ ) para los organismos no objetivo seleccionados y representativos de los ecosistemas de aguas superficiales (algas, *Daphnia* y peces) y los PEC previamente calculados (Tabla 7).

Tabla 7. Intervalos, puntajes y pesos (W) de la clasificación del riesgo a plaguicidas para organismo no objetivo en los sistemas de aguas superficiales (mayor detalle puede encontrarse en el *paper* original de Finizioet al. (2001).

Algas		<i>Daphnia</i>		Peces	
( $EC_{50}/PEC$ )	Puntaje	( $EC_{50}/PEC$ )	Puntaje	( $LC_{50}/PEC$ )	Puntaje
>10.000	0	>10.000	0	>10.000	0
10.000 – 1000	1	10.000 – 1000	1	10.000 – 1000	1
1000 – 100	2	1000 – 100	2	1000 – 100	2

100 – 10	4	100 – 10	4	100 – 10	4
10-2	6	10-2	6	10-2	6
<2	8	<2	8	<2	8
	W = 3		W = 4		W = 5,5

**Fuente:** elaboración propia

Finalmente el nivel del riesgo se clasifica de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 8. Niveles de riesgo

<b>Nivel del Riesgo</b>	<b>PRISW-1</b>
Despreciable	$\leq 5$
Bajo	$> 5 \leq 15$
Medio	$15 \leq 40$
Alto	$40 \leq 80$
Muy Alto	$> 80$

*Fuente: Finizio et al. (2001)*

### 3.1.2.2. Aplicación del modelo SoilFug y el escenario ambiental

El modelo Soilfug fue utilizado para estimar la concentración de pesticidas transportados por la escorrentía superficial. SoilFug se puede definir como un modelo de fugacidad de estado no estacionario, basado en el cálculo de equilibrio de nivel I producto de sucesivos eventos de lluvia. El estado no estacionario se refiere a la disipación del plaguicida después de su aplicación, debido principalmente a la degradación, volatilización y escorrentía/lixiviación. Para cada evento de lluvia, el modelo calcula la partición química en el sistema suelo, las concentraciones en las diferentes matrices y las pérdidas debidas a los distintos patrones de disipación (Mackay 2001). Para su aplicación, el modelo requiere de un escenario ambiental bien definido, en especial el equilibrio del agua, teniendo en cuenta tanto la entrada (mm de lluvia) como la salida de ésta (mm de agua que fluye desde el campo). Para esta simulación se utilizaron los valores por defecto propuestos por el modelo.

La intensidad de uso de los diferentes productos fitosanitarios fue estimada utilizando las declaraciones de venta de plaguicidas de 2013 para el área de estudio, información proporcionada por el SEREMI de agricultura y el promedio de la dosis de aplicación

máxima recomendada, esta información fue obtenida de la etiqueta de cada formulación, como del Manual de Productos Fitosanitarios (AFIPA, 2010). Así, al dividir el total de venta del plaguicida (kg/L) por el promedio la dosis de aplicación máxima (Kg/ha), se obtienen las hectáreas a las cuales fue, hipotéticamente, aplicado el ingrediente activo. Finalmente, el área aplicada del plaguicida (intensidad de uso) es multiplicada por su nivel de riesgo intrínseco, pudiendo de esta forma clasificar los plaguicidas respecto a estas dos variables.

Por lo tanto, de este análisis se obtuvieron dos resultados importantes para la gestión de los productos fitosanitarios, a) puntajes de riesgo intrínseco de cada uno de los plaguicidas (valor *PRISW-1*) y b) Clasificación de los plaguicidas producto de la intensidad de su uso. A través de esta clasificación, se seleccionaron los plaguicidas que serán modelados mediante SYNOPS.

### 3.1.3. Escorrentía superficial de ingrediente activo adsorbido al suelo: Modelo gLe

La erosión hídrica produce el desprendimiento y transporte de partículas de suelo mediante escorrentía. Para la estimación de la fracción de ingrediente activo que escurre adsorbido al suelo, se debe estimar en primera instancia la fracción de suelo que es perdida posterior a un evento de lluvia.

#### 3.1.3.1. Erosión de suelo por evento de lluvia: modelo MULSE

Las fracciones de suelo que llegan a los cuerpos de aguas superficiales son el resultado de procesos de su erosión y transporte. Dentro de los modelos disponibles para la estimación de la fracción de suelo perdida se encuentran el modelo MUSLE (*Modified Universal SoilLossEquation*). La versión del modelo utilizado es una modificación del MUSLE propuesta por Strassemeyer (2007), especialmente diseñada para cuencas pequeñas. En la

Tabla 9, se resumen los parámetros del modelo y la fuente de obtención para su implementación.

El modelo MUSLE es descrito en la siguiente ecuación:

$$Xe = 0.79 \times (Q \times qp)^{0.65} \times A^{0.009} \times usleK \times usleLS \times usleC \times usleP$$

donde,

$$usleLS = (0.065 + 0.0456 \times f + 0.006541 \times f^2) \times \left( \sqrt{\frac{A}{22.1}} \right)^{sx}$$

Tabla 9. Parámetros del modelo MUSLE, unidades y fuente de obtención de cada uno.

Parámetro	Descripción	Unidades	Fuente
Xe	Fracción de suelo perdido por erosión	Ton	---
Q	Volumen de escorrentía superficial	mm	Lutz (1984); Maniak (1992)
qp	<i>peak</i> de la tormenta de escorrentía	mm	$qp = Q/12$ (Decisión técnica)
A	Área cultivable	Ha	1 Ha (Decisión técnica)
usleK	Factor de erodabilidad del suelo	Adimensional	
usleLS	Factor topográfico	%	Depende de f
f	pendiente	%	Modelo elevación digital (DEM)
sx	Escalar de acuerdo a f	Adimensional	Strassemeyer et al. (2007)
usleC	factor de gestión y vegetación	Adimensional	Strassemeyer et al. (2007)
usleP	Prácticas de control de la erosión	Adimensional	0.5 (Strassemeyer et al. 2007)

**Fuente:** elaboración propia

### 3.1.3.2. Escorrentía superficial de ingrediente activo por erosión de suelo: Modelo gLe

La fracción total de ingrediente activo perdido por erosión y que alcanza las aguas superficiales es una fracción de la dosis aplicada y que está adsorbida a la fase sólida del suelo y por relación del volumen de erosión (Xe, MUSLE) de la capa arable del suelo. En la Tabla 10, se resumen los parámetros del modelo y la fuente de obtención para su implementación.

El modelo gLe es descrito en la siguiente ecuación:

$$gLe = D_k \times \frac{Xe}{V \times d} \times F_s \times 0.0001$$

donde,

$$F_s = \frac{K_d}{(1+K_d)} \times K_d = \frac{OC}{100} \times K_{oc}$$

Tabla 10. Parámetros del modelo gLe, unidades y fuente de obtención de cada uno.

Parámetro	Descripción	Unidades	Fuente
gLe	Fracción de $D_k$ perdido por erosión	$kg\ Ha^{-1}$	---
$D_k$	Dosis de aplicación promedio de PFS para cada cultivo $k$	$kg\ Ha^{-1}$	
Xe	Volumen de erosión	Ton	Modelo MUSLE
V	Volumen de suelo en la capa arable	$m^3$	10 cm profundidad $\times$ A cultivable
d	Densidad del suelo	$Ton\ m^{-3}$	1.5 (decisión técnica)
$F_s$	Fracción de $D_k$ adsorbida al suelo	%	
$K_d$	Constante de adsorción	Adimensional	
OC	Carbono orgánico del suelo	%	Padarian et al (2012)
$K_{oc}$	Coefficiente de adsorción ingrediente activo al suelo	Adimensional	

#### 3.1.4. Deriva de PFS: modelo %D

Con el término deriva se entiende el proceso por el cual cierta fracción del PFS aplicado es transportada por el viento alcanzando zonas no objetivo, como cuerpos de agua. Para la cuantificación de la fracción perdida por deriva es necesario desarrollar una ecuación que defina la relación entre el PFS sujeto a deriva y la densidad hidrográfica del área tratada. Para esto se utilizó un índice de densidad de drenaje (DDI: *DensityDrainageIndex*) (Ganzelmeyer et al., 1995; Verro et al., 2002), donde cada unidad espacial (pixel) recibe un DDI de acuerdo a:

$$DDI_i = \frac{L \times W}{A}$$

Posteriormente para obtener el porcentaje de pérdida por deriva del PFS aplicado en cada unidad espacial, se aplicó una función lineal que toma en cuenta la densidad del drenaje y un factor k que depende del tipo de cultivo y su estado fenológico. Así para obtener el porcentaje de PFS perdido por deriva se aplica:

$$\%D = k \times DDI_i \times 100$$

En la Tabla 11 se resumen los parámetros de los modelo DDI/%D y la fuente de obtención para su implementación.

Tabla 11. Parámetros del modelo  $DDI_i$  y %D, unidades y fuente de obtención de cada uno.

Parámetro	Descripción	Unidades	Fuente
%D	Fracción de PFS aplicado perdido por deriva	%	
L	Largo total de los cursos de drenaje de la celda considerada	m	t
W	Ancho del curso de agua	m	
A	Área de la celda de referencia	m <sup>2</sup>	
K	Estado fenológico del cultivo	Adimensional	(Ganzelmeier et al., 1995)

**Fuente:** elaboración propia

### 3.2. Escorrentía superficial de microorganismos: sub-modelo SWAT

Para estimar la carga de microorganismos patógenos que producto del pastoreo y actividad agrícola a través del aporte de abono/estiércol, alcanzan las aguas superficiales, se utilizará un sub-modelo extraído del modelo SWAT. Este modelo es función del volumen de escurrimiento y de la interacción suelo/bacteria:

$$Bact_{sup} = \frac{Bact_{sol} \times Q}{\rho_a \times Prof_{sup} \times K_{bact,sup}}$$

En la Tabla 12 se resumen los parámetros de sub-modelo SWAT para microorganismos y la fuente de obtención para su implementación.

Tabla 12. Parámetros del de sub-modelo SWAT para microorganismos, unidades y fuente de obtención de cada uno.

Parámetro	Descripción	Unidades	Fuente
Bact <sub>sup</sub>	Cantidad de bacterias que se pierden por escorrentía superficial	CFU m <sup>-2</sup>	---
Bact <sub>sol</sub>	Cantidad de bacterias presentes en la solución del suelo	cfu m <sup>-2</sup>	
ρ <sub>a</sub>	Densidad aparente del suelo (primeros 10 mm)	Mg m <sup>-3</sup>	Linsley et al. (1982); Poffijn et al. (1988)
Prof <sub>sup</sub>	Profundidad del suelo	mm	10 (decisión técnica)
K <sub>bact, sup</sub>	Coefficiente de partición bacteria/suelo	Mg m <sup>-3</sup>	175 (Meitsch et al. 2005)

CFU: unidad de formación de colonias. **Fuente:** elaboración propia

### 3.2.1. Estimación de la demanda y suministro de Nitrógeno

Para estimar la cantidad de bacterias presentes en la solución de suelo se utilizó la información disponible respecto al manejo de abonos (SAG-INDAP, 2005), donde se especifica la aplicación de guano (vacunos y ovinos) como una medida tendiente a mejorar las condiciones de los suelos de cultivos agrícolas. A continuación se muestra la serie de pasos y cálculos realizados para estimar la cantidad de bacterias presentes en la solución de suelo

En este documento la dosis de guano a aplicar debe cumplir con el concepto de “Dosis Máxima no Contaminante”. En consideración a lo anterior, fue definido como factor de restricción de la dosis de guano, el Nitrógeno (N) aportado a través de su aplicación.

Así la cantidad de guano a aplicar, estará condicionada por la dosis de Nitrógeno resultante del cálculo de este nutriente considerando su balance en el suelo, dosis estimada a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Dosis N} = \frac{\text{Demanda N cultivo} - (\text{Suministro N} + \text{residuo cosecha})}{\text{Eficiencia fertilización}}$$

De la expresión anterior se desprende:

**1. Demanda de Nitrógeno:** cantidad de Nitrógeno requerido por el cultivo para que exprese un determinado potencial productivo (productividad alcanzable en el agrosistema) en  $\text{kg N ha}^{-1}$ .

De acuerdo a estos valores se procedió de la siguiente forma en cada tipo de cultivo:

a) Para la demanda de los cultivos frutales, estos fueron agrupados en las categorías mencionadas en la sección 3.5 y se utilizó el promedio de las especies contenidas en la categoría correspondiente. Por otro lado, para las categorías que no se tuvo información se utilizó el promedio total de las especies frutícolas registradas.

b) Para hortalizas y viñedos se utilizó el valor promedio de la información recopilada.

**2. Suministro de Nitrógeno:** Corresponde a la suma del Nitrógeno en el perfil del suelo más el Nitrógeno de los residuos de cosecha.

$$\text{Suministro} = \text{N perfil suelo} + \text{N residuo de cosecha}$$

**3. Eficiencia:** Para el cálculo de la eficiencia de la fertilización nitrogenada de los cultivos se ha considerado que un 15% del N aportado es inmovilizado por los microorganismos del suelo, se pierde un 15% por desnitrificación y un 5% por lixiviación. En consideraciones generales, una recuperación de un 65% es un valor común obtenido en distintas investigaciones y es el que ha sido utilizado para el cálculo de la dosis de NSAG-INDAP (2005).

Los valores de demanda utilizados en esta consultoría y que corresponden a los propuestos por la guía de Manejo y buenas prácticas de aplicación de guano en el suelo para frutales, hortalizas y viñedos se muestran en las Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15, respectivamente. Por otro lado, los valores de suministro fueron ajustados al 50% de la demanda de acuerdo a valores de ejemplos calculados en este documento. Se utilizó este porcentaje debido a la escasa información disponible y entendiendo que el valor de 50% es una medida que no subestima o sobreestima los valores de la modelación.

Tabla 13. Valores de Demanda, suministro y dosis de Nitrógeno (N) aplicada a distintas especies de cultivos frutícolas.

<b>Especie</b>	<b>Demanda N (kg N ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Suministro N (kg N ha<sup>-1</sup>)</b>
Peral	230	115
Manzano rojo	210	105
Manzano verde	245	122,5
Vid Ribier	220	110
Vid Thompson	160	80
Kiwi	225	112,5
Nectarin	170	85
Duraznero	280	140
Damasco	170	85
Ciruelo	175	87,5
Cerezo	155	77,5
Almendro	120	60
Nogal	170	85
Palto	185	92,5
Limonero	230	115
Naranja	220	110
<b>Promedio</b>	198	99
<b>Desviación estándar.</b>	41,0	20,5

**Fuente:** Guía de manejo y buenas prácticas de aplicación de guano en el suelo (SAG)

Tabla 14. Valores de Demanda, suministro y dosis de Nitrógeno (N) aplicada a distintas especies de cultivos de hortalizas.

<b>Especie</b>	<b>Demanda N (kg N ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Suministro N (kg N ha<sup>-1</sup>)</b>
Tomate	170	85
repollo	110	55
espinaca	100	50
papa	150	75
cebolla	160	80
<b>Promedio</b>	138	69
<b>Desviación estándar.</b>	31	16

**Fuente:**Caracterización del manejo de fertilizantes nitrogenados(INIA)

Tabla 15. Valores de Demanda, suministro y dosis de Nitrógeno (N) aplicada a viñedos.

<b>Producción de vid (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Demanda N (kg N ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Suministro N (kg N ha<sup>-1</sup>)</b>
25	75	37,5
35	105	52,5
50	150	75,0
<b>Promedio</b>	110	55
<b>Desviación estándar.</b>	37,7	18,9

**Fuente:**Caracterización del manejo de fertilizantes nitrogenados(INIA)

Finalmente, a partir de la información de demanda y suministro de N, se puede estimar la dosis de Nitrógeno que debe ser aplicada a cada cultivo de acuerdo a la expresión explicada en el comienzo de esta sección. La Tabla 16 resume los valores de de Nitrógeno aplicados a cada tipo de cultivo y que permitirán estimar la dosis de guano a ser aplicada en cada uno.

Tabla 16. Valores de dosis de Nitrógeno a ser aplicadas a cada tipo de cultivo.

Tipo cultivo	Categoría	Dosis Nitrógeno (kg N ha <sup>-1</sup> )
Frutícolas	Berries	105,77
	Carozos	94,87
	Chirimoyo	105,77
	Cítricos	119,23
	Granado	105,77
	Kiwi	100,00
	Lúcumo	105,77
	Níspero	105,77
	Nogal	88,46
	Olivo	105,77
	Otros	105,77
	Palto	103,85
	Pomáceas	128,21
Tuna	105,77	
Vid de mesa	103,85	
Hortalizas		106,15
Viñedos		84,62

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.2. Cálculo de la dosis de abono/estiércol y contenido bacteriano.

El cálculo de la dosis de abono/estiércol a ser aplicada depende directamente de la dosis de Nitrógeno, la mineralización del Nitrógeno y de la fracción de nitrógeno contenida en la composición del guano utilizado. En esta consultoría se utilizó un promedio de los valores de composición de Nitrógeno contenidos en estiércol vacuno, ovino y caprino. Por otro lado, de acuerdo a ASEAE (2000) el contenido bacteriano promedio presente en heces de vacuno es de  $1,3 \times 10^{10}$  UFC g<sup>-1</sup>. Debido a la nula información disponible respecto al contenido bacteriano presente en heces de caprinos y ovinos, se utilizó indistintamente para cada tipo de abono el valor señalado para heces de bovino, teniendo presente la posible sobreestimación de los valores modelados posteriormente. Así, el contenido bacteriano en cada tipo de cultivo queda resumido en la Tabla 17.

Tabla 17. Dosis de abono aplicado y contenido de bacterias por hectárea para cada tipo de cultivo.

Tipo cultivo	Especie	Tipo abono/estiércol (kg ha <sup>-1</sup> )			Promedio abono/estiércol (kg ha <sup>-1</sup> )	Contenido bacteriano (UFC ha <sup>-1</sup> )
		Cabra	Oveja	Vaca		
	Berries	7406,81	6251,14	7345,09	7001,01	9,10E+17
	Carozos	6643,68	5607,08	6588,32	6279,69	8,16E+17
	Chirimoyo	7406,81	6251,14	7345,09	7001,01	9,10E+17
	Cítricos	8349,49	7046,74	8279,91	7892,05	1,03E+18
	Granado	7406,81	6251,14	7345,09	7001,01	9,10E+17
	Kiwi	7002,80	5910,17	6944,44	6619,14	8,60E+17
	Lúcumo	7406,81	6251,14	7345,09	7001,01	9,10E+17
Frutícola	Níspero	7406,81	6251,14	7345,09	7001,01	9,10E+17
	Nogal	6194,79	5228,22	6143,16	5855,39	7,61E+17
	Olivo	7406,81	6251,14	7345,09	7001,01	9,10E+17
	Otros	7406,81	6251,14	7345,09	7001,01	9,10E+17
	Palto	7272,14	6137,48	7211,54	6873,72	8,94E+17
	Pomáceas	8977,95	7577,14	8903,13	8486,07	1,10E+18
	Tuna	7406,81	6251,14	7345,09	7001,01	9,10E+17
	Vid de mesa	7272,14	6137,48	7211,54	6873,72	8,94E+17
Hortalizas		7433,74	6273,87	7371,79	7026,47	9,13E+17
Viñedos		5925,45	5000,91	5876,07	5600,81	7,28E+17

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.3. Estimación del requerimiento de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por cultivo

El fósforo es aplicado de distinta forma dependiendo del sistema de riego. Para esta estimación se consideraron aplicaciones de superfosfato triple (SPT), para todos aquellos cultivos que su riego no es tecnificado (surco, tendido, u otro) y aplicaciones de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) para aquellos cultivos con riego tecnificado. La estimación utilizada fue un promedio con todos los cultivos frutícolas, debido a la poca información disponible, obteniéndose una dosis para frutales, otra la viñas y finalmente para hortalizas. La dosis final de fósforo soluble en la superficie del suelo fue estimada a partir de los requerimientos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de algunos cultivos. Los requerimientos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fueron

calculados en base a la productividad esperada de los cultivos y los valores de  $P_2O_5$  (mg/100g) presentes en el fruto de algunos cultivos (valores sugeridos por Hirzel, 2010). Los valores que estaban ausentes fueron obtenidos a través de un promedio de frutales de similares, por ejemplo, en ausencia del valor para perales se utilizó el promedio entre manzanas rojas y verdes (ver tabla) y si su rendimiento es muy distinto, se utilizó el promedio de los aportes de  $P_2O_5$  en fruto, considerando todos los datos. Con los pesos atómicos se estimaron las cantidades aportadas de fósforo soluble.

Tabla 18. Estimaciones de las dosis de aplicación de fósforo para hortalizas, viñas y frutales.

Especie	Rendimiento (ton/Ha)			P2O5 mg/100g de fruto	Requerimientos P2O5 Kg/ha	H3PO4 Kg/ha	H3PO4 (gr/ha) Aplicaciones = 25	Riego Tecnificado			Riesgo Gravitacional Psol de SPT (g/ha)
	Medio	Alto	Promedio					Psol de H3PO4 (g)	SPT (Kg)	SPT (g/ha)	
Peral	50	70	60		31.50	18.90	756.00	238.95	68.48	3013.04	35.09
Manzano rojo	50	70	60	21	31.50	18.90	756.00	238.95	68.48	3013.04	35.09
Manzano verde	60	80	70	21	36.75	22.05	882.00	278.78	79.89	3515.22	40.94
Vid Ribier	25	35	30	31	23.25	13.95	558.00	176.37	50.54	2223.91	25.90
Vid Thompson	20	30	25	31	19.38	11.63	465.00	146.97	42.12	1853.26	21.58
Kiwi	20	35	27.5	87.5	60.16	36.09	1443.75	456.33	130.77	5754.08	67.01
Nectarin	20	25	22.5		22.96	13.77	550.97	174.15	49.91	2195.89	25.57
Duraznero	25	40	32.5		33.16	19.90	795.84	251.55	72.09	3171.84	36.94
Damasco	10	20	15		15.30	9.18	367.31	116.10	33.27	1463.93	17.05
Ciruelo	15	25	20		20.41	12.24	489.75	154.80	44.36	1951.90	22.73
Cerezo	8	15	11.5	35	10.06	6.04	241.50	76.33	21.88	962.50	11.21
Almendra	1.5	2.5	2		2.04	1.22	48.98	15.48	4.44	195.19	2.27
Nogal	3	4.5	3.75		3.83	2.30	91.83	29.02	8.32	365.98	4.26
Palto	10	15	12.5	40	12.50	7.50	300.00	94.82	27.17	1195.65	13.92
Limonero	35	50	42.5	60	63.75	38.25	1530.00	483.59	138.59	6097.83	71.01
Naranja	35	50	42.5		43.36	26.02	1040.72	328.94	94.27	4147.79	48.30
Arándanos					70.00	42.00	1680.00	531.00	152.17	6695.65	77.98
<b>Hortalizas</b>					140.00	84	1680	<b>531.005</b>	304.348	13391.304	<b>155.950</b>
<b>Viña</b>								<b>161.672</b>			<b>23.741</b>
<b>Frutales</b>								<b>223.067</b>			<b>32.756</b>

### 3.3. Escorrentía superficial de nutrientes: Sub-modelos SWAT

Se utilizó como modelos base los expuesto en la documentación teórica de SWAT (Neitsch et al., 2005) para los cálculos de las concentraciones de nitratos y fósforo en la escorrentía superficial.

#### 3.3.1 a) Nitrato

El nitrato transportado con la escorrentía superficial puede ser estimado mediante:

$$NO3_{sup} = Q_{sup} \times \beta_{NO3} \times \left[ \frac{NO3_{ly} \times \left( 1 - \exp \left[ \frac{-w_m}{(1-\theta) \times SAT} \right] \right)}{w_m} \right]$$

#### 3.3.2 b) Fósforo

El fósforo transportado con la escorrentía superficial puede ser estimado mediante:

$$P_{sup} = \frac{P_{sol,sup} \times Q_{sup}}{\rho_b \times prof_{sup} \times k_{d,sup}}$$

En la Tabla 19 se resumen los parámetros de sub-modelo SWAT para nutrientes y la fuente de obtención para su implementación.

Tabla 19. Parámetros, unidades y fuente de obtención de cada sub-modelo SWAT para a) Nitrato y b) Fósforo.

Parámetro	Descripción	Unidades	Fuente
<b>a)</b>			
$NO_{3\text{sup}}$	Nitrato removido en la escorrentía superficial	$kg\ NO_3\text{-N}\ ha^{-1}$	
$\Theta$	Fracción de porosidad que excluye aniones	Adimensional	0.01 – 1.00 (Neitsch et al. 2009)
$\beta_{NO_3}$	Coeficiente de percolación de nitrato	Adimensional	0.2 (Neitsch et al. 2009)
$NO_{3ly}$	Cantidad de nitrato en la capa del suelo	$kg\ NO_3\text{-N}\ ha^{-1}$	(Neitsch et al. 2009)
$w_m$	Cantidad de agua móvil en la capa del suelo	mm $H_2O$	(Neitsch et al. 2009)
SAT	Contenido de agua de saturación de la capa de suelo	mm $H_2O$	(Neitsch et al. 2009)
<b>b)</b>			
$P_{\text{sup}}$	Cantidad de fósforo perdido por escorrentía superficial	$kg\ P\ ha^{-1}$	(Neitsch et al. 2009)
$P_{\text{sol, sup}}$	Cantidad de fósforo en solución en los primeros 10 mm de suelo	$kg\ P\ ha^{-1}$	(Neitsch et al. 2009)
$\rho_a$	Densidad aparente del suelo en los primeros 10 mm	$mg\ m^{-3}$	(Neitsch et al. 2009)
$prof_{\text{sup}}$	Profundidad de la capa de suelo superficial	mm	10 (Neitsch et al. 2009)
$K_{d, \text{sup}}$	Coeficiente de partición fósforo suelo	Adimensional	175 (Neitsch et al. 2009)
$Q_{\text{sup}}$	escorrentía superficial generada en un día	mm $H_2O$	

### 3.4. Volumen de precipitaciones

Para la implementación de los modelos que consideran el volumen de un evento de precipitaciones, se seleccionaron tres eventos representativos de la cuenca del Río Aconcagua. Para el análisis se utilizó una serie de precipitaciones diarias en milímetros, disponible en la base de datos de la dirección general de aguas (DGA). Se consideraron los datos de 5 estaciones de monitoreo (Tabla 20) durante un periodo de 10 años comprendido entre 2004 y 2014.

Tabla 20. Estaciones de monitoreo de precipitaciones y su ubicación geográfica (UTM WGS 84 19S).

Estación de monitoreo	Ubicación geográfica
Catemu	6376442N – 318756E
Los Andes	6365969N – 350240E
Quillota	6358041N – 293356E
Río Aconcagua	6374237N – 337307E
San Felipe	6374237N – 337307E

Fuente: Dirección general de aguas (DGA). Servicio de estaciones en tiempo real.

El procedimiento para caracterizar las lluvias de la cuenca del Río Aconcagua se basó en la determinación de la lluvia máxima mensual ( $P_{max}$ ) para cada estación de muestreo dentro de cada año (Tabla 21). Esta información permitió determinar los volúmenes de lluvia de mayor ocurrencia en la cuenca del Río Aconcagua.

En base a este resultado que se muestra en la Figura 1, las precipitaciones consideradas en la modelación corresponden a precipitaciones de i) alta frecuencia (10 mm), ii) moderada a baja frecuencia (30 mm) y iii) de baja frecuencia (50 mm).

Tabla 21. Valores de precipitaciones máximas mensuales en milímetros ( $P_{max}$ ) en la estación de monitoreo: a) Catemu, b) Los andes, c) Quillota, d) Río Aconcagua y e) San Felipe.

<b>a) Estación de monitoreo Catemu</b>											
<b>Mes</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Enero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Febrero	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0	0,0
Marzo	9,5	17,8	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Abril	23,1	0,9	0,1	0,0	13,6	0,0	0,1	0,8	11,3	0,0	0,0
Mayo	5,8	10,5	3,5	0,0	15,5	0,0	14,9	0,0	61,8	40,5	3,5
Junio	17,8	32,3	30,0	30,0	30,0	31,0	28,5	30,5	26,7	19,0	30,0
Julio	26,0	7,2	37,0	4,5	19,2	15,0	31,5	24,5	0,0	1,4	8,5
Agosto	33,1	20,0	7,5	13,5	62,3	29,0	5,5	13,0	17,2	16,6	10,2
Septiembre	6,8	4,0	0,8	0,0	6,1	4,2	9,6	0,0	0,5	0,0	8,5
Octubre	0,0	3,2	57,5	0,0	0,0	0,0	5,5	0,0	18,7	0,0	0,0
Noviembre	25,8	10,9	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Diciembre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,8	0,0	0,0

<b>b) Estación de monitoreo Los Andes</b>											
<b>Mes</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Enero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
Febrero	1,0	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Marzo	6,5	16,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Abril	38,0	19,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	2,5	20,5	0,0	0,0
Mayo	6,5	8,0	5,0	3,0	19,5	2,0	25,0	0,0	28,5	34,5	0,6
Junio	23,0	37,0	54,0	48,0	29,0	31,5	20,0	27,0	13,5	17,0	28,0
Julio	31,5	11,0	52,0	4,0	14,0	14,5	18,0	19,0	1,0	0,0	5,5
Agosto	37,5	25,0	8,0	11,5	45,0	36,0	7,0	8,0	9,5	20,0	15,5
Septiembre	18,5	10,5	0,0	0,0	5,5	8,5	9,5	3,0	7,5	0,0	13,0
Octubre	1,5	10,0	34,0	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	31,5	0,0	0,0
Noviembre	37,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,0	0,0	0,0	0,0	1,6
Diciembre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,5	0,0	0,0

Continuación

**c) Estación de monitoreo Quillota**

Mes	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Febrero	0,0	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Marzo	10,5	16,5	0,0	2,5	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Abril	25,0	1,5	0,0	0,0	13,0	0,0	0,0	6,0	3,5	0,0	0,0
Mayo	13,0	21,5	12,0	1,3	71,0	0,0	28,0	0,0	62,0	32,5	6,5
Junio	22,0	43,5	51,0	32,5	29,0	50,0	25,5	31,5	56,0	30,0	51,0
Julio	21,0	19,0	66,0	14,2	17,0	15,0	27,0	17,0	0,0	3,5	25,0
Agosto	50,0	30,0	18,0	16,0	71,0	32,0	4,5	12,0	15,5	17,0	10,5
Septiembre	8,5	9,0	3,0	0,0	6,0	4,0	19,0	0,0	1,0	0,0	21,5
Octubre	0,5	10,0	41,5	0,0	0,0	0,0	13,5	0,0	40,0	0,0	0,0
Noviembre	42,0	14,5	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Diciembre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,5	0,0	0,0

**d) Estación de monitoreo Río Aconcagua**

Mes	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Febrero	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0	0,0
Marzo	9,5	17,8	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Abril	23,1	0,9	0,1	0,0	13,6	0,0	0,1	0,8	11,3	0,0	0,0
Mayo	5,8	10,5	3,5	0,0	15,5	0,0	14,9	0,0	61,8	40,5	3,5
Junio	17,8	32,3	30,0	30,0	30,0	31,0	28,5	30,5	26,7	19,0	30,0
Julio	26,0	7,2	37,0	4,5	19,2	15,0	31,5	24,5	0,0	1,4	8,5
Agosto	33,1	20,0	7,5	13,5	62,3	29,0	5,5	13,0	17,2	16,6	10,2
Septiembre	6,8	4,0	0,8	0,0	6,1	4,2	9,6	0,0	0,5	0,0	8,5
Octubre	0,0	3,2	57,5	0,0	0,0	0,0	5,5	0,0	18,7	0,0	0,0
Noviembre	25,8	10,9	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Diciembre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,8	0,0	0,0

Continuación

**e) Estación de monitoreo San Felipe**

Mes	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
Febrero	1,0	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Marzo	6,5	16,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Abril	38,0	19,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	2,5	20,5	0,0	0,0
Mayo	6,5	8,0	5,0	3,0	19,5	2,0	25,0	0,0	28,5	34,5	0,6
Junio	23,0	37,0	54,0	48,0	29,0	31,5	20,0	27,0	13,5	17,0	28,0
Julio	31,5	11,0	52,0	4,0	14,0	14,5	18,0	19,0	1,0	0,0	5,5
Agosto	37,5	25,0	8,0	11,5	45,0	36,0	7,0	8,0	9,5	20,0	15,5
Septiembre	18,5	10,5	0,0	0,0	5,5	8,5	9,5	3,0	7,5	0,0	13,0
Octubre	1,5	10,0	34,0	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	31,5	0,0	0,0
Noviembre	37,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,0	0,0	0,0	0,0	1,6
Diciembre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,5	0,0	0,0

Fuente: Dirección general de aguas (DGA). Servicio de estaciones en tiempo real.

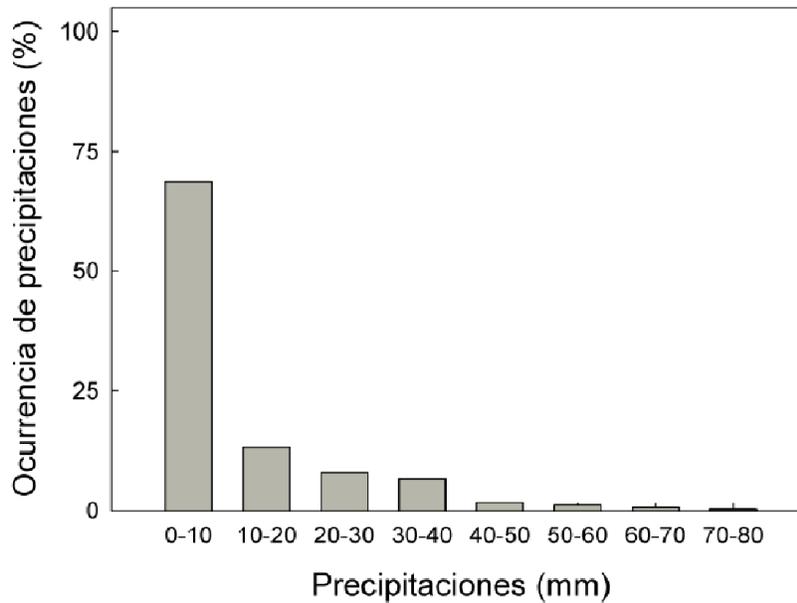


Figura 1. Ocurrencia de precipitaciones máximas (Pmax) durante el periodo de estudio de 10 años para las 5 estaciones de monitoreo.

### 3.5. Cultivos

La evaluación de la contaminación difusa a través de escorrentía proveniente de la aplicación de PFS en las actividades agrícolas, requiere contemplar la fenología o estado de crecimiento de los cultivos. Esto debido a que parte de los PFS aplicados serán retenidos por la cobertura foliar de las plantas y esta retención es denominada “intercepción planta” y está directamente relacionada con su estado de crecimiento. En el modelo la intercepción se representa como una fracción o porcentaje de PFS aplicado que no alcanza el suelo y es retenido por los tallos y hojas, por lo tanto, no está expuesto a la escorrentía superficial.

En este trabajo se contemplaron los cultivos i) frutícolas, ii) hortícolas y iii) viñas/parrones. Para cada uno de estos tipos de cultivos se realizó un tratamiento por separado de acuerdo a la información disponible con el objetivo de determinar la intercepción planta asociada a su estado de crecimiento. Como se explica en las siguientes secciones.

#### 3.5.1. Caracterización de cultivos frutícolas

A partir de la caracterización espacialmente explícita disponible para cada cultivo de la cuenca del Río Aconcagua, se realizó una clasificación del tipo de fruto (Tabla 22 y Tabla 23). Esta información a continuación fue utilizada para la determinación de la intercepción de cada cultivo.

Tabla 22. Clasificación y abundancia por provincia comuna y distrito de los cultivos totales frutícolas presentes en la cuenca del Río Aconcagua.

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)
		Carozos	644,78
		Cítricos	54,4
		Nogal	555,77
	<b>Calle Larga</b>	Olivo	18,79
<b>Los Andes</b>		Palto	28,18
		Pomáceas	0,23
		Vid de mesa	1347,85
	<b>Los Andes</b>	Carozos	137,8
		Granado	10,06

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)
	<b>Rinconada</b>	Nogal	260,08
		Olivo	1,07
		Palto	122,15
		Vid de mesa	623,41
		Berries	35,36
		Carozos	185,95
		Citricos	0,82
		Granado	27,87
		Nogal	482,6
		Palto	17,85
		Pomáceas	2,38
		Vid de mesa	876,27
	<b>San Esteban</b>	Berries	18,69
		Carozos	503,97
		Cítricos	55,98
		Granado	33,99
		Nogal	574,13
		Olivo	40,05
		Otros	7,19
		Palto	69,57
		Tuna	0,46
		Vid de mesa	2095,93
		Carozos	97,78
		Chirimoyo	3,5
<b>Margamarga</b>	<b>Limache</b>	Cítricos	249,39
		Kiwi	31,8
		Lúcumo	1,7
		Nogal	86,86
		Olivo	1
		Otros	8,5

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)
	<b>Olmué</b>	Palto	500,39
		Tuna	0,79
		Vid de mesa	69,66
		Carozos	36,65
		Chirimoyo	0,15
		Cítricos	128,32
		Granado	1,55
		Kiwi	27,4
		Lúcumo	4,45
		Nogal	7,72
		Olivo	26,77
		Otros	6,1
	<b>Villa Alemana</b>	Palto	199,88
		Vid de mesa	25,65
		Carozos	5,21
		Palto	2,67
		Berries	10,1
		Carozos	6,54
		Cítricos	23,06
		Kiwi	2
<b>Quillota</b>	<b>Calera</b>	Nogal	8,6
		Palto	526,78
	Berries	7	
	Carozos	101,86	
	Cítricos	302,34	
	<b>Hijuelas</b>	Kiwi	45,78
		Lúcumo	3
		Níspero	10
		Nogal	93,45
		Olivo	1,5

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)
		Otros	2,55
		Palto	2506,48
		Berries	0,72
		Carozos	5,4
		Chirimoyo	30,97
		Cítricos	105,55
		Kiwi	7,22
	<b>La Cruz</b>	Lúcumo	0,8
		Níspero	3,81
		Nogal	11,56
		Olivo	1
		Otros	0,4
		Palto	2071,44
		Berries	12,09
		Carozos	183,42
		Cítricos	734,19
	<b>Nogales</b>	Kiwi	53,79
		Nogal	557,16
		Olivo	22,81
		Palto	908,61
		Vid de mesa	20,76
	<b>Quillota</b>	Berries	57,92
		Carozos	35,4
		Chirimoyo	10,39
		Cítricos	661,49
		Granado	1,82
		Kiwi	12,04
		Lúcumo	1,23
		Níspero	8,02
		Nogal	8,23

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)	
San Felipe	Catemu	Olivo	20,77	
		Palto	2144,44	
		Tuna	0,01	
		Vid de mesa	8,89	
		Berries	4,32	
		Carozos	144,96	
		Cítricos	48,85	
		Granado	4,04	
		Kiwi	2,84	
		Nogal	514,87	
		Olivo	17,47	
		Palto	524,63	
		Pomáceas	7,51	
		Tuna	3,4	
	Vid de mesa	639,77		
	Carozos	269,91		
	Cítricos	196,83		
	Nogal	101,05		
	Llaillay	Olivo	28,91	
		Palto	779,29	
		Pomáceas	6,6	
		Tuna	5	
		Vid de mesa	828,44	
		Carozos	171,77	
		Cítricos	287,26	
		Granado	8	
		Panquehue	Nogal	68,67
			Olivo	9,41
Otros	1,21			
Palto	1973,66			

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)
		Pomáceas	7,68
		Vid de mesa	333,97
		Carozos	965,56
		Cítricos	3,71
	<b>Putauendo</b>	Nogal	668,7
		Olivo	13,6
		Otros	0,82
		Palto	4,81
		Tuna	4,71
		Vid de mesa	128,66
		Berries	2
		Carozos	773,01
		Cítricos	44,03
		Granado	39,71
	<b>San Felipe</b>	Nogal	457,28
		Olivo	21,14
		Palto	377,12
		Pomáceas	77,04
		Tuna	9,81
		Vid de mesa	2327,81
		Carozos	739,88
		Cítricos	76,3
		Granado	6,27
		Níspero	0,09
	<b>Santa María</b>	Nogal	355,73
		Olivo	156,94
		Otros	3,67
		Palto	49,09
		Pomáceas	7,79
		Tuna	31,82

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)
		Vid de mesa	2067,43
Valparaíso	Concón	Palto	1,04

Fuente: Catastro frutícola (CIREN, 2014)

Tabla 23. Clasificación y abundancia de los cultivos frutícolas presentes en la cuenca del Río Aconcagua.

Clasificación	Especies	Superficie total (ha)
Berries	Arándano Americano	143,80
	Frambuesa	3,60
Carozo	Almendro	429,31
	Cerezo	206,15
	Ciruelo Europeo	111,38
	Ciruelo Japonés	102,89
	Damasco	278,10
	Duraznero Fresco	290,08
	Duraznero Conservero	2945,62
	Nectarino	311,50
	Pistacho	0,37
	Pluots(carozo híbrido)	9,42
Chirimoyo	Chirimoyo	44,81
	Kumquat	4,14
	Lima	3,24
Cítrico	Limonero	746,49
	Mandarino	864,32
	Naranja	1232,24
	Pomelo	78,52
Granado	Granado	111,47
Kiwi	Kiwi	176,27
	Kiwi Gold	6,60
Lúcumo	Lúcumo	11,18

Clasificación	Especies	Superficie total (ha)
Níspero	Níspero	21,92
Nogal	Nogal	4484,69
Olivo	Olivo	357,35
Otros	Caqui	22,69
	Feijoa	1,05
	Higuera	5,70
Palto	Palto	11898,55
	Manzano Rojo	0,23
Pomáceas	Membrillo	3,06
	Peral	95,34
Tuna	Tuna	56,00
Vid de Mesa	Vid de Mesa	10760,94

**Fuente:** Catastro frutícola (CIREN, 2014)

### 3.5.1.2. Estado fenológico de cultivos frutícolas

Para la determinación del estado fenológico de los cultivos presentes en la cuenca del Río Aconcagua se utilizó la información disponible de CIREN (artículos N°83 Y 84), de la cual se consideraron 5 estados de crecimiento según corresponda a cada cultivo (Tabla 24).

Tabla 24. Estados fenológicos de los cultivos frutícolas presentes en la cuenca del Río Aconcagua

Categoría	Estado de crecimiento
1	Brote
2	Floración
3	Fructificación
4	Cosecha
5	Caída de hojas

Fuente: Requerimientos de clima y suelo (artículos 83-84; CIREN, 1989)

Para ajustar los valores de interceptación, durante la aparición de las hojas, a la interceptación mínima y máxima se utilizó las siguientes funciones:

$$I = I_{\min} + (I_{\max} - I_{\min})f_{\text{emergencia}}(t)$$

donde,

$$f_{\text{emergencia}} = c_0 \times \left(1 + c_1 \times e^{-c_2(t-t_{\text{emergencia}})}\right)^{c_3}$$

Los parámetros empíricos  $c_1$  y  $c_3$  son constante ( $C_1 = -0,07$  y  $c_3 = 100$ ), ya que la función siempre comienza a aumentar en el día 1 después de la emergencia y el valor umbral  $c_0$  se establece en la cobertura máxima propuesta por (Strassemeyer et al. 2007). El parámetro  $c_2$  depende del intervalo de tiempo entre la fecha de emergencia y la de maduración, siendo  $t$  el número día del año, mediante la siguiente función:

$$c_2 = 8.2246 \times (t_{\text{maduración}} - t_{\text{emergencia}})^{-0.9855}$$

Como los cultivos fueron agrupados de acuerdo a su fenología en el tiempo, se calculó un valor promedio para cada grupo de cultivos, con el cual fue estimado el parámetro empírico " $c_2$ ". Esta información permitió establecer el porcentaje de interceptación máxima para el estado de crecimiento foliar correspondiente al mes de octubre (Tabla 25) mediante los modelos descritos previamente.

Tabla 25. Estado fenológico al mes de octubre de cada tipo de cultivo y su porcentaje de interceptación correspondiente a esa fecha.

Tipo de cultivo	Categoría de crecimiento a octubre	Intercepción I (%)
Carozos	3	0.74
Berries	2	0.60
Chirimoyo	4	0.80
Cítricos	4	0.70
Granado	3	0.70
Kiwi	2	0.54
Lúcumo	4	0.20

Tipo de cultivo	Categoría de crecimiento a octubre	Intercepción I (%)
Nogal	2	0.60
Olivo	2	0.70
Otros	3	0.69
Palto	3	0.80
Pomáceas	3	0.61
Níspero	4	0.70
Tuna	4	0.50
Vid de mesa	2	0.70

Fuente: elaboración propia. El porcentaje de intercepción (I%) corresponde a la fracción del PFS aplicado que es retenido por la cobertura foliar de la especie.

Tabla 26. Parámetros de los modelos de intercepción, unidades y fuente de obtención de cada uno.

Parámetro	Descripción	Unidades	Fuente
I	Intercepción actual	%	
$I_{max}$	Intercepción máxima	%	CIREN (1989)
$I_{min}$	Intercepción mínima	%	CIREN (1989)
$f_{emergencia}$	Función del cálculo de la emergencia	-	
$c_0, c_1, c_2, c_3$	Parámetros empíricos	-	Strassemeyer(2007)
$t_{emergencia}$	Día de la emergencia	Día	CIREN (1989)
t	Día actual	Día	Día de octubre (decisión técnica)

Fuente: elaboración propia

### 3.5.2. Caracterización de cultivos de hortalizas

A partir de la caracterización espacialmente explícita de los cultivos de hortalizas disponibles para cada distrito de la cuenca del Río Aconcagua, se realizó una agrupación de estos para determinar las hectáreas totales cultivadas (Tabla 27). La información

detallada sobre cada especie cultivada se encuentra en la información suplementaria de esta consultoría. Posteriormente, a partir de los cultivos presentes en la zona y de la información disponible en literatura (Linders, 2000; Strassemeyer, 2007) se determinó una intercepción promedio para las hortalizas (Tabla 28).

Tabla 27. Clasificación y abundancia por provincia comuna y distrito de los cultivos totales de hortalizas presentes en la cuenca del Río Aconcagua.

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)	
	Calle Larga	El Guindal	2,80	
		El Patagual	25,50	
		Pocuro	12,00	
		San Vicente	2,80	
		Tabolango	13,40	
	Los Andes		Chacabuco	9,40
			El Sauce	0,10
			Estación	0,20
			La Feria	10,50
	Los Andes	Rinconada	Caracoles	1,80
			Casuto	1,70
			Los Placeres	1,40
	San Esteban		Campos de Ahumada	3,70
			Cariño Botado	6,10
			La Ermita	4,30
La Florida			0,40	
Las Juntas			9,10	
Lo Calvo			0,20	
Río Colorado			4,70	
San Francisco			0,80	
San Regis			9,90	
Margamarga	Limache	Ferrocarril	147,05	
		Hipódromo	116,25	

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)
		La Trinidad	329,26
		Limachito	19,70
		Lo Chaparro	149,19
		Los Maitenes	72,50
		Tabolango	65,60
		Urmeneta	6,50
	Olmué	Granizo	41,92
		La Dormida	3,40
		Olmué	103,08
		Pelumpén	21,11
		Quebrada Alvarado	3,40
Villa Alemana	Quebrada Escobares	5,50	
	Calera	Artificio	175,47
		Las Cabritas	0,10
		Pachacama	0,80
Quillota	Hijuelas	Conchalí	76,69
		Coquimbito	59,20
		Ocoa	358,34
		Romeral	879,61
		San Antonio	42,41
	La Cruz	Charrabata	6,00
		La Cruz	5,50
		Lo Rojas	1,10
		Pocochay	148,93
Quillota	Nogales	El Melón	436,90
		La Peña	233,40
		Nogales	22,04
		Pucalán	334,30
Quillota	Avenida Valparaíso	6,41	

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)	
San Felipe		Boco	43,58	
		Cancha Santa Ana	0,20	
		La Capilla	679,19	
		La Palma	375,78	
		La Tetera	293,27	
		Mauco	75,68	
		Rautén	372,96	
		San Pedro	289,53	
		Catemu	314,50	
		Catemu	Cerrillos	1,70
			Las Vacas	148,42
			Ñilhue	21,60
			San José	415,44
		Llaillay	Las Mazas	900,95
			Las Vegas	501,60
			Llaillay	4,15
			Los Loros	80,00
		Panquehue	Lo Campo	72,60
			Palomar	17,40
			Panquehue	5,20
	San Roque		68,25	
	Putando	Las Coimas	2,40	
		Lo Vicuña	34,30	
		Piguchén	1,70	
		Putando	36,10	
		Quebrada de Herrera	45,90	
		Rinconada de Silva	35,80	
	San Felipe	Almendral	50,92	
		Bellavista	34,60	

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)
Valparaíso		Carmen	7,80
		Curimón	1,40
		El Asiento	69,58
		Los Graneros	49,20
		Quilpué	17,00
	San Felipe	San Rafael	5,40
		Tierras Blancas	1,80
	Santa María	El Ají	3,90
		El Pino	7,09
		Jahuel	0,10
		San Fernando	4,10
		San José	3,80
		Santa María	5,80
	Concón	Refinería	2,00
	Quintero	Dumuño	6,36

Tabla 28. Porcentaje de intercepción correspondiente a los cultivos de hortalizas de acuerdo a su etapa de crecimiento disponible en literatura.

Estado fenológico	Etapas de crecimiento	Intercepción I(%)
Bulbos I	Desarrollo de hojas (<3 semanas)	0,20
Bulbos II	Desarrollo de hojas (3-6 semanas)	0,60
Bulbos III	FloreCIMIENTO/Senescencia	0,50
Repollo I	Desarrollo de hojas	0,25
Repollo II	Desarrollo de parte cosechable	0,80
Repollo III	FloreCIMIENTO	0,90
Repollo IV	Senescencia	0,90
Zanahoria I	Desarrollo hoja y parte cosechable	0,25
Zanahoria II	FloreCIMIENTO	0,50
Zanahoria III	Desarrollo de fruto	0,70

Estado fenológico	Etapa de crecimiento	Intercepción I(%)
Zanahoria IV	Senescencia	0,60
Cebolla I	Desarrollo de hojas	0,10
Cebolla II	Elongación de tallo	0,25
Cebolla III	FloreCIMIENTO	0,40
Cebolla IV	Senescencia	0,60
Papas I	Desarrollo de hojas	0,15
Papas II	Formación de brotes	0,50
Papas III	Inflorescencias	0,80
Papas IV	Senescencia	0,50
Brotes I	Desarrollo de hojas	0,20
Brotes II	Brotes laterales	0,50
Brotes III	Inflorescencia/FloreCIMIENTO	0,80
Brotes IV	Maduración	0,70
Tomate I	Desarrollo de hojas	0,25
Tomate II	Brotes laterales	0,50
Tomate III	FloreCIMIENTO	0,70
Tomate IV	Senescencia	0,60
<b>Promedio</b>		<b>0,50</b>

Fuente:elaboración propia. Modificado de Linders (2000).

### 3.5.3. Caracterización de viñas

A partir de la caracterización espacialmente explícita de los cultivos de viñas disponibles para cada distrito de la cuenca del Río Aconcagua, se realizó una agrupación de estos para determinar las hectáreas totales cultivadas (Tabla 29). Posteriormente, a partir de los cultivos presentes en la zona y de la información disponible en literatura se determinó una intercepción promedio de 0.7 (Linders, 2000; Strassemeyer, 2007).

Tabla 29. Clasificación y abundancia por provincia comuna y distrito de las viñas presentes en la cuenca del Río Aconcagua.

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)
Los Andes	Calle Larga	El Patagual	0,01
		San Vicente	31,23
		Tabolango	6,40
	Rinconada	Casuto	2,00
		Los Placeres	5,00
	San Esteban	Campos de Ahumada	0,01
		La Ermita	0,01
		La Florida	95,21
		Las Juntas	10,50
		San Francisco	0,02
San Regis		9,50	
Limache	Lo Chaparro	0,32	
Margamarga	Olmué	Granizo	1,00
		Pelumpén	25,00
	Villa Alemana	Quebrada Escobares	53,20
	Hijuelas	Ocoa	111,80
	Nogales	La Peña	1,02
Quillota		La Palma	0,01
		Mauco	153,11
	Quillota	Rautén	0,02
Catemu		Las Vacas	6,00
		San José	58,80
San Felipe	Llailay	Las Mazas	6,20
		Las Vegas	22,00
		Los Loros	46,00
Panquehue		Palomar	38,50
		Panquehue	174,90

Provincia	Comuna	Distrito	Hectáreas (Ha)
		San Roque	9,80
Putendo		Lo Vicuña	2,00
		Quebrada de Herrera	0,70
		Rinconada de Silva	1,50
San Felipe		Almendral	6,00
		Bellavista	160,00
		El Asiento	28,53
		Los Graneros	23,00
		Quilpué	11,41
Santa María		El Pino	0,01
		San Fernando	64,80
		Santa María	0,63

**Fuente:** elaboración propia

### 3.6. Contaminación difusa de las actividades mineras

La contaminación del agua producto de actividades como la minería o fundiciones es una preocupación para varios ríos de nuestro país y el mundo (Kim et al., 2007). Los desechos producidos por estas actividades son fuentes importantes de metales pesados, tales como Arsénico (As), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Molibdeno (Mo), Plomo (Pb), entre otras especies químicas.

La cuenca del río Aconcagua se caracteriza por contar con una importante diversidad de actividades económicas basadas en sus recursos naturales. Por lo tanto, la contaminación de las aguas superficiales y los suelos en la cuenca del río Aconcagua cobra gran relevancia, cuando esta cuenca destaca, entre otras cuencas del centro norte de Chile, por su presencia de Cu, Cr y Hg (Gaete, 2007; Pizarro et al., 2010). La presente consultoría, no evaluó la dispersión de metales sobre la cuenca, pero recopiló antecedentes para poder determinar si este es un factor importante de contaminación difusa en las aguas y los suelos de la cuenca y que deba ser considerado en próximos estudios.

Para ello, se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de caracterizar la presencia de metales pesados producto de las actividades mineras en la cuenca del Río Aconcagua, con un enfoque especial sobre las áreas de desarrollo productivo.

La revisión contempló la búsqueda de (i) publicaciones científicas e (ii) informes técnicos, utilizando las plataformas de bases de datos y palabras de búsqueda especificadas en la Tabla 30.

Tabla 30. Plataformas de búsqueda y palabras clave utilizadas en la recopilación de información sobre la actividad minera en la cuenca del Río Aconcagua.

<b>Plataforma de base de datos</b>	<b>Palabras clave</b>
ISI Web of Knowledge	- Minería cuenca Aconcagua, metales pesados cuenca Aconcagua, Mining
Google Académico	Aconcaguabasin, heavy metals
Google	Aconcaguabasin.

De la información recopilada y considerada de utilidad se tomaron los datos disponibles para la caracterización de las actividades mineras y sus principales productos descargados a las aguas y suelos de uso agrícola de la cuenca.

**ACTIVIDAD H. DETERMINAR EL TIPO, CARACTERIZACIÓN Y CANTIDAD DE EMISIÓN DEL CONTAMINANTE POR ACTIVIDAD PRODUCTIVA IDENTIFICADA. COMPARAR LOS RESULTADOS CON LOS OTROS ESTUDIOS PARA VER CONSISTENCIA Y COMPARACIÓN CON FUENTES PUNTUALES.**

Las fuentes de contaminación difusa identificadas corresponden a las aplicaciones de PFS, nutrientes (nitrato y fosforo) presentes en los fertilizantes y abonos y microorganismos producto de las aplicaciones de estiércol y pastoreo de animales para abonar el suelo agrícola. Todos estos elementos son transportados por la escorrentía superficial.

Los modelos gLOAD y SYNOPS abordan las estimaciones de las concentraciones en las aguas asociadas a PFS y los modelos de nutrientes y microorganismos serán abordados con simplificaciones de los modelos utilizados en SWAT, ya descritos. Para llevar los modelos de nutrientes y microorganismos, se requiere información de las concentraciones de nutrientes y microorganismos en el estiércol que es aplicado en las áreas agrícolas. Si esta información no está disponible, se utilizarán datos obtenidos en literatura gris (documentos técnicos y otros) y revistas científicas.

***OBJETIVO 4: GENERAR UN PLAN DE GESTIÓN DE LA CUENCA, INCORPORANDO TODAS LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y CONTRL POSIBLES DE REALIZAR.***

El objetivo de este plan de gestión es desarrollar una propuesta inicial, basada la información científico-técnica elaborada en esta consultoría, conducente a la identificación de etapas y procedimientos clave a considerarse en la elaboración futura de un “programa de gestión de la contaminación en la cuenca del río Aconcagua”.

Para el desarrollo de esta propuesta de plan de gestión, se consultó y analizó bibliografía en base a:

- i) consulta documentos técnicos
- ii) caracterización e información de la cuenca desarrollada en los objetivos 1, 2 y 3 y en otras consultorías
- ii) modelo del funcionamiento y manejo de ecosistemas hídricos desarrollado por el equipo consultor, basado en sus capacidades científicas y técnicas y experiencia en ecosistemas acuáticos de Chile

## RESULTADOS

### ***OBJETIVO 1. IDENTIFICAR LAS FUENTES EMISORAS DIFUSAS PRESENTES EN LA CUENCA DEL RIO ACONCAGUA.***

**ACTIVIDAD A. IDENTIFICAR, CUANTIFICAR Y CARACTERIZAR, POR CATEGORÍA LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN DIFUSA QUE PODRÍAN ALTERAR LA CALIDAD DE AGUAS EN EL RÍO ACONCAGUA Y SUS PRINCIPALES AFLUENTES, ASÍ COMO TAMBIÉN SU EMPLAZAMIENTO DENTRO DE LA CUENCA. EN PARTICULAR DETALLAR LAS FUENTES DIFUSAS PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA, AGROINDUSTRIAL Y MINERA DE LA CUENCA.**

De acuerdo a la información levantada, se recopilaron 444 fuentes puntuales de las bases de datos consultadas. Esta información es detallada en archivo anexo “Fuentes puntuales.xls”, en donde se acompaña por datos de la comuna, provincia y uso de suelo de la ubicación de la fuente.

Por otro lado, a partir de la cartografía del Catastro vegetacional de la región de Valparaíso (IDE, 2015), se identificaron dos usos con potencial desarrollo de contaminación difusa: i) terrenos agrícolas y ii) usos urbanos e industriales. El resultado cartográfico de esta actividad es expuesto en el objetivo 2, actividad B.

### ***OBJETIVO 2. ESPACIALIZAR TODAS LAS FUENTES DIFUSAS IDENTIFICADAS PROVENIENTES DE ACTIVIDADES: AGRICOLA, PECUARIA, INDUSTRIAL, MINERA, AGROINDUSTRIAL, ENTRE OTRAS.***

**ACTIVIDAD B. DISTRIBUIR ESPACIALMENTE LAS FUENTES DIFUSAS, GENERANDO LA INFORMACIÓN DESPLEGADA EN UN SIG JUNTO A LOS CORRESPONDIENTES MAPAS TEMÁTICOS.**

El resultado espacializado de estos dos tipos de fuentes (puntuales y difusas) se muestra en la siguiente figura.

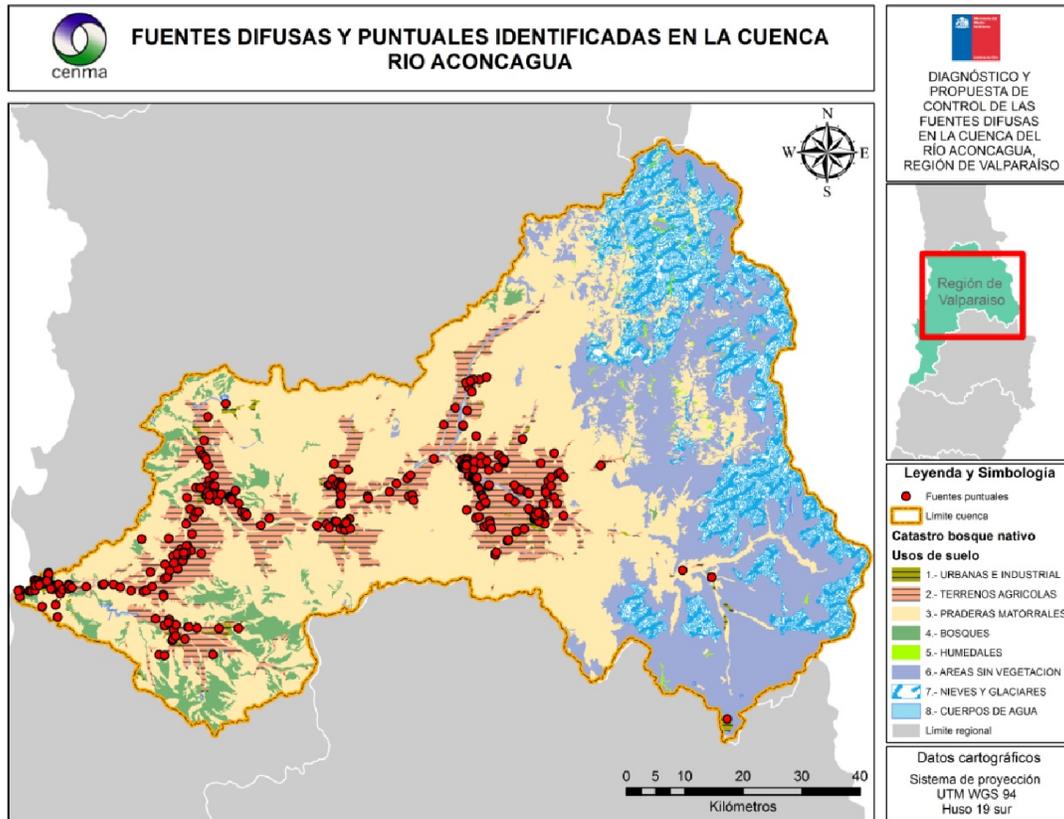


Figura 2. Fuentes puntuales y difusas de la cuenca del río Aconcagua.

**ACTIVIDAD C. SISTEMATIZAR LA INFORMACIÓN AMBIENTAL ASOCIADA AL ÁREA DE INFLUENCIA DEL RÍO ACONCAGUA, FACTORES QUE FACILITAN CONTAMINACIÓN DIFUSA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES, CLIMA, GEOMORFOLOGÍA, SUELOS, HIDROGRAFÍA, CUBIERTA VEGETAL, ENTRE OTROS.**

### Hidrografía

La cuenca hidrográfica del río Aconcagua se sitúa entre los paralelos 32° 20' y 33° 07 de latitud Sur y los 71° 31' y 70° 00' de longitud oeste. Se ubica geográficamente en la V Región de Valparaíso, en el extremo sur de la zona de los Valles Transversales o Semiárida. Su extensión es de 7.340 Km<sup>2</sup> y su rumbo general es de este a oeste. Los afluentes más caudalosos son recibidos por la ribera norte y todos sus tributarios formativos asientan sus cabeceras en la cordillera andina en un sector donde ésta alcanza elevaciones excepcionales, tales como los cerros Juncal (6110 m.), Alto de Los Leones o Cabeza de León (5400 m.) y el macizo del Aconcagua (7021 m.).

La reunión del río Juncal, proveniente del oriente, y del río Blanco que viene del sureste da origen al río Aconcagua en la cordillera de Los Andes a 1430 m. de altitud (Figura 3).

Desde la junta con el río Blanco, el río Aconcagua recorre 142 Km. hasta su desembocadura en la bahía de Concón. El río Juncal se origina en la cordillera y divide las aguas con la cuenca del río Maipo en el glaciar Juncal Norte, donde recibe numerosos arroyos la mayoría originados en glaciares colgados. El río Blanco se genera al pie norte de los cerros La Copa y El Altar, se dirige al NW con una gran pendiente y una longitud de 15 Km. En el tramo río Blanco-Los Andes, el tributario más importante por la ribera norte es el río Colorado, el limo que posee más otros sedimentos rojizos enturbian sus aguas en las crecidas. Otros afluentes menores al Aconcagua en este tramo son los esteros Riecillos y Vilcuya. En los alrededores de San Felipe el río Aconcagua recibe otros tributarios, como el estero Pocuro que recoge aguas de precordillera, de la vertiente norte del cordón de Chacabuco. Cuatro kilómetros aguas abajo de San Felipe, el río Aconcagua recibe uno de sus más importantes afluentes, el río Putaendo, originado a 1.188 m. Desarrolla un curso dirigido al SSW de 34 Km. y desemboca en el Aconcagua en una caja muy ancha y pedregosa. La hoya situada entre Los Andes y San Felipe recibe por su vertiente norte el estero Quilpué que drena un amplio sector cordillerano con una red de esteros y arroyos.

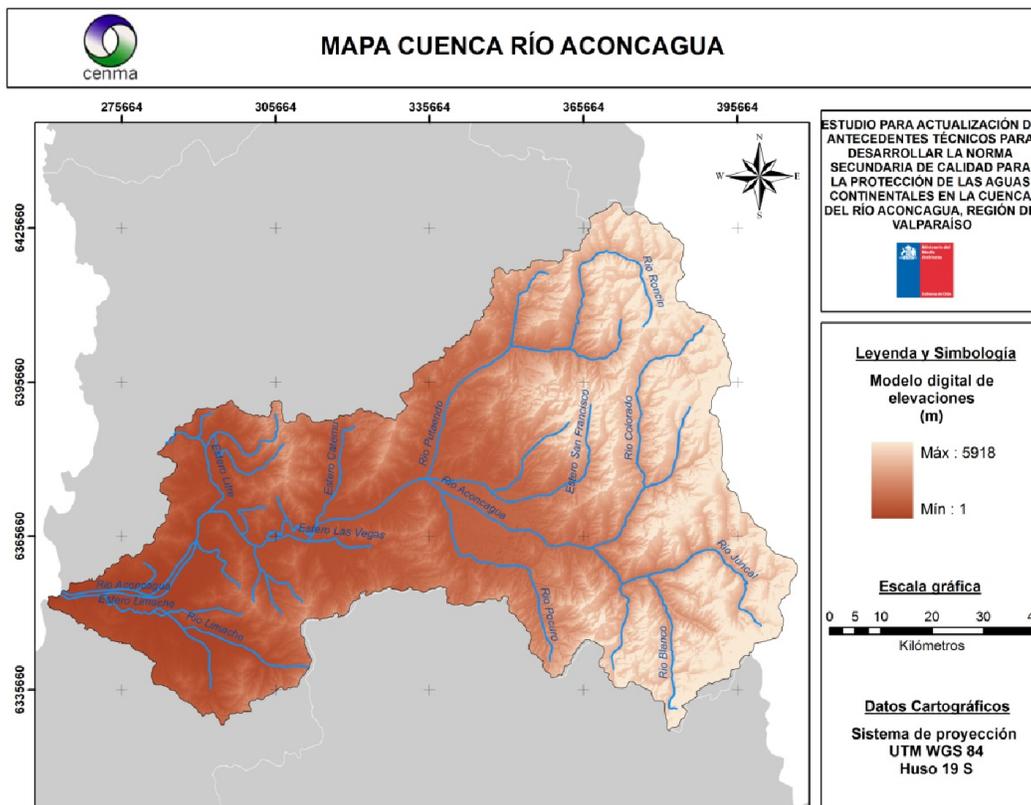


Figura 3. Mapa general de la cuenca, hidrografía y elevaciones. (Fuente: elaboración propia).

En el sector comprendido entre San Felipe y La Calera, el principal tributario es el estero Catemu que riega el valle agrícola de ese nombre; tiene un desarrollo de 14 Km. en dirección sur. También en este tramo recibe el estero Los Loros desde el sur y que drena el valle tectónico de LlayLlay. En el curso inferior entre La Calera y el mar, los afluentes relevantes son los esteros Los Litres y Limache. El primero drena la falda sur de La Calera, por la vaguada de un valle agrícola, donde se emplazan las ciudades de El Melón y Nogales. El estero Limache se une al río Aconcagua por la izquierda a sólo 8 Km. del mar, en Concón Alto.

Los acuíferos subterráneos se ubican solamente alrededor del cauce del río Aconcagua y río Putaendo, en el resto de la cuenca la permeabilidad es nula o muy baja. El movimiento del acuífero es en sentido del movimiento del cauce principal del río. En el sector de desembocadura se presentan dos acuíferos, uno a nivel superficial y con una profundidad variable, permeable y de buena capacidad de almacenamiento, en el cual se encuentra en contacto directo con la recarga proveniente del río Aconcagua. A una mayor profundidad se ubica un acuífero confinado, el que se encuentra separado del anterior por una capa predominantemente arcillosa. Dada la baja permeabilidad del estrato arcilloso, se genera un confinamiento del acuífero inferior, el que presenta niveles piezométricos generalmente distintos al acuífero superficial. Los depósitos fluviales del río, se alternan con apozamientos (arcillas) y sedimentos más graduados provenientes de las laderas (Cadeldepe, 2004).

## Clima

La cuenca presenta dos tipos de clima, templado del tipo Mediterráneo con estación seca prolongada y frío de altura en la Cordillera de los Andes. El primero se desarrolla prácticamente en toda la cuenca del río Aconcagua. El invierno es bien marcado con temperaturas extremas que llegan a 0 °C. Los Andes registra una temperatura media anual de 15,2 °C pero los contrastes térmicos son fuertes. En verano las máximas alcanzan valores superiores a 27 °C durante el día. La precipitación media anual en el sector costero de la cuenca alcanzan valores aproximados de 395 mm/año y temperaturas de 14.5 °C. Por efectos del relieve, en el sector centro de la cuenca, se presentan áreas de mayor sequedad y montos menores de precipitación (261 mm/año). En sectores más elevados, las precipitaciones aumentan alcanzando valores medios anuales de 467 mm y temperaturas medias anuales de 14,1 °C (Estación Vilcuya). Por otro lado, el clima frío de altura se localiza por sobre los 3.000 metros de altura, caracterizándose por bajas temperaturas y precipitaciones sólidas, acumulación de nieve y presencia de campos de hielo de tipo permanentes en cumbres y quebradas de la alta Cordillera (Cadeldepe, 2004).

### **Actividad económica**

Las principales actividades económicas en esta cuenca son agricultura, minería e industria. La actividad agrícola se desarrolla principalmente en los alrededores de las ciudades de San Felipe y Los Andes, donde los cultivos principales son las siembras de cereales y chacras, siendo utilizado como fuente de canales de regadío. En cuanto a la actividad industrial, la minería metálica más importante de la cuenca corresponde a la explotación de cobre fino en sectores de Los Andes y Catemu. De las compañías mineras que se emplazan en la cuenca se pueden destacar a la empresa Codelco División Andina (cobre y molibdeno) y la Compañía Minera Disputada de las Condes con las faenas mineras: Fundición Chagres, Planta El Soldado, Planta El Cobre y Mina Los Bronces, actualmente en operación y dedicadas a la explotación del mineral de cobre. La División Andina de Codelco, cuenta con el mayor yacimiento de la región ubicado en la provincia de Los Andes, donde se localizan las minas Andina y Sur-Sur. La producción minera, se procesa en Ventanas. Con respecto a la minería no metálica, destaca la explotación de caliza, que se destina principalmente a la producción de Cemento Melón, en la comuna de La Calera. Además de la minería del cobre, la actividad industrial sobresale por su diversidad, ya que cuenta con actividades tan diversas como industrias de alimentos, conserveras, cemento y minería. La industria está representada también, por la fabricación de productos químicos industriales y frigoríficos relacionados con la conservación de todo tipo de carnes (Cadeldepe, 2004).

### **Geología y volcanismo**

La cuenca está influenciada en el sector alto, por rocas sulfuradas, materiales volcánicos vítreos de texturas gruesas ubicados en los sectores de mayores pendientes en la Cordillera de los Andes. En el sector de río Aconcagua, localidad de San Felipe, existe influencia de rocas ácidas. En sectores próximos a la desembocadura, existe influencia mixta de rocas sulfuradas y de caliza. Las formaciones antes mencionadas corresponden a tres tipos de rocas. El primer tipo son las rocas sedimentarias del Pleistoceno-Holoceno; Depósitos fluviales; gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación. El segundo tipo son rocas volcánicas del Mioceno Inferior-medio; Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas, lavas, brechas, domos y rocas piroclásticasandesíticos-basálticas a dacíticas. Y el tercer tipo son rocas volcano-sedimentarias del cretácico inferior-Cretácico Superior. Son secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, ocoitas, conglomerados, areniscas, linolitas calcáreas lacustres con flora fósil; localmente calizas fosilíferas marinas en la base. No existe influencia de volcanes en el área de la cuenca (Cadeldepe, 2004).

## Usos del suelo

El uso agrícola en la cuenca comprende 83.470 Ha equivalentes al 12,56% de la superficie total. De esta superficie, aproximadamente el 7% es utilizado para fines de cultivo permanentes. Además, comprende 586 Ha de terrenos cuyo uso se destina a rotación cultivo-pradera. De la superficie total plantada, la mayor parte está destinada al cultivo de frutales y a las plantaciones forestales, con un 35 y 22% de uso, respectivamente. Luego destacan las forrajeras y cultivo de hortalizas y cereales, con un 18, 14 y 6% aproximadamente para cada rubro. En el caso de la actividad ganadera, el ganado bovino y caprino son los predominantes en la cuenca con un 31,6 y 22,77%, respectivamente. Luego el tipo de ganado porcino y ovino con un 19,58% y 12,84% de ejemplares para cada tipo, respectivamente. Del ganado equino, el del tipo caballo predomina con casi un 12% del total de ganado criado en la cuenca. La superficie de la cuenca destinada a actividad minera industrial comprende una superficie de 1.037 Ha equivalente al 0,1% del total de la superficie de la cuenca (Cadeldepe, 2004).

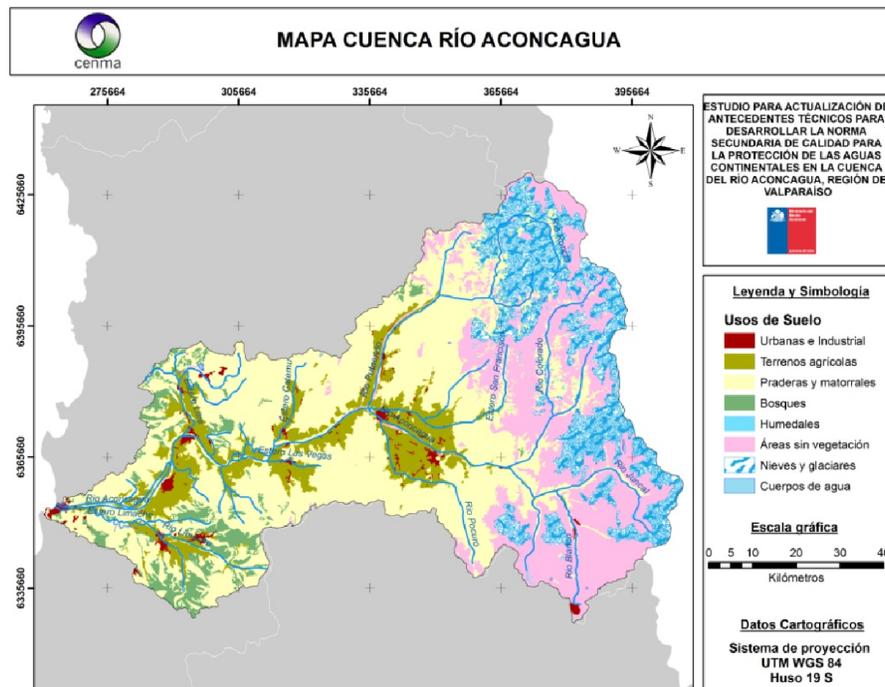


Figura 4. Usos de suelo cuenca río Aconcagua. (Fuente: IDE 2015).

En cuanto al uso forestal se puede decir que no es de los más importantes en la cuenca ya que las plantaciones de bosque alcanzan las 2.910 Ha, siendo aproximadamente el 0,5% de la cuenca. La superficie que corresponde a bosque nativo es de 29.226 Ha. Dentro de la cuenca, las provincias con mayor importancia según superficie destinada a la

actividad forestal son Valparaíso y Quillota, concentrando entre ambas aproximadamente el 99% de la superficie destinada a este tipo de uso. La superficie forestal está constituida principalmente por plantaciones de Eucaliptus.

Con respecto al sector urbano, Quillota, San Felipe, Los Andes y La Calera, son las localidades que concentran el mayor número de habitantes en la cuenca, asentamientos que estarían emplazados próximos al cauce principal del río Aconcagua y a los Esteros Limache, Catemu y Los Litres (CENMA, 2008).

En esta zona, existen áreas bajo protección oficial del SNASPE, las que están emplazadas en la cuenca y corresponden al Parque Nacional La Campana (8000 ha) y la Reserva Nacional río Blanco (10175) (Estrategia Regional de Biodiversidad 2005). La superficie total abarcada por estas áreas es de 8.945 Ha, equivalentes al 1,2% de la superficie total de la cuenca. En tanto, la cuenca alberga x sitios prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad, tales como: Cordillera El Melón, Cerro Tabaco, Altos de Ahumada, Vegas andinas, Humedal río Aconcagua, Campos dunares, Mauco (Figura 5). Por otra parte, cabe destacar la participación de privados en la conservación del área Parque Andino Juncal, considerado sitio Ramsar (Estrategia Regional de Biodiversidad 2005).

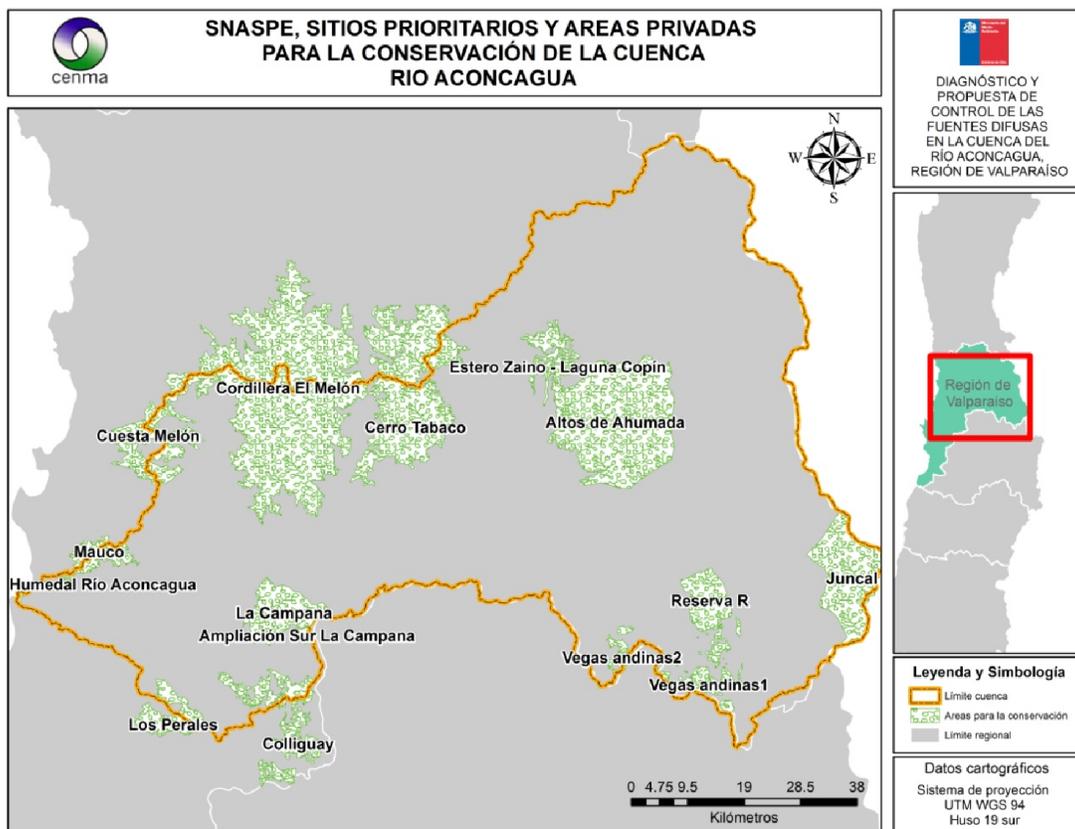


Figura 5. Áreas protegidas por el Estado, sitios prioritarios y áreas privadas para la conservación de la biodiversidad, cuenca del río Aconcagua.

## Principales actividades y su influencia sobre la calidad de las aguas de la cuenca

Basados en la información aportada anteriormente, y al analizar las principales actividades desarrolladas en la cuenca del Aconcagua y sus principales efectos que pudieren influenciar la calidad de sus aguas, obtenemos lo siguiente:

- a) Industria: Descarga de efluentes líquidos ricos en compuestos orgánicos, metales disueltos y sólidos suspendidos en los cursos de agua. Se presentan como fuentes puntuales en forma de Riles. Los principales parámetros afectados son: Metales, Oxígeno disponible, Fisicoquímicos Inorgánicos.
- b) Agricultura: Adición de plaguicidas y fertilizantes a los cultivos que posteriormente drenan a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Se presenta como fuentes difusas. Los principales parámetros afectados son: Plaguicidas y Nutrientes.
- c) Ganadería: Aporte por fecas y purines. La presencia de ganado incrementa la cantidad de materia orgánica, coliformes y nutrientes. Los principales parámetros afectados son: Microbiológicos y Oxígeno disponible.
- d) Silvicultura: Similar a la agricultura, pero en menor magnitud. La presencia de plantaciones de árboles disminuye la escorrentía. Los principales parámetros afectados son: Microbiológicos y Fisicoquímicos Orgánicos.
- e) Centros Urbanos: Aporte de aguas servidas, las cuales aportan principalmente: coliformes fecales, DBO5, aceites y grasas, sólidos suspendidos y nutrientes, disminuyen el OD.
- f) Embalses: Realizan un efecto de dilución al dejar un caudal pasante menor y por tanto con menor capacidad de dilución de contaminantes que se agregan en un segmento inferior.
- g) Extracciones: Concentran contaminantes como nutrientes y sólidos suspendidos y sedimentables. Disminuye la cantidad de oxígeno aguas bajo del embalse.
- h) Minería: Sus actividades son grandes generadoras de Riles con altas concentraciones de metales y inorgánicos. Los principales parámetros afectados son: Metales, pH, Fisicoquímicos Inorgánicos.

**ACTIVIDAD D. RECOPILAR INFORMACIÓN ANTRÓPICA ASOCIADA A LOS ASPECTOS PRODUCTIVOS Y ASENTAMIENTOS HUMANOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA; IDENTIFICAR LOS USOS DE SUELO, LA TECNOLOGÍA UTILIZADA EN EL RUBRO AGRÍCOLA Y/O AGROINDUSTRIAL, LOS TIPOS DE RIEGO, LOS AGROQUÍMICOS APLICADOS SEGÚN ESPECIES CULTIVADAS EN LA ZONA (FRUTALES, HORTALIZAS, ORNAMENTALES), PRESIÓN DEMOGRÁFICA, LOS TIPOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTOS Y FORMAS DE ELIMINACIÓN DE EFLUENTES.**

1. Usos de suelo en el rubro agrícola

Más del 60% de los suelos de las comunas que componen la Cuenca del Aconcagua, corresponden a suelos destinados al cultivo de frutales (61,5%), seguida por la superficie cultivada con hortalizas (12,5%), y cultivo de plantas forrajeras (10,7) (Figura 6).

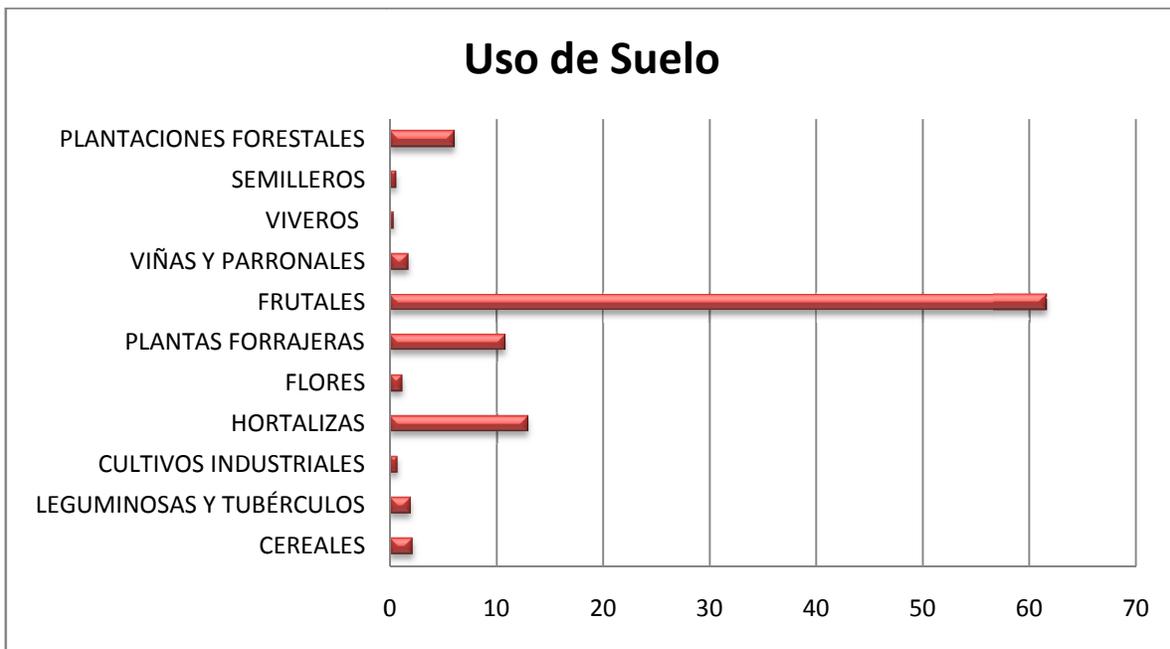


Figura 6. Porcentaje de Usos de suelo, en superficie, en la Cuenca del Aconcagua (Fuente: Elaboración propia, en base a información del Censo Agropecuario (INE, 2007)).

En la Tabla 31 se muestra el detalle, por comuna de la distribución del Uso de suelos:

Tabla 31. Distribución por comuna, en hectáreas, de los usos de suelo agrícola, presentes en la Cuenca del Aconcagua. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de INE, 2015).

Nº	COMUNAS	CEREALES	LEGUMINOSAS Y TUBÉRCULOS	CULTIVOS INDUSTRIALES	HORTALIZAS	FLORES	PLANTAS FORRAJERAS	FRUTALES	VIÑAS Y PARRONALES	VIVEROS	SEMILLEROS	PLANTACIONES FORESTALES	TOTAL
1	CONCON	1,0	1,50	0	2,00	0,00	28	20,90	0,00	0,00	0,00	541,30	604
2	QUINTERO	0	7,30	0,00	21,20	2,50	228,90	67,70	0,00	1,20	6,00	749,90	1085
3	VILLA ALEMANA	0	0,00	0,00	7,87	1,03	0,30	47,50	53,20	1,80	0,00	84,70	196
4	LOS ANDES	67,10	11,80	31,60	20,20	0,00	245,20	1147,8	0,00	0,00	0,00	0,80	1526
5	CALLE LARGA	144,60	57,20	116,10	56,50	1,22	294,40	2552,7	37,64	18,40	5,30	5,00	3289
6	RINCONADA	82,60	5,00	57,00	3,30	0,00	235,10	1836,3	0,00	9,00	6,80	9,50	2245
7	SAN ESTEBAN	122,70	30,40	4,20	38,70	0,92	470,80	3543,1	115,23	4,70	52,50	16,80	4400
8	QUILLOTA	1,00	2,30	8,70	2129,1	50,11	402,00	3.566,60	153,14	36,50	59,90	182,00	6591
9	CALERA	0,20	37,10	0,00	176,37	37,77	5,40	504,10	0,00	5,20	38,50	15,80	821
10	HIJUELAS	4,30	201,80	5,00	976,06	350,18	221,70	2.460,00	111,80	21,70	59,30	108,40	4560
11	LA CRUZ	0,50	0,20	0,80	160,53	57,39	2,60	2.437,20	0,00	22,00	13,40	9,50	2704
12	LIMACHE	1,00	0,40	0,00	847,02	71,52	304,90	1.048,80	0,32	11,50	27,60	1.164,16	3477
13	NOGALLES	52,40	332,50	24,50	640,9	67,18	945,70	2.178,70	1,02	22,90	61,10	34,10	3961
14	OLMUE	12,60	0,80	0,10	171,81	9,87	107,30	743,30	26,00	10,30	5,10	416,70	1504
15	SAN FELIPE	173,30	70,00	4,70	220,41	2,24	615,10	4.441,60	148,94	21,50	0,40	28,80	5727
16	CATEMU	17,80	258,20	108,60	890,66	2,68	1.039,60	1.481,40	64,80	0,60	4,30	112,00	3981
17	LAIILLAY	45,20	72,90	0,00	1.486,70	15,47	553,10	2.200,30	74,20	2,90	10,90	11,40	4473
18	PANQUEHUE	450,30	23,70	0,30	163,45	2,91	713,30	2.679,90	223,20	24,30	6,00	36,20	4326
19	PUTAENDO	110,70	136,00	114,10	156,20	1,95	683,20	2.291,40	4,20	2,20	6,40	326,30	3803
20	SANTA MARÍA	42,10	17,20	9,00	24,79	0,26	139,80	3.791,30	65,44	23,90	0,00	0,00	4114
	<b>TOTAL</b>	<b>1338,4</b>	<b>1236,4</b>	<b>484,7</b>	<b>8193,77</b>	<b>715,2</b>	<b>6840,4</b>	<b>39040,6</b>	<b>1079,13</b>	<b>240,8</b>	<b>363,5</b>	<b>3853,36</b>	<b>63386,26</b>

## 2. Tecnología<sup>1</sup> utilizada en el rubro Agrícola / Agroindustrial.

Para identificar la tecnología utilizada en el rubro agrícola / agroindustrial, en la Cuenca del Aconcagua, se establecieron aquellas actividades, por rubro productivo, que mayor superficie poseen en la Cuenca, y por tanto corresponderían a las principales posibles fuentes de contaminación de la Cuenca.

<sup>11</sup> Para la identificación de las tecnologías asociadas a los tipos de producción agrícola/Agroindustrial, se consideró como definición de **Tecnología**, lo establecido por Conicyt (2008), en conjunto con lo establecido por FAO (1998):

**Tecnología:** Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico. En otra acepción, tecnología es el conjunto de los instrumentos y procedimientos industriales de un determinado sector o producto (Conicyt, 2008).

### **Tecnología en los Cultivos (FAO, 1998):**

1. Fertilizantes: abonos orgánicos y fertilizantes inorgánicos;
2. Pesticidas: herbicidas o insecticidas;
3. Semillas: tipo de semillas utilizadas, semillas de alto rendimiento u otras;
4. Árboles injertados;
5. Cultivos bajo cubierta de protección u otras formas modernas de producción (tomate con bastón, hidroponía, etc.);
6. Producción en vivero o invernadero

### **Tecnología para animales (FAO; 1998):**

1. vacunas,
2. Alimentos complementarios, las sales minerales, la mecanización,
3. Eliminación de parásitos
4. Inseminación artificial

### **Tecnología Forestal (FAO, 1998)**

1. Reforestación,
2. Control de plagas,
3. Limpieza y selección de árboles para corte

A continuación se describen en función del tipo de Producción:

A. Producción agrícola:

a.1 Producción de hortalizas

La producción de hortalizas de la Cuenca, asciende, en superficie a 6.569,6 hectáreas, de las cuales, el 88% corresponde a producción al aire libre y el 12% a producción bajo invernadero.

Las tecnologías y especies cultivadas bajo ambos sistemas de producción, difieren principalmente en relación a **la tecnología de riego y fertilización**; mientras al aire libre el riego es de tipo gravitacional, y por tanto poco eficiente, bajo invernadero es principalmente a través de goteo y cinta, tecnología más eficiente y eficaz en la entrega de agua y nutrientes, que los métodos gravitacionales (Tabla 32).

Tabla 32. Eficiencia de la aplicación del agua, según método de riego(Fuente: INIA, 2010).

Método de Riego	Eficiencia de riego (%)
Tendido	30
Surcos	45
Californiano	65
Aspersión	75
Microjet	85
Goteo	90

Específicamente, para la producción de hortalizas en invernadero es relevante también el uso de **la injertación y producción de semillas**, las cuales son realizadas de manera manual, sin uso de agroquímicos.

A continuación, en laTabla 33, se muestran las principales hortalizas cultivadas (en términos de superficie), y las tecnologías asociadas:

Tabla 33. Principales especies de hortalizas cultivadas, al aire libre y bajo invernadero, en la Cuenca del Aconcagua: Superficie y Tecnologías asociadas. (Fuente: Elaboración propia, en base a datos de Odepa, 2015). Para e detalle por comuna ver Tabla 45.

– Hortalizas cultivadas al aire libre			
Especie	Superficie		Tecnologías asociadas al cultivo
	Ha	% de la superficie de hortalizas de la cuenca	
Alcachofa	1.027	17,7	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Riego</li> <li>– Corte manual de follaje</li> <li>– Aplicación de fertilizantes</li> <li>– Aplicación de agroquímicos</li> <li>– Deshijadura (manual)</li> <li>– Control manual de malezas</li> <li>– Cosecha</li> <li>– Operaciones sobre el suelo con tractor y apero (aradura, rastraje, cultivador, melgadura, acequiadora, acarreo de insumos, preparación de caminos)</li> </ul>
Lechuga	1.247	21,5	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Transplante manual</li> <li>– Control manual de malezas</li> <li>– Riego</li> <li>– Aplicación de fertilizantes</li> <li>– Aplicación de agroquímicos</li> <li>– Cosecha manual</li> <li>– Operaciones sobre el suelo con tractor y apero (aradura, rastraje, melgadura, acequiadora, acarreo de insumos)</li> </ul>
Repollo	431,8	7,46	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Transplante manual</li> <li>– Riego</li> <li>– Limpia con azadón</li> <li>– Aplicación de fertilizantes</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicación de agroquímicos</li> <li>- Aplicación de pesticidas</li> <li>- Cosecha manual</li> <li>- Operaciones sobre el suelo con tractor y apero (aradura, rastraje, melgadura, acequiadora, acarreo de insumos).</li> </ul>
Zanahoria	482,2	8,33	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siembra</li> <li>- Riego</li> <li>- Control manual de malezas</li> <li>- Aplicación de pesticidas</li> <li>- Aplicación de fertilizantes</li> <li>- Cosecha manual</li> <li>- Operaciones sobre el suelo con tractor y apero (aradura, rastraje, platabanda, acequiadora, acarreo de insumos).</li> </ul>
Maíz	546,4	9,44	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riego</li> <li>- Aplicación de fertilizantes</li> <li>- Aplicación de agroquímicos</li> <li>- Control manual de malezas</li> <li>- Operaciones sobre el suelo con tractor y apero (aradura, rastraje, siembra, acequiadora, acarreo de insumos).</li> </ul>
Tomate	306	5,28	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transplante manual</li> <li>- Riego</li> <li>- Aplicación de fertilizantes</li> <li>- Control manual de malezas</li> <li>- Aplicación de agroquímicos</li> <li>- Cosecha manual</li> <li>- Operaciones sobre el suelo con tractor (aradura, rastraje, acequias, melgaduras, acarreo de insumos y cosechas)</li> </ul>

<b>– Hortalizas Cultivadas Bajo Invernadero</b>			
<b>Especie</b>	<b>Superficie</b>		<b>Tecnologías asociadas al cultivo</b>
	<b>Ha</b>	<b>% de la superficie de hortalizas de la cuenca</b>	
Tomate	617,4	78,84	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Transplante manual</li> <li>– Riego</li> <li>– Aplicación de fertilizantes</li> <li>– Control manual de malezas</li> <li>– Aplicación de agroquímicos</li> <li>– Cosecha manual</li> <li>– Operaciones sobre el suelo con tractor (aradura, rastraje, acequias, melgaduras, acarreo de insumos y cosechas)</li> </ul>
Pimiento	94,08	12,01	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Limpieza de terreno</li> <li>– Riego</li> <li>– Transplante</li> <li>– Control manual de malezas</li> <li>– Aplicación de fertilizantes</li> <li>– Aplicación de agroquímicos</li> <li>– Aplicación de pesticidas</li> <li>– Cosecha manual</li> <li>– Operaciones sobre el suelo con tractor (aradura, rastraje, acequias, melgaduras, acarreo de insumos y cosechas)</li> </ul>

#### a.2 Producción de frutales

La producción de frutales de la Cuenca, asciende, en superficie a 16.464 hectáreas, de las cuales, el 92% corresponde a superficie en plena producción, mientras que sólo el 8% a superficie en formación.

Dado que la utilización de tecnologías se concentra en los huertos productivos, se realizará el análisis de las principales especies frutales en producción de la Cuenca, que concentran el 75% de la superficie total cultivada con frutales. Estas especies son: uva de mesa, palto, durazno conservero, nogal y naranjo.

A continuación, en la Tabla 5, se muestran las principales especies frutales cultivadas (en términos de superficie), y las tecnologías asociadas:

Tabla 34. Principales especies frutales en producción, superficie y tecnologías asociadas, de la Cuenca del Aconcagua. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de Odepa, 2015). Para detalle por comuna ver Tabla 46.

Especie	Superficie		Tecnologías asociadas al cultivo
	Ha	% de la superficie con frutales de la Cuenca	
Uva de mesa	4230,5	25,70	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Riego tecnificado</li> <li>– Fertirrigación</li> <li>– Aplicación de pesticidas</li> <li>– Aplicación de fitosanitarios</li> <li>– Poda y amarra de poda (manual)</li> <li>– Deshoje, anillado, amarre de guía (manual)</li> <li>– Control de malezas manual</li> <li>– Desbrote, raleo y regulación de carga (manual)</li> <li>– Arreglo y colocación de protección del racimo (manual)</li> <li>– Cosecha</li> <li>– Operaciones con maquinaria (trituration de restos de poda, rastraje, melgadura, acarreo de cosecha, carga camión y flete)</li> </ul>
Palto	5010	30,43	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Riego tecnificado</li> <li>– Fertirrigación</li> <li>– Poda y pintura de cortes (manual)</li> <li>– Recolección manual de ramillas</li> <li>– Control manual de malezas</li> <li>– Aplicación de agroquímicos</li> <li>– Aplicaciones fitosanitarias</li> <li>– Aplicación de herbicidas</li> <li>– Colocar y sacar colmenas (manual)</li> <li>– Operaciones con maquinaria (trituration de restos de poda, acarreo de cosecha, carga camión y flete)</li> </ul>
Durazno	1590,9	9,66	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Riego</li> </ul>

Especie	Superficie		Tecnologías asociadas al cultivo
conservero			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poda</li> <li>- Aplicación de agroquímicos</li> <li>- Aplicación de fitosanitarios</li> <li>- Aplicación de fertilizantes</li> <li>- Control manual de malezas</li> <li>- Raleo manual</li> <li>- Cosecha manual o mecanizada</li> <li>- Operaciones con maquinaria (rastraje, surqueadura, trituración de restos de poda, acarreo de cosecha, carga camión y flete)</li> </ul>
Nogal	884,9	5,37	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riego tecnificado</li> <li>- Aplicación de agroquímicos</li> <li>- Aplicación de pesticidas</li> <li>- Poda (manual)</li> <li>- Poda en verde (manual)</li> <li>- Cosecha manual o mecanizada</li> <li>- Secado (con secador) y selección</li> <li>- Operaciones con maquinaria (trituración de restos de poda, vibradora para la caída de fruta, acarreo de cosecha, carga camión y flete)</li> </ul>
Naranja	588,8	3,58	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riego</li> <li>- Aplicación de pesticidas</li> <li>- Aplicación de fertilizantes</li> <li>- Control manual de malezas</li> <li>- Cosecha manual</li> <li>- Operaciones con maquinaria (acarreo de cosecha, carga camión y flete)</li> </ul>

### a.3 Producción de semillas

Según la información más detallada, la superficie de semilleros en la comunas que componen la Cuenca, alcanzan sólo el 0,5% del total de la superficie cultivada, ascendiente a 363,5 ha; siendo las comunas de San Esteban (52,5 ha), Quillota (59,9 ha), Calera (38,5 ha), Hijuelas (59,3 ha), La Cruz (13,4 ha), Limache (27,6 ha) y Nogales (61,1 ha).

### a.4 Producción de flores

La producción de flores de la Cuenca, representa sólo 1,2% de las superficie agrícola de las comunas que la componen. La comuna que posee la mayor superficie corresponde a Hijuelas (390 ha), Limache (71,52 ha), La Cruz (57,39 ha), y Nogales (67,18). No obstante lo anterior, la Región de Valparaíso lidera la superficie cultivada del país, con 30,1% al aire libre y el 76,5% en invernadero.

Las especies más cultivadas corresponden a Crisantemo, Liliun y Clavel (INE, 2009).

En base a lo anterior es posible establecer las siguientes tecnologías asociadas a las principales especies:

<b>Especie</b>	<b>Tecnologías Asociadas</b>
Clavel	Producción bajo invernadero: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparación de suelo: desinfección de suelo (química) y control de malezas</li> <li>- Riego tecnificado (goteo)</li> <li>- Aplicación de plaguicidas</li> <li>- Operaciones manuales de desbotonado</li> <li>- Cosecha manual</li> </ul>
Crisantemo	Producción bajo invernadero: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Propagación (utilización de hormonas sintéticas para enraizamiento)</li> <li>- Manejo de la floración, a través de control de fotoperiodo (utilización de luz eléctrica ampolletas de 100 watts. Cada ampolleta se coloca a 2 m de distancia y se cuelga a 2 m del suelo).</li> <li>- Riego tecnificado (goteo)</li> <li>- Aplicación de plaguicidas</li> <li>- Cosecha manual</li> </ul>
Liliun	Producción bajo invernadero: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparación de suelo: desinfección de suelo (química) y control de malezas</li> <li>- Riego tecnificado (goteo)</li> <li>- Aplicación de plaguicidas</li> <li>- Operaciones manuales de desbotonado</li> </ul> - Cosecha manual (Fuente: Elaboración propia, en base a FIA, 2007)

**B. Producción Pecuaria:**

De acuerdo a datos del Censo Agropecuario (CIREN, 2007), se identifican en la Cuenca, las siguientes especies animales: Bovinos, ovinos, cerdos, equinos y caprinos, que en su totalidad ascienden a 44.922 cabezas, de las cuales el 93% corresponde a Bovinos (16.641 cabezas), Equinos (7.583 cabezas) y Caprinos (17.656 cabezas).

A partir de lo anterior descrito, se describen a continuación las tecnologías asociadas a la producción de bovinos, equinos y caprinos de la Cuenca (Tabla 35).

Tabla 35. Producción de bovinos, equinos y caprinos, número de cabezas y tecnologías asociadas en la Cuenca del Aconcagua (INE 2014).

Especie	Cabezas		Tecnologías asociadas a la producción
	Nº Cabezas	% cabezas en relación al total de existencias de la Cuenca	
Bovinos	25.276	40%	Alimentación bajo confinamiento Alimentación en base a pradera (pastoreo)
Equinos	12.998	21%	Alimentación en base a forraje
Caprinos	24.231	39%	Alimentación en base a forraje y pastoreo

Tabla 36. Distribución en número de cabezas, por comuna de las principales especies de ganado de la Cuenca

Comuna	Nº Cabezas		
	Bovinos	Equinos	Caprinos
Con con	130	43	0
Quintero	2704	701	478
Villa Alemana	126	100	0
Los Andes	361	207	52
Calle Larga	1195	612	232
Rinconada	322	218	648
San Esteban	2490	1151	3116
Quillota	2333	1076	60
Calera	605	470	99
Hijuelas	385	875	871
La Cruz	59	144	0
Limache	1946	839	88
Nogales	2529	1234	1016
Olmué	552	453	125
San Felipe	1052	461	823
Catemu	1383	1036	2314

Comuna	N° Cabezas		
	Llay Llay	1181	718
Panquehue	279	411	479
Putendo	5121	2013	10945
Santa María	523	236	626
<b>Total</b>	<b>25276</b>	<b>12998</b>	<b>24231</b>

C. Producción Agroindustrial:

Tabla 37. Plantas agroindustriales, por tipo de producción, número y ubicación en la Cuenca del Aconcagua. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de ODEPA, 2015d)

Tipo de Producción	Ubicación y Número de plantas
Almazaras-Aceite Oliva	Quillota (1)
Deshidratados	Quillota (1) San Felipe (7) Nogales (1) Limache (1) Putendo (1)
Conservas	Quillota (2) Llayllay (1) Los Andes (1) San Felipe (2)
<b>TOTAL PLANTAS</b>	<b>18</b>

**Tecnologías asociadas a la producción agroindustrial:**

- Producción de aceite: selección, molinos, extracción física de aceite, filtrado, gestión de residuos líquidos y sólidos
- Plantas conservas: Selección, lavado, evaporadores, túneles, almacenamiento, generación de residuos líquidos y sólidos, consumo eléctrico
- Plantas deshidratadoras: Selección, lavado, deshidratadores, túneles, almacenamiento, generación de residuos líquidos y sólidos, gestión energética.

3. Identificar los tipos de riego

Dentro de la Cuenca del Aconcagua, se identificaron diversos sistemas de riego, los cuales es posible agrupar de acuerdo a lo siguiente:

- Sistemas de Riego Gravitacionales: Surco, tendido, otros.

- Sistemas de Riego Mecánico Mayor: Aspersión tradicional, carrete o pivote
- Sistemas de Microrriego: goteo y cinta, micro aspersión y microjet.

Se identificó un total de 31.384,16 hectáreas bajo riego en la Cuenca, de las cuales un 50% son regadas a través de sistemas gravitacionales (Tendido, Surco y otros), un 47% a través de microrriego (goteo y cinta y microaspersión microjet), y sólo un 3% por medio de sistemas mecánicos mayores (aspersión tradicional y Carrete o pivote). En la Figura 2, se muestra el detalle de los distintos sistemas utilizados y su porcentaje en relación a la superficie total bajo riego de la Cuenca.

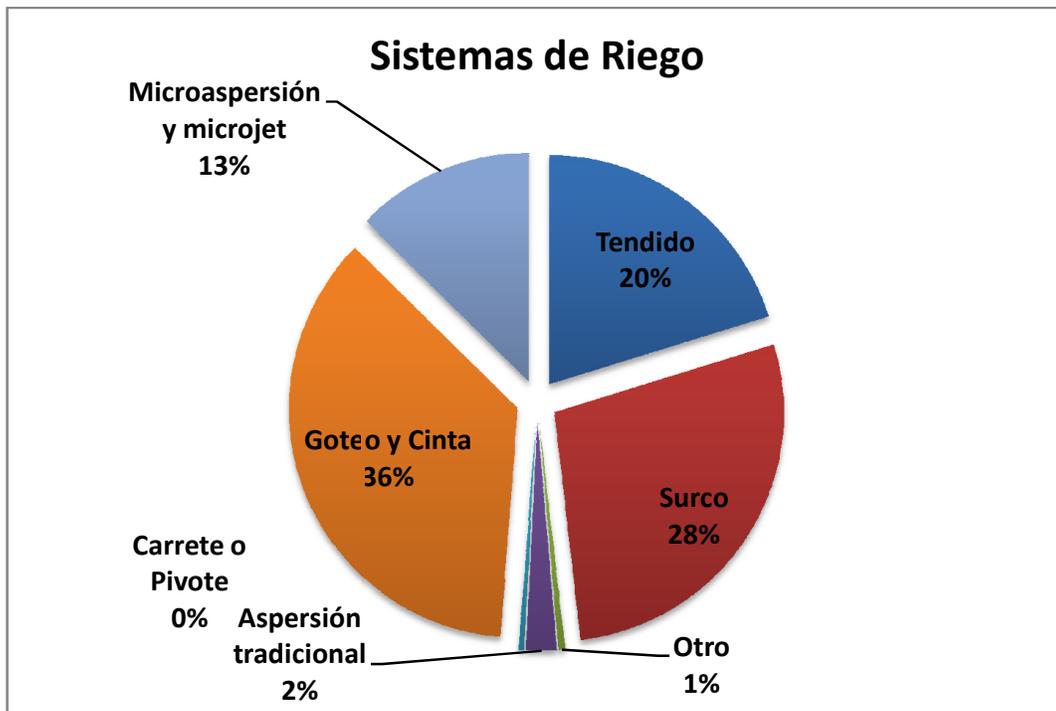


Figura 7. Superficie regada, por sistemas de riego, presentes en la Cuenca del Aconcagua. (Fuente: Elaboración propia, en base a datos de CIREN, 2007). Datos sin desglosar, para mayor detalle ver Tabla 37.

Para mayor detalle, la Tabla 38, muestra la superficie bajo riego, por sistema por comuna/localidad de la Cuenca del Aconcagua:

Tabla 38. Superficie bajo riego (hectáreas), según sistema y comuna/localidad de la Cuenca del Aconcagua. (Fuente: Elaboración propia, en base a CIREN, 2007).

Nº	COMUNAS	Riego gravitacional			Mecánico Mayor		Microrriego	
		Tendido	Surco	Otro	Aspersión tradicional	Carrete o Pivote	Goteo y Cinta	Microaspersión y microjet
1	CONCON	36,00	5,9	0,00	0,00	0,00	20,00	0,00
2	QUINTERO	69,20	15,88	0,10	2,20	0,00	63,64	14,00
3	VILLA ALEMANA	1,40	7,40	1,50	6,40	0,00	38,10	2,80
4	LOS ANDES	339,10	345,00	5,90	278,80	0,00	568,40	0,00
5	CALLE LARGA	508,20	1.265,82	18,00	0,50	0,00	1.294,70	176,00
6	RINCONADA	491,50	648,20	0,00	0,00	0,00	1.117,00	1,80
7	SAN ESTEBAN	1.410,80	1.221,60	1,52	0,00	165,00	2.192,27	214,90
8	QUILLOTA	796,3	1.000,44	1,90	47,50	0,00	2.100,12	2.043,85
9	CALERA	271,6	124,10	3,80	54,80	0,00	175,06	145,18
10	HUIJUELAS	648,94	1.284,45	8,60	180,25	0,00	1.211,59	813,78
11	LA CRUZ	363,5	98,60	10,62	11,10	0,00	764,02	1.359,90
12	LIMACHE	579,01	88,15	6,43	66,60	0,00	1.255,55	167,30
13	NOGALES	1.130,51	412,50	12,63	194,40	0,50	1.032,05	945,70
14	OLMUÉ	201,71	440,00	22,30	51,90	12,10	489,48	163,30
15	SAN FELIPE	792,5	1.764,15	15,80	0,5	0,00	2.825,90	262,10
16	CATEMU	1.084,00	1.592,42	0,20	5,1	25,90	796,49	202,50
17	LLAILLAY	904,3	1.638,90	10,00	298	0,00	1.123,87	341,30
18	PANQUEHUE	866	1.056,60	6,40	1	0,00	2.004,45	388,30
19	PUTAENDO	1.104,90	1.765,70	1,80	54	30,80	411,95	76,30
20	SANTA MARÍA	297,4	1.679,14	147,70	10	0,00	1.796,15	114,11
<b>TOTAL (ha)</b>		<b>11.896,87</b>	<b>16.454,65</b>	<b>275,20</b>	<b>1.263,05</b>	<b>234,30</b>	<b>21.280,79</b>	<b>7.433,12</b>

4. Identificar los agroquímicos aplicados según especie cultivada.

Tal como se estableció anteriormente, el análisis de las especies cultivadas, tanto hortalizas como frutales, se priorizaron, de acuerdo al porcentaje de superficie cultivada que ocupan dentro de la Cuenca (Tabla 39):

Tabla 39. Especies de hortalizas y frutales analizados para este estudio. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIREN, 2007)

Hortalizas	Frutales
Alcachofa	Uva de mesa
Lechuga	Palto
Repollo	Durazno Conservero
Zanahoria	Nogal
Maíz	Naranja
Tomate	
Tomate Invernadero	
Pimiento Invernadero	

En función de las especies antes mencionadas, se identifican a continuación los agroquímicos aplicados (Tabla 40).

Tabla 40. Agroquímicos aplicados, según especie cultivada dentro de la Cuenca.\*Cantidad por hectárea. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de ODEPA; 2015)

Hortalizas	Agroquímico Aplicados	Ingrediente Activo	Época de aplicación	Cantidad*	Unidad
Alcachofa	Fertilizantes	Mezcla hortalicera	Feb	400	Kg
		Nitrógeno	Abril-Oct	300	kg
	Herbicidas	Dicloruro paraquat Dibromuro paraquatl	Abr-May	4	L
		Fluazifop-P-butyl	May-Oct	1	L
	Fungicidas	Pyrimethanil	Jul-Nov	2	L
		Benomilo	Mar-Jul	3	Kg
	Insecticidas	Pirimicarb: 2-Dimetilamino-5,6-dimetil pirimidin-4-il dimetil carbamato	Jul-Nov	1	L
		Lambda cihalotrina	Feb-Oct	1	L
	Otros	Fósforo (P2O5) Potasio (K2O)	Ago-Dic	2	L
		Aminoácidos libres; Boro, Manganeso, Zinc	Mar-Sep	4	L
Lechuga	Fertilizantes		Enero	300	Kg
		Nitrógeno	Ene-Feb	350	kg
	Fungicidas	Benomilo	Fen	1	Kg
		Mancozeb	Ene-Feb	1	kg
	Insecticidas	Lambda cihalotrina	Feb	0,5	Kg
	Herbicidas	3,5 dicloro-N -1,1 dimetil - 2 - propinil benzamida	Dic	2,5	Kg
	Otros	Aminoácidos libres; Nitrógeno, Materia Orgánica, Fósforo, Potasio, Boro, Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc	Ene-Feb	5	L
		Fósforo (P2O5) Potasio (K2O)	Ene-Feb	5	L
Repollo	Fertilizantes		Feb	500	Kg
		Nitrógeno	Mar-Abr	400	kg
	Herbicidas	Fluazifop-P-butyl	Mar	2	L
		S-metolacloro	Feb	1,5	L
	Fungicidas	Benomilo	Mar-Abr	2	Kg
	Insecticidas	Imidacloprid / Deltametrina	Ene-Mar	1	L
Lambda-cihalotrina		Feb-Mar	1	L	

		Lambda cihalotrina	Mar-May	1	L
	Otros	Fósforo (P2O5) Potasio (K2O)	Ene-Abr	5	L
		Aminoácidos libres; Nitrógeno, Materia Orgánica, Fósforo, Potasio, Boro, Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc	Ene-Abr	4	L
Zanahoria	Fertilizantes		Septiembre	300	kg
	Herbicidas	Linuron	Septiembre	2	Kg
		Haloxypop-r-metil éster: metil (R)-2-{4-[3-cloro-5-(trifluorometil)-2-piridiloxi] fenoxi} propionato	Oct-Nov	2	L
	Insecticidas	Clorpirifos	Sep-Nov	1	L
	Otros	Aminoácidos libres; Boro, Manganeso, Zinc	Oct-Ene	5	L
Maíz	Fertilizantes	Nitrógeno, Fósforo y Potasio	Nov	450	Kg
		Nitrógeno	Dic-Ene	450	kg
	Herbicidas	S-metolacloro	Nov	1,5	L
	Insecticidas	Clorpirifos	Nov	3	L
		Lambda cihalotrina	Dic	1	L
Tomate	Fertilizantes	Nitrógeno, Fósforo y Potasio	Octubre	450	Kg
		Nitrógeno	Nov-Ene	400	Kg
		Nitrato de calcio	Nov-Feb	200	Kg
		Nitrato de potasio	Dic-Ene	150	kg
	Herbicidas	Metribuzina	Nov-Ene	0,5	kg
		Fluazifop-P-butil	Nov-Feb	1	L
	Fungicidas	Mancozeb	Nov-Ene	2	Kg
		Trifloxistrobina / Pirimetanilo	Nov	2	Kg
		Propamocarb/ Fosetilo	Oct-Nov	0,5	L
	Insecticidas	Clorpirifos	Oct-Nov	1	L
		Lambda cihalotrina	Nov-Ene	1	L
		Clorhidrato de cartap	Nov- Feb	2	kg
	Otros	Fósforo (P2O5) Potasio (K2O)	Nov-Feb	4	L
		Aminoácidos libres; Boro, Manganeso, Zinc	Nov-Ene	2	L

		Aminoácidos libres; Nitrógeno, Materia Orgánica, Fósforo, Potasio, Boro, Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc	Nov-Feb	4	L
Tomate Invernadero	Fertilizantes	Nitrógeno, Fósforo y Potasio	Octubre	450	Kg
		Nitrógeno	Nov-Ene	400	Kg
		Nitrato de calcio	Nov-Feb	200	Kg
		Nitrato de potasio	Dic-Ene	150	kg
	Herbicidas	Metribuzina	Nov-Ene	0,5	kg
		Fluazifop-P-butyl	Nov-Feb	1	L
	Fungicidas		Nov-Ene	2	Kg
		Trifloxistrobina / Pirimetanilo	Nov	2	Kg
		Propamocarb/ Fosetilo	Oct-Nov	0,5	L
	Insecticidas	Clorpirifos	Oct-Nov	1	L
		Lambda cihalotrina	Nov-Ene	1	L
		Clorhidrato de cartap	Nov- Feb	2	kg
	Otros	Fósforo (P2O5) Potasio (K2O)	Nov-Feb	4	L
		Aminoácidos libres; Boro, Manganeso, Zinc	Nov-Ene	2	L
Aminoácidos libres; Nitrógeno, Materia Orgánica, Fósforo, Potasio, Boro, Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc		Nov-Feb	4	L	
Pimiento Invernadero	Fertilizante	Nitrógeno, Fósforo y Potasio	Oct	150	Kg
		Nitrógeno	Oct-Nov	300	Kg
		Salitre potásico	Nov-Ene	150	kg
	Fungicidas	Benomilo	Oct-Ene	2	Kg
		Metalaxil-M: Metil(R)-2-[(2,6-dimetilfenil)-metoxiacetilamino]-ácido propiónico metil éster	Nov-Ene	2	kg
	Herbicidas	Dicloruro paraquat Dibromuro paraquatl	Nov	2	L
		Fluazifop-P-butyl	Nov-Ene	2	L

		Lambda-cihalotrina	Feb-Mar	1	L
	Insecticidas	Pirimecarb: 2-Dimetilamino-5,6,-dimetil pirimidin-4-il dimetil carbamato	Dic-Ene	1	L
<b>Frutales</b>	<b>Agroquímico Aplicados</b>		<b>Época de aplicación</b>	<b>Cantidad*</b>	<b>Unidad</b>
Palto	Fertilización	Nitrógeno	Oct-Abr	260	kg
		Salitre potásico	Oct-Abr	139	kg
		Ac. Fosfórico	Oct-Abr	73	kg
		Ac. Bórico	Nov-Abr	32	kg
		Sulfato de Cinc	Nov-Abr	58,4	kg
		Tetraborato de disodio decahidratado	Sep-oct	7,5	kg
	Fertilización Foliar	Sulfato de Cinc	Nov-Abr	3,8	kg
	Control de maleza	Glifosato	Sep-nov	4	L
		Aminotriazol /Tiocianto de Amonio	Sep-nov	4	L
		Fosfatidilcolina: 1,2-diacil-sn-glycero-3-fosforicolina	Sep-nov	3	L
		Simazina	May-Jun	2,5	Kg
	Regulador de Crecimiento	Paclobutrazol	Septiembre	2	L
	Insecticida	Aceite	Marzo	15	L
		Metomilo	Marzo	1	L
Nogal	Fertilizantes	Nitrógeno	Oct-Feb	500	Kg
		Nitrato potásico	Nov-Dic	350	Kg
		Ácido Fosfórico	Sep-Abr	35	Kg
		Sulfato de magnesio	Nov-Ene	122	Kg
	Fungicidas	Oxicloruro de cobre	Ago-Sep	70	Kg
		Clortalonil	Oct-Dic	6	L
		Aceite parafínico	Jul-Ago	30	L
		Piraclostrobina	May	4	L
	Herbicidas	Glifosato	Oct-Feb	8	L
		Dicloruro paraquat Dibromuro paraquat	Ago-Dic	4	L
		Aminotriazol /Tiocianto de Amonio	Abr-Oct	3	L

		Sal dimetil amina	Jun-Ago	3	L
	Insecticidas	Clorpirifos	Oct-Feb	3	L
		Lambda-cihalotrina	Oct-Ene	0,5	L
		Methoxyfenozide	Oct-Ene	1	L
	Bactericida	Sulfato de estreptomina/ Clorhidrato de oxitetraciclina	Oct-Nov	2	kg
	Acaricida-Insecticida	Abamectina	Ene-Feb	2	L
	Otros	Boro	Oct-Abr	3	L
		Quitosano	Abr-May	3	L
		Fósforo (P2O5) Potasio (K2O)	Oct-Dic	20	L
		Acido-2-cloroetil-fosfónico	Feb	2	L
Uva de Mesa	Fertilizantes	Nitrógeno	Ago-Dic	250	Kg
		Nitrato de potasio	Ago	180	kg
	Fungicidas	Azoxystrobin / Difenconazole	Nov-Dic	1	L
		Azufre	Sep-ene	66	kg
		Benomilo	Nov-Dic	1	kg
		Triadimefon	Oct-Nov	2	kg
		Captan	Dic	4	kg
		Piraclostrobina	May-Jun	5	L
	Herbicidas	Glifosato	Ago-Oct	3	L
		Fluazifop-P-butil	Ago-Sep	2	L
	Insecticidas	Aceite Mineral	Jun-Jul	30	L
		Clorpirifos	Oct-Nov	2	L
		Lambda-cihalotrina	Nov-Ene	1	L
	Acaricida	Abamectina	Nov-Ene	2	L
	Otros	Aminoácidos libres; Nitrógeno, Materia Orgánica, Fósforo, Potasio, Boro, Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc	Sep-Oct	6	L
		Fósforo (P2O5) Potasio (K2O)	Sep-Nov	3	L

Durazno Conservero	Fertilizantes	Nitrógeno	Oct-Dic	350	kg
		Muriato de potasio	Oct-Dic	380	kg
		Nitrógeno, Fósforo y Potasio	May-Jul	100	kg
	Fungicidas	Oxido Cuproso	Abr-Sep	9	kg
		Piraclostrobina	Jun-Jul	2	L
		Azufre	Sep-Dic	20	L
		Penconazol	Sep	0,6	L
	Insecticidas	Aceite Mineral	Jun-Jul	23	L
		Clorpirifos	Jun-Jul	2	L
		Thiacloprid	Sep-Nov	0,4	L
	Herbicidas	Glifosato	Ene-Dic	6	L
	Acaricida	Abamectina	Oct	2	L
	Mejorar Calibre	Zinc	Sep-Oct	4	L
Fósforo (P2O5) Potasio (K2O)		Sep-Ene	10	L	
Naranja	Fertilizantes	Nitrógeno	Sep-Nov	140	kg
		Sulfato de magnesio	Ago-Sep	100	kg
		Ácido Fosfórico	Ago-Abr	12	kg
	Fungicidas	Metalaxil-M: Metil(R)-2-[(2,6-dimetilfenil)-metoxiacetilamino]-ácido propiónico metil éster	Ago-Sep	3	Kg
	Insecticidas	Aceite Mineral	Ene-Feb	30	L
		Clorpirifos	Oct-Feb	2	L
		Thiametoxam	Nov	1	kg
	Herbicidas	Glifosato	Jun-Abr	4	L
		Dicloruro paraquat Dibromuro paraquat	Anual	3	L
	Otro	Fósforo (P2O5) Potasio (K2O)	Oct-Dic	10	L

\*Cantidad aplicada en época de aplicación indicada.

Como antecedente adicional, relacionado con la aplicación de agroquímicos en la Cuenca, y en base a un estudio realizado por Servicio Agrícola Ganadero (SAG 2005)

en la Cuenca del Aconcagua, se establece que es durante primavera la época cuando más plaguicidas se aplica, proporción que se mantiene a inicios del verano, mientras que la aplicación aminora, durante otoño e invierno. En la Figura 8, se muestra la distribución de épocas de aplicación levantadas por el estudio citado.

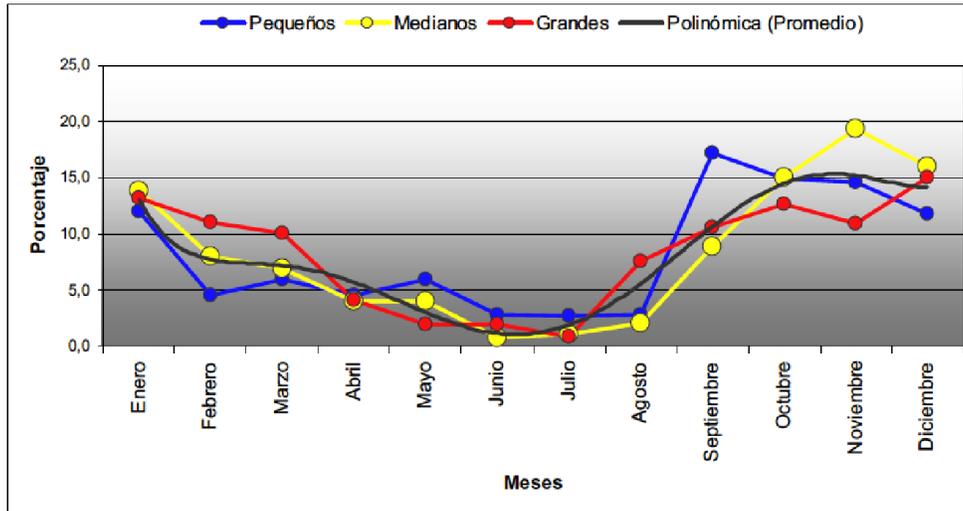


Figura 8. Distribución de la aplicación de plaguicidas, durante el año, en tres estratos de productores de la Cuenca. (Fuente: SAG, 2005). Mayor detalle en Tabla 40.

De igual manera, el estudio identificó los principales plaguicidas utilizados por cultivo y grupo químico, en la Cuenca, estableciendo que los organofosforados, representan el grupo químico más utilizado por parte de los productores; de igual forma los inorgánicos.

Tabla 41. Principales plaguicidas, utilizados por cultivo y diferenciados por grupo químico de la Cuenca.(Fuente: SAG, 2005)

Grupo químico	Hortalizas	Inv. Tomates	Uvas	Carozos	Cítricos	Paltos
Organofosforado	x	x	x	x	x	x
Ac.Benzoico						
Ac.Fosfinico				x		
Acidos cyninnamic	x					
Acilalaninas	x					x
Bencimidazoles	x	x	x	x		
Benzoylurea		x				
Biopesticida		x				
Bipiridilo			x			
Carbamato	x	x	x	x	x	x
Chloronitrilos	x					
Cloronicotinilo		x	x			
Cyclodiene				x		
Dicarboximidias			x	x		
Difeniléter	x					
Dinitroanilina	x		x	x		
Ditiocarbamato	x					
Fenoxi propionato		x				
Glicina	x	x	x	x	x	x
Hydroxianilida		x				
Imidazol		x				
Imidazolinas						
Inhibidor de esteroI	x					
Inhibidor de quitina		x				
Neonicotenoide		x				
Oximinocetate		x				
Piperazina				x		
Piretroides	x	x		x		
Piridamina +Fenilpirol		x	x			x
Pirimidina			x	x		
Strobilurin type	x		x	x		
Thalimida	x	x	x	x		
Triazoles	x	x	x	x	x	
Tritiano amina		x				

Finalmente y en relación a la aplicación de fertilizantes, y a partir del estudio realizado por SAG 2015, es estima que en términos de superficie, la urea es el fertilizante más utilizado, cubriendo una superficie del 25% de la superficie fertilizada en la Cuenca, seguida por el nitrato de potasio (13%) (Tabla 42).

Tabla 42. Determinación de la superficie de aplicación de fertilizantes en la Cuenca.  
(Fuente: SAG, 2005)

Fertilizantes más aplicados	Porcentaje Superficie
Urea	25,4%
Nitrato de Potasio	13,6%
Sulfato de Magnesio	4,3%
Guano	3,2%
Ácido Fosfórico	3,1%
Ultrasol	2,3%
Azufre	1,9%
Superfosfato	1,8%
Fosfato monoamónico	1,5%
Stopit	1,4%
Nitrato	1,4%
Nitrato de Calcio	1,4%

**ACTIVIDAD I. GENERAR UN INVENTARIO DE ACTIVIDADES AGRÍCOLAS Y AGROINDUSTRIAL, NIVELES DE PRODUCCIÓN Y PRÁCTICAS PRODUCTIVAS.**

De igual forma, se definieron los tipos de producción agropecuaria/agroindustrial a considerar:

*Producción agrícola:* actividades productivas que comprenden el cultivo y la producción de cultivos esenciales, leguminosas y tubérculos, hortalizas, frutales.

*Producción pecuaria:* actividades productivas que comprenden la reproducción, tenencia, cría, re-cría y faenamiento de las siguientes especies animales: aves, cerdos, ovinos, caprinos y bovinos.

*Producción agroindustrias:* actividades productivas, relacionadas con la industria pecuaria y conservera, que concentra la industria láctea menor, cecinas y mataderos de ganado y ferias de ganado, mataderos de aves; junto con la producción vinícola.

**1.1 Cultivos anuales esenciales:** Cultivos cuyo ciclo de vida es igual o inferior a un año; existen algunos perennes, **pero su producción se da cada año**, a la que se conoce como temporada de producción (FAO, 1998)

La superficie cultivada, con cultivos anuales esenciales en la Cuenca, ascienden a 1.663,7 hectáreas; cuya composición corresponde a: cereales, leguminosas y tubérculos y cultivos industriales (Figura 9).

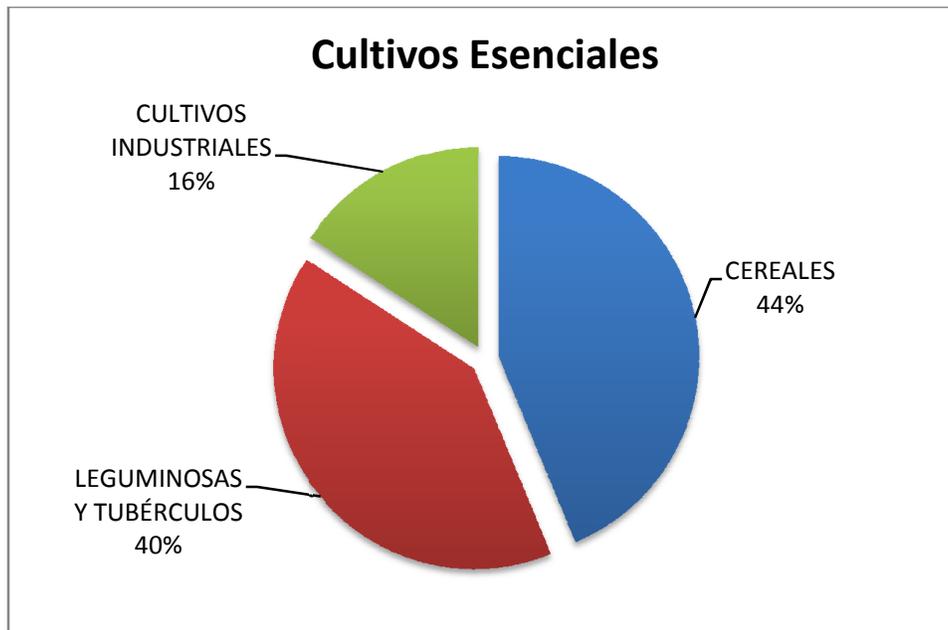


Figura 9. Composición (%) en superficie de los cultivos anuales esenciales presentes en la Cuenca. (Fuente: Elaboración propia, en base a datos de CIREN, 2007).

En relación a las comunas que componen la Cuenca, la mayor superficie de cereales, se encuentran en la comuna de Panquehue, la de Leguminosas y tubérculos, en Nogales (más El Melón), mientras que los cultivos industriales, se concentran en Calle Larga (Tabla 29).

Tabla 43. Distribución por superficie (ha), de cultivos anuales esenciales en las comunas/localidades de la Cuenca. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIREN, 2007).

Nº	COMUNAS	CEREALES	LEGUMINOSAS Y TUBÉRCULOS	CULTIVOS INDUSTRIALES	TOTAL
1	CONCON	10	1,50	0	12
2	QUINTERO	0	7,30	0,00	7
3	VILLA ALEMANA	0	0,00	0,00	0
4	LOS ANDES	67,10	11,80	31,60	111
5	CALLE LARGA	144,60	57,20	116,10	318
6	RINCONADA	82,60	5,00	57,00	145
7	SAN ESTEBAN	122,70	30,40	4,20	157
8	QUILLOTA	1,00	2,30	8,70	12
9	CALERA	0,20	37,10	0,00	37
10	HIJUELAS	4,30	201,80	5,00	211
11	LA CRUZ	0,50	0,20	0,80	2
12	LIMACHE	1,00	0,40	0,00	1
13	NOGALES	52,40	332,60	24,50	410
14	OLMUÉ	12,60	0,80	0,10	14
15	SAN FELIPE	173,30	70,00	4,70	248
16	CATEMU	17,80	258,20	108,60	385
17	LLAILLAY	45,20	72,90	0,00	118
18	PANQUEHUE	450,30	23,70	0,30	474
19	PUTAENDO	110,70	106,00	114,10	331
20	SANTA MARÍA	42,10	17,20	9,00	68
	<b>TOTAL</b>	<b>1338,4</b>	<b>1236,4</b>	<b>484,7</b>	<b>3059,5</b>

**Prácticas asociadas a los cultivos esenciales:** por su característica de anualidad, este tipo de cultivos requiere de la preparación anual de los suelos (labranza), operación que utiliza el mayor número de equipos y a la que se destina la mayor cantidad de tiempo. Posterior a la preparación del suelo, continúa la siembra, para lo cual existen diversos sistemas o métodos de siembra (manual o mecanizado). Luego viene la fertilización, el control de malezas, plagas y enfermedades; todos estos aspectos en general implican la utilización y aplicación, mediante diversos métodos, de agroquímicos, herbicidas, insecticidas, entre otros químicos, y finalmente la cosecha (manual o mecanizada) (Faiguenbaum, 2003).

**1.2 Hortalizas:** La superficie cultivada con hortalizas en la Cuenca, asciende a 8.197,3 hectáreas, de las cuales el 89% corresponden a producción al aire libre, mientras que el 11% restante a producción bajo invernadero.

Las principales especies producidas al aire libre corresponden a: alcachofa, lechuga, repollo, zanahoria, maíz, tomate (Tabla 30) Mientras que las principales especies cultivadas bajo invernadero corresponden a: pimiento y tomate.

Tabla 44. Distribución por superficie (ha), de cultivo de hortalizas presentes en la Cuenca.(Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIREN, 2007).

HORTALIZA	SISTEMA DE CULTIVO	
	AL AIRE LIBRE	BAJO INVERNADERO
Alcachofa	1068	0
Lechuga	853,6	4,87
Zanahoria	814,3	0
Maíz	649,6	0
Cebolla	511,1	0
Repollo	479,4	0
Tomate consumo fresco	418,68	694,42
Poroto Granado	395,4	0
Otras Hortalizas	288,5	15,98
Ajo	251,9	0
Betarraga	156,8	0
Zapallo Italiano	144,25	4,75
Coliflor	132,1	0
Apio	104,1	0
Poroto Verde	104,1	0
Haba	103,2	0
Cilantro	101,8	0
Huerta Casera	90,7	0
Acelga	80,9	0
Espinaca	78,9	0
Brócoli	68,6	0
Perejil	58,2	0
Melón	51,1	0
Orégano	47,3	0
Ají	43,2	10,43
Achicoria	38,5	0
Arveja Verde	36,3	0
Repollito de bruselas	34,3	0
Sandía	27,9	0
Pimiento	19,8	102,4
Pepino Dulce	13,7	0
Zapallo	13,3	0
Espárrago	11	0
Rabanito	8,3	0
Pepino Ensalada	8	44,47
Albahaca	3,8	0
Rábano o Nabo	3,7	0
Berenjena	0,9	1,12
<b>TOTAL</b>	<b>7315,23</b>	<b>878,44</b>

**Prácticas asociadas al cultivo de hortalizas:** el cultivo de hortalizas comienza con la preparación de suelos, lo cual implica labores mecanizadas sobre el suelo, que puede alcanzar los 25-40 cm de profundidad, posteriormente se realiza la siembra o el trasplante, en el caso de plantas provenientes de almácigo. Tras estas operaciones, los cultivos pueden ser fertilizados, aplicación de herbicidas, control de plagas y enfermedades y riego, el cual puede ser tecnificado o gravitacional, dependiendo del nivel tecnológico del agricultor y de los requerimientos del cultivo (Baginsky y Faiguenbaum, 2010).

Tabla 45. Hortalizas, por comuna (superficie), de las comunas de la Cuenca del Aconcagua (Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIREN, 2007).

Nº	COMUNA / ESPECIES	SISTEMA DE CULTIVO (Ha)	
		AL AIRE LIBRE	BAJO INVERNADERO
1	CONCON		
	Otras hortalizas	2,00	0,00
2	QUINTERO		
	Choclo	7,30	0,00
	Huerta casera	2,40	0,00
	Otras hortalizas	6,70	0,85
	Poroto granado	2,50	0,00
	Tomate consumo fresco	0,00	1,45
3	VILLA ALEMANA		
	Huerta casera	0,30	0,00
	Otras hortalizas	2,00	0,00
	Tomate consumo fresco	5,57	0,00
4	LOS ANDES		
	Choclo	3,70	0,00
	Huerta casera	0,10	0,00
	Lechuga	1,90	0,00
	Otras hortalizas	4,20	0,00
	Tomate consumo fresco	10,30	0,00
5	CALLE LARGA		
	Cebolla de guarda	5,20	0,00
	Choclo	7,10	0,00
	Huerta casera	1,10	0,00
	Otras hortalizas	23,70	0,00
	Sandía	12,40	0,00
	Tomate consumo fresco	7,00	0,00
6	RINCONADA		
	Choclo	0,90	0,00
	Huerta casera	0,80	0,00
	Otras hortalizas	1,20	0,00
	Poroto granado	0,40	0,00
7	SAN ESTEBAN		

Nº	COMUNA / ESPECIES	SISTEMA DE CULTIVO (Ha)	
	Cebolla temprana	5,10	0,00
	Choclo	8,70	0,00
	Huerta casera	5,60	0,00
	Otras hortalizas	14,00	0,00
	Poroto granado	2,70	0,00
	Poroto verde	1,40	0,00
	Tomate consumo fresco	1,20	0,00
8	QUILLOTA		
	Acelga	66,1	0,00
	Achicoria	37,5	0,00
	Ají	3,5	5,62
	Albahaca	3,1	0,00
	Alcachofa	19,8	0,00
	Apio	104,1	0,00
	Arveja verde	1,7	0,00
	Berenjena	0	1,12
	Betarraga	97	0,00
	Brócoli	48,1	0,00
	Cebolla temprana	4,8	0,00
	Choclo	111,5	0,00
	Cilantro	68,8	0,00
	Coliflor	68,6	0,00
	Espinaca	65,2	0,00
	Haba	8,1	0,00
	Huerta casera	16,5	0,00
	Lechuga	458,8	2,52
	Otras hortalizas	38,5	2,69
	Pepino de ensalada	3,7	3,60
	Perejil	34,1	0,00
	Pimiento	11,6	44,03
	Poroto granado	46,3	0,00
	Poroto verde	19,2	0,00
	Rabanito	8,3	0,00
Rábano o Nabo	3,7	0,00	
Repollo	257,6	0,00	
Tomate consumo fresco	139,7	220,17	
Zanahoria	33,5	0,00	
Zapallo italiano	68,55	1,40	
9	CALERA		
	Alcachofa	27,50	0,00
	Betarraga	6,10	0,00
	Choclo	25,60	0,00

Nº	COMUNA / ESPECIES	SISTEMA DE CULTIVO (Ha)	
	Huerta casera	0,60	0,00
	Lechuga	8,50	0,00
	Otras hortalizas	9,10	0,16
	Poroto granado	7,70	0,00
	Repollo	34,90	0,00
	Tomate consumo fresco	1,21	0,00
	Zanahoria	55,00	0,00
	HIJUELAS		
10	Ajo	17,70	0,00
	Alcachofa	41,00	0,00
	Arveja verde	2,20	0,00
	Betarraga	5,90	0,00
	Brócoli	5,70	0,00
	Cebolla de guarda	70,60	0,00
	Cebolla temprana	93,20	0,00
	Choclo	34,60	0,00
	Cilantro	1,30	0,00
	Coliflor	16,90	0,00
	Espárrago	8,40	0,00
	Haba	3,80	0,00
	Huerta casera	5,60	0,00
	Lechuga	22,30	0,00
	Melón	2,50	0,00
	Otras hortalizas	19,90	2,39
	Pimiento	2,20	0,00
	Poroto granado	102,70	0,00
	Poroto verde	42,90	0,00
	Repollito de bruselas	34,30	0,00
	Repollo	34,80	0,00
	Sandía	5,20	0,00
	Tomate consumo fresco	78,60	0,76
Zanahoria	292,50	0,00	
Zapallo italiano	21,90	0,00	
Zapallo temprano y de guarda	6,20	0,00	
11	LA CRUZ		
	Acelga	6,40	0,00
	Betarraga	15,70	0,00
	Choclo	12,80	0,00
	Cilantro	13,70	0,00
	Coliflor	2,60	0,00
	Espinaca	10,80	0,00

Nº	COMUNA / ESPECIES	SISTEMA DE CULTIVO (Ha)	
	Huerta casera	3,50	0,00
	Lechuga	19,40	0,00
	Otras hortalizas	9,10	0,93
	Perejil	5,10	0,00
	Pimiento	0,00	5,59
	Repollo	5,90	0,00
	Tomate consumo fresco	5,30	21,81
	Zanahoria	20,60	0,00
	Zapallo italiano	1,30	0,00
	12	LIMACHE	
Acelga		1,50	0,00
Achicoria		1,00	0,00
Ají		0,00	4,81
Albahaca		0,70	0,00
Berenjena		0,90	0,00
Betarraga		2,50	0,00
Brócoli		3,50	0,00
Choclo		79,40	0,00
Cilantro		1,30	0,00
Coliflor		15,40	0,00
Espinaca		1,20	0,00
Haba		17,90	0,00
Huerta casera		5,20	0,00
Lechuga		77,60	2,35
Otras hortalizas		13,30	3,63
Pepino de ensalada		3,50	36,42
Pepino dulce		13,70	0,00
Pimiento		5,30	50,05
Poroto granado		10,10	0,00
Poroto verde		8,50	0,00
Repollo		23,50	0,00
Tomate consumo fresco		49,10	383,31
Zapallo italiano	24,90	3,35	
Zapallo temprano y de guarda	3,10	0,00	
13	NOGALES		
	Ají	3,20	0,00
	Ajo	12,20	0,00
	Alcachofa	10,60	0,00
	Arveja verde	0,90	0,00
	Betarraga	18,50	0,00
Brócoli	3,70	0,00	

Nº	COMUNA / ESPECIES	SISTEMA DE CULTIVO (Ha)	
	Cebolla de guarda	27,50	0,00
	Cebolla temprana	2,50	0,00
	Choclo	176,20	0,00
	Cilantro	7,30	0,00
	Coliflor	6,70	0,00
	Haba	5,30	0,00
	Huerta casera	3,80	0,00
	Lechuga	38,60	0,00
	Melón	8,40	0,00
	Otras hortalizas	37,60	1,14
	Perejil	5,40	0,00
	Pimiento	0,70	0,00
	Poroto granado	73,90	0,00
	Poroto verde	6,00	0,00
	Repollo	31,00	0,00
	Tomate consumo fresco	27,80	9,66
	Zanahoria	121,40	0,00
	Zapallo italiano	0,90	0,00
	14	OLMUÉ	
Acelga		1,30	0,00
Brócoli		3,40	0,00
Choclo		21,30	0,00
Coliflor		14,10	0,00
Haba		14,60	0,00
Huerta casera		10,20	0,00
Lechuga		17,90	0,00
Otras hortalizas		8,20	0,61
Pepino de ensalada		0,00	3,07
Pimiento		0,00	2,73
Repollo		4,60	0,00
Tomate consumo fresco		5,10	53,00
Zapallo italiano		11,70	0,00
15	SAN FELIPE		
	Acelga	3,90	0
	Ajo	0,70	0
	Arveja verde	4,90	0
	Cebolla de guarda	23,70	0
	Cebolla temprana	12,70	0
	Choclo	23,60	0
	Cilantro	2,90	0
	Coliflor	1,30	0
	Espinaca	1,70	0

Nº	COMUNA / ESPECIES	SISTEMA DE CULTIVO (Ha)	
	Haba	15,60	0
	Huerta casera	9,70	0
	Lechuga	35,50	0
	Melón	1,90	0
	Otras hortalizas	10,00	0,09
	Perejil	13,60	0
	Poroto granado	15,70	0
	Poroto verde	17,20	0
	Repollo	2,70	0
	Tomate consumo fresco	7,20	0,12
	Zanahoria	12,90	0
	Zapallo italiano	2,80	0
	16	CATEMU	
Ajo		68,20	0,00
Alcachofa		339,50	0,00
Arveja verde		3,50	0,00
Betarraga		2,90	0,00
Brócoli		2,90	0,00
Cebolla de guarda		37,00	0,00
Cebolla temprana		30,30	0,00
Choclo		36,90	0,00
Cilantro		4,50	0,00
Coliflor		6,60	0,00
Espárrago		2,60	0,00
Haba		4,60	0,00
Huerta casera		7,20	0,00
Lechuga		56,10	0,00
Melón		6,60	0,00
Otras hortalizas		29,70	0,95
Pepino de ensalada		0,80	1,38
Poroto granado		52,20	0,00
Poroto verde		1,90	0,00
Repollo		43,50	0,00
Sandía		7,00	0,00
Tomate consumo fresco	54,70	4,14	
Zanahoria	73,00	0,00	
Zapallo italiano	9,80	0,00	
Zapallo temprano y de guarda	2,20	0,00	
17	LLAILLAY		
	Ají	36,50	0,00
	Ajo	107,80	0,00

Nº	COMUNA / ESPECIES	SISTEMA DE CULTIVO (Ha)	
	Alcachofa	629,60	0,00
	Arveja verde	18,90	0,00
	Betarraga	8,20	0,00
	Cebolla de guarda	90,70	0,00
	Cebolla temprana	73,70	0,00
	Choclo	64,50	0,00
	Cilantro	2,00	0,00
	Haba	8,10	0,00
	Huerta casera	5,70	0,00
	Lechuga	105,20	0,00
	Melón	25,90	0,00
	Otras hortalizas	10,30	0,30
	Poroto granado	70,80	0,00
	Poroto verde	0,50	0,00
	Repollo	33,60	0,00
	Tomate consumo fresco	9,30	0,00
	Zanahoria	184,20	0,00
	Zapallo italiano	0,90	0,00
18	PANQUEHUE		
	Acelga	1,10	0,00
	Ajo	45,30	0,00
	Brócoli	1,30	0,00
	Cebolla de guarda	25,80	0,00
	Choclo	4,90	0,00
	Haba	7,90	0,00
	Huerta casera	1,20	0,00
	Lechuga	6,10	0,00
	Otras hortalizas	32,40	1,65
	Poroto granado	5,70	0,00
	Repollo	2,30	0,00
	Tomate consumo fresco	8,80	0,00
	Zanahoria	19,00	0,00
19	PUTAENDO		
	Acelga	0,60	0,00
	Arveja verde	4,20	0,00
	Cebolla de guarda	3,30	0,00
	Cebolla temprana	3,10	0,00
	Choclo	25,00	0,00
	Haba	16,10	0,00
	Huerta casera	9,40	0,00
	Lechuga	5,70	0,00
	Melón	5,80	0,00

Nº	COMUNA / ESPECIES	SISTEMA DE CULTIVO (Ha)	
	Orégano	47,30	0,00
	Otras hortalizas	5,50	0,00
	Poroto granado	4,70	0,00
	Poroto verde	5,00	0,00
	Repollo	5,00	0,00
	Sandía	3,30	0,00
	Tomate consumo fresco	6,70	0,00
	Zanahoria	2,20	0,00
	Zapallo italiano	1,50	0,00
	Zapallo temprano y de guarda	1,80	0,00
	20	SANTA MARÍA	
Cebolla de guarda		1,90	0,00
Choclo		5,60	0,00
Haba		1,20	0,00
Huerta casera		1,80	0,00
Otras hortalizas		11,10	0,59
Poroto verde		1,50	0,00
Tomate consumo fresco		1,10	0,00
<b>TOTAL AL AIRE LIBRE</b>		<b>7.315,33</b>	
<b>TOTAL BAJO INVERNADERO</b>		<b>878,44</b>	
<b>SUPERFICIE TOTAL</b>		<b>8.193,77</b>	

**1.3 Frutales:** La superficie cultivada con frutales en la Cuenca, asciende a 39.040 hectáreas, (Tabla 46).

Tabla 46. Frutales, por comuna (superficie), de las comunas de la Cuenca del Aconcagua (Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIREN, 2007).

Nº	COMUNA / ESPECIES	SUPERFICIE (Ha)
1	CONCON	
	Huerto casero	0,10
	Otros frutales	8,10
	Palto	12,70
2	QUINTERO	
	Huerto casero	1,20
	Limonero	7,10
	Otros frutales	17,90
	Palto	41,50
3	VILLA ALEMANA	

Nº	COMUNA / ESPECIES	SUPERFICIE (Ha)
	Almendro	12
	Huerto casero	2,4
	Limonero	2,3
	Naranja	1,3
	Otros frutales	18,7
	Palto	10,8
4	LOS ANDES	
	Almendro	24,60
	Cerezo	5,70
	Damasco	8,80
	Duraznero consumo fresco	11,50
	Duraznero tipo conservero	107,30
	Huerto casero	12,90
	Nogal	153,70
	Otros frutales	11,50
	Palto	174,00
	Uva de mesa	637,80
5	CALLE LARGA	
	Almendro	16,6
	Cerezo	14,3
	Damasco	10,8
	Duraznero consumo fresco	21
	Duraznero tipo conservero	499,5
	Huerto casero	7,7
	Naranja	0,3
	Nectarino (pelados)	19,2
	Nogal	336,2
	Olivo	13,4
	Otros frutales	31,8
	Palto	17,4
Uva de mesa	1564,5	
6	RINCONADA	
	Arándano	36,20
	Cerezo	14,00
	Ciruelo japonés	27,30
	Duraznero consumo fresco	13,60
	Duraznero tipo conservero	238,60
	Nectarino (pelados)	11,60
	Nogal	151,90
Otros frutales	19,30	

Nº	COMUNA / ESPECIES	SUPERFICIE (Ha)
	Palto	87,20
	Uva de mesa	1.236,60
	<b>SAN ESTEBAN</b>	
7	Almendro	14,7
	Arándano	5,9
	Cerezo	2,4
	Damasco	34,8
	Duraznero consumo fresco	62,9
	Duraznero tipo conservero	307
	Frambuesa	1,2
	Huerto casero	16,9
	Limonero	4,7
	Naranja	1,7
	Nectarino (pelados)	86,1
	Nogal	431
	Olivo	41,4
	Otros frutales	84,2
	Palto	86,6
	Uva de mesa	2361,6
	8	<b>QUILLOTA</b>
Almendro		2,60
Arándano		23,80
Cerezo		17,30
Chirimoyo		13,60
Clementina		20,30
Duraznero consumo fresco		0,60
Huerto casero		14,50
Kiwi		15,00
Limonero		336,10
Lúcuma		2,30
Mandarina		7,60
Manzano verde		18,60
Naranja		308,90
Níspero		4,60
Nogal		0,50
Olivo		1,90
Otros frutales		56,60
Palto		2.704,10
Pomelo	17,70	
9	<b>CALERA</b>	

Nº	COMUNA / ESPECIES	SUPERFICIE (Ha)
	Huerto casero	1,90
	Kiwi	5,30
	Limonero	6,20
	Naranja	11,50
	Nogal	10,00
	Otros frutales	25,20
	Palto	444,00
10	HIJUELAS	
	Almendro	81,70
	Clementina	6,50
	Damasco	4,30
	Duraznero tipo conservero	5,70
	Huerto casero	7,90
	Kiwi	28,00
	Limonero	107,10
	Mandarina	13,70
	Naranja	118,60
	Níspero	13,50
	Nogal	8,20
	Olivo	42,20
	Otros frutales	111,90
	Palto	1.882,10
Pomelo	28,60	
11	LA CRUZ	
	Arándano	8,70
	Chirimoyo	70,80
	Huerto casero	6,50
	Limonero	54,70
	Lúcuma	6,20
	Naranja	53,50
	Otros frutales	88,00
	Palto	2.148,80
12	LIMACHE	
	Almendro	100,60
	Chirimoyo	6,70
	Huerto casero	20,20
	Kiwi	71,10
	Limonero	156,75
	Naranja	91,50
	Nogal	36,10

Nº	COMUNA / ESPECIES	SUPERFICIE (Ha)
	Olivo	6,25
	Otros frutales	64,00
	Palto	418,70
	Pomelo	5,40
	Uva de mesa	71,50
13	NOGALES	
	Almendro	118,70
	Arándano	24,00
	Clementina	34,00
	Duraznero tipo conservero	10,50
	Huerto casero	9,80
	Kiwi	67,20
	Limonero	124,50
	Mandarina	23,30
	Naranja	361,40
	Nogal	196,90
	Olivo	11,80
	Otros frutales	123,20
	Palto	1.058,80
	Pomelo	2,80
Uva de mesa	11,80	
14	OLMUÉ	
	Almendro	13,70
	Chirimoyo	2,40
	Damasco	1,30
	Duraznero consumo fresco	1,10
	Huerto casero	60,60
	Kiwi	22,00
	Limonero	118,40
	Lúcuma	6,90
	Manzano rojo	0,40
	Manzano verde	0,40
	Naranja	27,10
	Nogal	11,60
	Olivo	26,30
	Otros frutales	13,20
Palto	434,00	
Peral europeo	1,70	
Tuna	1,90	
Uva de mesa	0,30	

Nº	COMUNA / ESPECIES	SUPERFICIE (Ha)
15	SAN FELIPE	
	Almendro	0,70
	Cerezo	23,70
	Ciruelo japonés	63,20
	Clementina	17,00
	Damasco	30,90
	Duraznero consumo fresco	140,80
	Duraznero tipo conservero	625,80
	Frambuesa	7,90
	Huerto casero	26,70
	Kiwi	21,40
	Limonero	4,70
	Naranja	6,40
	Nectarino (pelados)	65,60
	Nogal	149,61
	Olivo	73,80
	Otros frutales	111,60
	Palto	429,70
	Tuna	18,00
Uva de mesa	2.624,09	
16	CATEMU	
	Almendro	10,80
	Arándano	9,80
	Damasco	30,40
	Duraznero consumo fresco	51,00
	Duraznero tipo conservero	87,40
	Huerto casero	4,40
	Limonero	7,20
	Naranja	76,70
	Nogal	118,30
	Olivo	28,80
	Otros frutales	34,10
	Palto	387,30
Uva de mesa	635,20	
17	LLAILLAY	
	Almendro	8,30
	Cerezo	27,00
	Ciruelo europeo (deshidratado)	43,30
	Damasco	82,00
	Duraznero consumo fresco	58,40

Nº	COMUNA / ESPECIES	SUPERFICIE (Ha)
	Duraznero tipo conservero	23,50
	Huerto casero	5,50
	Limonero	16,60
	Naranja	6,00
	Nogal	51,90
	Olivo	40,20
	Otros frutales	143,20
	Palto	790,00
	Peral europeo	32,10
	Tuna	4,60
	Uva de mesa	867,70
	18	PANQUEHUE
Clementina		69,80
Damasco		20,50
Duraznero consumo fresco		0,80
Duraznero tipo conservero		132,20
Huerto casero		1,40
Limonero		28,90
Naranja		56,10
Nogal		46,60
Otros frutales		163,50
Palto		1.650,50
Uva de mesa		509,60
19	PUTAENDO	
	Almendro	100,40
	Cerezo	35,00
	Ciruelo europeo (deshidratado)	26,20
	Ciruelo japonés	11,40
	Damasco	253,80
	Duraznero consumo fresco	35,80
	Duraznero tipo conservero	931,10
	Huerto casero	34,80
	Limonero	6,30
	Naranja	7,30
	Nectarino (pelados)	1,70
	Nogal	518,40
	Olivo	55,70
Otros frutales	37,70	
Palto	58,20	
Tuna	10,60	

Nº	COMUNA / ESPECIES	SUPERFICIE (Ha)
	Uva de mesa	167,00
20	SANTA MARÍA	
	Ciruelo europeo (deshidratado)	33,70
	Ciruelo japonés	86,40
	Damasco	52,40
	Duraznero consumo fresco	145,50
	Duraznero tipo conservero	440,40
	Higuera	2,00
	Huerto casero	7,60
	Naranja	2,30
	Nectarino (pelados)	113,10
	Nogal	218,90
	Olivo	261,40
	Otros frutales	82,70
	Palto	87,90
	Tuna	42,50
	Uva de mesa	2.214,50
<b>TOTAL</b>		<b>39040,6</b>

**Prácticas asociadas al cultivo de frutales:** el cultivo de frutales es de carácter perenne y caducos, no obstante requieren de la aplicación de técnicas agronómicas durante todo el año, de acuerdo al estado fenológico de los frutales, comenzando el ciclo en otoño, con la poda, aplicación de agroquímicos, continuando con el riego, aplicación de herbicidas, regulación de carga frutal, nutrición foliar y finalmente cosecha; generalmente en verano, para volver a comenzar el ciclo en otoño.

#### **1.4 Producción Pecuaria**

Existen en la Cuenca un total de 83.187 cabezas de ganado, compuestas principalmente por bovinos, ovinos, cerdos, caprinos y equinos. La Tabla 47, muestra la composición comunal del ganado, donde se aprecie que los animales predominantes corresponden a bovinos, caprinos y equinos.

Tabla 47. Número de cabezas de ganado, presentes en la Cuenca, por Comuna. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIREN, 2007).

Nº	COMUNAS	Bovinos	Ovinos	Cerdos	Equinos			Caprinos	Camélidos		Jabalíes	Ciervos	Conejos
					Caballares	Mulares	Asnales		Alpacas	Llamas			
1	CONCON	130	0	0	43	0	0	0	0	0	0	0	0
2	QUINTERO	2704	75	27	701	0	0	478	0	4	0	0	42
3	VILLA ALEMANA	126	11	0	100	0	0	0	0	0	0	0	10
4	LOS ANDES	361	16	0	170	37	0	52	0	0	0	0	0
5	CALLE LARGA	1195	123	7	600	7	5	232	0	0	0	0	17
6	RINCONADA	322	62	12	211	0	7	648	0	0	0	0	59
7	SAN ESTEBAN	2490	582	13159	955	142	54	3116	0	0	0	0	419
8	QUILLOTA	2333	218	47	1076	0	0	60	0	0	0	0	91
9	CALERA	605	14	0	470	0	0	99	0	0	0	0	0
10	HIJUELAS	385	35	12	837	24	14	871	0	0	0	0	78
11	LA CRUZ	59	0	5	144	0	0	0	0	0	0	0	0
12	LIMACHE	1946	103	73	831	0	8	88	0	12	0	0	59
13	NOGALES	2529	455	135	1225	9	0	1016	0	53	0	0	243
14	OLMUÉ	552	61	26	409	29	15	125	0	3	0	0	147
15	SAN FELIPE	1052	125	256	421	7	33	823	42	0	0	0	193
16	CATEMU	1383	181	240	1023	3	10	2314	0	3	0	0	208
17	LLAILLAY	1181	423	94	707	11	0	2259	0	0	0	0	141
18	PANQUEHUE	279	48	27	411	0	0	479	0	0	0	0	0
19	PUTAENDO	5121	444	218	1639	174	200	10945	11	5	0	0	92
20	SANTA MARÍA	523	1325	16	200	23	13	626	40	0	0	0	55
	<b>TOTAL (Cabezas)</b>	<b>25276</b>	<b>4301</b>	<b>14354</b>	<b>12173</b>	<b>466</b>	<b>359</b>	<b>24231</b>	<b>93</b>	<b>80</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1854</b>

**Prácticas asociadas a la producción pecuaria:** La producción pecuaria de la Cuenca, es de pequeño tamaño, en términos de estructura productiva. La alimentación de caprinos y equinos, es a través de pastoreo directo en base a praderas naturales, mientras que los bovinos, pueden ser alimentados en sistemas bajo confinamiento, o también en base a pastoreo.

### 1. 5 Producción Agroindustrial:

En la región de Valparaíso, existe un total de 24 plantas agroindustriales, de las cuales el 75% se encuentra en la Cuenca del Aconcagua; representadas por Plantas de aceite de oliva (11%), plantas de deshidratados (61%) y conservas (33%) (Tabla 48).

Tabla 48. Plantas agroindustriales, por tipo de producción, número y ubicación en la Cuenca del Aconcagua. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de ODEPA, 2015d)

Tipo de Producción	Ubicación y Número de plantas
Almazaras-Aceite Oliva	Quillota (1)
	Quillota (1)
	San Felipe (7)
Deshidratados	Nogales (1)
	Limache (1)
	Putendo (1)
	Quillota (2)
	Llayllay (1)
Conservas	Los Andes (1)
	San Felipe (2)
	<b>Total Plantas</b>
	<b>18</b>

**Prácticas asociadas a la producción agroindustrial:**

- Producción de aceite: selección, molinos, extracción física de aceite, filtrado, generación de residuos líquidos y sólidos
- Plantas conservas: Selección, lavado, evaporadores, túneles, almacenamiento, generación de residuos líquidos y sólidos, consumo eléctrico
- Plantas deshidratadoras: Selección, lavado, deshidratadores, túneles, almacenamiento, generación de residuos líquidos y sólidos, consumo eléctrico.

**Proyección de escenarios de crecimiento del o los rubros productivos y consiguiente aumento en la generación de emisiones difusas.**

A partir de lo anteriormente expuesto, y en función del uso actual del suelo de la Cuenca, es evidente que más del 60% de la superficie, corresponde a terrenos estériles (39%) y matorrales (22%) mientras que sólo el 30% corresponde a suelos con uso agrícola (Tabla 49).

Tabla 49. Distribución, por comuna, de los usos de suelo presentes en la Cuenca del Aconcagua (ODEPA, 2007).

Nº	COMUNAS	Uso del suelo (ha)									
		Suelos de cultivo			Otros suelos						
		Cultivos anuales y permanentes	Forrajeras permanentes de rotación	En barbecho y descanso	Praderas		Plantaciones forestales	Bosque Nativo	Matorrales	Infraestructuras, caminos, embalses, etc. No incluye invernaderos)	Terrenos estériles y otros no aprovechables (arenales, pedregales, pantanos, etc.)
Mejoradas	Naturales										
1	CONCON	36,4	26	20	0	2517,2	541,3	22	1329,2	40,4	14
2	QUINTERO	221,02	101,2	510,98	1009,4	6296	751,1	1104,9	829,6	184,53	586,6
3	VILLA ALEMANA	109,1	0,3	10,9	56,1	2729,1	86,2	222,2	979,8	106,3	0,8
4	LOS ANDES	1278,3	243,7	464,1	99,1	3554,8	0,8	40	6836,3	193,6	39309,3
5	CALLE LARGA	2967,76	293,9	316,3	17,2	2004,3	5	2000	4662,2	596,68	17390,7
6	RINCONADA	2006,5	226,6	308	14,1	798,4	9,5	117	2514,6	198,9	1454,4
7	SAN ESTEBAN	3904,52	446,6	386,93	957,4	33127,6	17,3	10128,8	26314	2708,68	48579,5
8	QUILLOTA	5487,65	288,3	532,14	1367,65	5190,33	187,5	1808,4	4953,5	495,88	1797,89
9	CALERA	767,64	6,4	89,12	7,5	80,17	19	58,6	199,6	62,97	50,5
10	HIJUELAS	3887,71	217,7	751,06	56,4	468,74	126,2	609,3	1940,9	298,35	631,64
11	LA CRUZ	2635,04	1,7	143,58	28,5	432,5	20,9	602,9	529,8	255,19	622,99
12	LIMACHE	1858,76	200,2	1675,85	5472,5	2617,98	1167,46	708,1	852,18	363,69	45,3
13	NOGALES	3183,51	497,1	639	172,2	4565,17	48,5	1190,1	1402,79	408,25	46,2
14	OLMUÉ	946,19	90,4	292,12	249,6	52,75	427,1	3561,9	842,84	178,03	1171,77
15	SAN FELIPE	5067,09	514,7	608,66	62,67	1550,5	34,6	855,7	2880,1	472,52	2278,1
16	CATEMU	2650,21	926,9	400,3	115,5	218,6	112,1	10	1519,8	258,59	3823,9
17	LLAILLAY	3756,57	473,8	305,8	194,5	128,1	11,8	206	3518,6	401,23	7045,3
18	PANQUEHUE	3709,75	563,6	486,3	89,1	132,5	42,7	0	1620,7	401	3409,75
19	PUTAENDO	2738,15	656	890,5	55,3	4207,3	326,9	7,2	47047	233,85	68255
20	SANTA MARÍA	3948,74	136,8	376,43	0,8	1813,93	0,2	1014,7	1894,7	265,84	573,8
	<b>TOTAL (ha)</b>	<b>51160,61</b>	<b>5911,9</b>	<b>9208,07</b>	<b>10025,52</b>	<b>72485,97</b>	<b>3936,16</b>	<b>24267,8</b>	<b>112668,21</b>	<b>8124,48</b>	<b>197087,44</b>

De las 66.280 hectáreas de uso agrícola, el 58% corresponde a producción frutales, seguido por la producción de hortalizas (20%), y producción de plantas forrajeras (para alimentación de animales propios) (13%). A partir de esta información se hace evidente que las principales actividades agrícolas de la Cuenca están actualmente relacionadas con la producción de frutales y hortalizas; las cuales, como ha sido descrito previamente, requieren de grandes cantidades de agroquímicos y agua de riego para su producción.

No obstante lo anterior, podría plantearse como hipótesis que en los próximos años se producirá el estancamiento y/o detención del crecimiento de dichos rubros productivos, debido al cambio climático, y principalmente a la disminución de la pluviometría en la Cuenca; de acuerdo a la Dirección General de Aguas (DGA, 2015) al 31 de agosto de 2014, la estación San Felipe presentaba un déficit pluviométrico de 57%, mientras que la Cuenca del Aconcagua, un déficit del 65%; esto sumado a la inexistencia embalses para riego en toda la Región de Valparaíso. Esta situación, podría asociarse además, a la disminución en la superficie cultivada de las principales especies (Tabla 50).

Tabla 50. Variación en términos de superficie de las principales especies frutales cultivadas en la Región de Valparaíso.(Fuente: Odepa, 2015).

Especie	Superficie Región 2008 (ha)	Superficie Región 2013 (ha)	Variación	Diferencia	Especie/Región a 2013
Palto	22.007,6	18.588,0	-15,5%	-3.419,6	39,5%
Vid de mesa	11.696,5	10.770,9	-7,9%	-925,6	22,9%
Nogal	3.281,1	5.644,0	72,0%	2.363,0	12,0%
Duraznero tipo conservero	3.251,3	3.049,2	-6,2%	-202,1	6,5%
Naranja	1.876,5	1.555,6	-17,1%	-320,9	3,3%
Limonero	2.466,0	1.466,0	-40,6%	-1.000,0	3,1%
Mandarino	719,8	1.096,8	52,4%	376,9	2,3%
Almendro	937,1	1.043,3	11,3%	106,2	2,2%
Olivo	1.078,7	1.012,6	-6,1%	-66,1	2,2%
Nectarino	351,9	326,6	-7,2%	-25,2	0,7%
Otros	3.164,4	2.499,6	-21,0%	-664,9	5,3%
<b>Total</b>	<b>50.830,9</b>	<b>47.052,7</b>	<b>-7,4%</b>	<b>-3.778,2</b>	<b>100,0%</b>

Tabla 51. Variación en términos de superficie de las principales hortalizas cultivadas en la Región de Valparaíso. (Fuente: Odepa, 2015).

Especie	Superficie Región 2012 (ha)	Superficie Región 2013 (ha)	Variación	Especie/Región 2013
Choclo	1.060,1	1.123,3	6,0%	13,8%
Lechuga	819,5	1.045,6	27,6%	12,8%
Poroto Granado	981,7	823,8	-16,1%	10,1%
Tomate consumo fresco	965,8	715,9	-25,9%	8,8%
Alcachofa	729,6	604,6	-17,1%	7,4%
Zanahoria	871,5	552,9	-36,6%	6,8%
Repollo	482,2	502,0	4,1%	6,2%
Cebolla de Guarda	370,4	330,1	-10,9%	4,1%
Cebolla Temprana	357,5	307,8	-13,9%	3,8%
Arveja verde	167,4	265,3	58,5%	3,3%
Otros	1.648,2	1.877,3	13,9%	23,0%
<b>Total</b>	<b>8.453,9</b>	<b>8.148,6</b>	<b>-3,6%</b>	<b>100,0%</b>

Finalmente, y en relación a la producción agroindustrial, es posible plantear como hipótesis que aun cuando disminuya la producción de frutas y hortalizas de la Cuenca, la producción de conservas, deshidratados y aceite de oliva, experimenten crecimiento, o se mantengan, dado que reciben materia prima, tanto de otras comunas de la Región, como del País (Odepa, 2012).

***OBJETIVO 3: CALCULAR EL INVENTARIO DE EMISIONES ESPACIALIZADO QUE INCLUYA TODOS LOS PARÁMETROS DESEADOS***

**ACTIVIDAD G. MEDIR O ESTIMAR LA CARGA CONTAMINANTE PROVENIENTES DE FUENTES DIFUSAS VERTIDAS AL RÍO ACONCAGUA Y SUS PRINCIPALES AFLUENTES, CONSIDERANDO CAUDALES Y CONCENTRACIONES DE PARÁMETROS PRIORIZADOS EN EL ESTUDIO. ESTA PROPUESTA PRIORIZADA DEBE SER CONSENSUADA CON LA CONTRAPARTE TÉCNICA.**

La utilización de los diferentes modelos aplicados en esta consultoría va en estrecha relación con el cumplimiento de los objetivos específicos de la misma. Sin embargo, el análisis de sus resultados y el contexto del estudio basado en la detección de la contaminación difusa en la cuenca, da pie para relacionarlos con las áreas de vigilancia propuestas para la Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA). Estas áreas son propuestas en la consultoría desarrollada por CENMA (2014) con el fin de gestionar el control de las aguas continentales, de este modo dichas áreas servirán en el presente estudio para analizar los resultados y sintetizar la información que cada uno de los modelos nos muestra. Lo anterior para facilitar el desarrollo y propuesta que contempla el plan de gestión desarrollado en el último objetivo específico.

Tal como se detalló anteriormente, los resultados de los modelos, fueron subdivididos en distintas áreas de vigilancia (Figura 10) de las cuales las provincias y comunas a las que corresponden se detallan en la

Tabla 52.

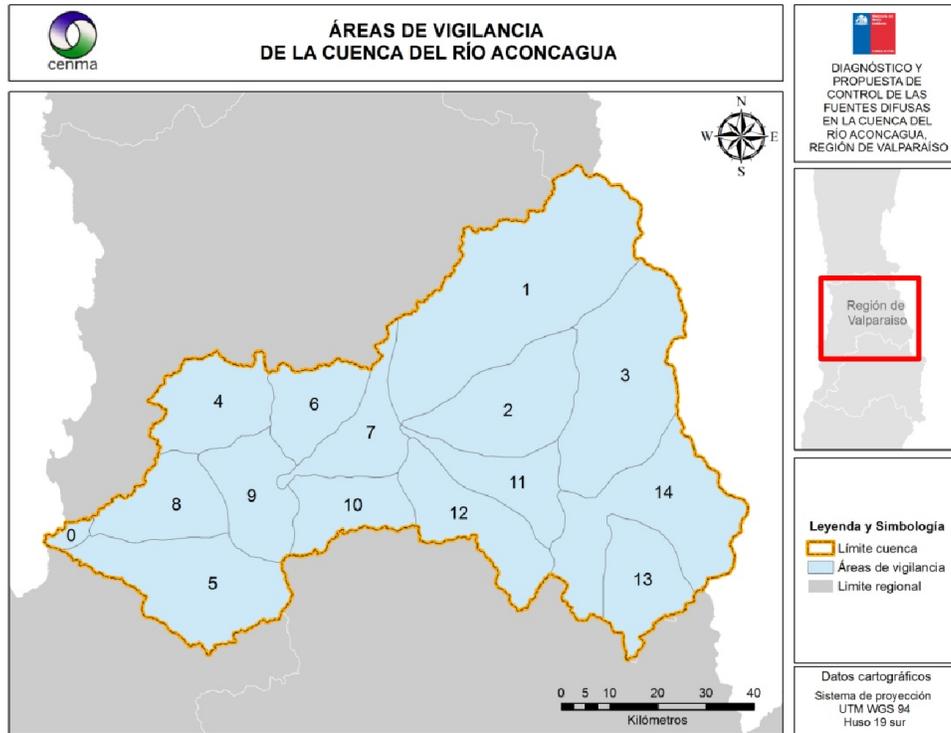


Figura 10. Áreas de vigilancia de la cuenca del Río Aconcagua con las que se analizaron los resultados de los modelos aplicados.

Tabla 52. Provincia y comunas de la cuenca del Río Aconcagua ubicada en las áreas de vigilancia propuestas para la clasificación de los resultados modelados.

Área vigilancia	Nombre provincia	Nombre comuna
1	San Felipe	Putaendo
		San Felipe
2	Los Andes	San Esteban
	San Felipe	San Felipe
		Santa María
4	Quillota	Calera
		Nogales
		Limache
5	Margamarga	Olmué
		Villa Alemana
		Quillota
6	Valparaíso	Concón
	San Felipe	Catemu
		Quillota
7	San Felipe	Hijuelas
		Catemu
		Llaillay
		Panquehue
		San Felipe
8	Margamarga	Limache
		Calera
		La Cruz
		Nogales
		Quillota
9	Quillota	Calera
		Hijuelas
	San Felipe	La Cruz
		Catemu

Área vigilancia	Nombre provincia	Nombre comuna
10	San Felipe	Llaillay
		Llaillay
		Panquehue
		Calle Larga
11	Los Andes	Los Andes
		San Esteban
		Panquehue
		San Felipe
12	Los Andes	Santa María
		Calle Larga
		Los Andes
	San Felipe	Rinconada
		San Felipe

### 3.1. Modelos de transporte de productos fitosanitarios (PFS)

A continuación se resumen los resultados de la estimación de la carga de PFS vertidos al río Aconcagua y sus principales afluentes mediante modelos espacialmente explícitos que consideran los procesos de escorrentía y deriva.

#### 3.1.1. Escorrentía superficial de PFS genérico disueltos en agua: Modelo de escurrimiento potencial gLOAD

Para este modelo se presentan los resultados espacialmente explícitos y posteriormente se muestra una agrupación de la frecuencia de valores obtenidos en los percentiles 0-20% (valores muy bajos), 20-40% (valores bajos), 40-60% (valores intermedios), 60-80% (valores altos) y 80-100% (valores muy altos). Estos percentiles permiten determinar qué valores son los más representativos de las áreas de vigilancia descritas en la Figura 10.

La escorrentía potencial de un PFS genérico es influenciada por la geomorfología y el clima, en particular la pendiente del terreno, el contenido de carbono orgánico, la textura del suelo y la intensidad de las precipitaciones durante la temporada de crecimiento de los cultivos frutícolas. Es importante considerar, al analizar los resultados del modelo gLOAD, que éste sobre estima las concentraciones presentes en el agua ya que no considera, zonas buffer ni la degradación del compuesto. Por tanto, es considerado como un indicador de las áreas donde se produce un mayor impacto producto de las actividades agrícolas, que utilizan no sólo PFS sino también fertilizantes.

Las imágenes Raster que definen los atributos mencionados y que determinan el potencial de escurrimiento se muestran en lasFigura 11, Figura 12 y Figura 13.

Es importante destacar que gran parte de los cultivos de la cuenca del Río Aconcagua están en las zonas de menor pendiente y que la intercepción de los cultivos frutícolas supera el 50% en gran porción de los cultivos (Figura 11 y Figura 12).

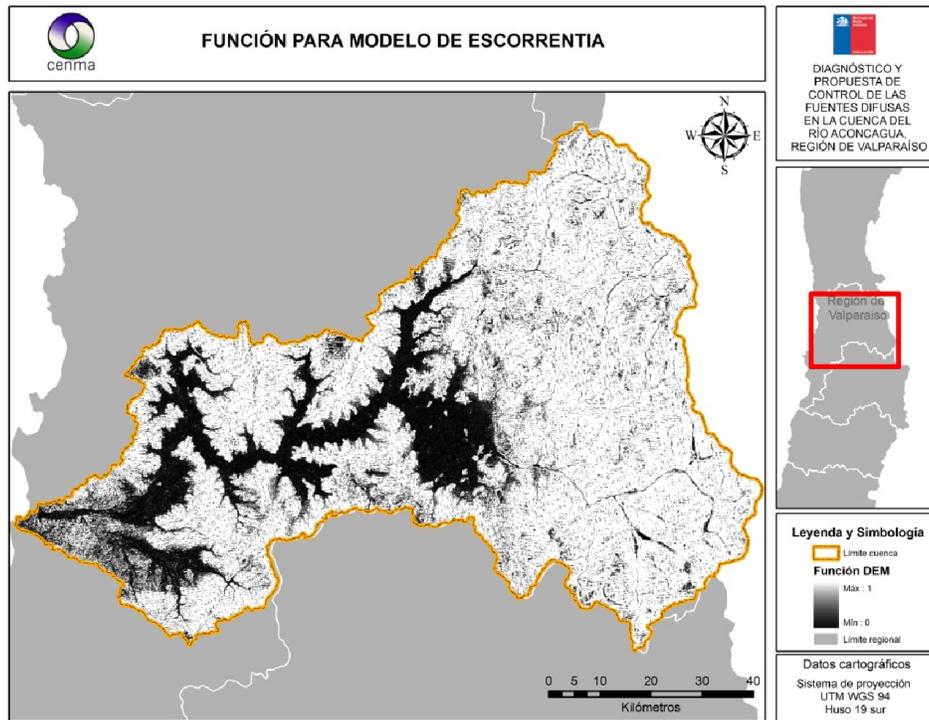


Figura 11. Resultados de la función de la pendiente de Beinat y Van der Berg (1996) aplicados al modelo de elevación digital de la cuenca del Río Aconcagua. Los valores de menor y mayor pendiente están representados por una coloración oscura y clara, respectivamente.

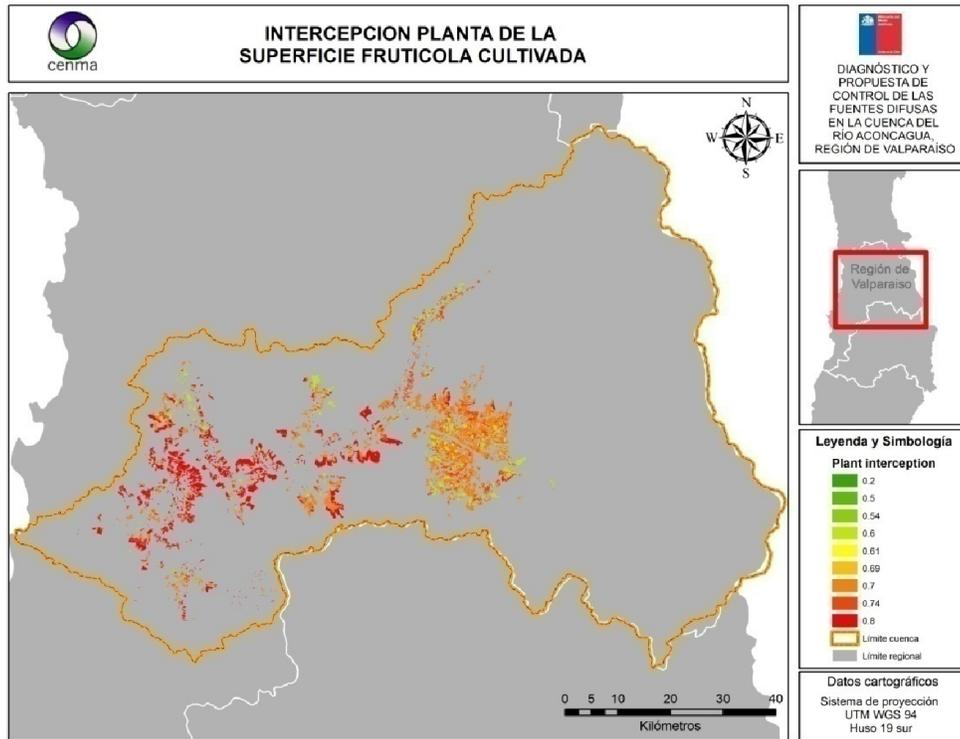


Figura 12. Valores calculados de IP (intercepción Planta) respecto a las aplicaciones de PFS. El gradiente de coloración hacia rojo indica una mayor intercepción de los cultivos en la zona.

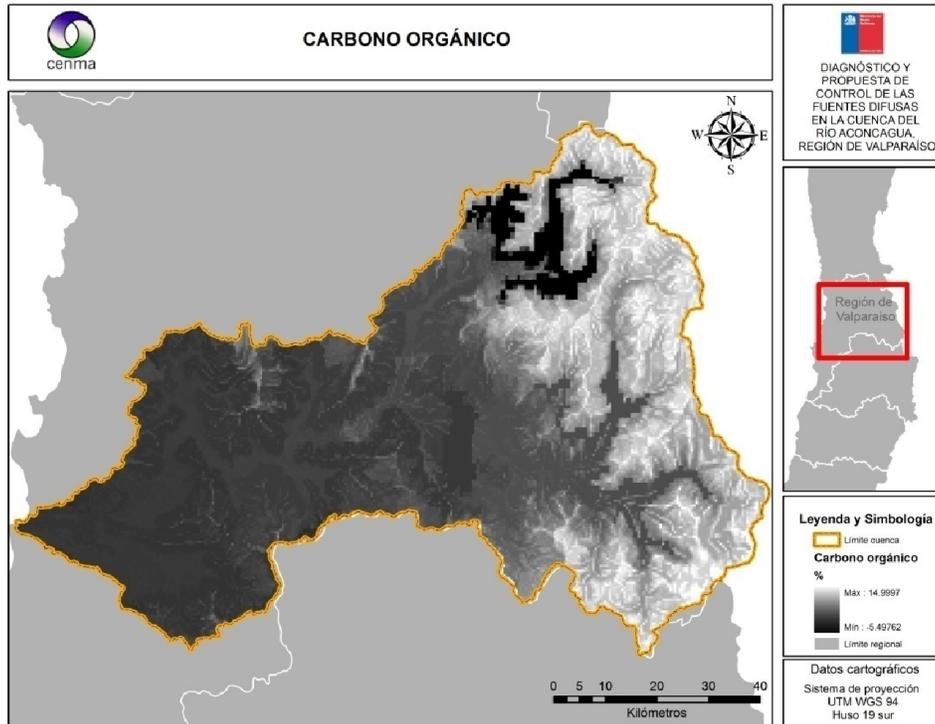


Figura 13. Valores de % de Carbono Orgánico estimados en la cuenca del Río Aconcagua de acuerdo a Padarian (2012).

En este estudio se modeló la escorrentía de un PFS genérico considerando escenarios de precipitaciones representativos (10, 30 y 50 mm) y distribuidos homogéneamente en la cuenca. Los resultados preliminares del modelo indicaron que los valores *gLOAD* fueron menores para un escenario de 10 mm y mayores para un escenario de 50 mm de precipitaciones.

### 3.1.1.1. Modelo de escurrimiento potencial *gLOAD*: cultivos frutícolas

De acuerdo a la clasificación del escurrimiento potencial para los eventos de lluvia propuestos (Tabla 53), en el escenario de 10 mm el escurrimiento fue predominantemente de muy bajo a bajo en gran parte de la cuenca con reducidas extensiones de cultivo que presentan un escurrimiento de moderado a medio (Figura 14). Sin embargo, para los escenarios de 30 y 50 mm se observó una mayor ocurrencia de escurrimiento potencial alto, el cual se intensifica con el aumento de las precipitaciones (Figura 15 y Figura 16).

Tabla 53. Categorías de intensidad del escurrimiento potencial para cultivos frutícolas, de acuerdo a los valores de gLOAD obtenidos en los escenarios de 10, 30 y 50 mm de precipitaciones.

Rango gLOAD (g ha <sup>-1</sup> )	Clasificación
0 – 0.005	Muy bajo
0.005 – 0.010	Bajo
0.010 – 0.025	Intermedio
0.025 – 0.050	Alto
0.050 – 0.50	Muy alto

**Fuente:** elaboración propia

Los valores de mayor escorrentía se observan en las zonas con mayor pendiente, lo que impactaría, sin duda, aquellos ecosistemas acuáticos ubicados en esteros de quebradas con bajo caudal, por lo tanto, baja capacidad de diluir el contaminante. Considerando la sobre estimación del modelo, por cada kg de PFS que se aplica, en las áreas de color verde (Figura 14) se transportan por escorrentía superficial hasta 5g de PFS por hectárea. Esto significa que por cada kg de PFS aplicado se pierde el 0,5% por escorrentía superficial. Sin embargo, este porcentaje es variable dependiendo de las propiedades del ingrediente activo aplicado el cual puede tener una mayor o menor afinidad con el suelo, modificándose la fracción que efectivamente alcanza los cursos de agua superficial.

Se debe mencionar que falta un análisis de estos resultados en función de los caudales presentes en las diferentes subcuencas, como también, en función de la distribución de los valores, a una escala adecuada para visualizar en forma espacial los resultados. En este informe preliminar los valores de *gLOAD* representados en los mapas fueron ajustados a la misma escala para los 3 escenarios de precipitaciones para facilitar la visualización del aumento en la escorrentía potencial.

La distribución de los valores de escurrimiento potencial del modelo GLOAD para cultivos frutícolas en un escenario de 10 mm concentró sus valores dentro del rango más bajo en gran parte de las aéreas de vigilancia. Sin embargo, aun cuando este evento de precipitaciones es débil se presentaron aéreas (4 a 10) donde se alcanzaron valores intermedios de GLOAD los que agruparon hasta el 20% de la frecuencia de valores obtenidos (Color amarillo, área de vigilancia 7; Figura 17a). Al intensificarse los eventos de precipitaciones, en éstas aéreas se alcanzaron valores de GLOAD de altos a muy altos, concentrando hasta el 30% de los valores registrados en el rango muy alto de descarga (color rojo, área de vigilancia 7; Figura 17c). La presencia de valores GLOAD moderados y/o altos, potencialmente se debe a una combinación de zonas de mayor pendiente y de presencia de cultivos con una menor intercepción de su follaje, lo que determina una mayor descarga en las zonas afectadas.

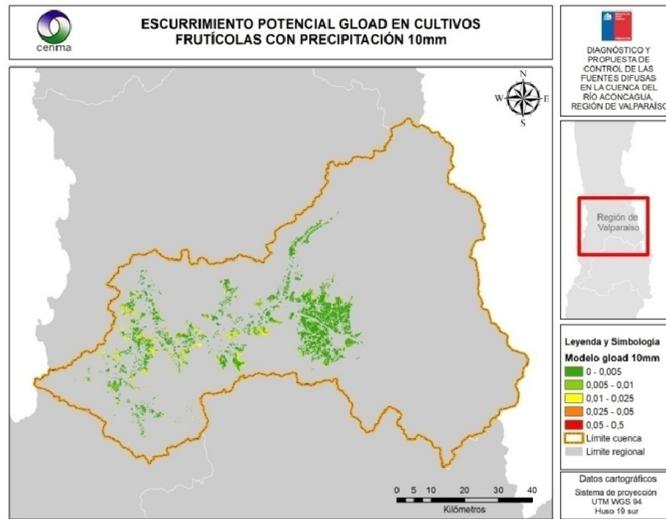


Figura 14. Valores de escurrimiento potencial (*gLOAD*) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 10 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua. Los colores representan eventos de escurrimiento muy bajo (verde oscuro), bajo (verde claro), intermedio (amarillo), alto (naranja) y muy alto (rojo). Para este evento de lluvia los mayores valores de escurrimiento alcanzaron un rango intermedio (amarillo).

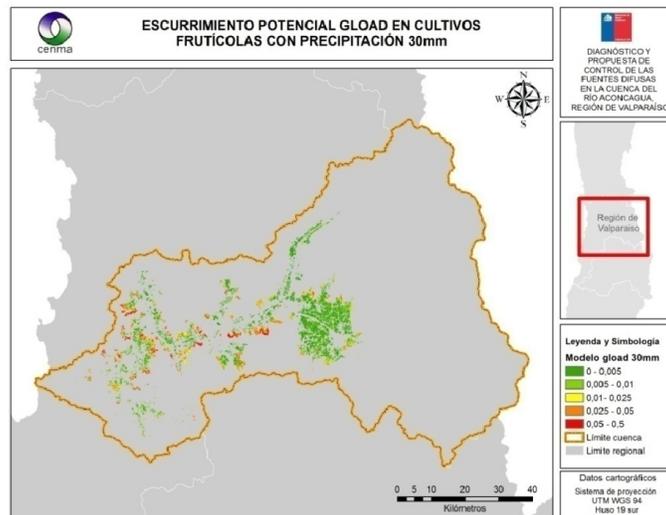


Figura 15. Valores de escurrimiento potencial (*gLOAD*) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 30 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

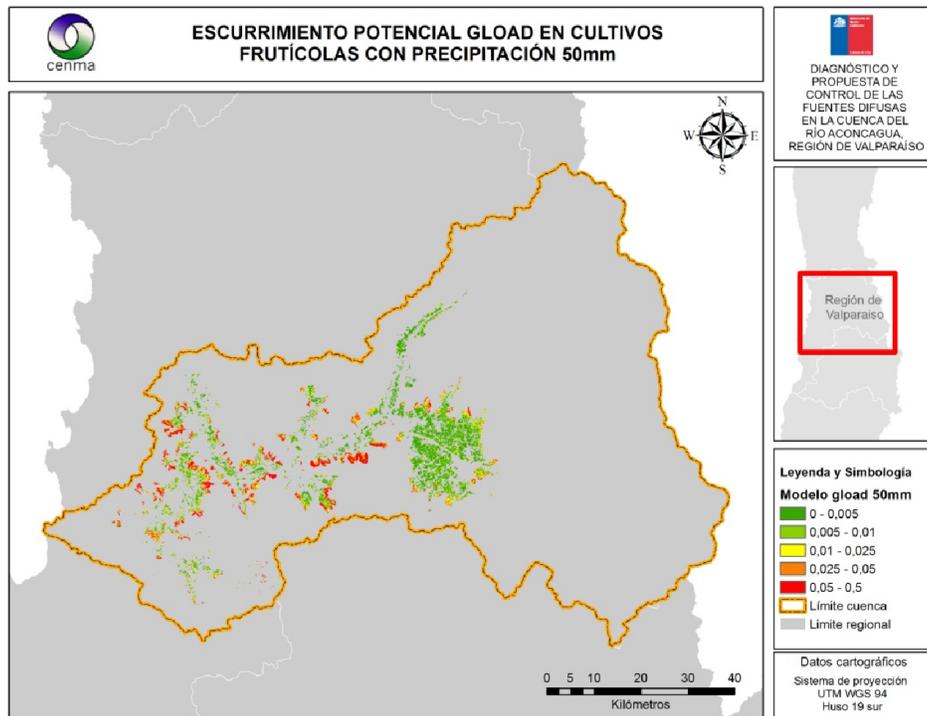


Figura 16. Valores de escurrimiento potencial (*gLOAD*) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

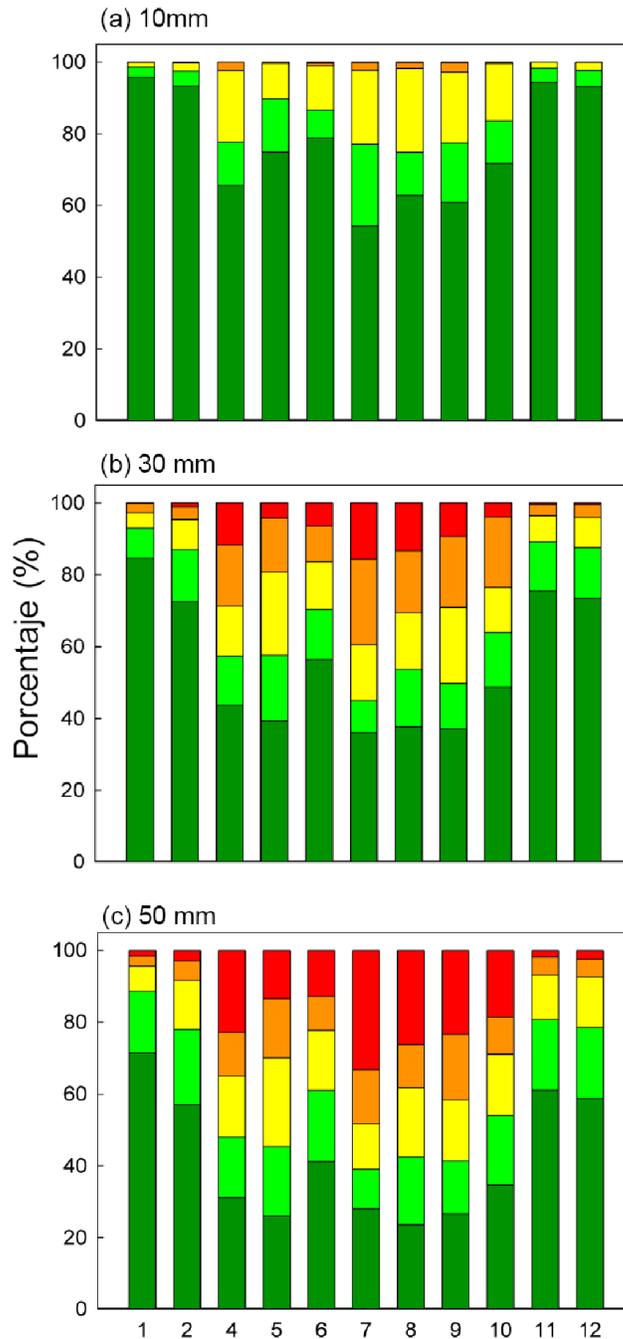


Figura 17. Frecuencia porcentual de los valores GLOAD en **cultivos frutícolas** dentro de los rangos de la Tabla 53 para los eventos de precipitaciones de (a) 10 mm, (b) 30 mm y (c) 50 mm. En el eje-x se muestran las áreas de vigilancia.

### 3.1.1.2. Modelo de escurrimiento potencial gLOAD: hortalizas

De acuerdo a la clasificación del escurrimiento potencial (Tabla 54), en el escenario de 10 mm, el escurrimiento por cultivos de hortalizas presentó valores desde muy bajos a muy altos distribuidos en la cuenca (Figura 18), los valores más elevados se registraron en las zonas con mayor pendiente de la cuenca. Cuando los eventos de lluvia se intensificaron una mayor parte de la cuenca mostró valores altos de escurrimiento (Figura 19 y Figura 20). Nuevamente al igual que con los resultados de GLOAD para cultivos frutícolas, en los cultivos de hortalizas, las aéreas de vigilancia que distribuyeron sus valores dentro de rangos más altos fueron desde el área 4 a el área 10 (Figura 21).

Por otro lado, la distribución de los valores de GLOAD de los cultivos de hortalizas dentro de cada evento de precipitaciones fue diferente para cada área de vigilancia. El patrón general observado fue similar según lo obtenido en especies frutícolas, donde las áreas 4-10 fueron las que presentaron un mayor porcentaje de valores GLOAD dentro del rango mediando a muy alto. Es destacable que dentro del evento de precipitaciones de 10, 30 y 50 mm el área de vigilancia 8 registró un 30, 50 y 60% de frecuencia de valores en el rango muy alto, respectivamente (Figura 21). Seguido con altas frecuencia de valores muy altos en las áreas 7, 9 y 10. Lo que sugiere que en estas zonas la intercepción de hortalizas potencialmente es menor

Tabla 54. Categorías de intensidad del escurrimiento potencial para cultivos de hortalizas, de acuerdo a los valores de gLOAD obtenidos en los escenarios de 10, 30 y 50 mm de precipitaciones.

<b>Rango GLOAD (g ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>
0 - 5,00E-07	Muy bajo
5,00E-07 - 3,86E-06	Bajo
3,86E-06 - 1,52E-05	Intermedio
1,52E-05 - 5,98E-05	Alto
5,98E-05 - 8,15E-03	Muy alto

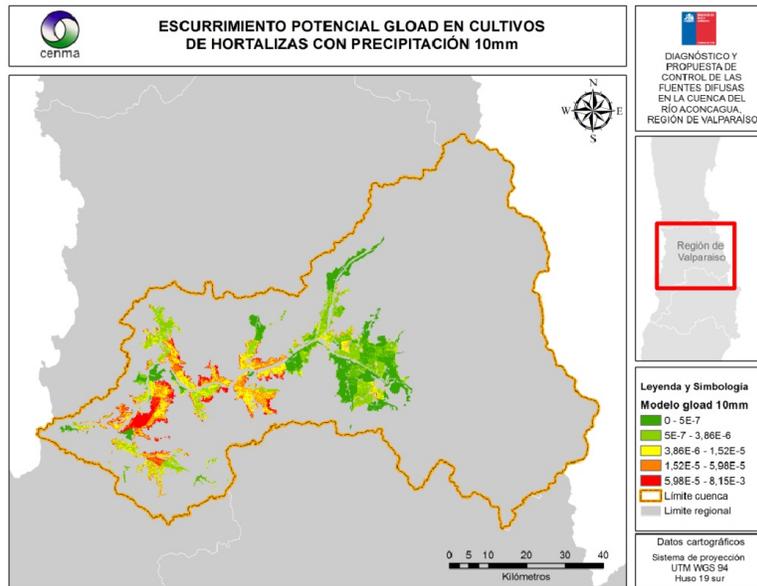


Figura 18. Valores de escurrimiento potencial (*gLOAD*) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 10 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua

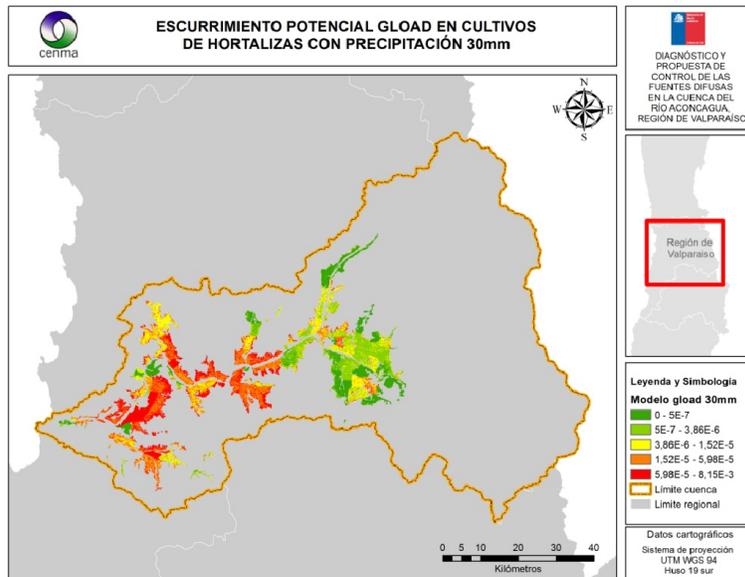


Figura 19. Valores de escurrimiento potencial (*gLOAD*) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 30 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

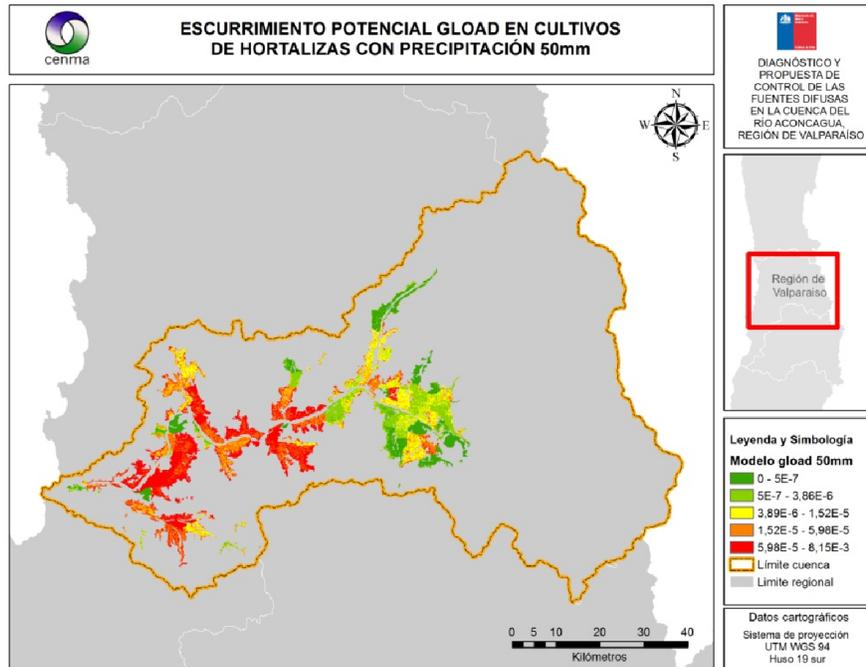


Figura 20. Valores de escurrimiento potencial (*gLOAD*) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

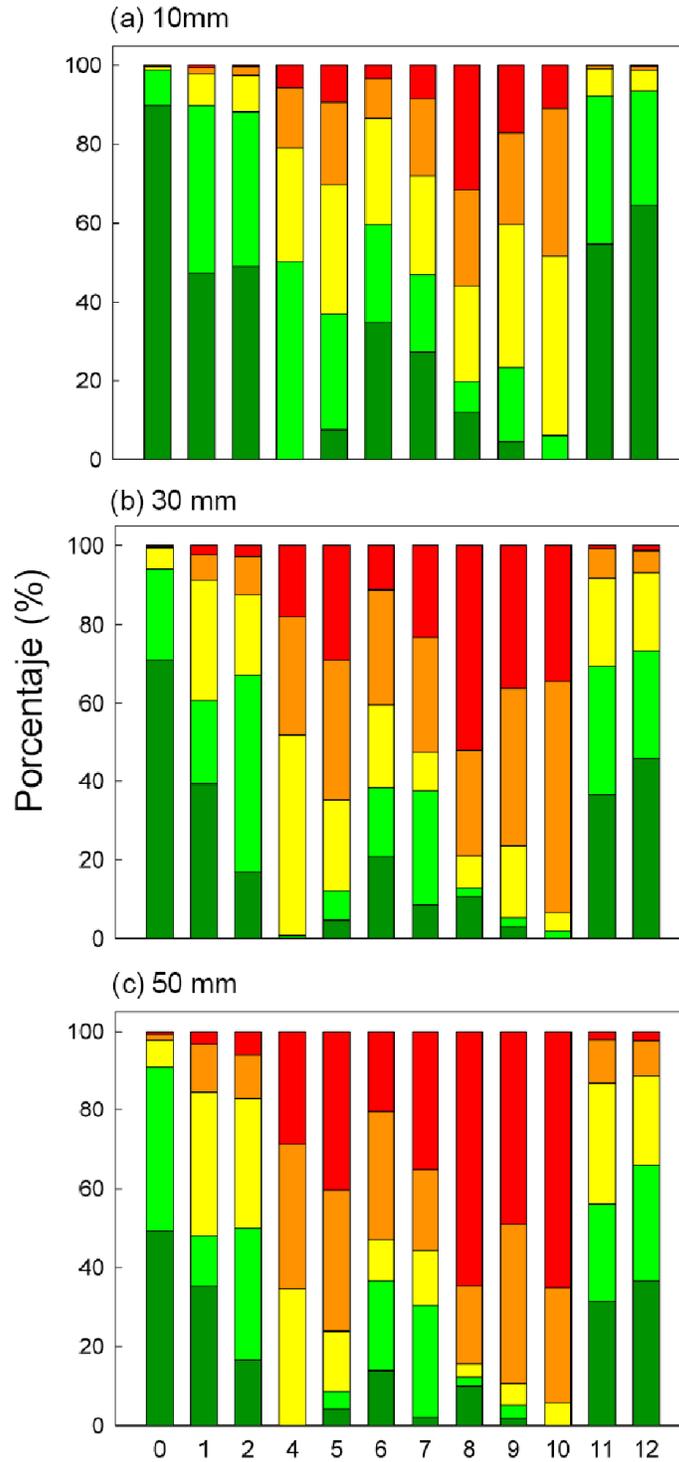


Figura 21. Frecuencia porcentual de los valores GLOAD en **cultivos de hortalizas** dentro de los rangos de la Tabla 54 para los eventos de precipitaciones de (a) 10 mm, (b) 30 mm y (c) 50 mm. En el eje-x se muestran las áreas de vigilancia.

### 3.1.1.3. Modelo de escurrimiento potencial gLOAD: viñedos

De acuerdo a la clasificación del escurrimiento potencial para viñedos (Tabla 55), en el escenario de 10 mm, el escurrimiento presentó predominantemente valores bajos. Sin embargo, existen zonas donde se alcanzaron valores muy altos de escurrimiento, principalmente cerca del curso del Río Aconcagua (Figura 22). Aun cuando los eventos de lluvia se intensificaron, los valores de escurrimiento mantuvieron el patrón espacial registrándose valores de altos a muy altos cerca de las mismas zonas. (Figura 23 y Figura 24). El elevado escurrimiento en algunas zonas en particular pudo estar asociado a las propiedades del suelo (pendiente y carbono orgánico), como también a la capacidad de los cultivos de retener, en este caso un compuesto genérico.

La distribución de frecuencias de los valores GLOAD para viñedos estuvo mayoritariamente representada por el rango muy bajo de valores. Sin embargo aún en el evento de lluvias de menor intensidad (10 mm) existen áreas de vigilancia que presentan valores dentro del rango muy altos, alcanzando aproximadamente el 20% de la frecuencia en las zonas 2, 7 y 9 (Figura 25a). En estas mismas zonas es donde bajo un escenario de precipitación mayor (30 y 50 mm) hay mayor porcentaje de valores dentro del rango de muy alto, alcanzándose el 60% de la frecuencia (Figura 25 b y c)

Tabla 55. Categorías de intensidad del escurrimiento potencial para viñedos, de acuerdo a los valores de gLOAD obtenidos en los escenarios de 10, 30 y 50 mm de precipitaciones.

Percentil (%)	Valor GLOAD	Clasificación
20	0 - 1,00E-07	Muy bajo
40	1,00E-07 - 1,24E-06	Bajo
60	1,24E-06 - 2,48E-06	Intermedio
80	2,48E-06 - 4,95E-06	Alto
100	4,95E-06 - 8,27E-03	Muy alto

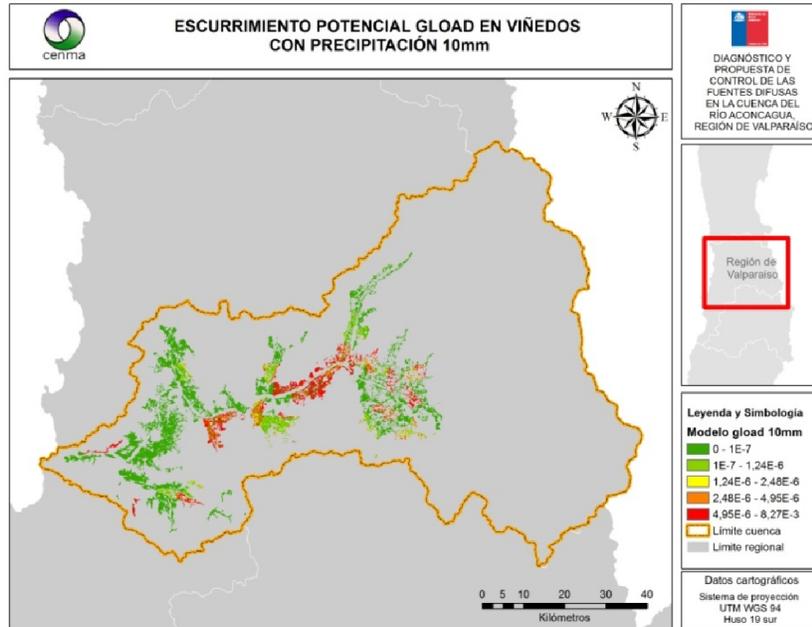


Figura 22. Valores de escurrimiento potencial (*gLOAD*) en cultivos de viñedos para un evento de precipitaciones de 10 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

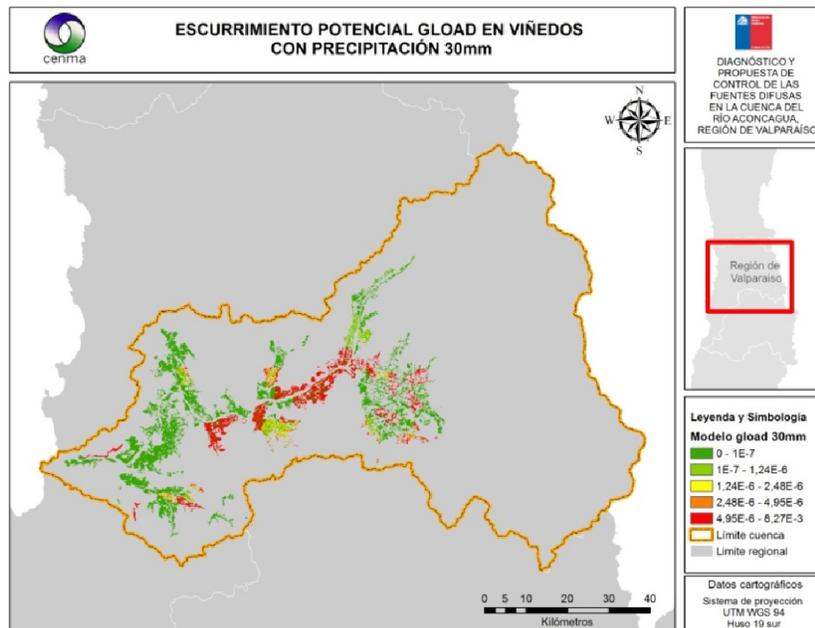


Figura 23. Valores de escurrimiento potencial (*gLOAD*) en cultivos de viñedos para un evento de precipitaciones de 30 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

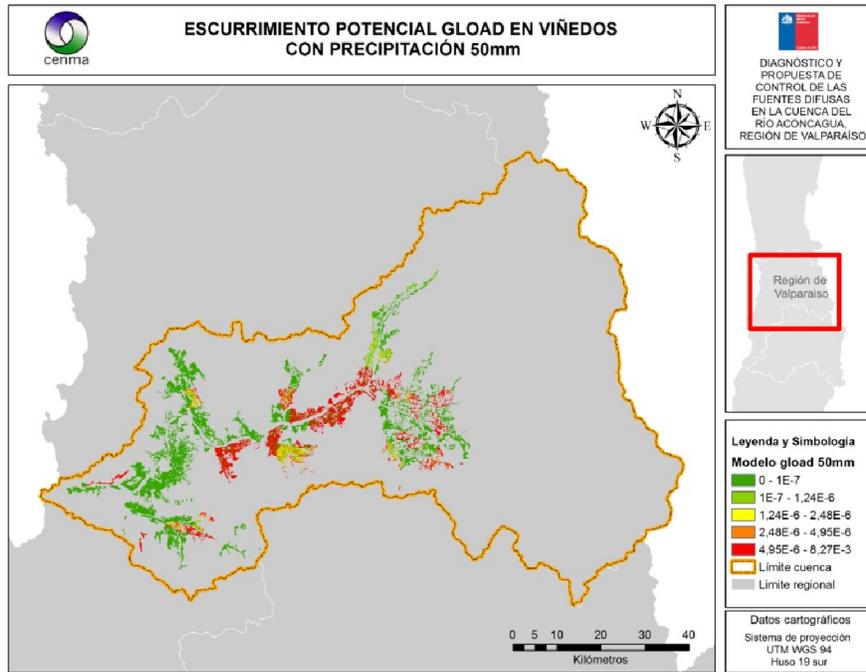


Figura 24. Valores de escurrimiento potencial (*gLOAD*) en cultivos de viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

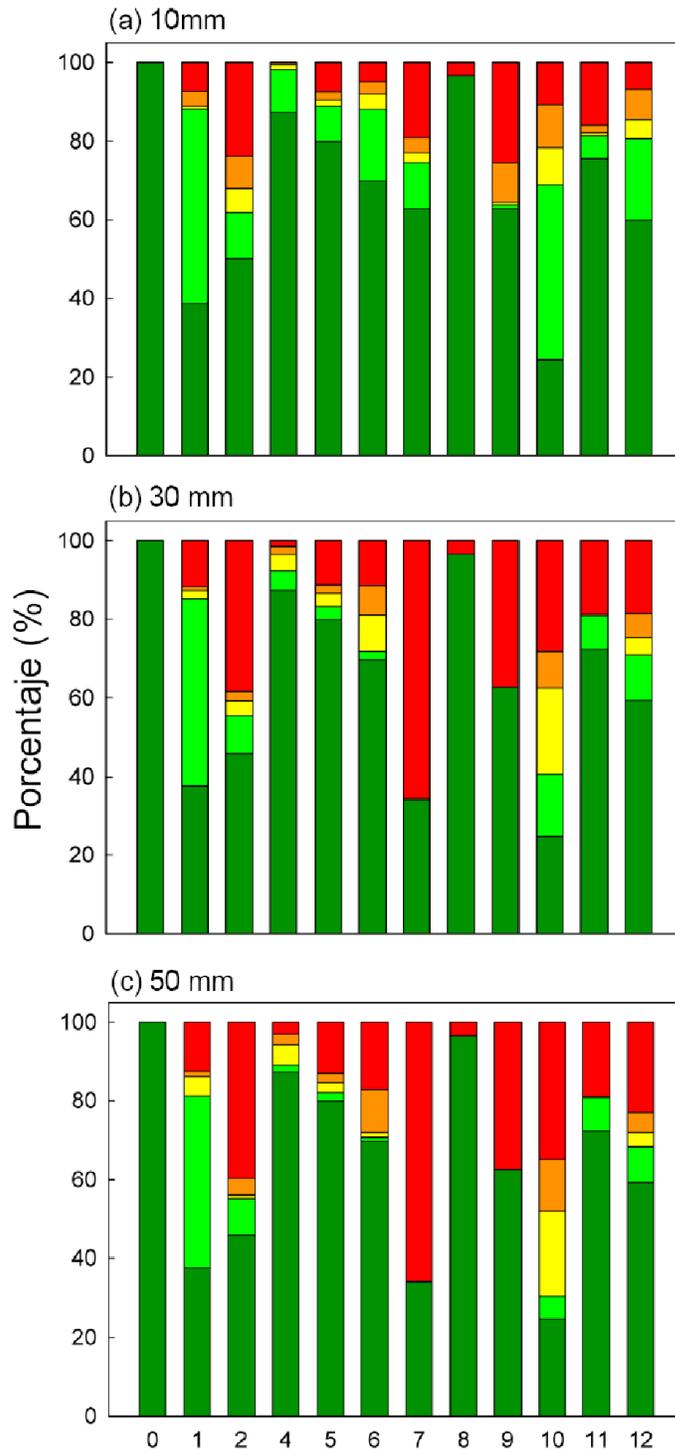


Figura 25. Frecuencia porcentual de los valores GLOAD en **viñedos** dentro de los rangos de la Tabla 55 para los eventos de precipitaciones de (a) 10 mm, (b) 30 mm y (c) 50 mm. En el eje-x se muestran las áreas de vigilancia.

### 3.1.1.4. Resultados y patrones generales del modelo gLOAD

1. Se observó que independiente del tipo de cultivo los mayores valores de escurrimiento potencial se registran bajo un evento de precipitaciones de 50 mm, el cual corresponde al evento de mayor magnitud modelado en esta consultoría

2. Comparando entra cada tipo de cultivo, se observó que los frutícolas fueron los que generaron la mayor escorrentía potencial alcanzando has los  $0.5 \text{ kg ha}^{-1}$  en el evento de precipitaciones de 50 mm. Seguidos de los cultivos de hortalizas y de viñedos que alcanzaron descargas máximas similares de  $8,15 \times 10^{-3}$  y  $8,15 \times 10^{-3} \text{ kg ha}^{-1}$  en el evento de 50 mm, respectivamente.

3. Las áreas de vigilancia que potencialmente generan una descarga total mayor fueron ligeramente diferentes para cada tipo de cultivo, sin embargo el patrón común es que las áreas 8, 9 y 10 generaran las mayores descargas totales independiente el cultivo. La

Tabla 56 resume las áreas de vigilancia con mayor descarga para cada tipo de cultivo bajo el evento de 50mm de precipitaciones y que corresponde al más severo.

Tabla 56. Áreas de vigilancia con mayor descarga total registrada en los resultados del modelo gLOAD para cada tipo de cultivo bajo un evento de precipitaciones de 50 mm.

Tipo de cultivo	Área de vigilancia afectada
Frutícola	7,8,9
Hortalizas	8,9,10
Viñedos	2,7,9,10

### 3.1.2. Escorrentía superficial de PFS específicos disueltos en agua.

#### 3.1.2.1 Selección de ingredientes activos usados en la cuenca

Los ingredientes activos seleccionados de acuerdo al criterio PRISW-1 y su intensidad de uso, se muestran en la Tabla 57. Estos ingredientes activos serán utilizados en la modelación SYNOPS-2 para cada evento de precipitaciones propuestos. Sin embargo los resultados que se obtengan con SYNOPS corresponden a la modelación del plaguicida producto de una sola aplicación no considera, como sí lo hace este índice, varias aplicaciones de acuerdo a las declaraciones de venta. Por tanto, no es extraño que los resultados obtenidos con SYNOPS no se correlacionen con los del índice de impacto 2013.

Tabla 57. Categoría y puntaje PRISW-1 de los ingredientes activos seleccionados para la modelación SYNOPS-2

N°	Tipo	Grupo Químico	CAS N°	PFS	PRISW-1	Área aplicada 2013	Índice Impacto 2013	% TOT selecc
1	INSECTICIDA	MICRO-ORGANISM DERIVED	71751-41-2	ABAMECTIN	43	1,468,105	63,128,494	73.35
2	FUNGICIDA	STROBILURIN	175013-18-0	PYRACLOSTROBIN	30	211,840	7,263,735	8.44
3	INSECTICIDA	ORGANOPHOSPHORUS	2921-88-2	CLORPIRIFOS	79	57,399	4,776,730	5.55
4	INSECTICIDA	PYRETHROID	91465-08-6	LAMBDA-CYHALOTHRIN	38	84,145	3,197,497	3.72
5	INSECTICIDA	PYRIDAZINONE	96489-71-3	PYRIDABEN	82	13,869	1,137,246	1.32
6	INSECTICIDA	ORGANOPHOSPHATE	86-50-0	AZINPHOS-METHYL	54	14,856	802,223	0.93
7	INSECTICIDA	ORGANOPHOSPHORUS	10265-92-6	METHAMIDOPHOS	21.5	35,907	772,005	0.90
8	HERBICIDA	DINITROANILINE	40487-42-1	PENDIMETHALIN	43	12,065	518,804	0.60
9	HERBICIDA	DIPHENYL ETHER	42874-03-3	OXYFLUORFEN	18	27,653	497,760	0.58
10	INSECTICIDA	N-METHYL CARBAMATE	16752-77-5	METHOMYL	43	10,343	444,767	0.52

#### 3.1.2.1. Deriva de PFS: modelo %Densidad de drenaje

Para estimar la deriva del PFS se debe calcular el Índice de Densidad de Drenaje (IDD). Este es calculado usando la red de canales de regadío, ríos y esteros presentes en la cuenca en estudio. El resultado del IDD se expone en la Figura 26.

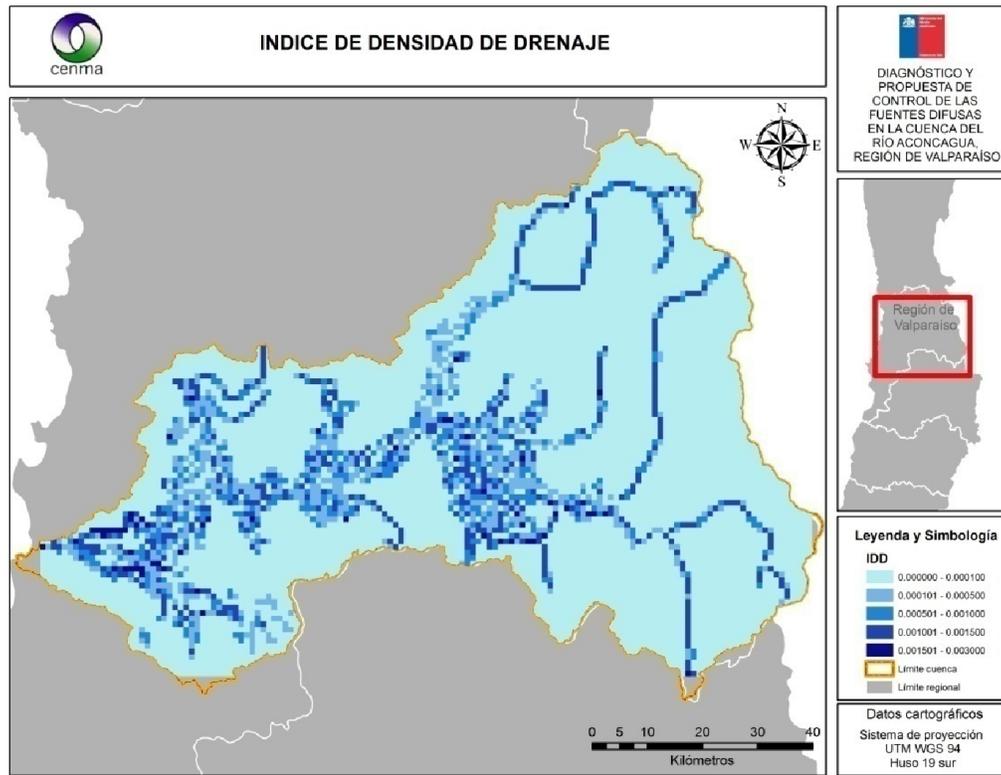


Figura 26. IDD, donde los colores más oscuros representan una mayor densidad de drenaje respecto a aquellos pixeles más claros.

Los valores de deriva para cada tipo de cultivo deben ser restados a las dosis de aplicación utilizadas en el modelo SYNOPSIS2 para dar cuenta de la fracción efectiva de ingrediente activo que potencialmente llega a las aguas superficiales. Las Figura 27, Figura 28 y Figura 29 muestran la cantidad en  $\text{g ha}^{-1}$  de ingrediente activo por deriva alcanzan las aguas superficiales. Además en dichos mapas se pueden visualizar las regiones donde hay un mayor impacto de la deriva hacia los cursos de agua.

Dentro de los cultivos frutícolas los porcentajes de deriva alcanzan un valor de  $6,31 \text{ g ha}^{-1}$  como máximo, el cual está poco representado en la cuenca, observándose valores mayoritariamente bajo los  $2 \text{ g ha}^{-1}$  de deriva (Figura 27). Por otro lado en los cultivos de hortalizas y viñedos la deriva alcanza valores máximos de  $0,25 \text{ g ha}^{-1}$  y  $1,6 \text{ g ha}^{-1}$ , respectivamente, que son valores menores a lo observado en los cultivos frutícolas. Sin embargo, el patrón de frecuencia es más heterogéneo para hortalizas y viñedos donde tanto valores bajos como altos están representados en la cuenca (Figura 28 y Figura 29).

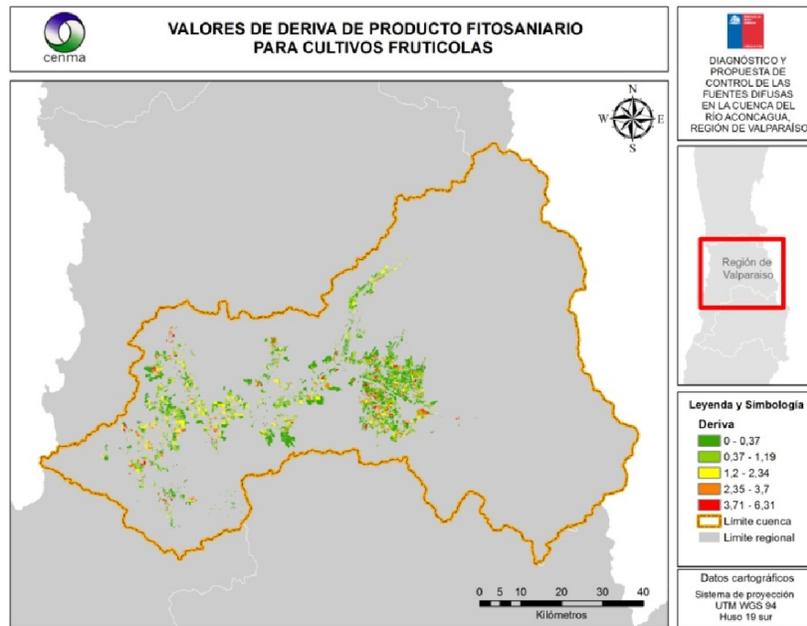


Figura 27. Cantidad de producto fitosanitario ( $\text{g ha}^{-1}$ ) aplicado a cultivos frutícolas de la cuenca del Río Aconcagua transportado por deriva.

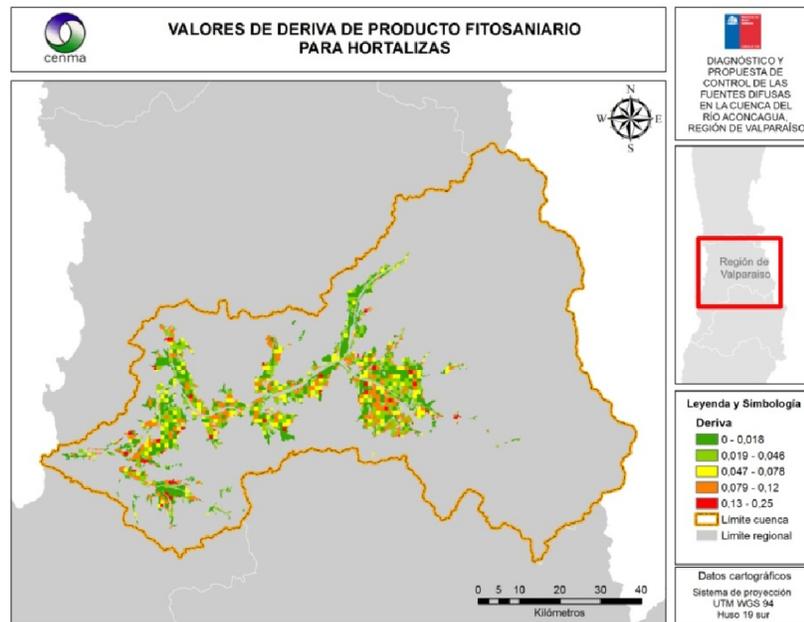


Figura 28. Cantidad de producto fitosanitario ( $\text{g ha}^{-1}$ ) aplicado a cultivos de hortalizas de la cuenca del Río Aconcagua transportado por deriva.

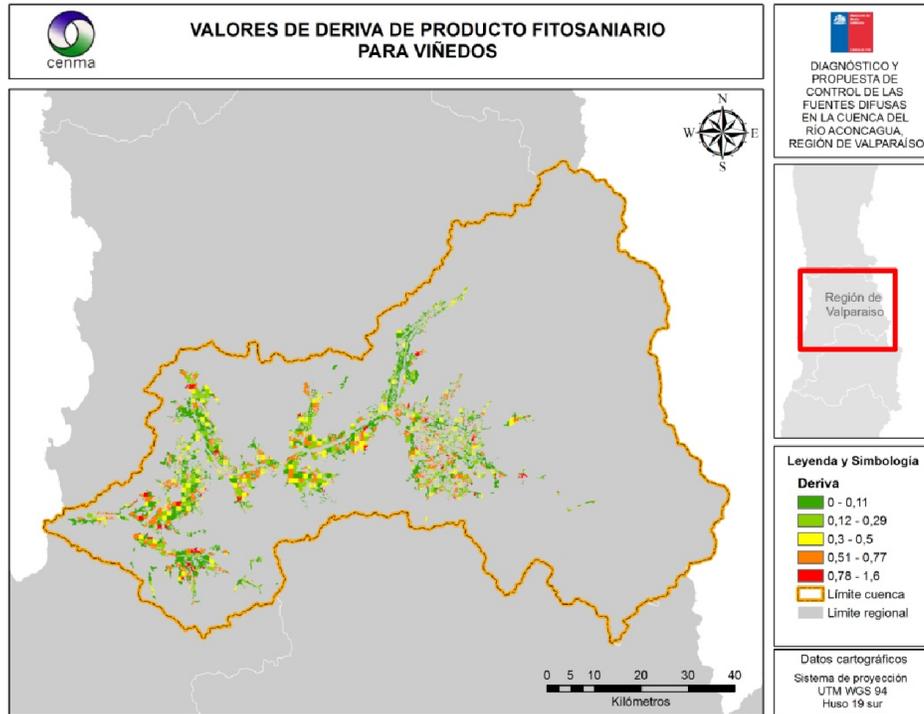


Figura 29. Cantidad de producto fitosanitario ( $\text{g ha}^{-1}$ ) aplicado a viñedos de la cuenca del Río Aconcagua transportado por deriva.

### 3.1.2.1. Modelo SYNOPS-2 de escorrentía de ingrediente activo.

A continuación se muestran los valores de escorrentía superficial de ingrediente activo para los productos fitosanitarios descritos en la Tabla 58 y que corresponden a los 5 con mayor descarga dentro de la cuenca estimado para un evento de lluvia de 50 mm. Los resultados contemplan la modelación de cultivos frutícolas, hortalizas y viñedos. Se muestran los resultados del mayor evento de precipitaciones debido a que sus resultados contienen los mayores valores que podrán ser obtenidos de acuerdo al modelo.

El resto de los resultados de la modelación y que corresponden al resto de los ingredientes activos evaluados, serán incorporados en la información suplementaria de este informe.

Además para cada pesticida señalado en la Tabla 58 se muestran las descargas totales estimadas a partir del modelo para las áreas de vigilancia propuesta en la Figura 10. Esta descarga total considera la suma de las descargas generadas por los cultivos frutícolas, de hortalizas y viñedos.

Tabla 58. Cantidad total de los cinco ingredientes activos con mayor descarga a la cuenca del Río Aconcagua para un evento de lluvia de 50 mm.

Ingrediente activo	Descarga total a la cuenca por evento de precipitación (g)
Methomyl	1899730.17
Metamidofos	1740994.41
Pyraclostrobin	200377.18
Azynphos	175035.94
Clorpirifos	24854.54

#### 3.1.2.1.1 Ingrediente activo: Methomyl

Los resultados de la modelación SYNOPS-2 muestran que en la cuenca del Río Aconcagua las descargas de este ingrediente activo bajo un escenario de 50 mm de precipitaciones están reducidas solo a pocas hectáreas, en las cuales se registran altas concentraciones espacialmente explícitas, alcanzando los 100 g ha<sup>-1</sup> en cultivos frutícolas (Figura 30), 50 g ha<sup>-1</sup> en los cultivos de hortalizas (Figura 31) y los 140 g ha<sup>-1</sup> en viñedos (Figura 32).

Por otra parte, la subdivisión en áreas de vigilancia muestra que la descarga total del ingrediente activo Methomyl aumenta conforme aumenta la intensidad del evento de precipitaciones y que las áreas de vigilancia 7, 8 y 9 son las que presentan las mayores descargas (Figura 33).

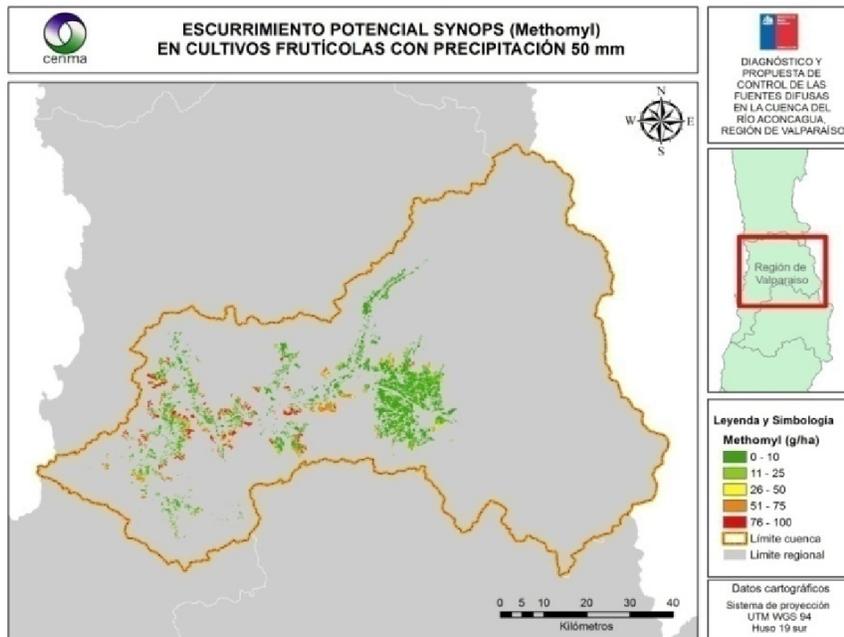


Figura 30. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Methomyl (*SYNOPS-2*) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

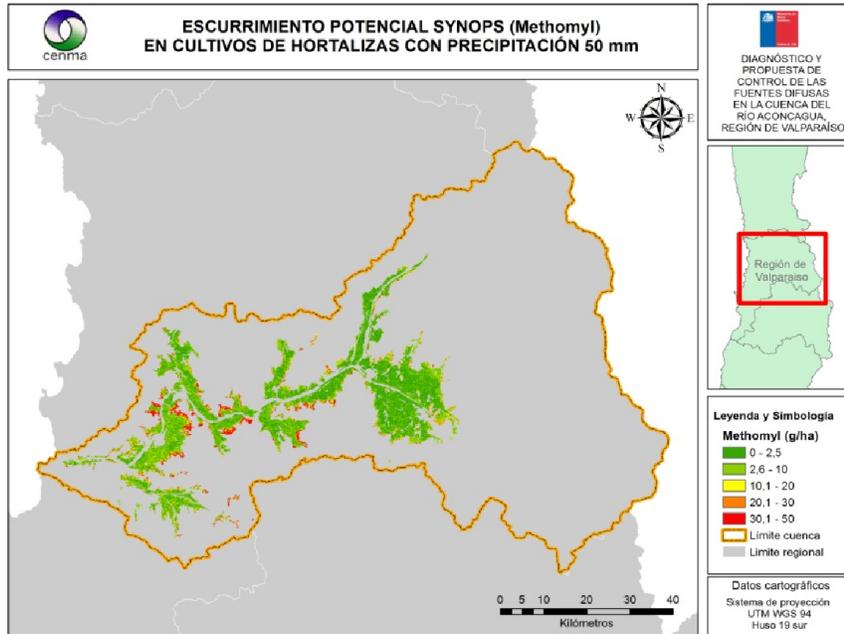


Figura 31. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Methomyl (*SYNOPS-2*) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

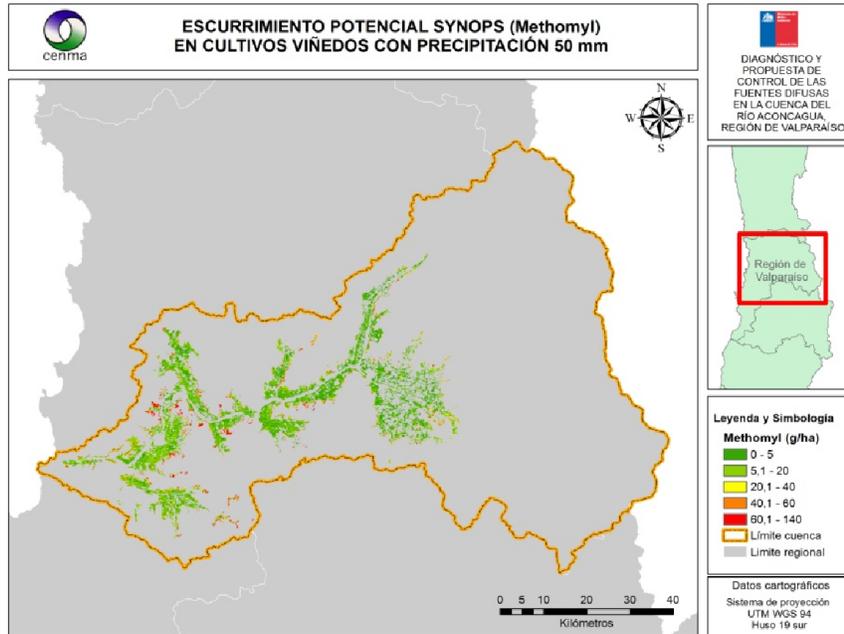


Figura 32. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Methomyl (*SYNOPS-2*) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

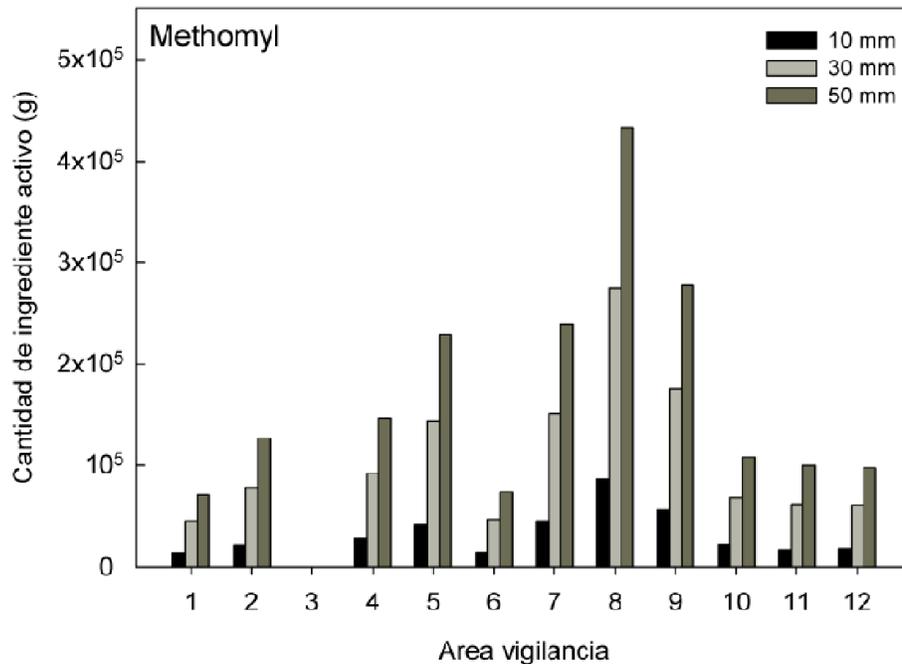


Figura 33. Valores de descarga total a escorrentía superficial (*SYNOPS-2*) del ingrediente activo Methomyl para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.

#### 3.1.2.1.2. Ingrediente activo: Metamidofos

Los resultados de la modelación *SYNOPS-2* muestran que en la cuenca del Río Aconcagua las descargas de este ingrediente activo bajo un escenario de 50 mm se registran altos valores espacialmente explícitos, alcanzando los 120 g ha<sup>-1</sup> en cultivos frutícolas (Figura 34), 50 g ha<sup>-1</sup> en los cultivos de hortalizas (Figura 35) y los 120 g ha<sup>-1</sup> en viñedos (Figura 36).

Por otra parte, la subdivisión en áreas de vigilancia muestra que la descarga total del ingrediente activo Metamidofos aumenta conforme aumenta la intensidad del evento de precipitaciones y que las áreas de vigilancia 2, 5, 7, 8 y 9 son las que presentan las mayores descargas (Figura 37).

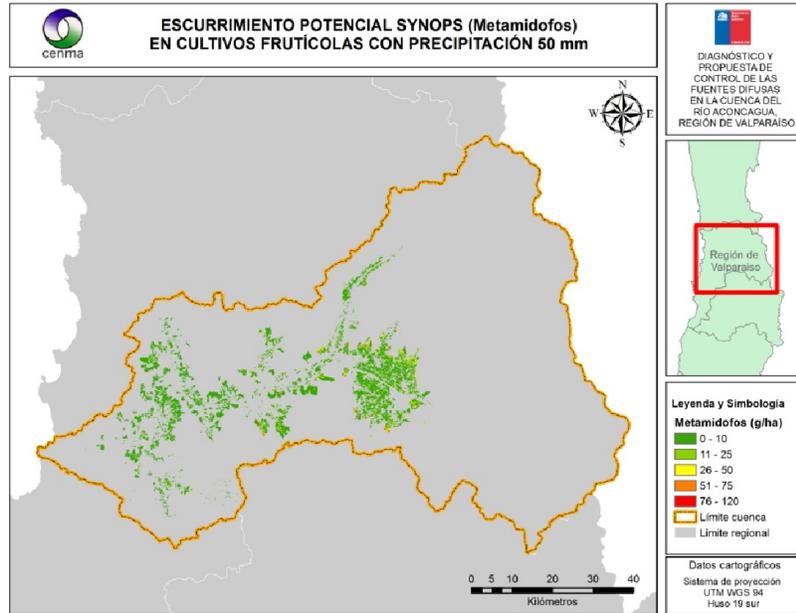


Figura 34. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Metamidofos (*SYNOPS-2*) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

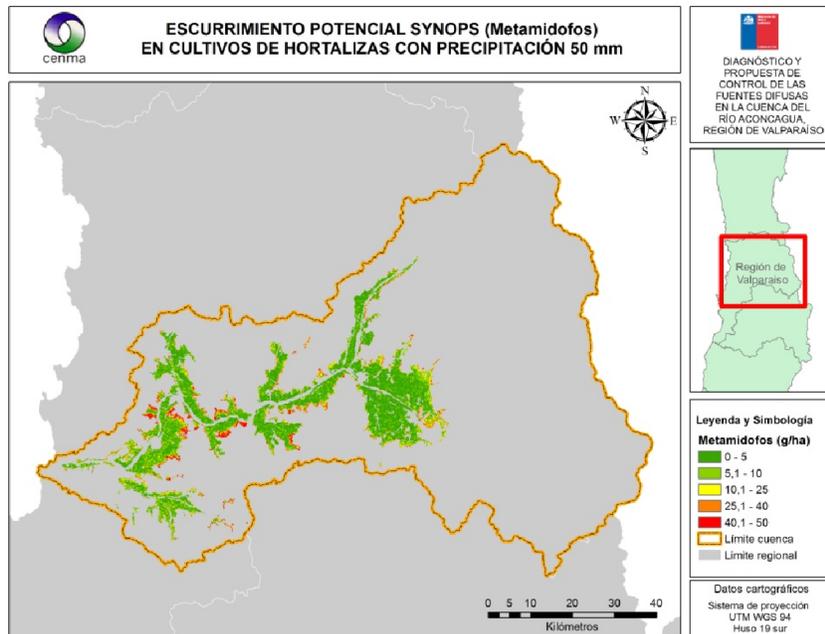


Figura 35. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Metamidofos (*SYNOPS-2*) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

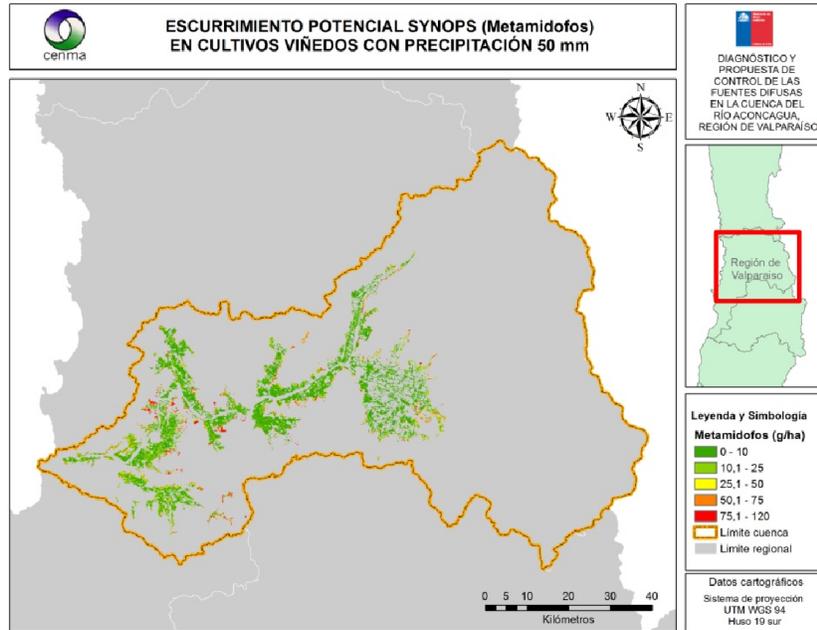


Figura 36. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Metamidofos (SYNOPS-2) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

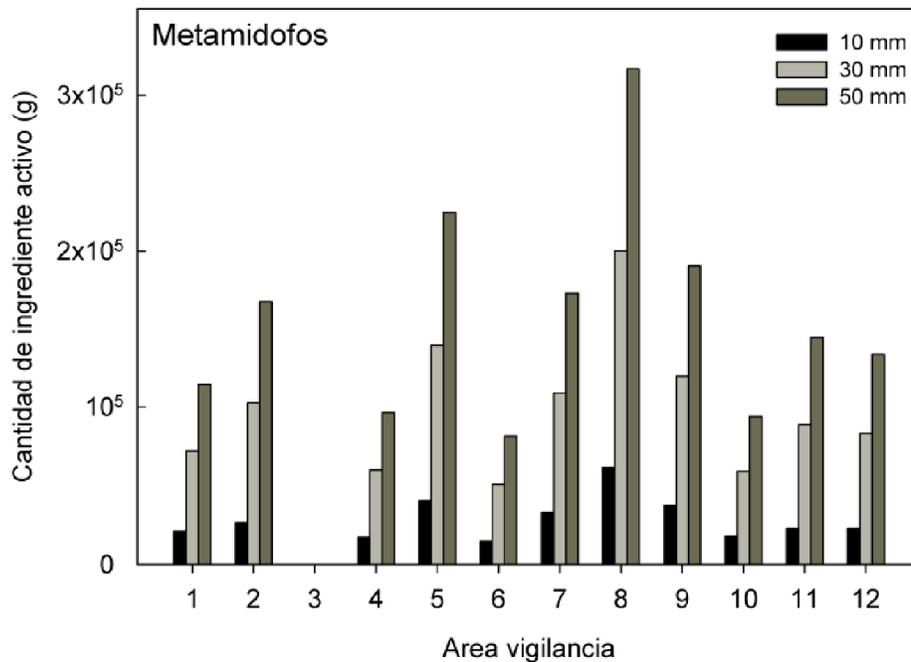


Figura 37. Valores de descarga total a escurrimiento superficial (SYNOPS-2) I del ingrediente activo Metamidofos para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.

### 3.1.2.1.3 Ingrediente activo: Pyraclostrobin

Los resultados de la modelación SYNOPS-2 muestran que en la cuenca del Río Aconcagua las descargas espacialmente explícitas de este ingrediente activo bajo un escenario de 50 mm son de 10 g ha<sup>-1</sup> en cultivos frutícolas (Figura 38), 16 g ha<sup>-1</sup> en los cultivos de hortalizas (Figura 39) y no siendo utilizado este ingrediente activo en los cultivos de viñedos.

Por otra parte, la subdivisión en áreas de vigilancia muestra que la descarga total del ingrediente activo Pyraclostrobin aumenta conforme aumenta la intensidad del evento de precipitaciones y que las áreas de vigilancia 5, 7, 8 y 9 son las que presentan las mayores descargas (Figura 40).

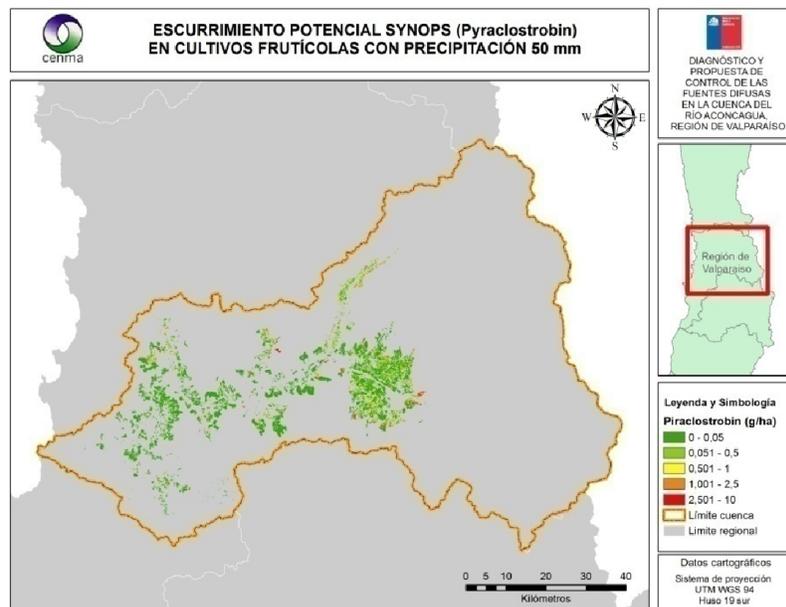


Figura 38. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Pyraclostrobin (SYNOPSIS-2) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

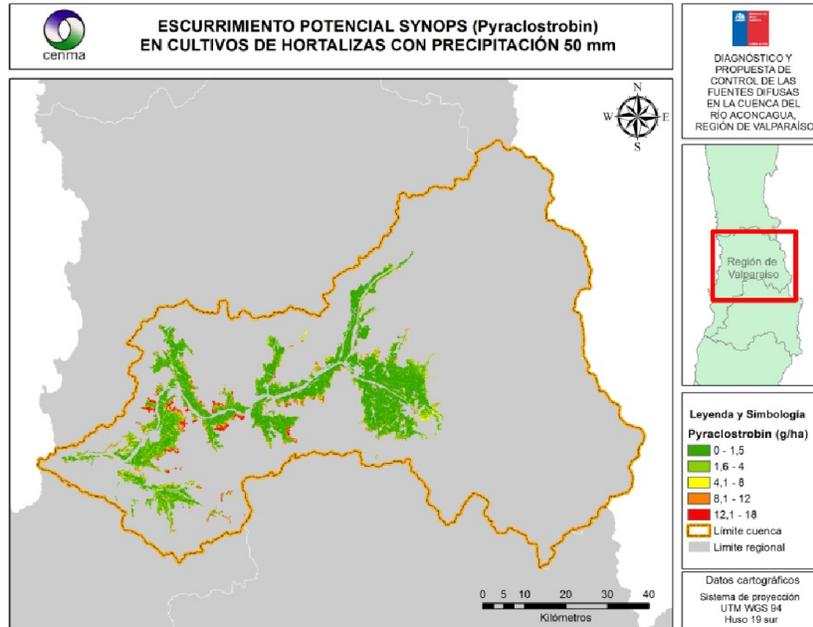


Figura 39. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Pyraclostrobin (*SYNOPS-2*) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

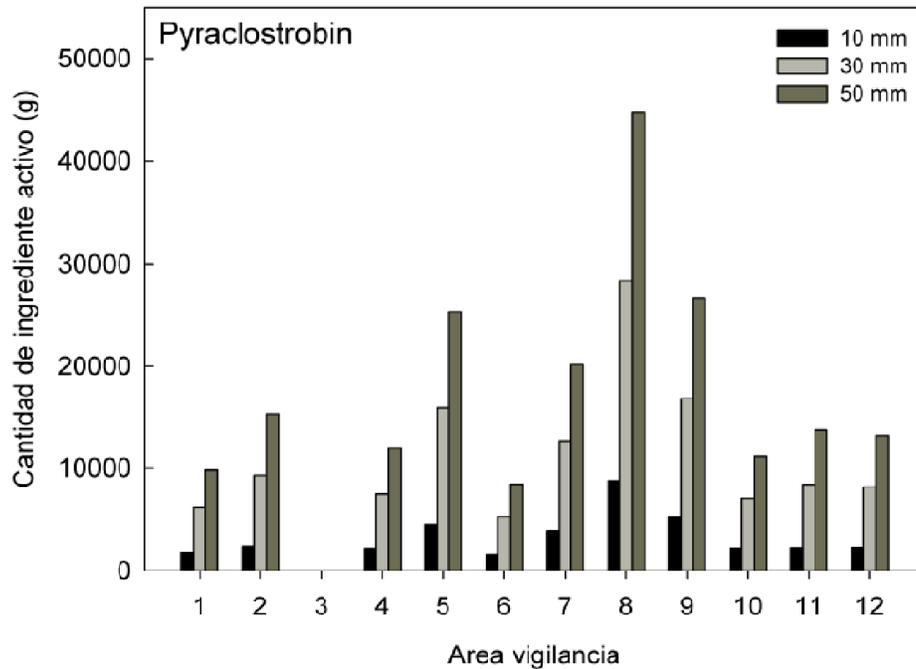


Figura 40. Valores de descarga total a escorrentía superficial (*SYNOPS-2*) del ingrediente activo Pyraclostrobin para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.

### 3.1.2.1.4 Ingrediente activo: Azynphos

Bajo un escenario de 50 mm de precipitaciones los cultivos frutícolas son los que presentan una mayor dispersión espacial de valores altos, pero solo alcanzado los 10 g ha<sup>-1</sup> (Figura 41). Por otro lado, para los cultivos de hortalizas y viñedos los valores más altos de descarga se concentran en puntos específicos alcanzando concentraciones de 5 g ha<sup>-1</sup> (Figura 42) y 12 g ha<sup>-1</sup> (Figura 43), respectivamente.

La subdivisión en áreas de vigilancia muestra que la descarga total del ingrediente activo Azynphos aumenta conforme aumenta la intensidad del evento de precipitaciones y que las áreas de vigilancia 5, 7, 8 y 9 son las que presentan las mayores descargas (Figura 44).

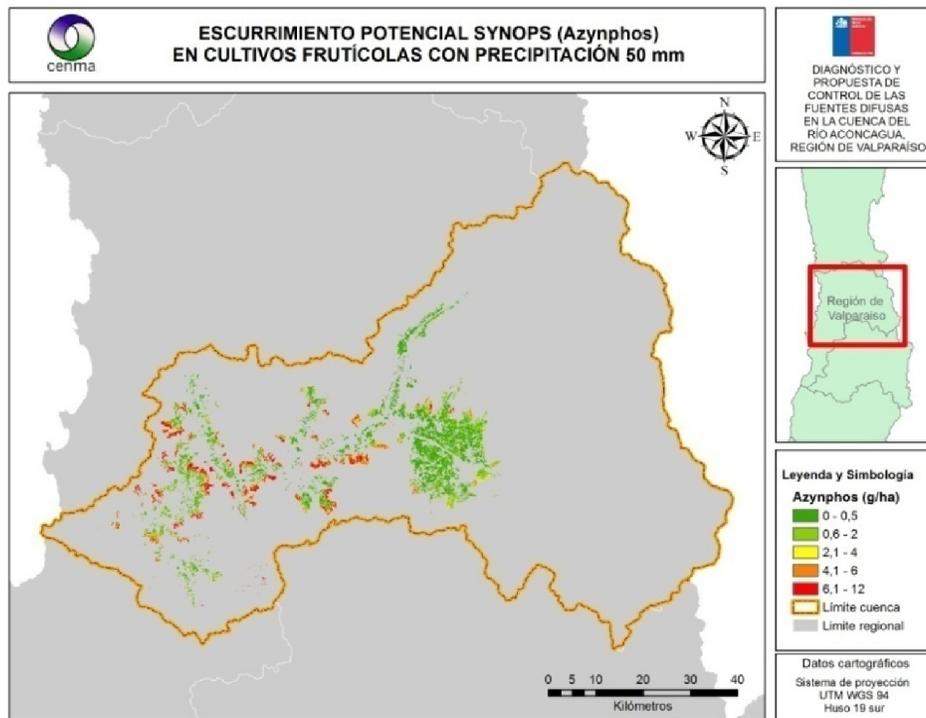


Figura 41. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Azynphos (*SYNOPSIS-2*) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

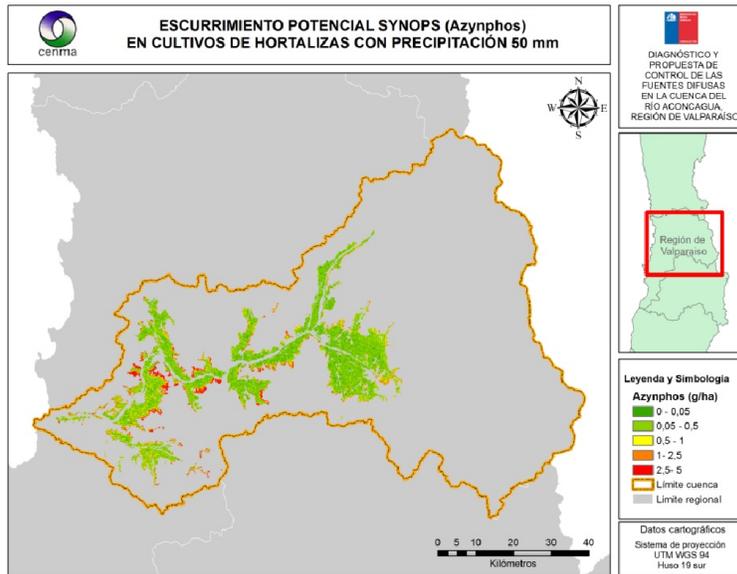


Figura 42. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Azyphos (*SYNOPSIS-2*) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

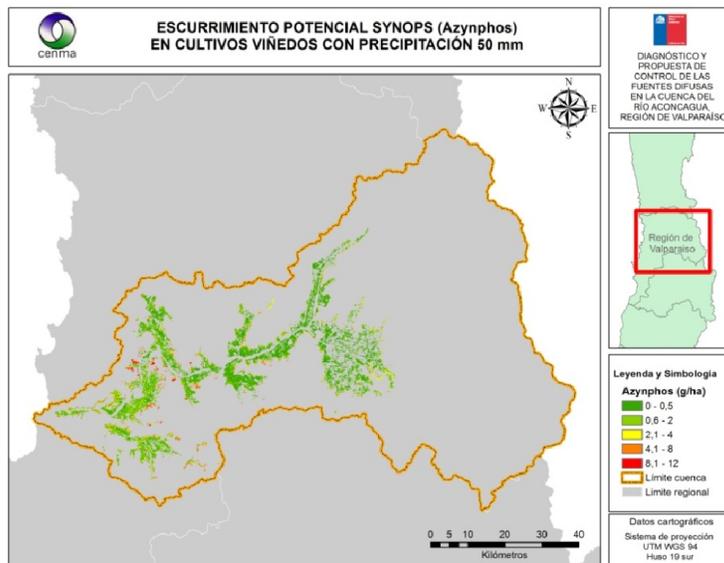


Figura 43. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Azyphos (*SYNOPSIS-2*) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

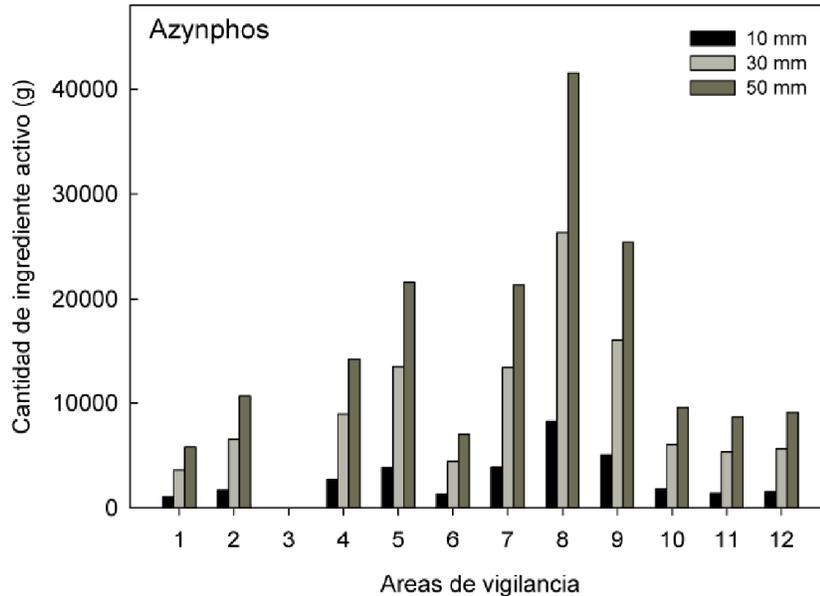


Figura 44. Valores de descarga total a escorrentía superficial (*SYNOPS-2*) del ingrediente activo Azynphos para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.

#### 3.1.2.1.5 Ingrediente activo: Clorpirifos

El ingrediente activo Clorpirifos fue el de menor descarga dentro de los cultivos evaluados, alcanzando concentraciones máximas de  $2 \text{ g ha}^{-1}$  en los cultivos frutícolas (Figura 45),  $1.7 \text{ g ha}^{-1}$  en los cultivos de hortalizas (Figura 46) y  $0.7 \text{ g ha}^{-1}$  en los cultivos de viñedos (Figura 47).

La subdivisión en áreas de vigilancia muestra que la descarga total del ingrediente activo Azynphos aumenta conforme aumenta la intensidad del evento de precipitaciones y que las áreas de vigilancia 8 y 9 es la que presentan las mayores descargas (Figura 48).

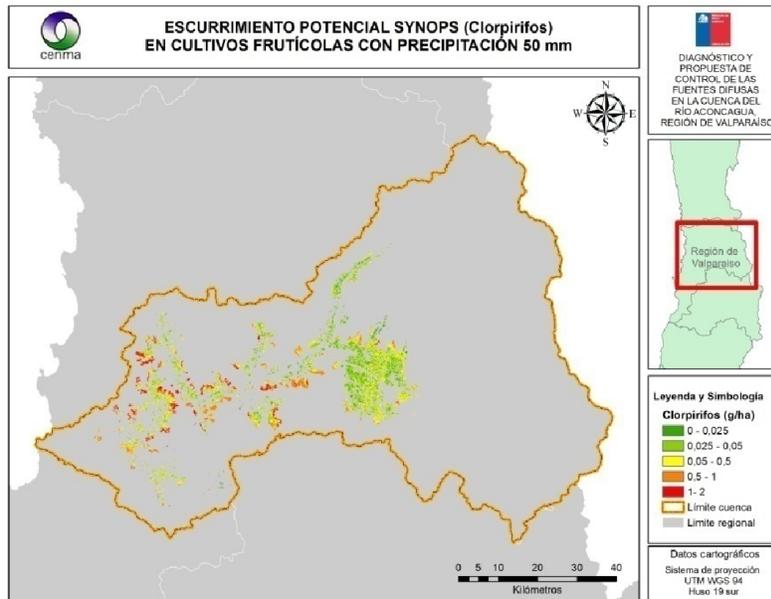


Figura 45. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Clorpirifos (SYNOPSIS-2) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

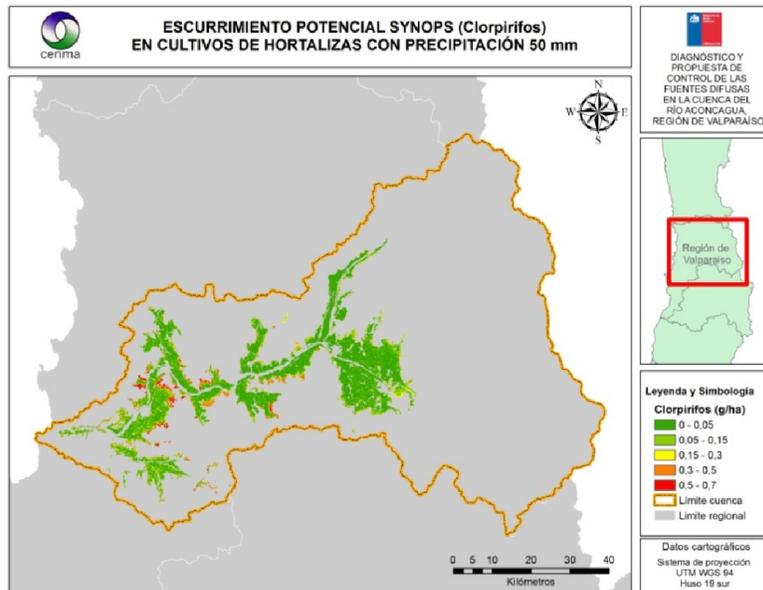


Figura 46. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Clorpirifos (SYNOPSIS-2) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua

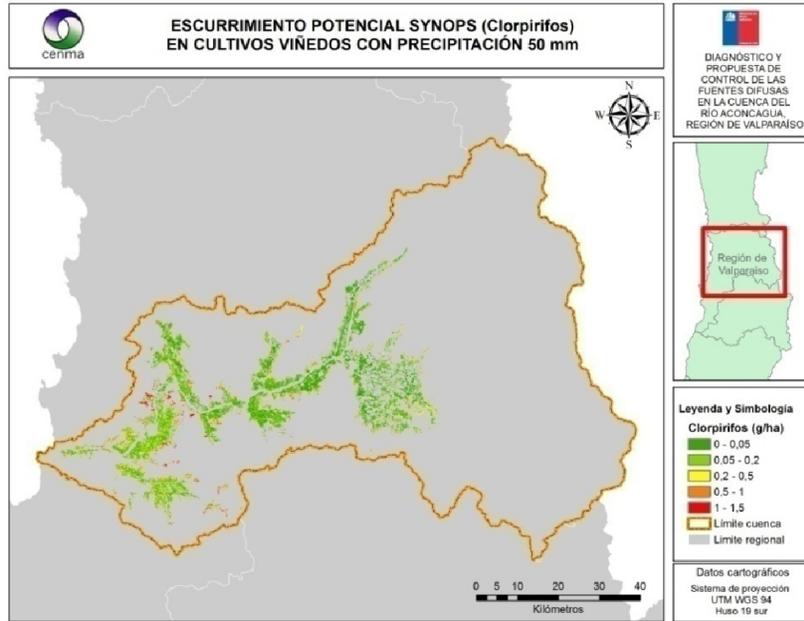


Figura 47. Valores de escurrimiento de ingrediente activo Clorpirifos(*SYNOPS-2*) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

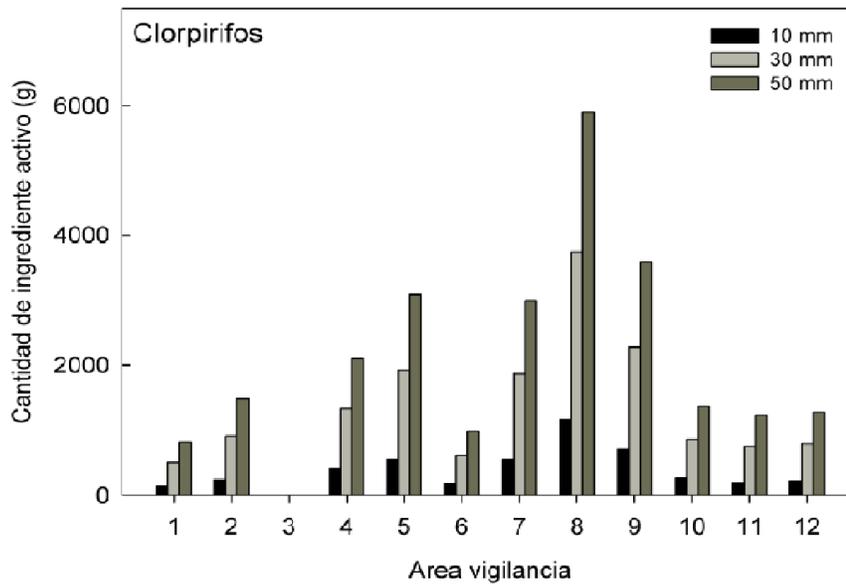


Figura 48. Valores de descarga total a escorrentía superficial (*SYNOPS-2*) del ingrediente activo Clorpirifos para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.

### 3.1.2.1.6. Resultados y patrones generales del modelo SYNOPS-2

1. Las mayores descargas se observaron bajo un evento de precipitaciones de 50 mm, independiente del ingrediente activo y del tipo de cultivo.
2. Los ingredientes activos con mayor descarga total fueron Methomyl, Metamidofos, Pyraclostrobin, Azynphos y Clorpirifos. Sin embargo, es difícil establecer para cual tipo de cultivo se hay una mayor descarga de cada uno debido a escasas diferencias en  $g\ ha^{-1}$  en los resultados espacialmente explícitos.
3. Fue posible observar que para cada ingrediente activo las descargas totales a la cuenca, es decir, sumando los aportes frutícolas, de hortalizas y viñedos se registraron en las áreas de vigilancia 7, 8 y 9. La Tabla 59 resume las áreas de vigilancia mayormente afectadas por cada uno de los cinco ingredientes activos mencionados.

Tabla 59. Áreas de vigilancia afectadas por las descargas totales (suma de descargas por cultivo) de ingrediente activo a la cuenca del Río Aconcagua bajo un escenario de 50 mm de precipitaciones.

<b>Ingrediente activo</b>	<b>Área de vigilancia afectada</b>
Methomyl	5,7,8,9
Metamidofos	2,5,7,8,9
Pyraclostrobin	5,7,8,9
Azynphos	4,5,7,8,9
Clorpirifos	4,5,7,8,9

### 3.1.2.1.6. Resultados y patrones generales del modelo SYNOPS-2

1. Las mayores descargas se observaron bajo un evento de precipitaciones de 50 mm, independiente del ingrediente activo y del tipo de cultivo.
2. Los ingredientes activos con mayor descarga total fueron Methomyl, Metamidofos, Pyraclostrobin, Azynphos y Clorpirifos. Sin embargo, es difícil establecer para cual tipo de cultivo se hay una mayor descarga de cada uno debido a escasas diferencias en  $g\ ha^{-1}$  en los resultados espacialmente explícitos.
3. Fue posible observar que para cada ingrediente activo las descargas totales a la cuenca, es decir, sumando los aportes frutícolas, de hortalizas y viñedos se registraron en las áreas de vigilancia 7, 8 y 9. La Tabla 60 resume las áreas de vigilancia mayormente afectadas por cada uno de los cinco ingredientes activos mencionados.

Tabla 60. Áreas de vigilancia afectadas por las descargas totales (suma de descargas por cultivo) de ingrediente activo a la cuenca del Río Aconcagua bajo un escenario de 50 mm de precipitaciones.

<b>Ingrediente activo</b>	<b>Área de vigilancia afectada</b>
Methomyl	5,7,8,9
Metamidofos	2,5,7,8,9
Pyraclostrobin	5,7,8,9
Azynphos	4,5,7,8,9
Clorpirifos	4,5,7,8,9

### 3.1.2.1.7. Determinación del Riesgo

La cuenca del río Aconcagua tiene una morfología marcada por los cordones montañosos de la cordillera de los Andes y la Costa, lo cual permite dividir la cuenca en 4 grandes zonas que a su vez son relativamente homogéneas en cuanto a la distribución de los cultivos. Estas grandes zonas contienen a las áreas de vigilancia en base a las cuales se han realizado los análisis para cada modelo. La Tabla 61 resume la agrupación zonal con la cual se calcula el riesgo de los productos fitosanitarios escogidos en esta consultoría y la Figura 49 muestra su distribución espacial.

Tabla 61. Agrupación zonal de las áreas de vigilancia para la estimación del riesgo mediante PRISW-1. Para conocer el detalle de las provincias, comunas y distritos ver la Tabla 52.

Zonas	Áreas de vigilancia
A	1, 2, 3, 11, 12, 13 y 14
B	0, 4 y 8
C	5
D	6, 7, 9 y 10

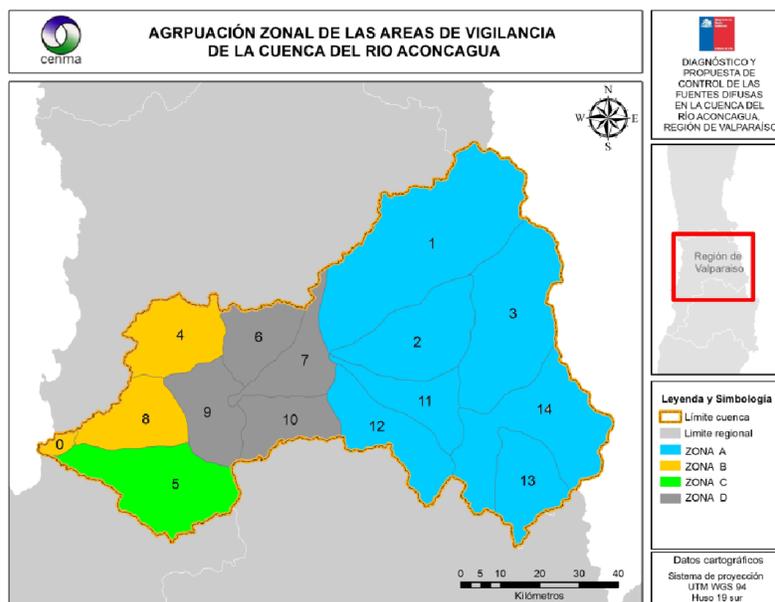


Figura 49. Ubicación espacial de la agrupación zonal de las áreas de vigilancia para la estimación del riesgo mediante PRISW-1.

Como medida de riesgo se utilizó el índice PRISW-1, que es un indicador de riesgo para el uso de plaguicidas que incorpora a tres representantes de la cadena trófica acuática dentro de un algoritmo, permitiendo a través de un número evaluar el riesgo a cual el ecosistema está expuesto producto de las concentraciones de PFS que se midan o modelen en el cuerpo de agua. En esta aplicación los valores de los diferentes PFS modelado son sumados en total del área o subcuenca (PEC total) y este valor es diluido por el volumen de agua que pasa durante 24 h en el río. Como no existe caudal medido para todas las áreas, se utilizó el mismo caudal en todas ellas. Esto corresponde al promedio de los últimos 10 años de los caudales del mes de octubre en la estación de San Felipe. Los valores que aparecen en la Tabla 62 corresponden al transporte generado por un evento de lluvia de 50 mm. Considerar que valores de PRISW-1 (i) mayores a 80 (riesgo muy alto), (ii) entre 60 y 80 (riesgo alto), (iii) entre 40 y 60 (riesgo medio) e (iv) inferiores a 40 (riesgo bajo). Se puede notar que el ingrediente activo que genera el mayor riesgo en todas las zonas es el Pyradaben seguido del Pyraclostrobin. Ver la Tabla 63 para el detalle de riesgo para cada uno de los ingredientes activos modelados.

Tabla 62. Valores PEC total (suma de la escorrentía en el área) y PEC (concentración diluida en el río) para cada agrupación de áreas de vigilancia y para cada uno de los productos fitosanitarios (PFS) modelados en SYNOPS-2.

PFS	Zona A		Zona B		Zona C		Zona D	
	PEC total (g/día)	PEC (mg/L)						
Abamectin	1,1E+02	1,9E-05	2,0E+02	3,3E-05	7,5E+01	1,3E-05	2,2E+02	3,7E-05
Azinphos	3,4E+04	5,8E-03	5,6E+04	9,4E-03	2,2E+04	3,6E-03	6,3E+04	1,1E-02
Clorpirifos	4,8E+03	8,1E-04	8,0E+03	1,3E-03	3,1E+03	5,2E-04	8,9E+03	1,5E-03
Lambda-cyhalothrin	1,8E+00	3,0E-07	2,7E+00	4,6E-07	1,0E+00	1,7E-07	3,2E+00	5,4E-07
Methamidofos	5,6E+05	9,5E-02	4,1E+05	6,9E-02	2,2E+05	3,8E-02	5,4E+05	9,1E-02
Methomyl	3,9E+05	6,6E-02	5,8E+05	9,7E-02	2,3E+05	3,9E-02	7,0E+05	1,2E-01
Oxyfluorfen	1,1E+03	1,9E-04	1,9E+03	3,1E-04	7,1E+02	1,2E-04	2,1E+03	3,5E-04
Pendimethalin	3,7E+03	6,2E-04	4,3E+03	7,2E-04	2,1E+03	3,6E-04	4,4E+03	7,5E-04
Pyraclostrobin	5,2E+04	8,7E-03	5,7E+04	9,5E-03	2,5E+04	4,3E-03	6,6E+04	1,1E-02
Pyridaben	5,2E+04	8,7E-03	5,7E+04	9,5E-03	2,5E+04	4,3E-03	6,6E+04	1,1E-02

Tabla 63. Valores del índice PRISW-1 para cada producto fitosanitario (PFS) en cada grupo de áreas de vigilancia. En paréntesis aparece el nivel de riesgo para cada ingrediente activo.

Ingrediente activo	PRISW-1			
	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
Abamectin	21,5 (riesgo bajo)	21,5 (riesgo bajo)	21,5 (riesgo bajo)	27 (riesgo bajo)
Azinphos	54 (riesgo medio)	57 (riesgo medio)	54 (riesgo medio)	57 (riesgo medio)
Clorpirifos	57 (riesgo medio)	79 (riesgo medio)	57 (riesgo medio)	79 (riesgo alto)
Lambda-cyhalothrin	5,5 (riesgo bajo)	9,5 (riesgo bajo)	0	9,5 (riesgo bajo)
Methamidofos	21,5 (riesgo bajo)	21,5 (riesgo bajo)	21,5 (riesgo bajo)	21,5 (riesgo bajo)
Methomyl	54 (riesgo medio)	54 (riesgo medio)	43 (riesgo medio)	57 (riesgo medio)
Oxyfluorfen	0	5,5 (riesgo bajo)	0	5,5 (riesgo bajo)
Pendimethalin	21,5 (riesgo bajo)	21,5 (riesgo bajo)	15,5 (riesgo bajo)	21,5 (riesgo bajo)
Pyraclostrobin	66 (riesgo alto)	66 (riesgo alto)	41 (riesgo medio)	66 (riesgo alto)
Pyridaben	88 (riesgo muy alto)			

### 3.1.3. Escorrentía superficial de ingrediente activo adsorbido al suelo

#### 3.1.3.1. Erosión de suelo por evento de lluvia: modelo MUSLE

A continuación se muestran los resultados del modelo que determina las toneladas de suelo que se pierden por hectárea para cada evento de precipitación. Este monto perdido será utilizado posteriormente para determinar la escorrentía superficial de ingrediente activo adsorbido al suelo escurrido. La Figura 50, Figura 51 y Figura 52, muestran que conforme aumenta la intensidad del evento de precipitación las toneladas de suelo perdido por hectárea aumenta, especialmente en las zonas con mayor pendiente de acuerdo al modelo de elevación.

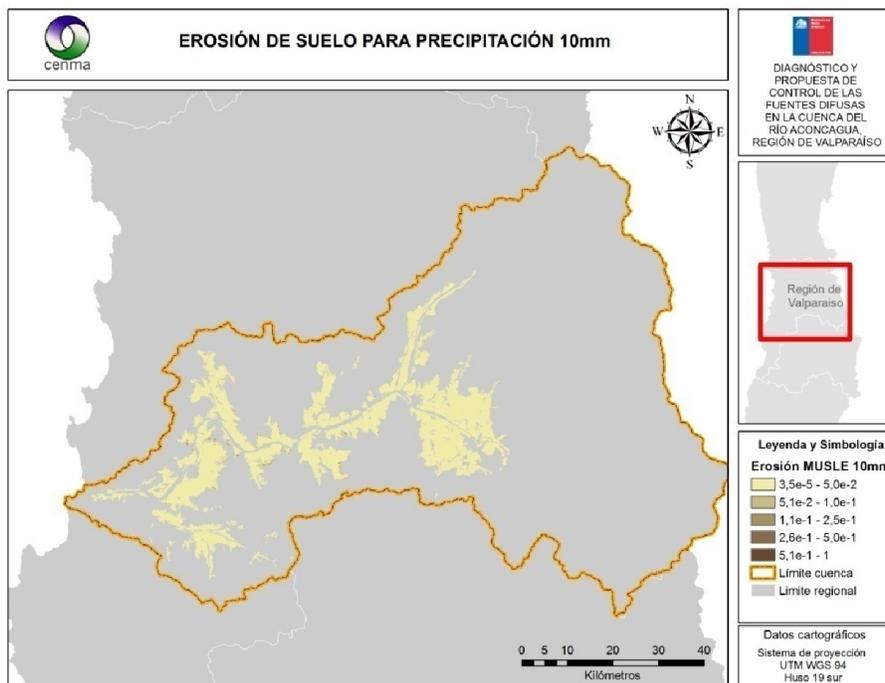


Figura 50. Cantidad de suelo erosionado ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) estimada mediante el modelo MUSLE para un evento de precipitación de 10 mm en la zona agrícola de la cuenca del Río Aconcagua

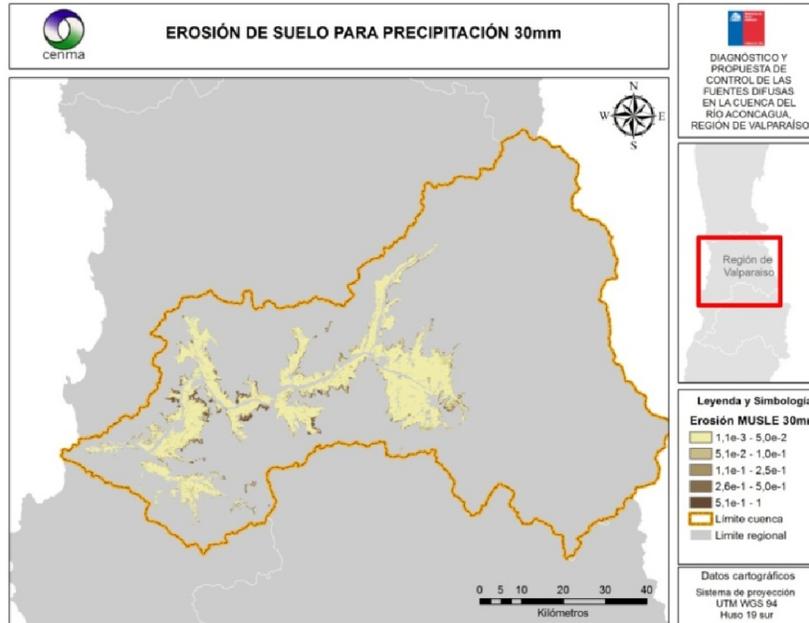


Figura 51. Cantidad de suelo erosionado ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) estimada mediante el modelo MUSLE para un evento de precipitación de 30 mm en la zona agrícola de la cuenca del Río Aconcagua.

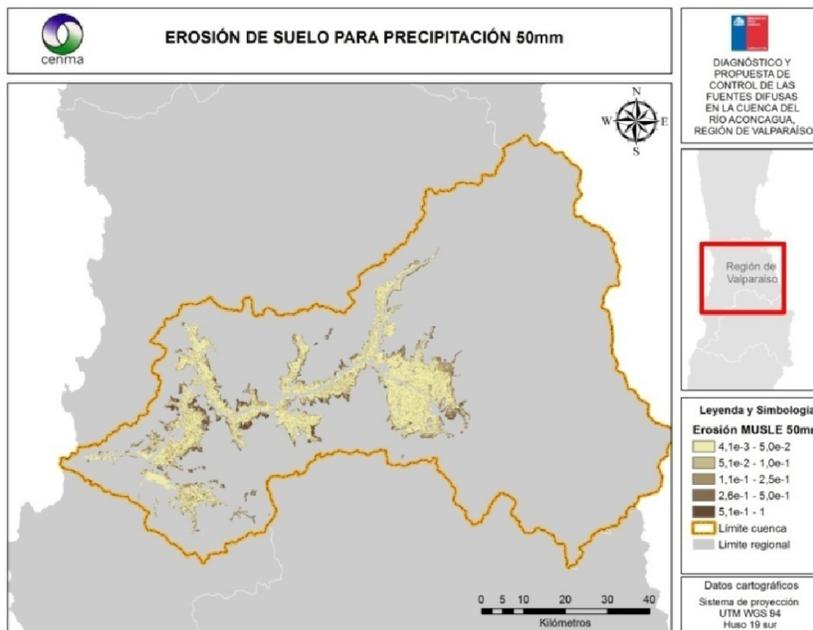


Figura 52. Cantidad de suelo erosionado ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) estimada mediante el modelo MUSLE para un evento de precipitación de 50 mm en la zona agrícola de la cuenca del Río Aconcagua.

### 3.1.3.2. Escorrentía superficial de ingrediente activo adsorbido al suelo: Modelo gLe

A continuación se muestran los valores de ingrediente activo que escurren adsorbidos al suelo erosionado para los productos fitosanitarios descritos en la Tabla 64 y que corresponden a los 5 con mayor descarga dentro de la cuenca estimado para un evento de lluvia de 50 mm. Los resultados contemplan la modelación de cultivos frutícolas, hortalizas y viñedos. El resto de los resultados de la modelación y que corresponden al resto de los ingredientes activos evaluados, serán incorporados en la información suplementaria de este informe.

Además para cada agroquímico señalado en la Tabla 64 se muestran las descargas totales estimadas a para las áreas de vigilancia propuesta en la Figura 10. Esta descarga total considera la suma de las descargas generadas por los cultivos frutícolas, de hortalizas y viñedos. Esta agrupación de valores totales indicó que las áreas de vigilancia 2, 7, 8 y 9 son las que agrupan las mayores descargas. Ver las figuras en la sección de cada ingrediente activo.

Tabla 64. Cantidad total de los cinco ingredientes activos con mayor descarga a la cuenca del Río Aconcagua para un evento de lluvia de 50 mm.

Ingrediente activo	Categoría	Descarga total a la cuenca por evento de lluvia (mg)
Pendimethalin	Herbicida	248.17
Azynphos	Insecticida	204.22
Clorpirifos	Insecticida	200.94
Methomyl	Insecticida	178.66
Oxyfluorfen	Herbicida	149.83

**Fuente:** elaboración propia

#### 3.1.3.2.1. Ingrediente activo: Pendimethalin

Para el ingrediente activo Pendimethalin los valores espacialmente explícitos alcanzan valores máximos de  $2.1 \times 10^{-3} \text{mg ha}^{-1}$  en los cultivos frutícolas (Figura 53),  $3.9 \times 10^{-3} \text{mg ha}^{-1}$  en los cultivos de hortalizas (Figura 54) y de  $4.9 \times 10^{-4} \text{mg ha}^{-1}$  en los viñedos (Figura 55).

Por otro lado la descarga total observada fue mayor para todas las áreas de vigilancia bajo el evento de precipitaciones de 50 mm. Las mayores descargas observadas en este

evento de precipitaciones registraron en las áreas de vigilancia 2, 7, 8 y 9 (ver Tabla 52 para identificación de las comunas).

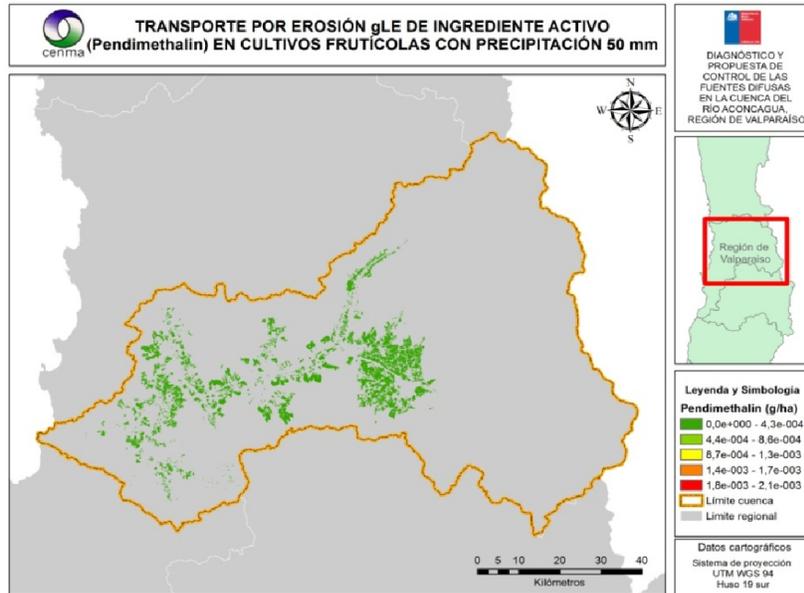


Figura 53. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Pendimethalin (*gLE*) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

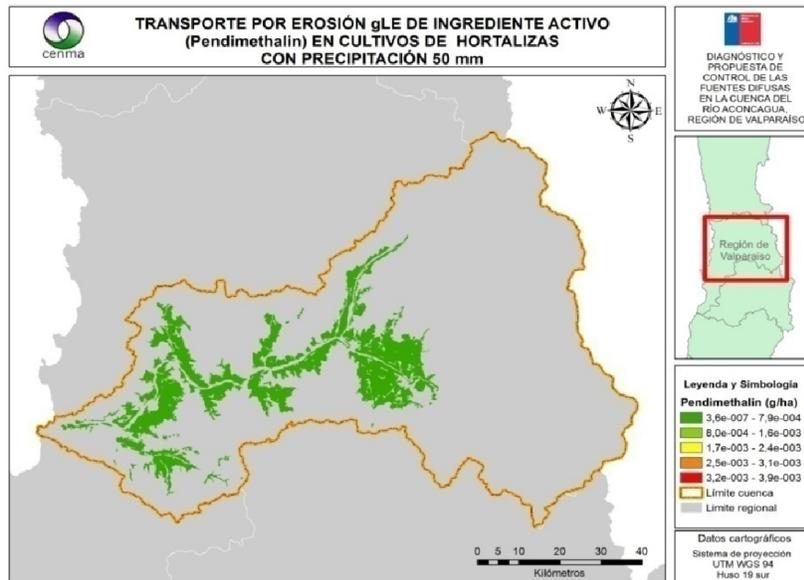


Figura 54. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Pendimethalin (*gLE*) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

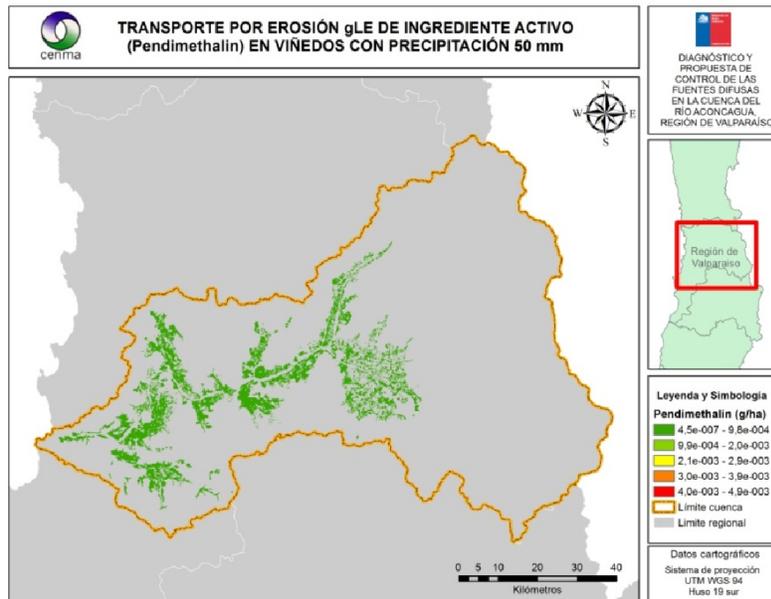


Figura 55. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Pendimethalin (*gLE*) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

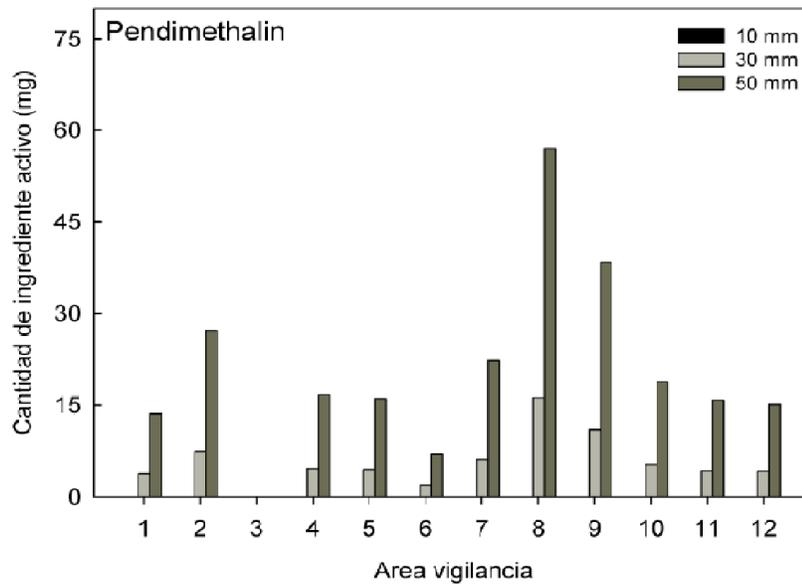


Figura 56. Valores de descarga total del ingrediente activo Pendimethalin adsorbido al suelo (*gLE*) para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.

### 3.1.3.2.2. Ingrediente activo: Azynphos

Para el ingrediente activo Azynphos los valores espacialmente explícitos alcanzaron una escurrentía máxima de  $3.6 \times 10^{-3} \text{ mg ha}^{-1}$  en los cultivos frutícolas y viñedos (Figura 57 y Figura 59) y  $1.5 \times 10^{-3} \text{ mg ha}^{-1}$  en los cultivos de hortalizas (Figura 58). Por otro lado, las mayores descargas totales se registraron en las áreas de vigilancia 8 y 9 con  $52$  y  $35 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente (Figura 60).

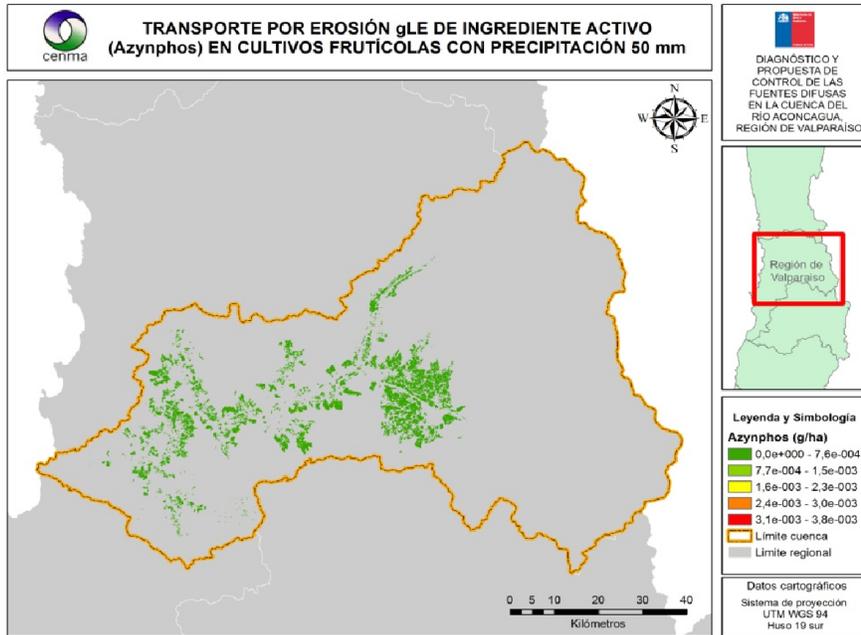


Figura 57. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Azynphos (*gLE*) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

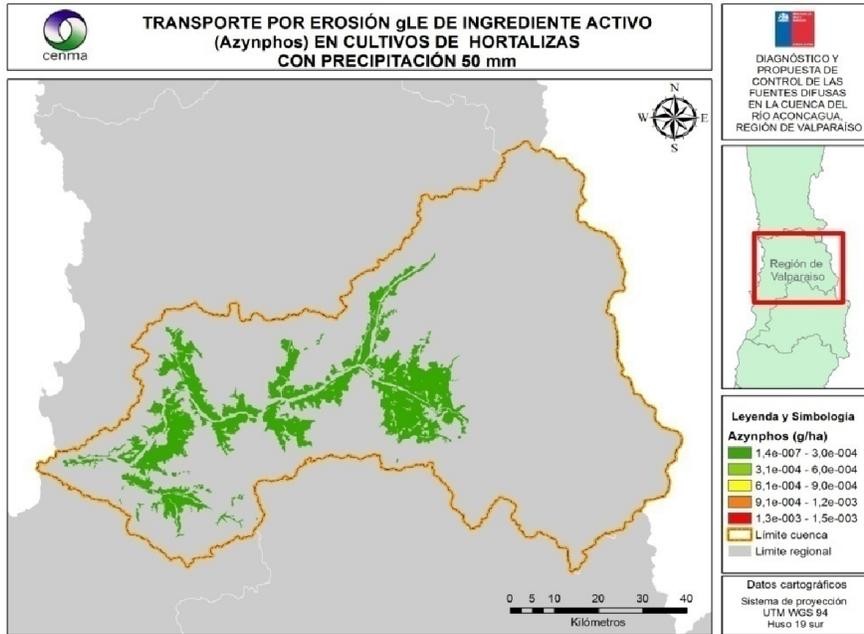


Figura 58. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Azyphos (*gLE*) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

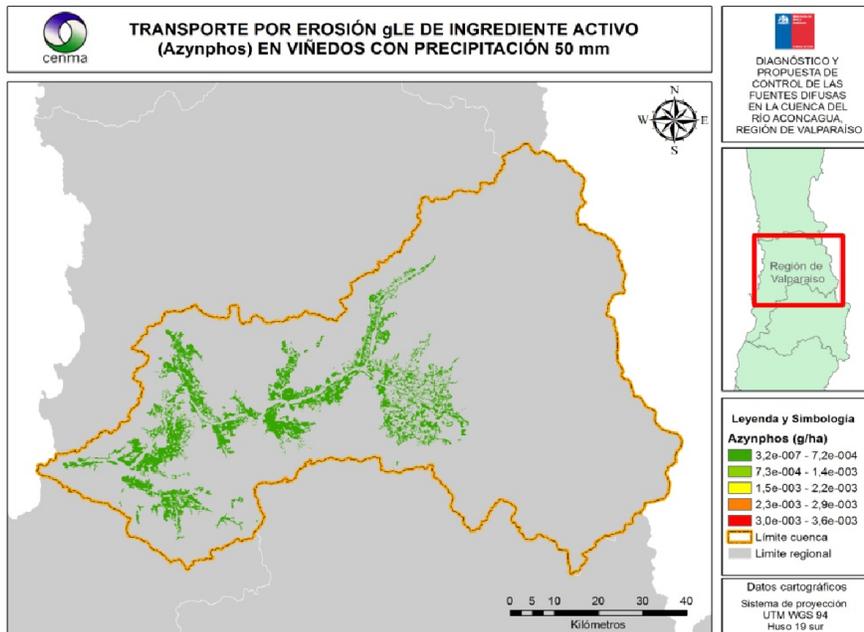


Figura 59. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Azyphos (*gLE*) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

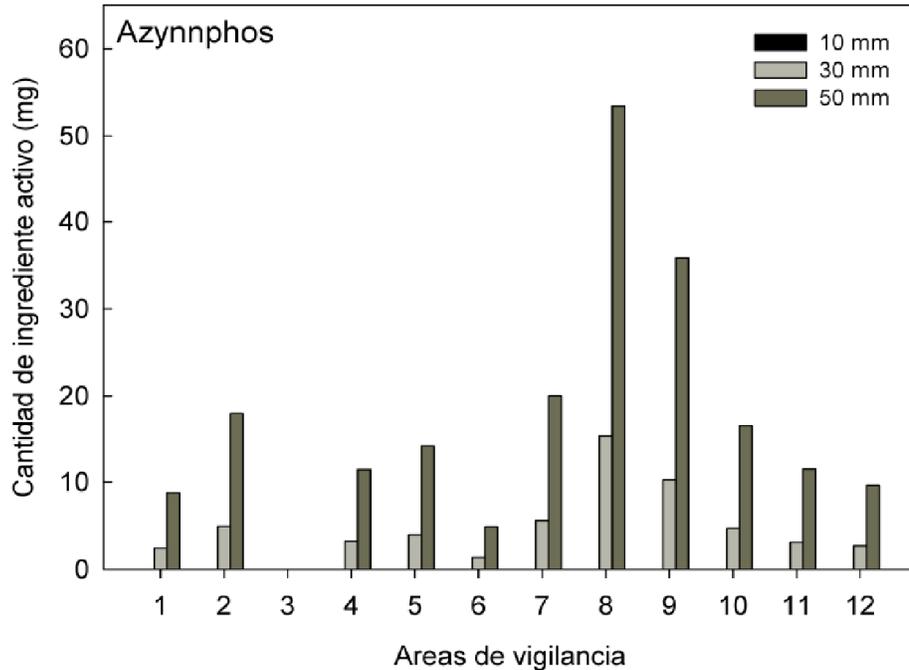


Figura 60. Valores de descarga total del ingrediente activo Azynphos adsorbido al suelo ( $gLE$ ) para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.

### 3.1.3.2.3. Ingrediente activo: Clorpirifos

Para el ingrediente activo Clorpirifos los valores espacialmente explícitos alcanzados por cada cultivo fueron ligeramente diferentes, observándose una escorrentía máxima de  $3.5 \times 10^{-3} mg ha^{-1}$  en los cultivos frutícolas (Figura 61),  $1.7 \times 10^{-3} mg ha^{-1}$  en los cultivos de hortalizas (Figura 62) y  $3.4 \times 10^{-3} mg ha^{-1}$  en viñedos (Figura 63). Por otro lado las mayores descargas totales de este ingrediente activo se registraron en las áreas de vigilancia 8 y 9, especialmente bajo el evento de precipitaciones de 50 mm (Figura 64).

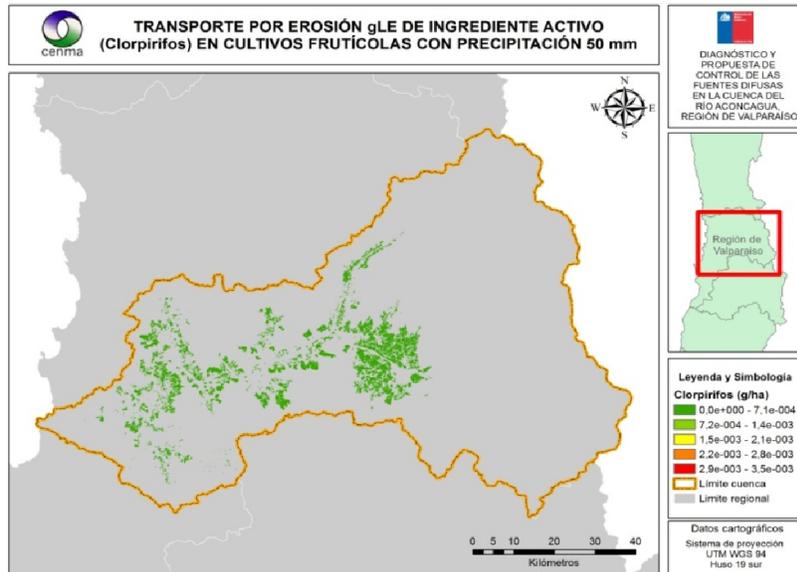


Figura 61. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Clorpirifos (*gLE*) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

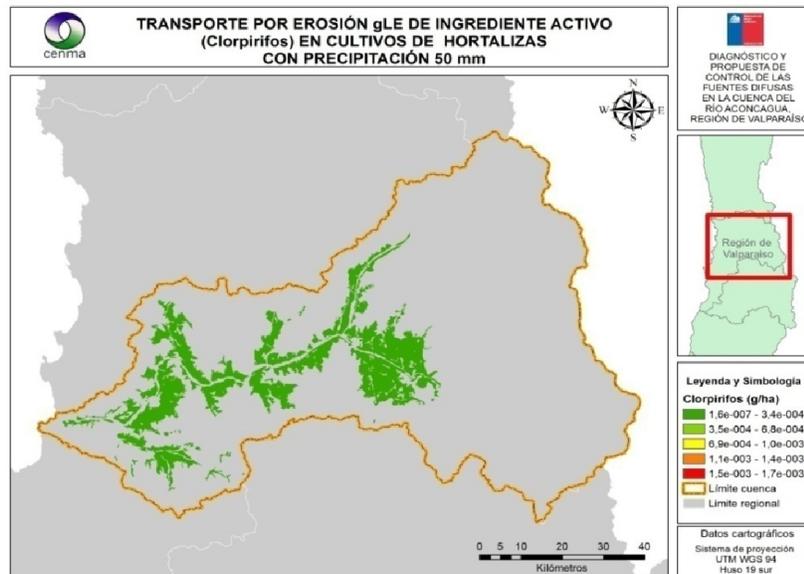


Figura 62. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Clorpirifos (*gLE*) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

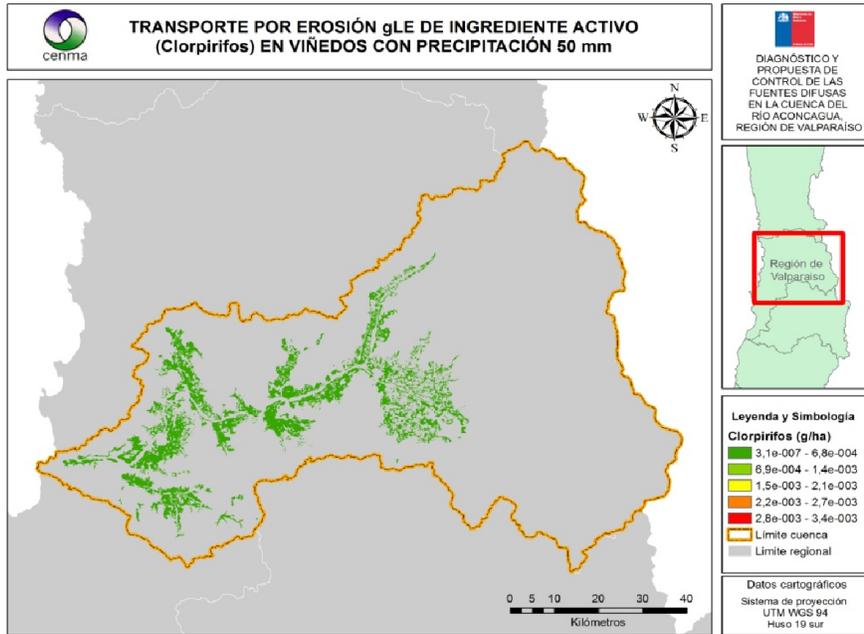


Figura 63. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Clorpirifos (*gLE*) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

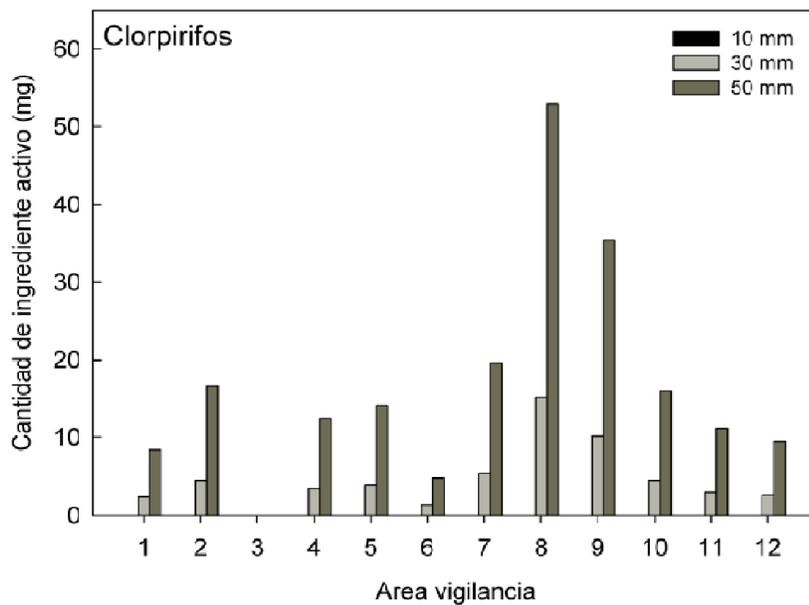


Figura 64. Valores de descarga total del ingrediente activo Clorpirifos adsorbido al suelo (*gLE*) para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.

### 3.1.3.2.4. Ingrediente activo: Methomyl

Para el ingrediente activo Methomyl los valores espacialmente explícitos alcanzados por cada cultivo fueron ligeramente diferentes, observándose una escorrentía máxima de  $3.0 \times 10^{-3} \text{ kg ha}^{-1}$  en los cultivos frutícolas (Figura 65),  $1.6 \times 10^{-3} \text{ mg ha}^{-1}$  en los cultivos de hortalizas (Figura 66) y  $3.2 \times 10^{-3} \text{ mg ha}^{-1}$  en viñedos (Figura 67). Por otro lado, las áreas de vigilancia que registraron las mayores descargas totales fueron las 8 y 9 especialmente bajo el evento de 50 mm (Figura 68).

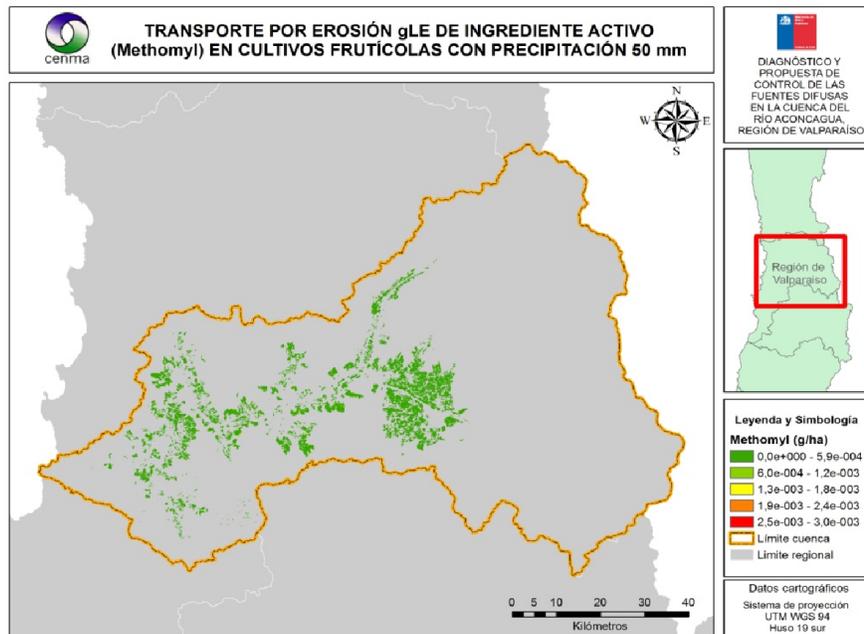


Figura 65. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Methomyl (gLE) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

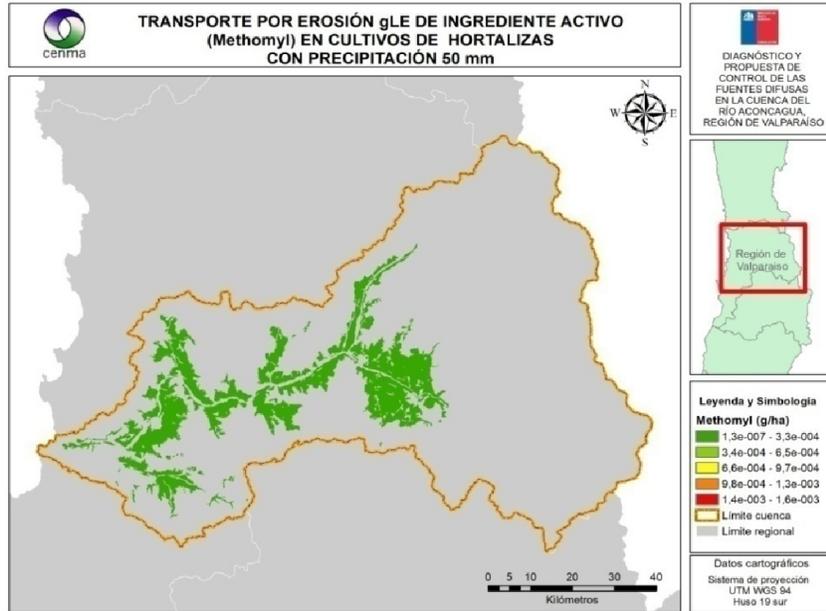


Figura 66. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Methomyl(gLE) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

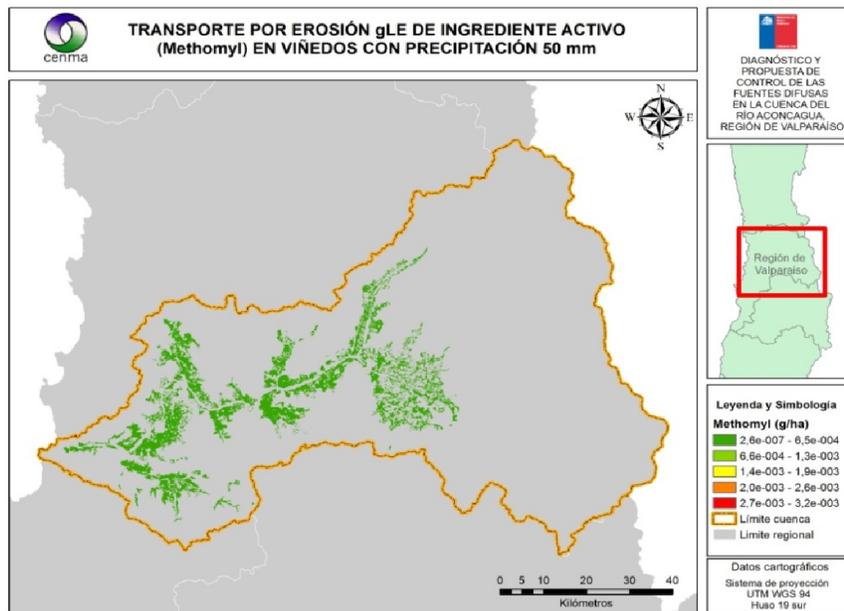


Figura 67. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activoMethomyl(gLE) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

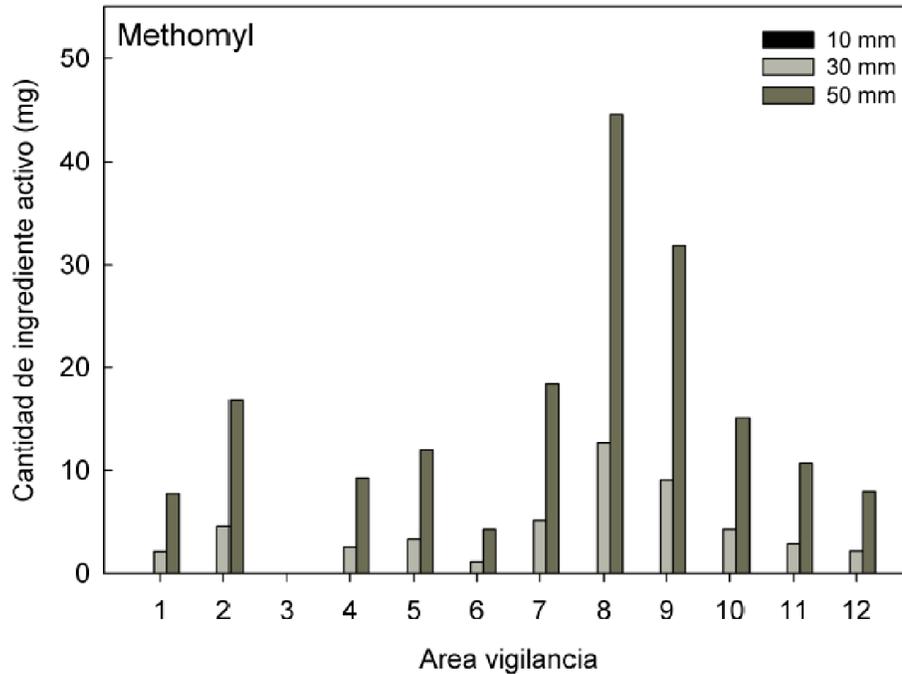


Figura 68. Valores de descarga total del ingrediente activo Methomyl adsorbido al suelo ( $gLE$ ) para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.

### 3.1.3.2.5. Ingrediente activo: Oxyfluorfen

Para el ingrediente activo Oxyfluorfen los valores espacialmente explícitos alcanzados por cada cultivo fueron de  $3.0 \times 10^{-3} \text{mg ha}^{-1}$  en los cultivos frutícolas (Figura 69),  $7.1 \times 10^{-3} \text{mg ha}^{-1}$  en los cultivos de hortalizas (Figura 70) y  $2.9 \times 10^{-3} \text{mg ha}^{-1}$  en viñedos (Figura 71). Por otro lado, las áreas de vigilancia 8 y 9 presentaron las mayores descargas totales (Figura 72).

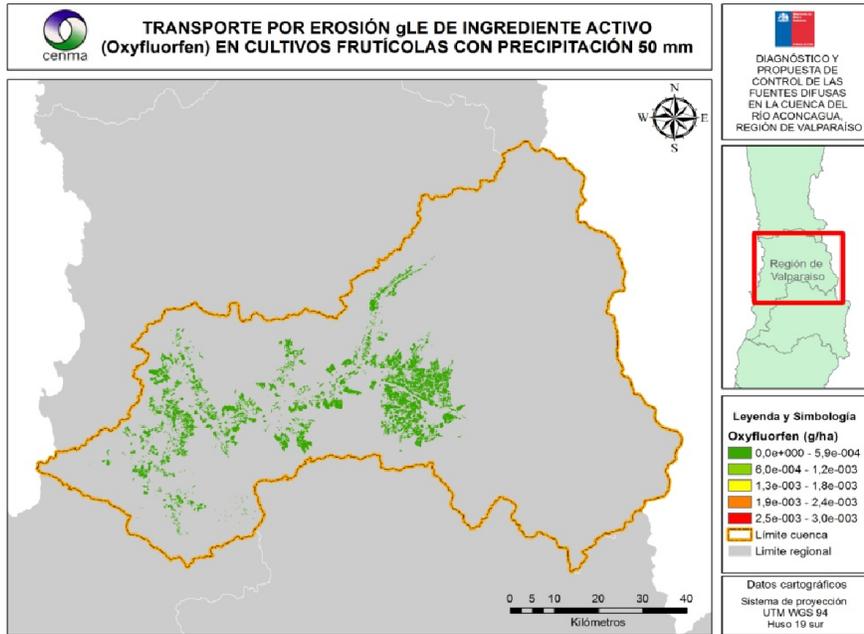


Figura 69. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Oxyfluorfen (gLE) en cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

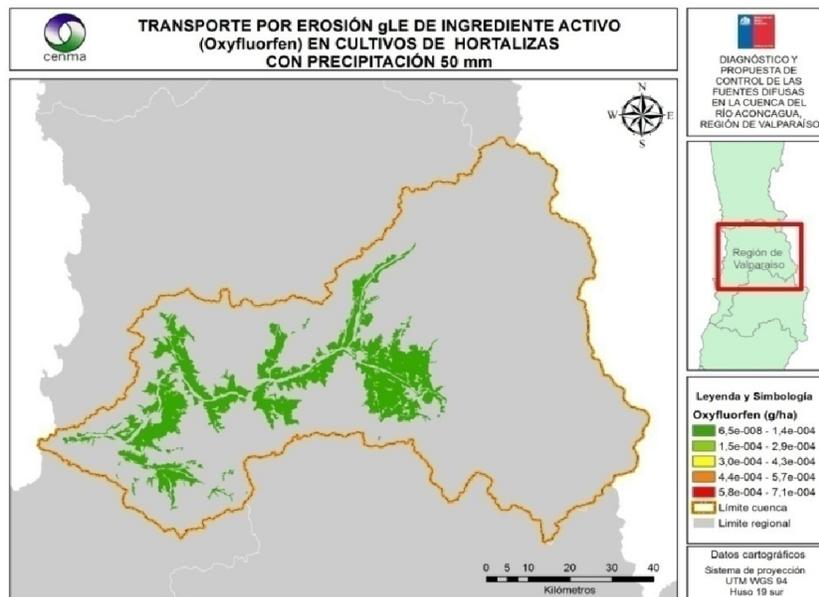


Figura 70. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Oxyfluorfen(gLE) en cultivos de hortalizas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

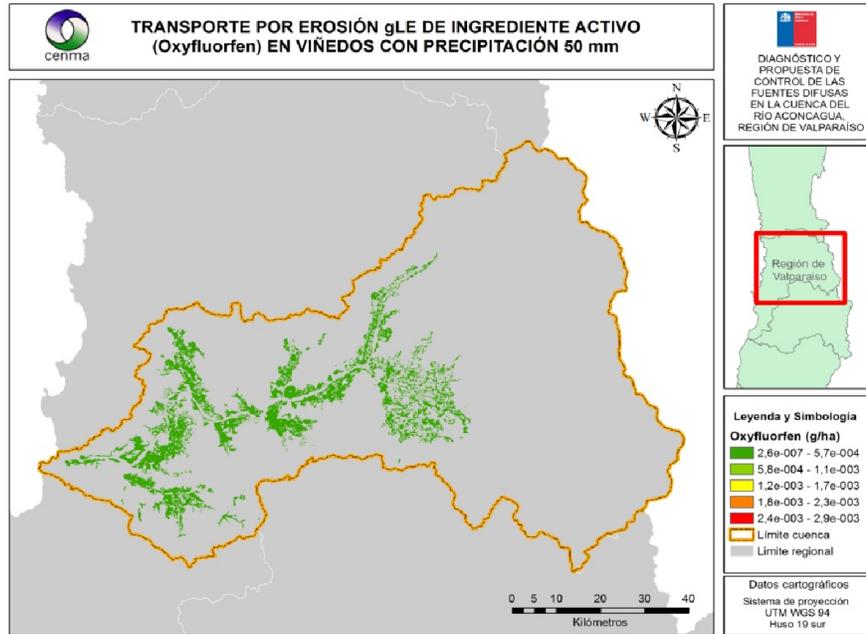


Figura 71. Valores de escurrimiento adsorbido al suelo del ingrediente activo Oxyfluorfen (gLE) en viñedos para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

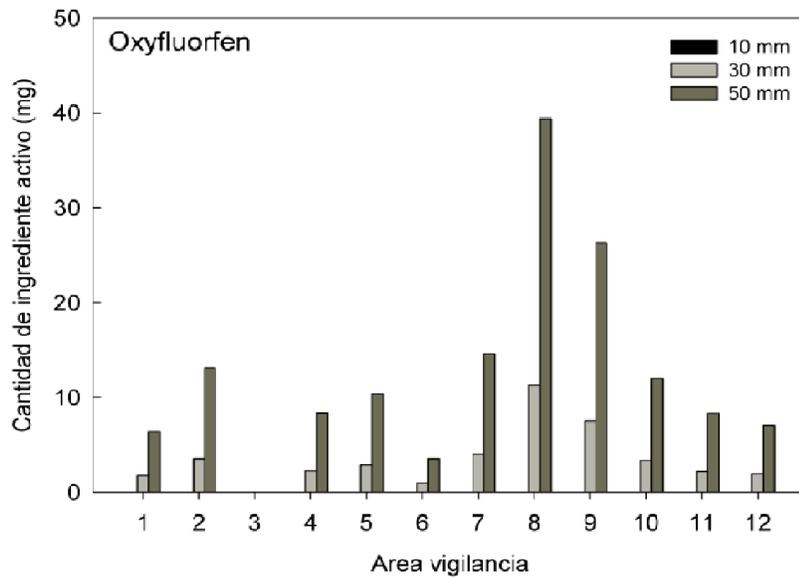


Figura 72. Valores de descarga total del ingrediente activo Oxufluorfen adsorbido al suelo (gLE) para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.

### 3.1.3.2.6. Resultados y patrones generales del modelo gLE

1. Las mayores descargas de ingrediente adsorbido al suelo se observaron bajo un evento de precipitaciones de 50 mm, independiente del ingrediente activo y del tipo de cultivo.
2. Los ingredientes activos con mayor descarga total fueron Pendimethalin, Azynphos, Clorpirifos, Methomyl y Oxyfluorfen. Sin embargo, es difícil establecer para cual tipo de cultivo se hay una mayor descarga de cada uno debido a escasas diferencias en  $g\ ha^{-1}$  en los resultados espacialmente explícitos.
3. Fue posible observar que para cada ingrediente activo las descargas totales a la cuenca, es decir, sumando los aportes frutícolas, de hortalizas y viñedos se registraron en las áreas de vigilancia 7, 8 y 9. La Tabla 59 resume las áreas de vigilancia mayormente afectadas por cada uno de los cinco ingredientes activos mencionados.

Tabla 65. Áreas de vigilancia afectadas por las descargas totales (suma de descargas por cultivo) de ingrediente activo a la cuenca del Río Aconcagua bajo un escenario de 50 mm de precipitaciones.

Ingrediente activo	Área de vigilancia afectada
Pendimethalin	2,8,9
Azynphos	8,9
Clorpirifos	8,9
Methomyl	8,9
Oxyfluorfen	7,8,9

### 3.2. Escorrentía superficial de microorganismos: sub-modelo SWAT

La escorrentía superficial de microorganismos, específicamente coliformes fecales es influenciada directamente por la cantidad de abono/estiércol aplicado en cada tipo de cultivo, así como los volúmenes de escorrentía que genera un evento puntual de lluvia en suelos de diferente pendiente. Si bien la aplicación de abono no es la única fuente de aporte microorganismos, en esta consultoría solo se abordó el abono por falta de información detallada disponible que permitiera estimar los parámetros del modelo.

Para este modelo se presentan los resultados espacialmente explícitos separando los aportes de microorganismos generados por cada hectárea de cultivo frutícolas, de hortalizas y viñedos, considerando los eventos de lluvia representativos de la cuenca (10, 30 y 50 mm).

Posteriormente se muestra una agrupación de la frecuencia de valores obtenidos en los percentiles 0-20% (valores muy bajos), 20-40% (valores bajos), 40-60% (valores intermedios), 60-80% (valores altos) y 80-100% (valores muy altos). Estos percentiles permiten determinar qué valores son los más representativos de las áreas de vigilancia descritas en la Figura 10.

#### 3.2.1. Escorrentía superficial de microorganismos: cultivos frutícolas

Los resultados del escurrimiento de microorganismos generados por cultivos frutícolas fueron clasificados de acuerdo a los percentiles obtenidos entre los eventos de precipitaciones de acuerdo a la Tabla 66.

Tabla 66. Categorías de intensidad del escurrimiento de microorganismos, de acuerdo a los valores SWAT de cultivos frutícolas obtenidos entre los escenarios de 10, 30 y 50 mm de precipitaciones.

Percentil (%)	RangoSWAT (UFC ha <sup>-1</sup> )	Clasificación
20	0 - 1,25E+20	Muy bajo
40	1,26E+20 - 6,54E+20	Bajo
60	6,55E+20 - 1,57E+21	Intermedio
80	1,58E+21 - 4,12E+21	Alto
100	4,13E+21 - 2,81E+23	Muy alto

**Fuente:** elaboración propia

Los resultados muestran que espacialmente los sectores con mayor pendiente y con presencia de cultivos con elevado uso de abono/estiércol presentan la mayor carga de microorganismos ( $\text{UFC ha}^{-1}$ ) y que existe una intensificación de este aporte conforme los aumentos en la magnitud de los eventos de precipitaciones (Figura 73, Figura 74 y Figura 75). La clasificación en las distintas áreas de vigilancia indica que las que presentan un mayor aporte total de microorganismos en los distintos escenarios de precipitaciones son las áreas 7, 8 y 9 (Tabla 67). Sin embargo la frecuencia de valores generados por cultivos frutícolas incrementan su frecuencia hacia percentiles de valores muy altos en gran parte

de las áreas de vigilancia conforme aumenta el volumen de precipitaciones (

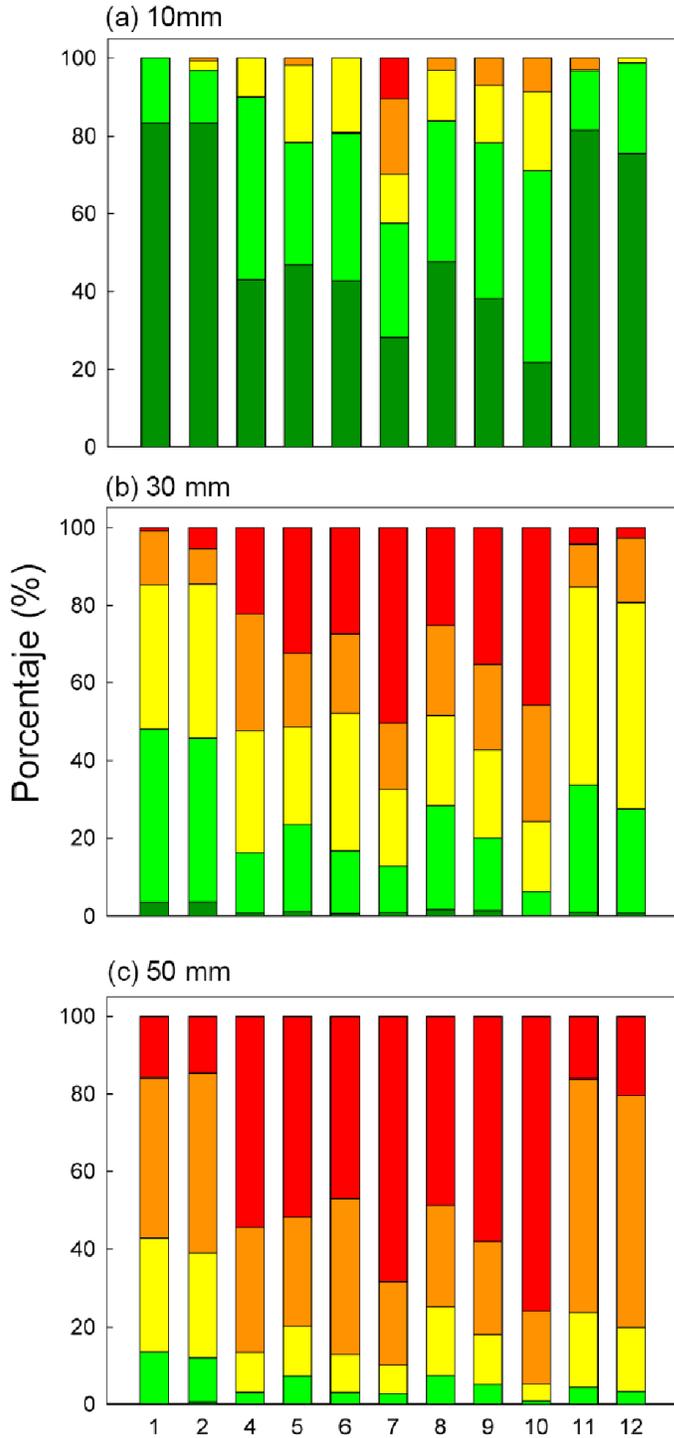


Figura 76).

Tabla 67. Aporte total de microorganismos por cultivos frutícolas (UFC ha<sup>-1</sup>), calculados a partir de los valores promedio de la Tabla 13 para cada área de vigilancia en los eventos de lluvias de 10, 30 y 50 mm.

Área vigilancia	10 mm	30 mm	50 mm
1	2,00E+23	2,27E+24	6,15E+24
2	6,68E+23	7,67E+24	2,08E+25
4	6,93E+23	6,69E+24	1,76E+25
5	7,51E+23	8,55E+24	2,32E+25
6	4,97E+23	4,83E+24	1,27E+25
7	5,50E+24	6,18E+25	1,67E+26
8	1,83E+24	1,74E+25	4,56E+25
9	1,78E+24	1,72E+25	4,52E+25
10	1,27E+24	1,24E+25	3,29E+25
11	6,53E+23	6,92E+24	1,85E+25
12	4,92E+23	5,77E+24	1,57E+25

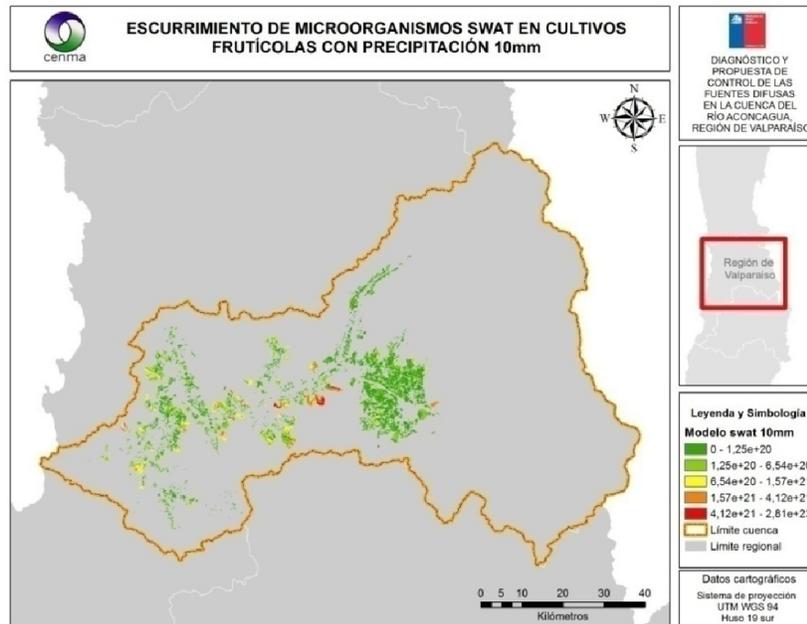


Figura 73. Valores de escurrimiento de microorganismos generado por cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 10 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

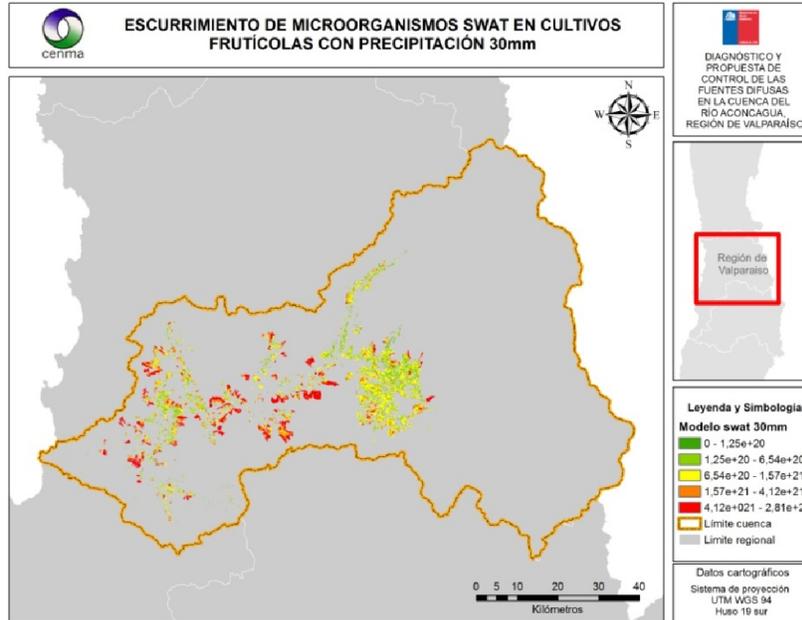


Figura 74. Valores de escurrimiento de microorganismos generado por cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 30 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

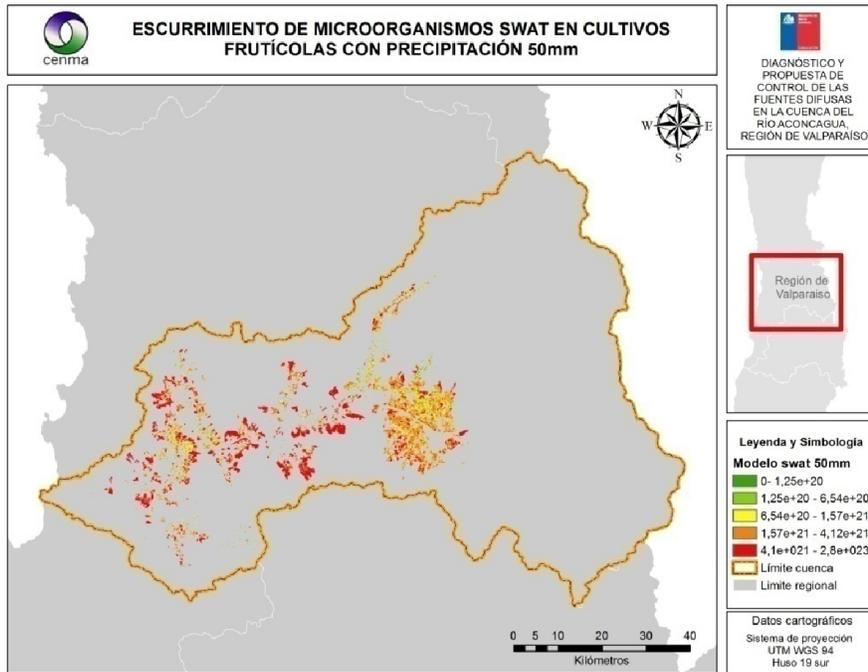


Figura 75. Valores de escurrimiento de microorganismos generado por cultivos frutícolas para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

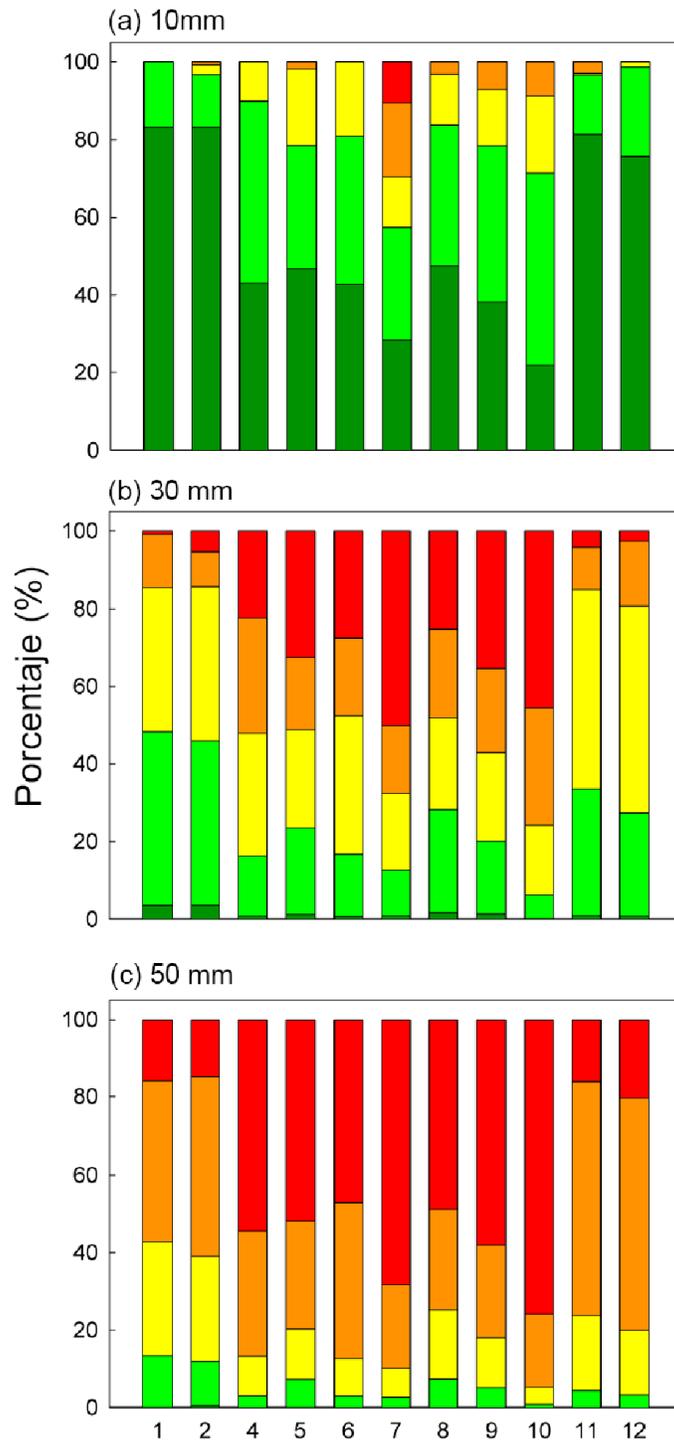


Figura 76. Frecuencia porcentual de los valores en **cultivos frutícolas** dentro de los percentiles 0-20% (verde oscuro), 20-40% (verde claro), 40-60% (amarillo), 60-80% (naranja) y 80-100% (rojo) para los eventos de precipitaciones de (a) 10 mm, (b) 30 mm y (c) 50 mm. En el eje-x se muestran las áreas de vigilancia.

### 3.2.2. Escorrentía superficial de microorganismos: hortalizas

Los resultados del escurrimiento de microorganismos generados por hortalizas fueron clasificados de acuerdo a los percentiles obtenidos en los eventos de precipitaciones de acuerdo a la Tabla 68.

Tabla 68. Categorías de intensidad del escurrimiento de microorganismos, de acuerdo a los valores SWAT de hortalizas obtenidos entre los escenarios de 10, 30 y 50 mm de precipitaciones.

Percentil (%)	Rango SWAT (UFC ha <sup>-1</sup> )	Clasificación
20	0 - 3,79E+20	Muy bajo
40	3,79E+20 - 2,67E+21	Bajo
60	2,67E+21 - 1,31E+22	Intermedio
80	1,31E+22 - 8,31E+22	Alto
100	8,31E+22 - 8,06E+23	Muy alto

Los resultados de la modelación indican que aun cuando se presente un evento de precipitaciones bajas (10 mm), existen sectores con cultivos de hortalizas que presentan valores altos de carga de microorganismos (ha<sup>-1</sup>), y que este aporte se intensifica con evento de precipitaciones de mayor intensidad expandiéndose los sectores agrícolas que presentan un aporte muy alto de microorganismos (Figura 77, Figura 78 y Figura 79). La clasificación en las áreas de vigilancia indica que las áreas 8, 9 y 10 fueron las que presentaron un mayor aporte total de microorganismos (Tabla 69). La frecuencia de valores SWAT generado por cultivos de hortalizas incrementan su frecuencia hacia percentiles de valores muy altos en gran parte de las subcuencas conforme aumenta el volumen de precipitaciones, principalmente desde las áreas 5 a 10 (Figura 80).

Tabla 69. Aporte total de microorganismospor cultivos de hortalizas totales(UFC ha<sup>-1</sup>) para cada área de vigilancia en los eventos de lluvias de 10, 30 y 50 mm.

Área vigilancia	10 mm	30 mm	50 mm
0	1,73E+22	1,87E+23	5,02E+23
1	6,07E+24	6,63E+25	1,79E+26
2	1,91E+24	2,35E+25	6,45E+25
4	2,78E+25	3,01E+26	8,11E+26
5	2,98E+25	3,24E+26	8,73E+26
6	1,26E+25	1,30E+26	3,48E+26
7	4,02E+25	3,88E+26	1,02E+27
8	1,06E+26	1,03E+27	2,71E+27
9	6,27E+25	6,35E+26	1,69E+27
10	1,19E+26	1,16E+27	3,08E+27
11	9,48E+23	1,13E+25	3,09E+25
12	9,02E+23	1,09E+25	2,99E+25

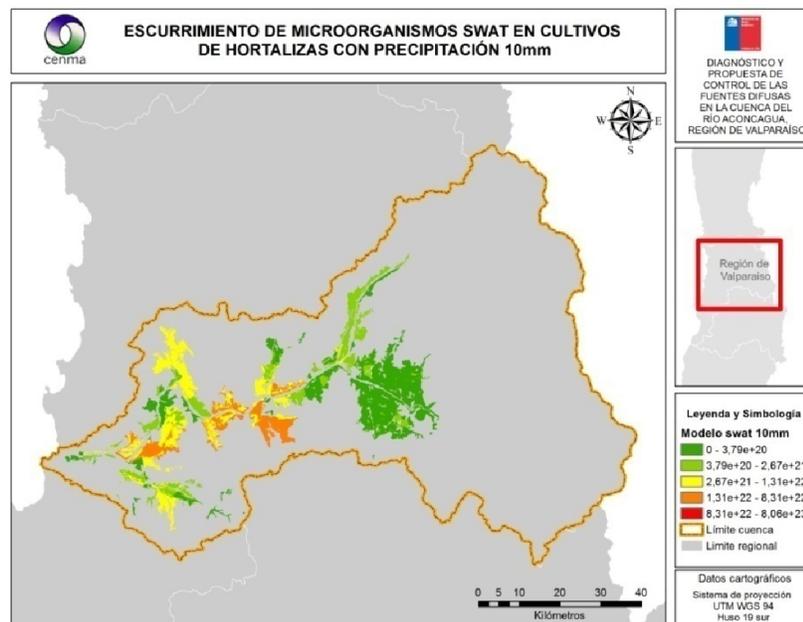


Figura 77. Valores de escurrimiento de microorganismos (SWAT) generado por cultivos de **hortalizas** para un evento de precipitaciones de 10 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

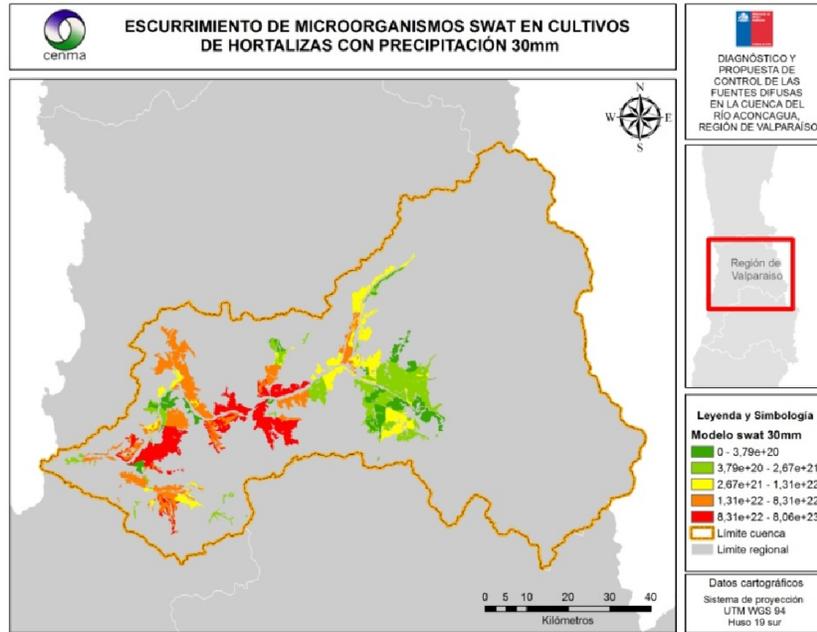


Figura 78. Valores de escurrimiento de microorganismos (SWAT) generado por cultivos de **hortalizas** para un evento de precipitaciones de 30 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

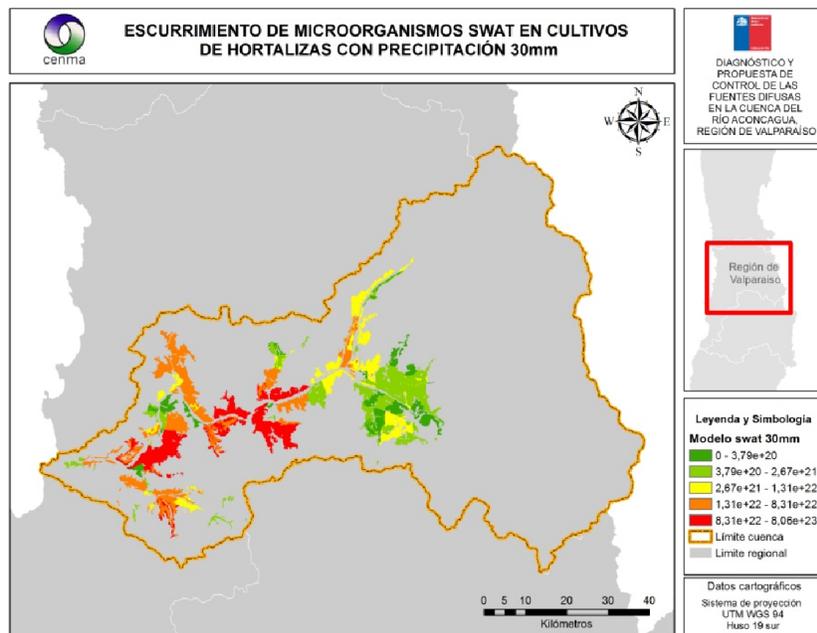


Figura 79. Valores de escurrimiento de microorganismos (SWAT) generado por cultivos de **hortalizas** para un evento de precipitaciones de 30 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

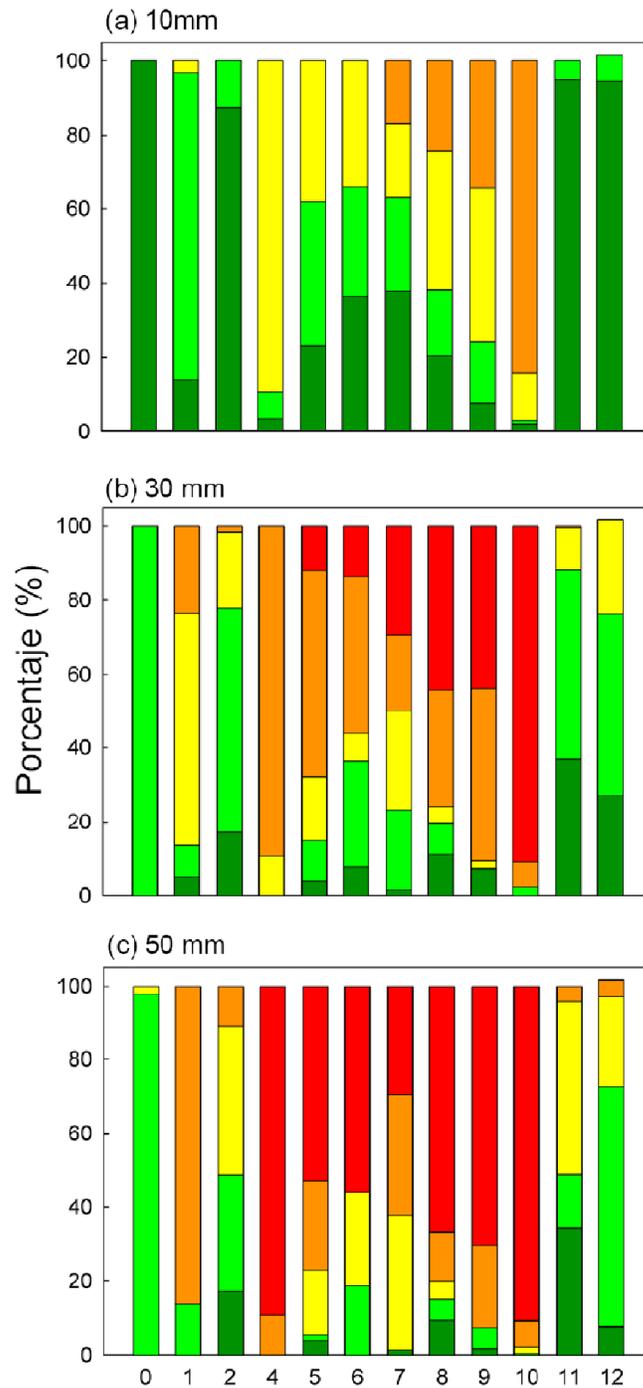


Figura 80. Frecuencia porcentual de los valores SWAT en **cultivos de hortalizas** dentro de los percentiles 0-20% (verde oscuro), 20-40% (verde claro), 40-60% (amarillo), 60-80% (naranja) y 80-100% (rojo) para los eventos de precipitaciones de (a) 10 mm, (b) 30 mm y (c) 50 mm. En el eje-x se muestran las áreas de vigilancia.

### 3.2.3. Escorrentía superficial de microorganismos: viñedos

Los resultados del escurrimiento de microorganismos generados por viñedos fueron clasificados de acuerdo a los percentiles obtenidos en los eventos de precipitaciones de acuerdo a la Tabla 70.

Tabla 70. Categorías de intensidad del escurrimiento de microorganismos, de acuerdo a los valores SWAT-viñedos obtenidos en los escenarios de 10, 30 y 50 mm de precipitaciones.

Percentil (%)	ValorSWAT (UFC ha <sup>-1</sup> )	Clasificación
20	1,00E+17	Muy bajo
40	1,00E+18	Bajo
60	1,91E+19	Intermedio
80	2,01E+21	Alto
100	1,24E+23	Muy alto

Los resultados de la modelación indican que los eventos de lluvias de 30 y 50 mm generan los mayores aportes de microorganismos (UFC ha<sup>-1</sup>) en las zonas centrales del valle y que existen zonas en las cuales incluso los eventos más fuertes de precipitaciones no generan grandes variaciones en el aporte de microorganismos (Figura 81, Figura 82 y Figura 83). Las áreas de vigilancia que presentaron un mayor aporte total de microorganismos fueron las 7, 8, 9 y 10 (Tabla 71) y que corresponden a las mismas áreas de mayor descarga registrada por cultivos frutícolas. Sin embargo la frecuencia de valores SWAT generado por cultivos de hortalizas incrementan su frecuencia hacia percentiles de valores altos en gran parte de las subcuencas conforme aumenta el volumen de precipitaciones, salvo en el caso del área 1 que se mantienen en el percentil más bajo a lo largo de los eventos de precipitaciones (Figura 84).

Tabla 71. Aporte total de microorganismospor viñedos (UFC ha<sup>-1</sup>) para cada área de vigilancia en los eventos de lluvias de 10, 30 y 50 mm.

Área vigilancia	10 mm	30 mm	50 mm
1	4,10E+23	4,53E+24	1,22E+25
2	5,47E+23	6,79E+24	1,87E+25
4	1,50E+22	1,60E+23	4,29E+23
5	5,19E+23	5,42E+24	1,45E+25
6	1,10E+23	1,20E+24	3,23E+24
7	1,08E+25	1,03E+26	2,69E+26
8	1,17E+24	1,19E+25	3,16E+25
9	5,40E+24	5,70E+25	1,53E+26
10	1,19E+24	1,14E+25	2,99E+25
11	8,83E+23	9,85E+24	2,66E+25
12	4,98E+23	5,31E+24	1,42E+25

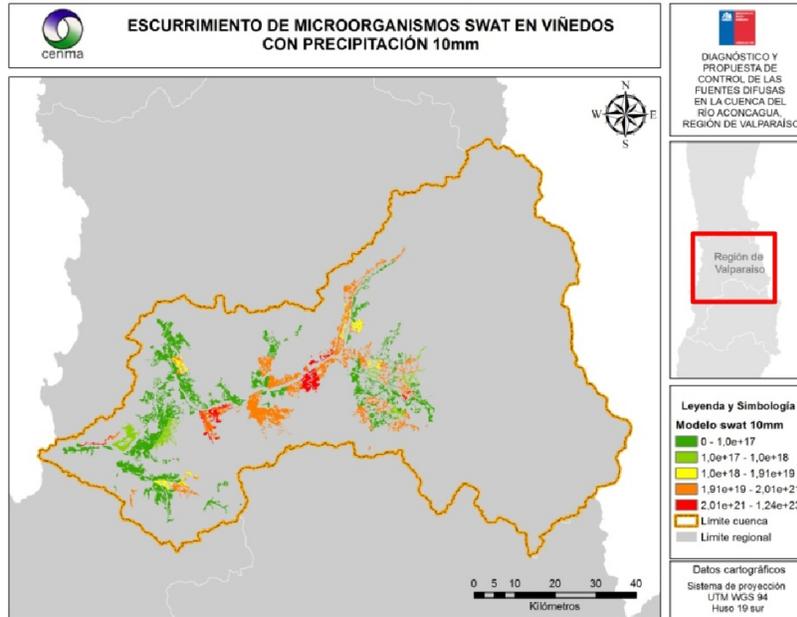


Figura 81. Valores de escurrimiento de microorganismos (SWAT) generado por **viñedos** para un evento de precipitaciones de 10 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

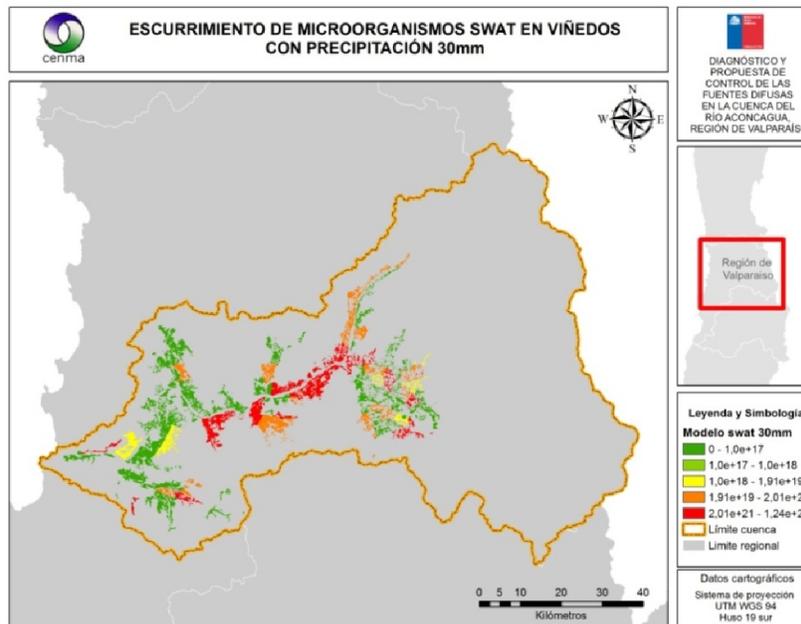


Figura 82. Valores de escurrimiento de microorganismos (SWAT) generado por **viñedos** para un evento de precipitaciones de 30 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

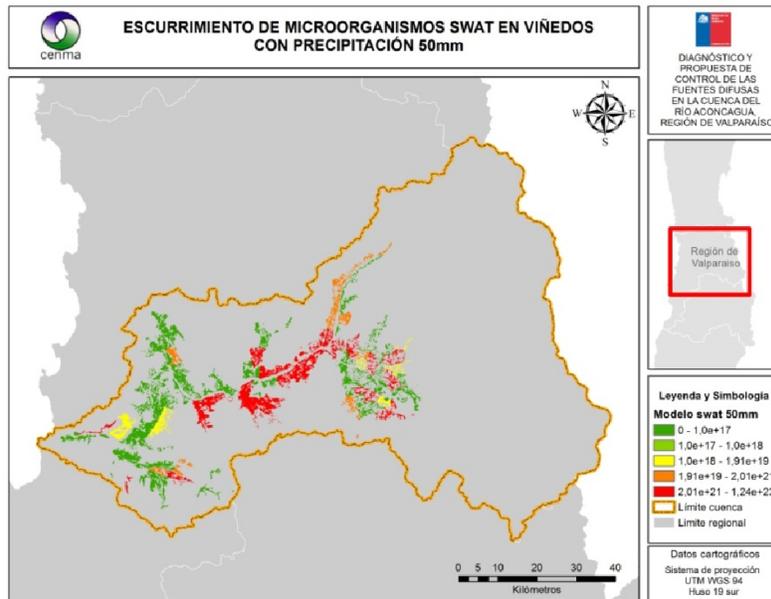


Figura 83. Valores de escurrimiento de microorganismos (SWAT) generado por **viñedos** para un evento de precipitaciones de 50 mm distribuido homogéneamente en la cuenca del Río Aconcagua.

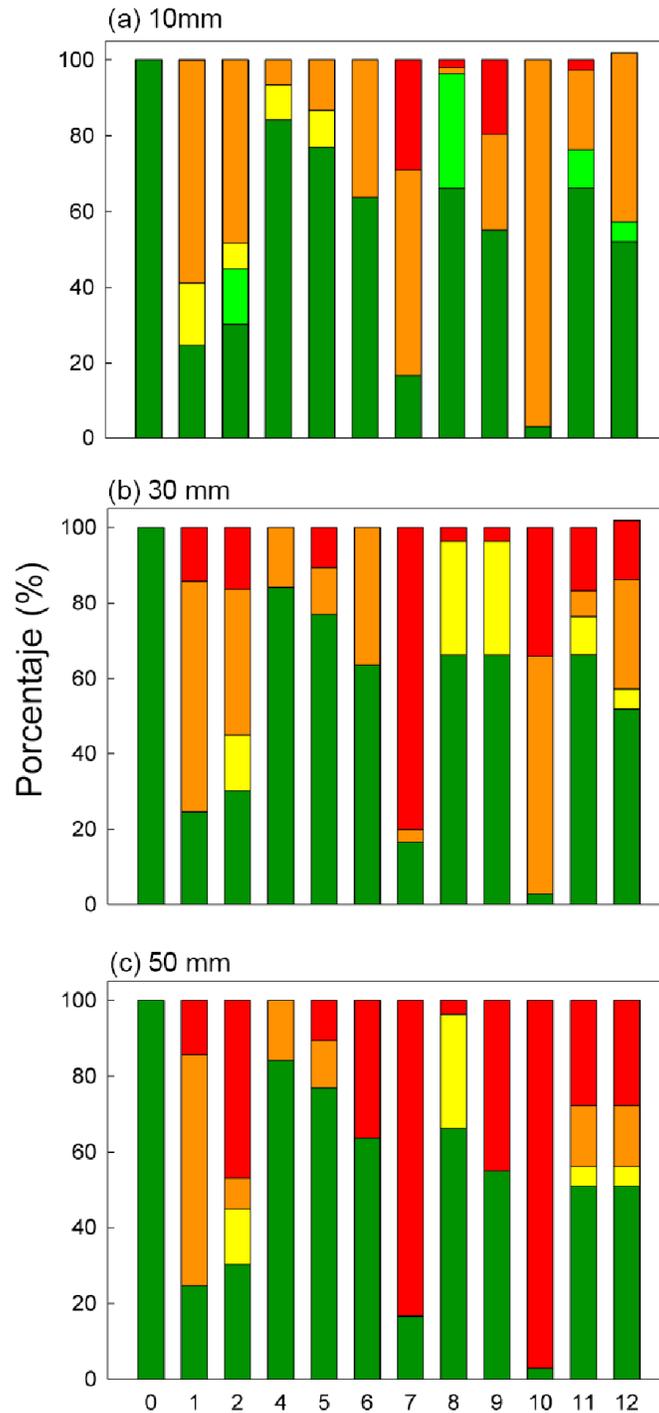


Figura 84. Frecuencia porcentual de los valores SWAT en viñedos dentro de los percentiles 20% (verde oscuro), 40% (verde claro), 60% (amarillo), 80% (naranja) y 100% (rojo) para los eventos de precipitaciones de (a) 10 mm, (b) 30 mm y (c) 50 mm. En el eje-x se muestran las áreas de vigilancia.

### 3.2.4. Resultados y patrones generales del modelo SWAT de microorganismos

1. Se observó que independiente del tipo de cultivo los mayores valores de escurrimiento potencial se registran bajo un evento de precipitaciones de 50 mm, el cual corresponde al evento de mayor magnitud modelado en esta consultoría
2. Comparando entra cada tipo de cultivo, se observó que los de hortalizas fueron los que generaron la mayor escorrentía potencial alcanzando has los  $8,06 \times 10^{-23}$  UFC  $ha^{-1}$  en el evento de precipitaciones de 50 mm. Seguidos de los cultivos de frutícolas y de viñedos que alcanzaron descargas máximas similares de  $2,8 \times 10^{-3}$  y  $1,24 \times 10^{-23}$  UFC en el evento de 50 mm, respectivamente.
3. Las áreas de vigilancia que potencialmente generan una descarga total mayor fueron ligeramente diferentes para cada tipo de cultivo, sin embargo el patrón común es que las áreas 8, 9 y 10 generaran las mayores descargas totales independiente el cultivo. La Tabla 72 resume las áreas de vigilancia con mayor descarga para cada tipo de cultivo bajo el evento de 50mm de precipitaciones y que corresponde al más severo.

Tabla 72. Áreas de vigilancia con mayor descarga total registrada en los resultados del modelo SWAT de microorganismos para cada tipo de cultivo bajo un evento de precipitaciones de 50 mm.

Tipo de cultivo	Área de vigilancia afectada
Frutícola	4,5,6,7,8,9,10
Hortalizas	4,5,6,8,9,10
Viñedos	7,9

### 3.3. Escorrentía superficial de nutrientes: Sub-modelos SWAT

A continuación se muestran los resultados de la modelación de los nutrientes (i) nitrato y (ii) fosforo, obtenidos para el escenario de precipitaciones de 50 mm en los cultivos frutícolas, de hortalizas y viñedos. El resto de los resultados que corresponden a los escenarios de precipitaciones 10 y 30 mm para cada tipo de cultivo se encuentran disponibles en la información suplementaria a este informe.

#### 3.3.1. Escorrentía superficial de nutrientes: Nitrato

Los resultados de la modelación indican que los cultivos frutícolas son los que generan mayor escorrentía de nitrato en el escenario de 50 mm, alcanzando concentraciones de  $8.6 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 85). Por otro lado, los cultivos de hortalizas solo alcanzan descargas de  $1.7 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 86) y los cultivos de viñedos  $3.1 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 87).

Por otro lado, la agrupación en las áreas de vigilancia propuestas muestra que las áreas que presentan una mayor descarga de nitrato son las 2, 8, 11 y 12, especialmente en el evento de lluvia de mayor magnitud (Figura 88). Los valores más altos están relacionados con pendientes más pronunciadas y dosis de aplicación mayores en los cultivos ahí distribuidos.

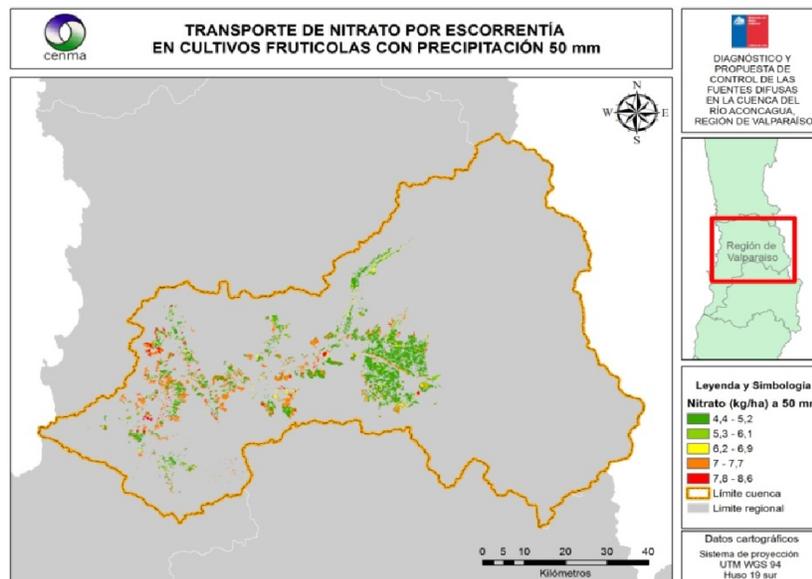


Figura 85. Valores de escorrentía de nitratos en un escenario de precipitaciones de 50mm para los cultivos frutícolas de la cuenca del Río Aconcagua.

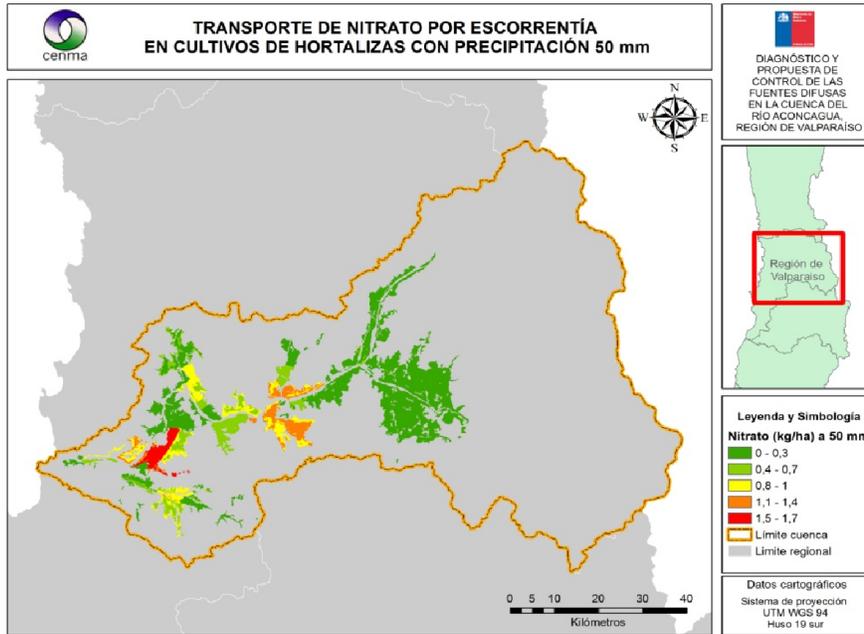


Figura 86. Valores de escorrentía de nitratos en un escenario de precipitaciones de 50 mm para los cultivos de hortalizas de la cuenca del Río Aconcagua.

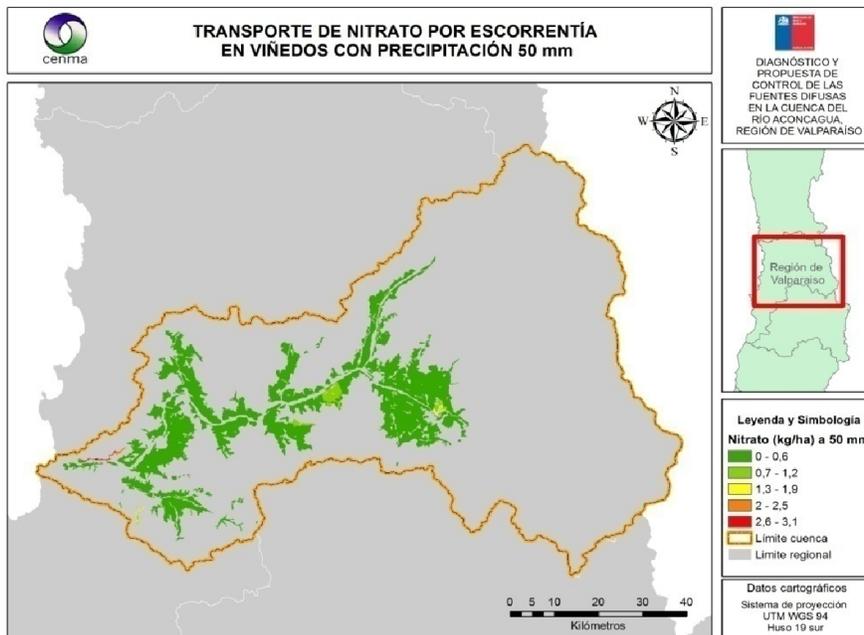


Figura 87. Valores de escorrentía de nitratos en un escenario de precipitaciones de 50 mm para los cultivos de viñedos de la cuenca del Río Aconcagua.

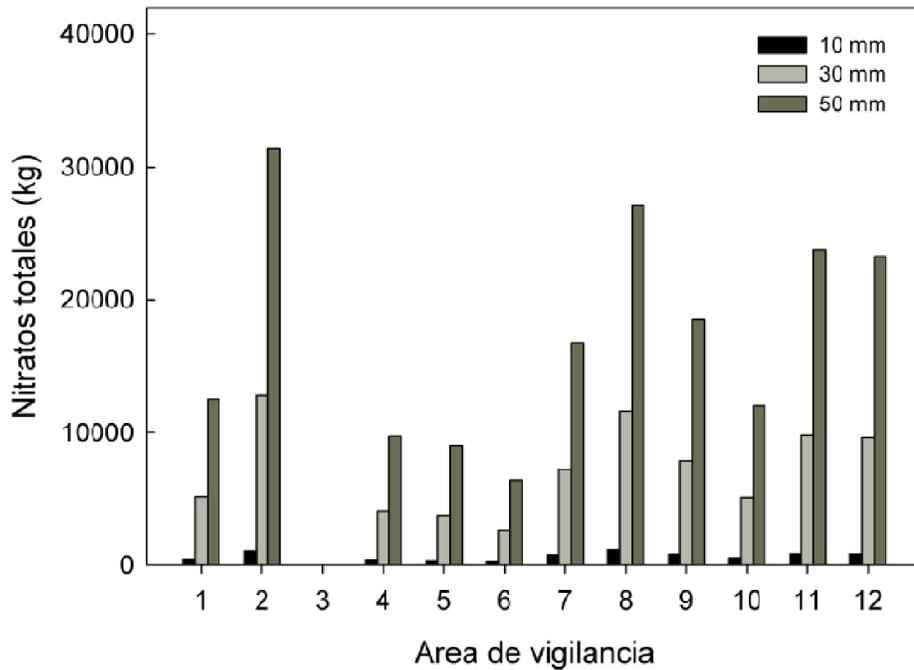


Figura 88. Valores de descarga total del nitrato para cada área de vigilancia. Las barras indican los diferentes eventos de precipitaciones modelados.

### 3.3.2. Escorrentía superficial de nutrientes: Fósforo

Los resultados de la modelación indican que ante un escenario de precipitaciones de 50 mm, se alcanzan los mayores valores de escorrentía de fosforo con concentraciones de  $0.3 \text{ g ha}^{-1}$  (Figura 91). Por otro lado, en los escenarios de menor intensidad las concentraciones no superan los  $0.1 \text{ g ha}^{-1}$  (Figura 89 y Figura 90).

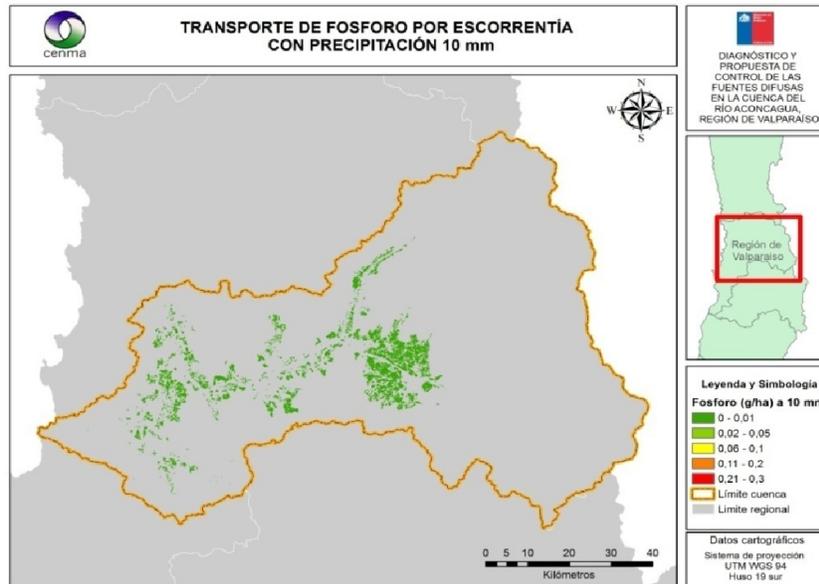


Figura 89. Valores de escorrentía de fósforo en un escenario de precipitaciones de 10 mm para los cultivos totales (suma de frutícola, hortalizas y viñedos) de la cuenca del Río Aconcagua.

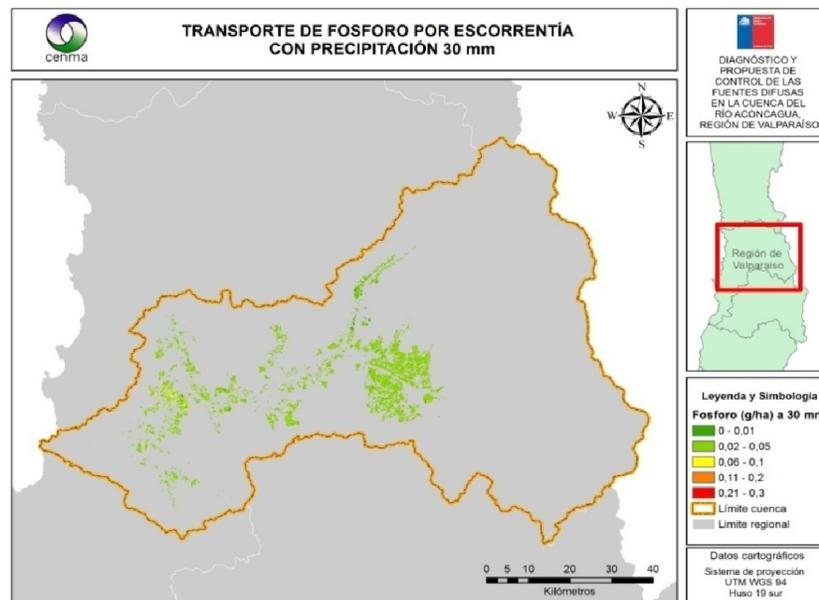


Figura 90. Valores de escorrentía de fósforo en un escenario de precipitaciones de 30 mm para los cultivos totales (suma de frutícola, hortalizas y viñedos) de la cuenca del Río Aconcagua.

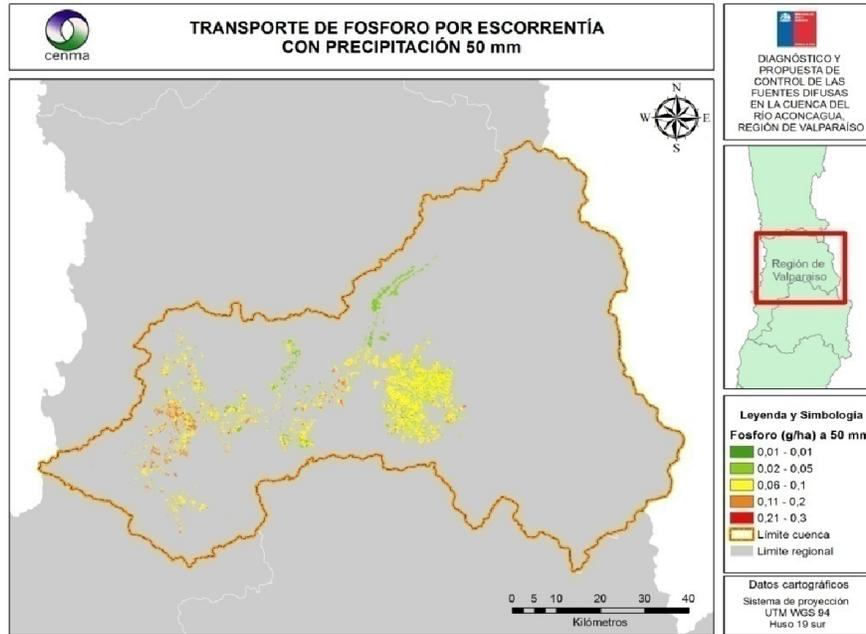


Figura 91. Valores de escorrentía de fosforo en un escenario de precipitaciones de 50 mm para los cultivos totales (suma de frutícola, hortalizas y viñedos) de la cuenca del Río Aconcagua.

### 3.3.3 Resultados y patrones generales del modelo SWAT de nutrientes

1. Para el nutriente nitrato los cultivos frutícolas son los que generan las mayores escorrentías superficiales, alcanzando los  $8.6 \text{ kg ha}^{-1}$ . Por otro lado, los cultivos de hortalizas solo alcanzan descargas de  $1.7 \text{ kg ha}^{-1}$  y los cultivos de viñedos  $3.1 \text{ kg ha}^{-1}$ .
2. Para el nutriente fósforo no se disponía información detallada para cada tipo de cultivo, por lo que se modeló su descarga total. Se observó que ante un escenario de precipitaciones de 50 mm, se alcanzan los mayores valores de escorrentía de fósforo con concentraciones de  $0.3 \text{ g ha}^{-1}$ .
3. Las áreas de vigilancia que generan potencialmente las mayores descargas de nutrientes son las 2, 7, 8 y 9.

### 3.4. Contaminación difusa de las actividades mineras

#### 3.4.1. Recopilación de información

El resultado de la búsqueda bibliográfica sobre información científica e informes técnicos que la presencia de metales pesados que posiblemente provienen de las descargas de la actividad minera sobre aguas superficiales, sedimentos de aguas superficiales y suelos de la cuenca del Río Aconcagua se describe a continuación en la Tabla 73.

Tabla 73. Número de publicaciones e informes técnicos encontrados con información sobre las descargas de metales pesados en la cuenca del Río Aconcagua para las plataformas consultadas.

Plataforma de base de datos	Número y tipo de documento	Medio evaluado	Referencias*
Isi Web of Knowledge	4 artículos científicos	Aguas superficiales	Schalscha (1998); Pizarro et al. (2010)
		Sedimentos	Copaja et al. (2012).
		Suelos	Aguilar et al. (2011)
Google académico	4 artículos científicos	Suelos	González (1984); González (1985); Gregori et al. (2003); Hormazabal et al. (2013).
Google	3 Informes técnicos	Aguas superficiales	SAG (2001); DGA (2004); CENMA (2008).

\*Ver referencias para descripción completa de artículos. Fuente: elaboración propia

La superficie de la cuenca del Río Aconcagua destinada a actividad minera industrial comprende una superficie de 1.037 hectáreas equivalente al 0,1% del total de la superficie de la cuenca. La minería metálica más importante de la cuenca corresponde a la explotación de cobre en los sectores de Los Andes y Catemu. De las compañías mineras que se emplazan en esta cuenca destaca la empresa CODELCO División Andina, Compañía Minera Disputada de las Condes con las faenas mineras: Fundición Chagres, Planta El Soldado, Planta El Cobre y Mina Los Bronces, actualmente en operación y dedicadas a la explotación del mineral de cobre. Según el catastro de actividad minera elaborado por SERNAGEOMIN (2002), en la cuenca del Río Aconcagua existen alrededor de 53 faenas mineras, incluyendo dentro de estas a plantas y minas. De las faenas consideradas en la cuenca, 20 se encuentran activas y 33 paralizadas. La comuna que

concentra la mayor actividad minera es Catemu (8 activas, 13 paralizadas), Los Andes (4 activas, 1 paralizada) y Putaendo (3 activas, 7 paralizadas). Ver Tabla 74.

Tabla 74 .Faenas Mineras Activas en la cuenca del Río Aconcagua.

Comuna	Operación/Proceso	Pasta	Faena
Putaendo	Concentración	Cobre	Planta El Arenal
	Mina Subterránea	Cobre	Mina San Antonio, Mina Adela de los Loros
	Rajo abierto	Carbonato Cobre	Mina Guayacan Mina Cantera Los Mantos
Catemu	Trituración	Carbonato	Planta Guayacan
	Fundición	Cobre	Fundición Chagres
	Subterránea	Cobre	Mina El Manzano, Mina Cardenilla
	Lixiviación	Cobre	Planta CrevaniGalleguill, Planta Las Pataguas
San Felipe	Mina subterránea	Cobre	Mina Bellavista
Santa María		Cobre	Mina Farellones
Llaillay	Amalgación	Oro	Planta El Sauce
San Estéban	Subterránea	Cobre	Mina El Soldado
	Rajo abierto	Cobre	Mina California
	Rajo abierto	Cobre	Mina Sur-Sur
	Subterránea	Cobre	Mina Río Blanco
Los Andes	Concentración y filtración	Molibdeno Cobre	Planta SOAS
	Concentración	Cobre	Planta Concentradora

**Fuente:** SERNAGEOMIN (2002).

### 3.4.2 Caracterización de la presencia de metales pesados en aguas superficiales

En Chile la falta de datos históricos sobre los metales pesados presentes en las aguas superficiales dificulta nuestra capacidad de dimensionar correctamente los efectos de la minería sobre los ecosistemas acuáticos naturales. En particular, este efecto puede intensificarse en zonas donde los procesos orogénicos naturales, actividad volcánica y la geología del lugar son intensos, como es el caso de la cuenca del Río Aconcagua. Aunque es difícil separar los efectos naturales y los efectos antropogénicos, la determinación de la variación de las concentraciones de metales pesados a través del tiempo sugiere como las actividades mineras han impactado sobre la calidad de las aguas de ésta cuenca.

A continuación se hace un seguimiento cronológico de los principales estudios recopilados para esta consultoría y que dan cuenta de la presencia de metales pesados en las aguas superficiales de la cuenca del Río Aconcagua teniendo en consideración la forma química en que estos están presentes en cada matriz considerando estudios que reporten metales disueltos o totales:

El primer estudio científico que aborda la presencia de metales pesados en la cuenca del Río Aconcagua fue publicado por Schalscha (1998), en el cual se determinó que existían elevadas concentraciones de Cobre disuelto (Tabla 75) atribuidas principalmente a la actividad minera de la zona desarrollada hasta esa fecha. Los resultados de este estudio podrían considerarse como es un punto de partida para caracterizar la evolución temporal de las concentraciones de estas especies químicas.

Tabla 75. Concentraciones de metales pesados disueltos en el Río Aconcagua.

Metal pesado	Concentración ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
Cd	< 0,1
Cu	21,8
Hg	0,4
As	3,3

Fuente:Schalscha (1985)

Un informe técnico desarrollado por la Universidad Mayor durante el periodo 2001-2004 registró las concentraciones de metales pesados en distintas estaciones de muestro a lo largo de la cuenca del Río Aconcagua. El resumen anual de las concentraciones de metales totales presentes en las aguas superficiales se muestra en la Tabla 41. Comparativamente los resultados de este informe dan cuenta de un aumento de los

metales pesados registrados por Schalscha (1998), especialmente para las concentraciones de Cobre que aumentaron en 3 órdenes de magnitud (Tabla 76).

Tabla 76. Concentraciones promedio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) de metales pesados entre las distintas estaciones de muestreo. Modificado del informe realizado por la Universidad Mayor (Proyecto fondo SAG 55-14-300).

Año	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Zn	As	Cd
2001	2599,35	4333,04	602,04	< 80	23,75	172,30	7,35	8,00
2002	1750,25	5360,93	372,94	18,28	39,81	114,63	2,91	16,15
2003	859,66	1207,93	180,37	17,91	54,12	62,76	2,67	66,25
2004	792,67	4912,00	408,33	n.d.	26,43	112,50	7,09	10,00

Fuente: Schalscha (1998)

Luego, un estudio realizado por Gaete (2007) caracterizó la presencia de Cobre, Hierro, Molibdeno y Cinc en distintas secciones del Río Aconcagua (Figura 92), abordando las variaciones espaciales de los metales pesados. Sin embargo, este estudio contempló solo un periodo de 1 año. De acuerdo a los resultados de Gaete (2007), las concentraciones de Cinc no exhibieron un patrón espacial y tampoco superaron la norma chilena de  $2,00 \text{ mg L}^{-1}$  para aguas destinadas a riego (NCh 1333, 1987). Por otro lado, los resultados registrados en la estación 3 cercana a la planta de Molibdeno (Los Andes) mostraron los valores más elevados para Cobre, Hierro y Molibdeno, superando los valores máximos recomendados para agua de riego de  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$  solo en este último (Tabla 77). Comparando los resultados de Gaete (2007) con los obtenidos por el informe previo más reciente de la Universidad Mayor (2004) se observaron grandes diferencias en las concentraciones de metales pesados las que pueden ser atribuidas a cambios en los caudales de los ríos o parámetros fisicoquímicos como el pH que modifica la disponibilidad de metales, especialmente el cobre. Por lo tanto, de un año a otro las concentraciones de metales pesados en una misma cuenca pueden ser altamente variables.

Tabla 77. Valores de concentraciones promedio  $\pm$  desviación estándar de metales pesados medidos durante el año 2007 para cada estación calculados a partir de los datos de Gaete (2007).

Estación	Cu ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Mo ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Zn ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Fe ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
1	5,94 $\pm$ 6,62	8,90 $\pm$ 5,06	14,63 $\pm$ 12,34	59,61 $\pm$ 33,94
2	22,85 $\pm$ 26,26	11,44 $\pm$ 9,69	13,75 $\pm$ 20,29	29,90 $\pm$ 47,30
3 (Los Andes)	<b>167,05 <math>\pm</math> 98,30</b>	<b>117,57 <math>\pm</math> 96,75</b>	21,64 $\pm$ 11,31	<b>116,78 <math>\pm</math> 105,61</b>
4	21,22 $\pm$ 10,419	38,09 $\pm$ 58,73	13,58 $\pm$ 17,75	58,94 $\pm$ 46,91

5	8,340± 5,842	10,43± 14,17	12,96± 4,69	36,64 ± 38,67
6	45,66± 58,002	9,88± 9,71	<b>34,90± 33,87</b>	67,56 ± 45,71
7	4,66± 3,106	5,35± 5,76	9,77± 7,66	28,91 ± 21,87
Promedio	39,39	28,81	17,32	56,90

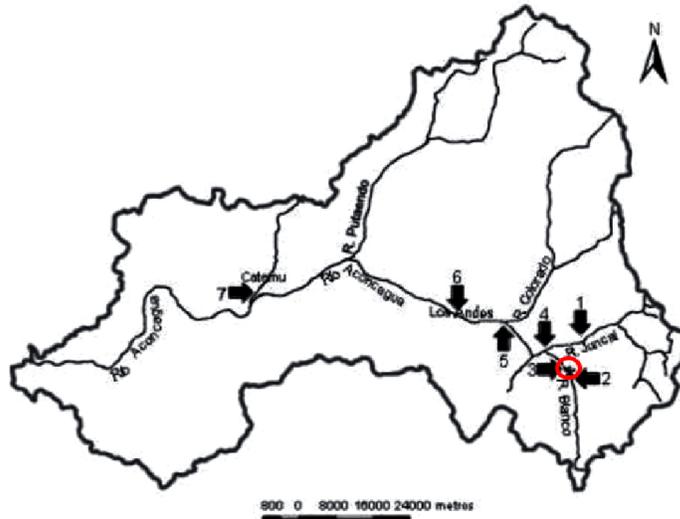


Figura 92. Mapa esquemático de las estaciones de muestro de metales pesados en la cuenca del Río Aconcagua. El círculo rojo indica una planta de Molibdeno (estación 3).  
Fuente: Gaete (2007).

Posteriormente un estudio realizado por CENMA en el año 2008 registró las concentraciones de metales pesados estacionalmente a lo largo de la cuenca del Río Aconcagua (Tabla 78; Figura 93). De los resultados de este informe se observa que existe una alta variabilidad temporal en cuanto a las concentraciones de metales pesados como Cobre, Hierro, Manganeso y Cinc como se observa en las estaciones ubicadas en El Río Blanco y Río Aconcagua en San Felipe (Tabla 77; Figura 93). Esta alta variabilidad temporal puede estar asociada a las variables físico-químicas del río que modifican la disponibilidad de metales en la columna de agua

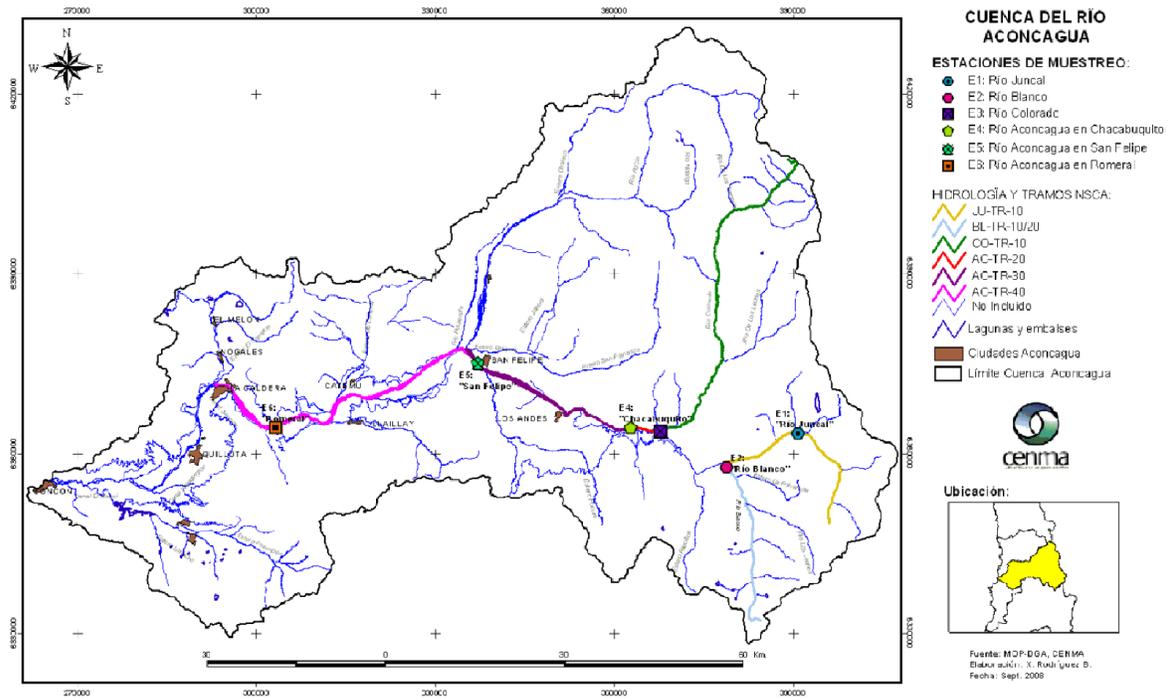


Figura 93. Mapa de las estaciones de muestreo para metales pesados en la cuenca del Río Aconcagua. Modificado de CENMA (2008).

Tabla 78. Valores promedio de concentraciones de metales pesados disueltos ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) registrados en la cuenca de del Río Aconcagua durante el año 2008. Valores obtenidos de CENMA (2008). Ver Figura 93 para la ubicación de las estaciones de muestreo.

Campaña	Est.	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Al	As	Cd	Pb
Primav.	E1	< 3,91	< 5,41	< 2	< 8	17,8	< 19	< 8,13	< 2,10	< 2,18
	E2	3560	1780	777	< 8	240	3070	< 8,13	< 2,10	10,3
	E3	20,4	772	203	< 8	30,1	1290	27,6	< 2,10	< 2,18
	E4	551	1110	209	< 8	59,5	1710	< 8,13	< 2,10	< 2,18
	E5	1930	3570	499	< 8	143	3670	< 8,13	< 2,10	5,75
	E6	995	2420	461	< 8	81,8	3870	26,4	< 2,10	< 2,18
Verano	E1	< 1,40	13,1	4,76	< 8	16,9	28,3	41	0,96	< 8,13
	E2	51,9	20,3	328	16,6	40,7	95,3	33,3	1,1	< 8,13
	E3	6,66	30,6	52,4	9,81	19,2	144	30,9	0,92	< 8,13
	E4	16,6	4,95	195	11,8	24,8	79,6	7,5	0,94	9,4
	E5	46,3	44,6	132	< 8	24,2	159	< 6,35	< 0,67	8,48
	E6	19,1	21,6	9,36	8,32	17,9	77,5	21,4	< 0,67	9,65
Otoño	E1	<3,91	38,5	4,95	<8	15,4	39	< 8,13	< 2,10	<2,18
	E2	42,8	141	43,9	40,6	19,6	18	30,8	< 2,10	<2,18
	E3	<3,91	11,8	3,07	<8	9,85	<19*	29,4	< 2,10	<2,18
	E4	17,2	23,7	14,3	<8	17,3	32,3	29,9	< 2,10	<2,18
	E5	73,5	469	62,7	<8	35,2	410	< 8,13	< 2,10	<2,18
	E6	8,33	79,8	17,5	<8	20,1	22,9	13,9	< 2,10	<2,18
Invierno	E1	<1,4	<2,48	3,61	10,8	13,1	<7,83	9,11	<0,67	<8,13
	E2	755	306	101	<8	24	35,7	<6,36	0,07	8,4
	E4	12,9	13	9,82	<8	10,9	30,7	<6,36	<0,67	<8,13
	E5	8,28	9,05	51,3	<8	13,7	32,1	<6,36	<0,67	<8,13
<b>Promedio anual</b>		369,5	494,9	144,8	10,3	40,7	675,5	17,1	1,5	5,6

\* Para los valores menores a (<), se consideró el valor límite. **Fuente:** CENMA (2008)

Finalmente, la variabilidad temporal de la presencia de metales pesados en la cuenca fue abordada por Pizarro (2010) en un estudio con un periodo extenso de tiempo (27 años; 1980-2007). Sus resultados con datos históricos muestran de forma resumida como cambia la concentración de metales pesados, observándose alta variabilidad para Cobre, Molibdeno, Mercurio y Plomo (Tabla 79). Los datos de este estudio fueron recopilados en distintos puntos de la cuenca abarcando su completa extensión desde cordillera hasta la desembocadura del río Aconcagua. Sin embargo, la ubicación exacta de cada estación no está claramente disponible en el artículo por lo que es difícil asociarlo a las áreas de vigilancia propuestas.

Tabla 79. Valores promedio  $\pm$  desviación estándar de los metales pesados disueltos registrados en la cuenca de del Río Aconcagua durante el periodo 1980-2007.

Metal	Concentración ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
As	132 $\pm$ 46
Cu	789 $\pm$ 181
Cr	25 $\pm$ 1
Hg	87 $\pm$ 29
Mo	175 $\pm$ 81
Pb	80 $\pm$ 34

**Fuente:** modificado de Pizarro (2010)

Como resultado final de la recopilación de información acerca de la presencia de metales pesados presentes en aguas superficiales de la cuenca del Río Aconcagua se muestra una serie de tiempo de las concentraciones promedio registradas anualmente durante el periodo 1998-2008 de acuerdo a la información disponible (Figura 94). Se observa que los metales de mayor abundancia en la cuenca son el Cobre y Hierro, llegando a concentraciones máximas de  $3000 \mu\text{g L}^{-1}$  y  $5000 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente. Por otro lado, el resto de los metales evaluados registraron concentraciones inferiores a  $200 \mu\text{g L}^{-1}$  y regulares en el tiempo, salvo metales como Cadmio y Cinc que presentaron máximos anómalos (Figura 94). De acuerdo a la toxicidad aguda de estos metales para organismos de aguas superficiales como *Daphnia magna*, las concentraciones de cobre son las que superan los valores de  $LC_{50}$  de 48 horas para esta especie (Tabla 80).

Tabla 80. Valores de toxicidad aguda (LC50 de 48 horas) para *Daphnia magna* de los metales pesados presentes en las aguas superficiales de la cuenca del Río Aconcagua

Metal	LC <sub>50</sub> 48 horas (µg L <sup>-1</sup> )
Cobre	30-36
Cinc	68
Fierro (FeCl3)	74000
Cadmio	118

Fuente: elaboración propia. Datos de EPA Ecotox database

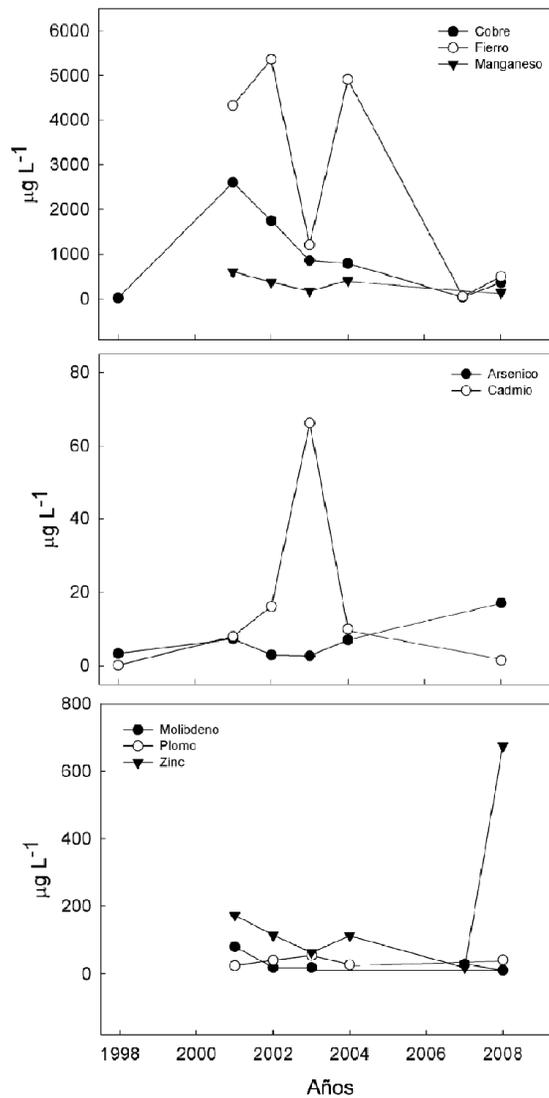


Figura 94. Valores promedio de metales pesados registrados en durante el periodo 1998-2008 en la cuenca del Río Aconcagua. La serie no incluye los datos recopilados de Pizarro (2010). Elaboración propia.

### 3.4.2 Caracterización de la presencia de metales pesados en sedimentos de aguas superficiales

La importancia del estudio de los metales pesados en los sedimentos se debe a que los sedimentos son contenedores de metales pesados. Los sedimentos pueden comportarse como portadores y también como fuentes potenciales de contaminación porque los metales pesados no se mantienen de forma permanente y pueden ser liberados en la columna de agua debido a los cambios en las condiciones ambientales tales como el pH, oxígeno disuelto o la presencia de compuestos orgánicos. Por lo tanto, el análisis de metales pesados en los sedimentos podría indicar contaminación que con el tiempo no puede ser detectado durante el análisis de agua y también proporciona información sobre las áreas críticas en los sistemas acuáticos.

Dentro la recopilación de información solo un estudio dio cuenta de la presencia de metales pesados en los sedimentos de aguas superficiales (Copaja et al., 2012). Este estudio registró datos en distintas estaciones que constituyen distintas zonas de acuerdo al perfil longitudinal del Río (Tabla 81; Figura 95).

Tabla 81. Estaciones de muestreo y zonación del río. Modificado de Copaja (2012)

Zonación del río	Características	Estaciones de muestreo
Ritrón	Alto transporte de sedimentos	E1
Ritrón medio	Bajo transporte de sedimento. Alta sedimentación.	E2, E3
Potamón	Muy bajo transporte de sedimento. Muy alta sedimentación.	E4, E5, E6

Los resultados de este estudio revelaron que en las zonas altas y medias del río (Estaciones E1-4) se encuentran las concentraciones más elevadas para metales pesados como Cobre, Cinc, Cromo, Plomo y Hierro. Por otro lado, en las zonas bajas del río (Estaciones E5 y E6) se registraron las concentraciones más altas de metales pesados como Manganeso y Aluminio (Tabla 82).

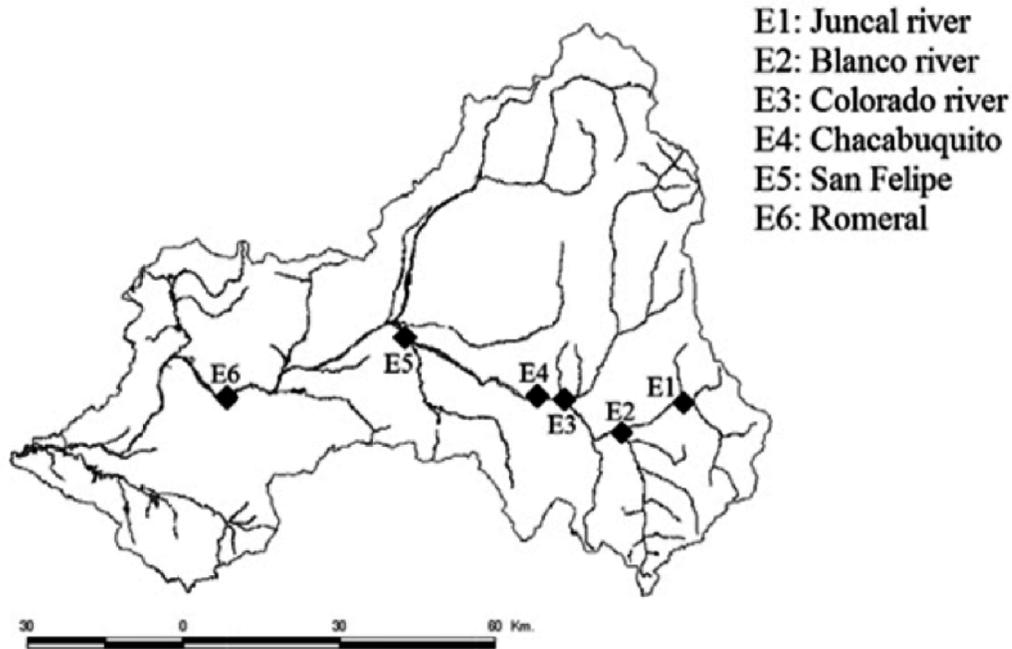


Figura 95. Mapa esquemático de las estaciones de muestreo de metales pesados en sedimentos de aguas superficiales de la cuenca del Río Aconcagua. Modificado de Copaja (2012).

Tabla 82. Valores promedio de las concentraciones ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) de metales pesados totales registrados en los sedimentos de aguas superficiales de la cuenca de del Río Aconcagua durante. Datos obtenidos de Copaja (2012).

Estación	Mn	Cu	Zn	Cr	Pb	Al	Fe
Rio Juncal (E1)	830,22	408,45	334,83	320,47	1328,36	60438,50	53755,93
Rio blanco (E2)	1292,42	3011,38	345,20	264,19	301,70	74181,00	88716,75
Rio Colorado (E3)	850,91	495,85	200,00	44,96	726,89	69456,67	41162,84
Chacabuquito (E4)	757,61	728,44	440,00	144,20	900,25	54319,01	43903,62
San felipe (E5)	1234,63	1501,75	309,65	228,70	--	76116,76	57449,91
Romeral (E6)	1452,41	2215,83	142,21	298,29	--	67855,33	44473,09

### 3.4.2 Caracterización de la presencia de metales pesados en suelos

Las actividades mineras causan grandes daños a la vegetación local y generan cambios importantes en las características del suelo, más aún en las áreas cercanas a las faenas de estas actividades. Por lo tanto, las concentraciones de metales pesados en los suelos constituyen uno de los potenciales factores que limita establecimiento de la vegetación, afectando incluso a la producción agrícola.

A continuación se muestra cronológicamente los principales resultados obtenidos en la búsqueda bibliográfica que dan cuenta de la contaminación de suelos por metales pesados en la cuenca del Río Aconcagua.

El primer estudio realizado por González (1984) registra las concentraciones de metales pesados en zonas a distintas distancias a la fundición Chagres (Figura 96;

Tabla 83). De este estudio se determinó que existía un proceso de contaminación ambiental en el área de Catemu, V Región, el cual se caracterizó por una acumulación elevada de metales pesados en el suelo. De los metales evaluados los que se presentaron en mayor concentración fueron el Cobre, Cadmio y Molibdeno, aumentando su acumulación hacia las cercanías de la fundición de Chagres.

Tabla 83. Distancia a la fundición Chagres de los puntos de muestro y valores de concentraciones de metales pesados totales ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en suelos superficiales (0-20 cm.).  
Datos obtenidos de González (1984).

Lugar	Distancia a Fundición (km)	Cu	Cd	Mo	Pb	Zn
1 Sta. Margarita	1,2	1606,25	4,9	56	225	61
2 Sta. Margarita	2,4	293,75	3,7	79	102	42
3 Sta. Margarita	3	450	5,1	70	91	27
4 Sta. Margarita	4,3	362,5	1,2	34	168	31
5 La Colonia	1,0	205	3,7	34	170	65
6 La Colonia	1,8	89	4,9	56	88	33
7 La Colonia	2,8	227	1,2	23	129	200
8 La Colonia	3,6	66	traza	23	56	25
9 La Colonia	4,3	47	ND	21	81	15
10 La Colonia	5,4	78	ND	34	65	29
11 La Colonia	6,4	66	ND	11	80	10
12 La Colonia	7,3	62	ND	11	109	50

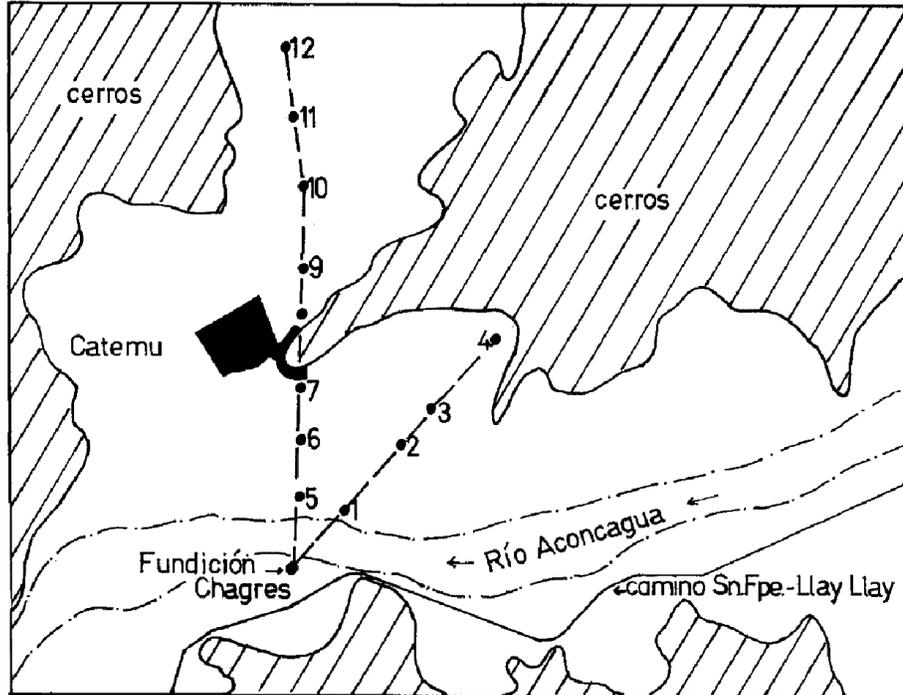


Figura 96. Mapa esquemático de las estaciones de muestreo de metales pesados en suelos ubicados a diferentes distancias de la fundición Chagres. Figura modificada de González (1984).

Un año más tarde, González (1985), determinó la concentración de metales pesados en suelos de uso agrícola en la cuenca del Río Aconcagua (Figura 97). De los resultados de este estudio se determinó que no existía una asociación espacial de los contenidos de metales pesados a lo largo de la cuenca y estos se distribuían homogéneamente en el valle (Tabla 84). También se destaca que para la década en que fue realizada la investigación la contribución de metales pesados a los suelos no puede ser atribuida cuantitativamente a los relaves mineros presentes en la cuenca, ya que las concentraciones en los suelos cercanos a las primeras secciones del río no son elevadas. Sin embargo, no se hace referencia a una posible fuente (i.e. contaminación atmosférica).

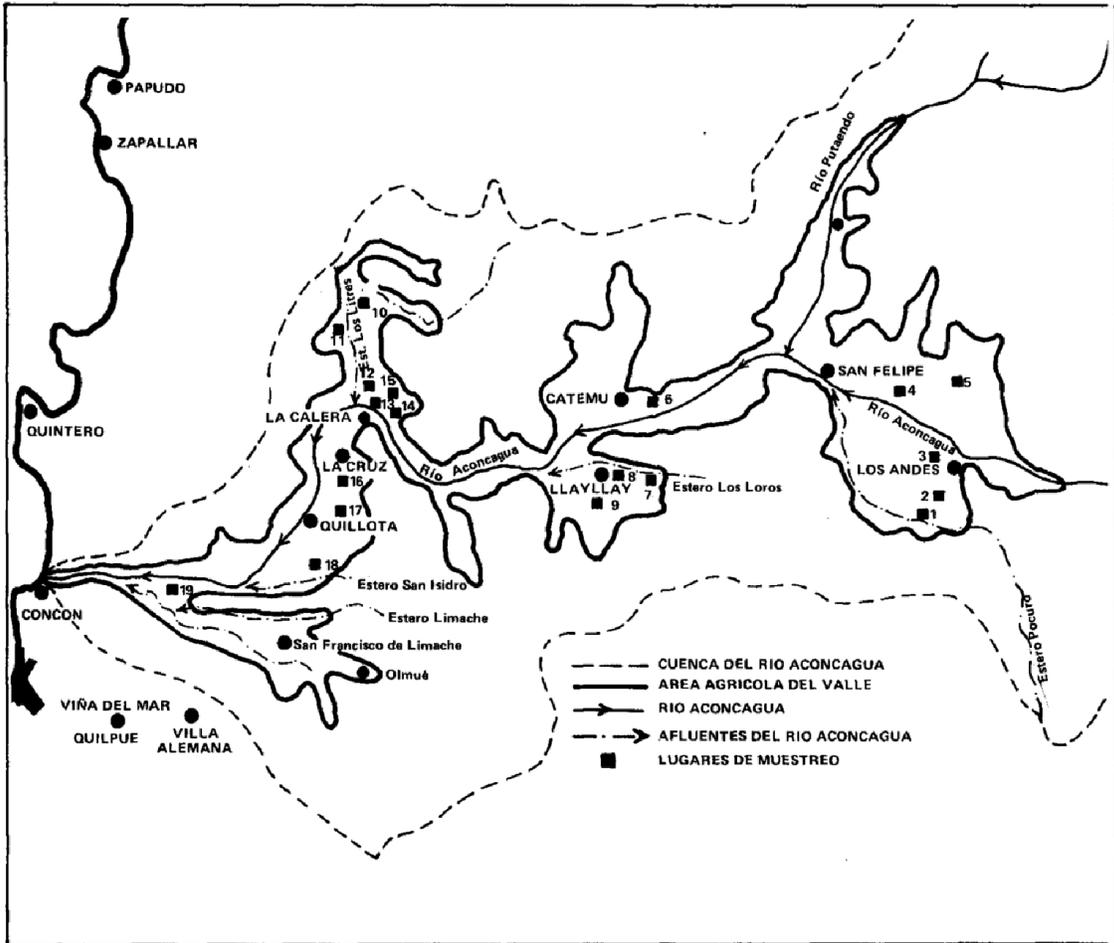


Figura 97. Mapa esquemático de las estaciones de muestreo de metales pesados en suelos agrícolas ubicados a diferentes distancias de la fundición Chagres. Figura modificada de González (1985).

Tabla 84. Valores de concentraciones de metales pesados totales ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en suelos superficiales (0-20 cm.) para los distintos puntos de muestreo. Datos obtenidos de González (1985).

Punto de muestreo	Regado por canal	Cu	Pb	Zn
1	Rinconada	49,0	27,2	16,2
2	Rinconada	46,8	8,8	5,4
3	Rinconada	66,3	21,5	7,7
4	Ahumada	81,8	89,6	3,5
5	San Miguel	53,2	18,3	7,7
6	Catemu	206,0	26,3	32,2
7	Valdesano	37,1	77,6	53,4
8	Valdesano	62,0	39,6	42,7
9	Valdesano	34,7	29,7	9,5
10	El Melón	143,5	19,5	5,5
11	El Melón	74,4	67,2	14,5
12	El Melón	80,6	29,3	18,6
13	Ovalle	42,2	9,2	19,9
14	El Melón	47,7	29,4	11,1
15	Ovalle	40,1	51,3	21,8
16	Ovalle	55,6	9,0	45,3
17	Candelaria	54,9	28,7	58,3
18	San Pedro	62,5	9,5	20,2
19	San Víctor	50,3	35,4	4,0

Un estudio más reciente (De Gregori et al., 2003), también determinó las concentraciones de metales pesados en una zona cercana a la fundición de Chagres (Fig. 22). De los resultados se observa que en las estaciones de muestreo cercanas a la fundición se registraron las mayores concentraciones de Cobre (Tabla 85), resultados que son cualitativamente similares a los obtenidos por González (1984). Sin embargo, las valores de concentraciones de Cobre son muy variables entre los años de un estudio y otro (ver Tabla 85yFigura 98).

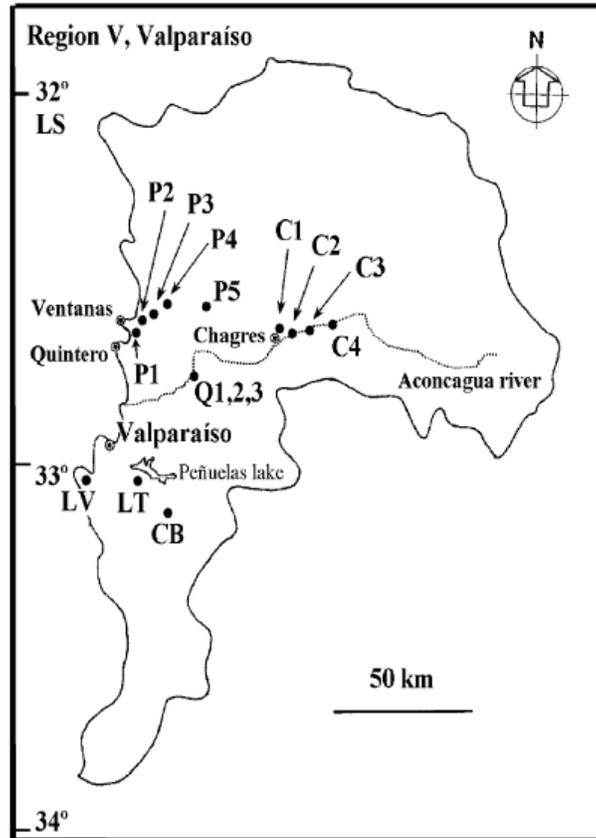


Figura 98. Mapa esquemático de las estaciones de muestreo de metales pesados en suelos ubicados a diferentes distancias de la fundición Chagres. Figura de DeGregori (2003).

Tabla 85. Valores de concentraciones de metales pesados totales ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en suelos superficiales (0-20 cm.) para los distintos puntos de muestreo en la cuenca del Río Aconcagua. Datos obtenidos de DeGregori (2003).

Estaciones de muestreo	Cu	As	Sb
Catemu (C1)	140	11,3	4,1
San José (C2)	179	20	4,1
Santa Margarita (C3)	233	23	3,6
Panquehue (C4)	75	21	3,7
Rutén (Q1)	159	24	2,1
Quillota (Q2)	81	19	1,8
Pocochay (Q3)	88	19	1,8

Por otro lado, Aguilar (2011) determinó la presencia de concentraciones de cobre en suelos de cultivos agrícolas a lo largo de la cuenca del río Aconcagua (Figura 99). Los resultados de este estudio muestran que las concentraciones totales de cobre estaban en el rango de 90 a 155 mg kg<sup>-1</sup> en la zona de Quillota, donde la única actividad minera es de pequeña escala. Estos resultados concordaron con los reportados por De Gregori (2003) en el cual las concentraciones totales de Cobre de suelos agrícola cerca de Quillota estaban en el rango de 80-160 mg kg<sup>-1</sup> (Tabla 85).

Concentraciones similares en el rango de 70-140 mg kg<sup>-1</sup> se observaron en el punto de muestreo del Río Putaendo que está aguas arriba de faenas mineras de cobre y a lo largo del río Colorado, donde las actividades mineras están ausentes. En base a la ausencia casi total de las actividades mineras en estos lugares, las concentraciones totales de cobre entre los 70-155 mg kg<sup>-1</sup> podrían ser consideradas a concentraciones naturales de acuerdo a las características de la cuenca (Tabla 85).

La distribución espacial de las concentraciones de cobre en los suelos de la cuenca del Río Aconcagua predominantemente podría ser influenciada por las actividades mineras o los procesos geológicos de erosión y transporte de rocas ricas en cobre. Por ejemplo, Schalscha y Ahumada (1998) y Gaete et al. (2007) reportaron que el cobre en las aguas del río Aconcagua estuvo presente no sólo en una forma soluble sino también como una fase sólida suspendida. Si las concentraciones de cobre en los suelos aluviales de de la cuenca del Río Aconcagua se controla por procesos geológicos se esperaría observar una distribución homogénea de las concentraciones de cobre en los suelos. En contraste, Aguilar (2011) determina una distribución heterogénea de las concentraciones de cobre, las cuales serían indicativo del impacto causado por la actividad minera. Esta se evidencia con los resultados del análisis de varianza (Kruskal-Wallis) que indica que existen diferencias significativas entre los lugares muestreados ( $H = 36,7$ ;  $P < 0,001$ ; Figura 100).

Comparativamente los resultados reportados por Aguilar (2011) con los resultados de DeGregori (2003), muestran un incremento promedio en la concentración de cobre total presente en suelos especialmente en las localidades de Catemu y Quillota (ver Tabla 85 y Figura 100).

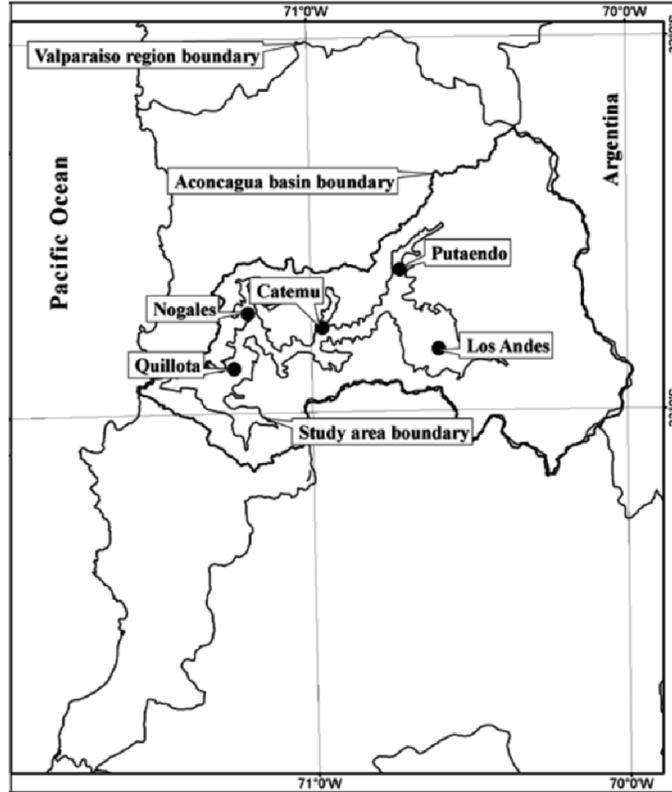


Figura 99. Mapa de los puntos de muestreo de cobre en suelos agrícolas de la cuenca del Río Aconcagua. Figura de Aguilar (2011).

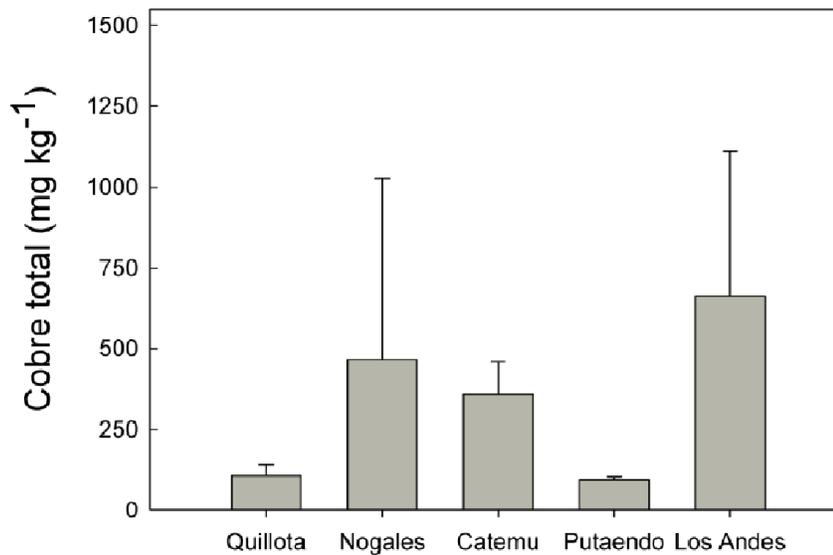


Figura 100. Valores promedio e intervalo de confianza del 95% para la concentración de Cobre total en los suelos de las zonas muestreadas en la cuenca del Río Aconcagua. Elaboración propia con valores de Aguilar (2011).

Tabla 86. Tipo de cultivo y valores de concentraciones de Cobre ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en suelos superficiales (0-20 cm.) para los distintos puntos de muestreo en la cuenca del Río Aconcagua. Datos obtenidos de Aguilar (2003).

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Norte</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Cu total</b>
<b>Quillota</b>	294404	6363683	Barbecho	96
	287993	6356616	Repollo	100
	289484	6355597	Barbecho	91
	291200	6358418	Barbecho	98
	291987	6359551	Barbecho	154
	294161	6385402	Palta	115
	293979	6385277	Granos	111
	293771	6385618	Granos	253
	294841	6386016	Granos	401
	293732	6386139	Limonero	4087
<b>Nogales</b>	293355	6384094	Nogal	670
	301480	6378195	Limonero	122
	302192	6378638	Alfalfa	128
	302038	6378951	Barbecho	130
	302232	6379007	Granos	90
	297663	6370833	Palta	151
	294947	6376708	Repollo	116
	294949	6376705	Tomate	159
	296563	6375439	Barbecho	270
	297301	6374337	Barbecho	192
<b>Catemu-Llayllay</b>	321434	6362426	Barbecho	114
	322898	6362461	Durazno	131
	322861	6362136	Limonero	746
	323304	6362691	Barbecho	99
	319751	6364553	Peras	125
	319551	6365006	Alfalfa	119

Continuación

Punto de muestreo	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cultivo	Cu total
	320329	6364311	Barbecho	105
	320777	6364829	Choclo	247
	320608	6364758	Cebollas	183
<b>Catemu-Llayllay</b>	320841	6364052	Uvas	230
	317650	6363745	Barbecho	80
	320523	6362226	Barbecho	147
	315679	6364444	Barbecho	140
	329546	6373941	Barbecho	167
<b>Catemu-Panquehue</b>	327253	6372373	Avena	115
	325600	6370868	Cebollas	108
	315164	6371966	Uvas	180
	313918	6372656	Uvas	629
	313903	6372422	Barbecho	1003
	315938	6374218	Uvas	445
	315643	6376827	Alfalfa	470
<b>Catemu-Ñilihue</b>	316170	6376573	Uvas	257
	316462	6375492	Trigo	249
	317563	6376199	Tabaco	231
	318334	6378786	Naranja	278
	320798	6380861	Olivo	2411
	318857	6382158	Almendra	457
	318073	6381757	Durazno	585
	316737	6370031	Uvas	155
	315177	6370653	Uvas	99
	317299	6368509	Alfalfa	462
<b>Catemu-Chagres</b>	317408	6368278	Barbecho	351
	319339	6368769	Barbecho	119
	319550	6368512	Uvas	87
	317465	6368953	Paltas	918
	316917	6370138	Maíz	319

Continuación

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Norte</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Cu total</b>
	317920	6369551	Barbecho	675
	318372	6369531	Alfalfa	362
	318661	6369763	Alfalfa	483
	318763	6371019	Barbecho	492
	320691	6371643	Lechuga	208
	323486	6371554	Uvas	259
	323915	6371873	Alfalfa	387
	322894	6372147	Granos	181
<b>Catemu-Chagres</b>	322353	6372839	Granos	336
	319520	6370340	Alcachofa	199
	320008	6371154	Tomate	247
	319437	6372073	Granos	535
	317175	6371754	Alfalfa	133
	315928	6368249	Tabaco	829
	315730	6368311	Barbecho	599
	314068	6368074	Pastizal	184
	315638	6368639	Ají	375
	338763	6384993	Tabaco	90
	339215	6388010	Tabaco	79
	341880	6390318	Zapallo	112
	340898	6389258	Almendra	120
	342957	6394267	Olivo	87
<b>Putando</b>	350959	6402876	Nogal	73
	346390	6400169	Durazno	88
	337008	6392400	Durazno	86
	336846	6391195	Durazno	115
	337132	6390599	Barbecho	91
	336301	6384752	Barbecho	112
	335339	6382340	Barbecho	84

333831                      6381211                      Barbecho                      101

Continuación

Punto de muestreo	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cultivo	Cu total
	367419	6363437	Zapallo	140
	367590	6363504	Granos	85
	366617	6363493	Cebollas	641
	365894	6363768	Alfalfa	3378
	365127	6364022	Alfalfa	971
	360802	6363734	Durazno	140
	358819	6364540	Choclo	304
<b>Los Andes</b>	355856	6366135	Alfalfa	337
	347465	6366320	Melon	453
	342836	6367921	Granos	314
	349264	6367525	Uvas	167
	353448	6377151	Barbecho	725
	353627	6377013	Uvas	892
	353520	6377016	Uvas	755
	347334	6375393	Ciruelo	670

Finalmente, el estudio realizado por Hormazabal (2013) que abordó la distribución espacial de Cobre en la cuenca del Río Aconcagua mediante una modelación predictiva basada en parámetros ajustados con datos tomados de la cuenca, puede ser utilizado para dimensionar la heterogeneidad espacial de la presencia de este metal a causa de actividades mineras. De acuerdo a sus resultados, las mayores concentraciones pronosticadas sólo cubren un 2% del área, abarcando 23 km<sup>2</sup> y su distribución geográfica se observa altamente concentrada alrededor de la Fundición Chagres (Figura 101). Los resultados de este trabajo también fueron evaluados con mediciones reales de cobre (Figura 102) y fue determinado el porcentaje de acierto de las predicciones en cada lugar muestreado (Figura 103). En la zona de Catemu, los resultados se heterogéneos en las cercanías de la Fundición Chagres, lo que se explicaría por el comportamiento del viento. Lo anterior afecta la orientación de la pluma de la chimenea de la fundición, modificando sobre la distribución de material particulado.

Hormazabal (2013) también concluye que en Los Andes, el error de las predicciones se atribuiría al arrastre de partículas a través del río. Aunque CODELCO, División Andina, se presenta como una posible fuente de cobre en este sector.

El resumen de la efectividad del modelo predictivo utilizado y las posibles causas de las diferencias respecto a las mediciones reales de Cobre se muestra en la

Tabla 88. Donde se consideró que el modelo tuvo acierto cuando los valores predichos coinciden con la clasificación de valores reales (Tabla 87). En cambio, el modelo tuvo un error menor cuando a pesar de no ser coincidente, son cercanos a la realidad. Finalmente, el error mayor corresponde a un pronóstico opuesto a la realidad.

Tabla 87. Valores reales de concentraciones de cobre utilizados para validar el modelo de predicciones espaciales de cobre. Elaborado por Hormazabal (2013).

Concentración real (mg kg <sup>-1</sup> )	Clasificación cualitativa
< 382,17	Bajo
382,17 – 1495,21	Medio
>1495,21	Alto

Tabla 88. Probables causas de errores en pronóstico del modelo, en cada una de las zonas de estudio. Elaborado por Hormazabal (2013).

Localidad	Acierto (%)	Error menor (%)	Error mayor (%)	Tipo del error	Detalles
El Melón	45	36	18	Similitud de error por sub y sobrestimación	Subestimación del manejo ambiental de los depósitos de relave luego del terremoto. Sobrestimación de gran minería presente.
Ñilhue	47	42	11	Sobreestimación	El error mayor obtenido se atribuye a la sobrestimación del impacto de depósitos de escoria.
Catemu	40	32	28	Sector heterogéneo	La chimenea de la fundición Chagres produce concentraciones heterogéneas en el suelo.
LlayLlay	25	63	13	Sobreestimación	Sobrestimación del efecto de los depósitos de escorias

					de la fundición Chagres.
Putendo	92	8	0	Subestimación	Subestimación del impacto del depósito de relave de la mina Bellavista.
Los Andes	43	43	14	Subestimación	Se subestimo el impacto del complejo minero de CODELCO, División Andina.

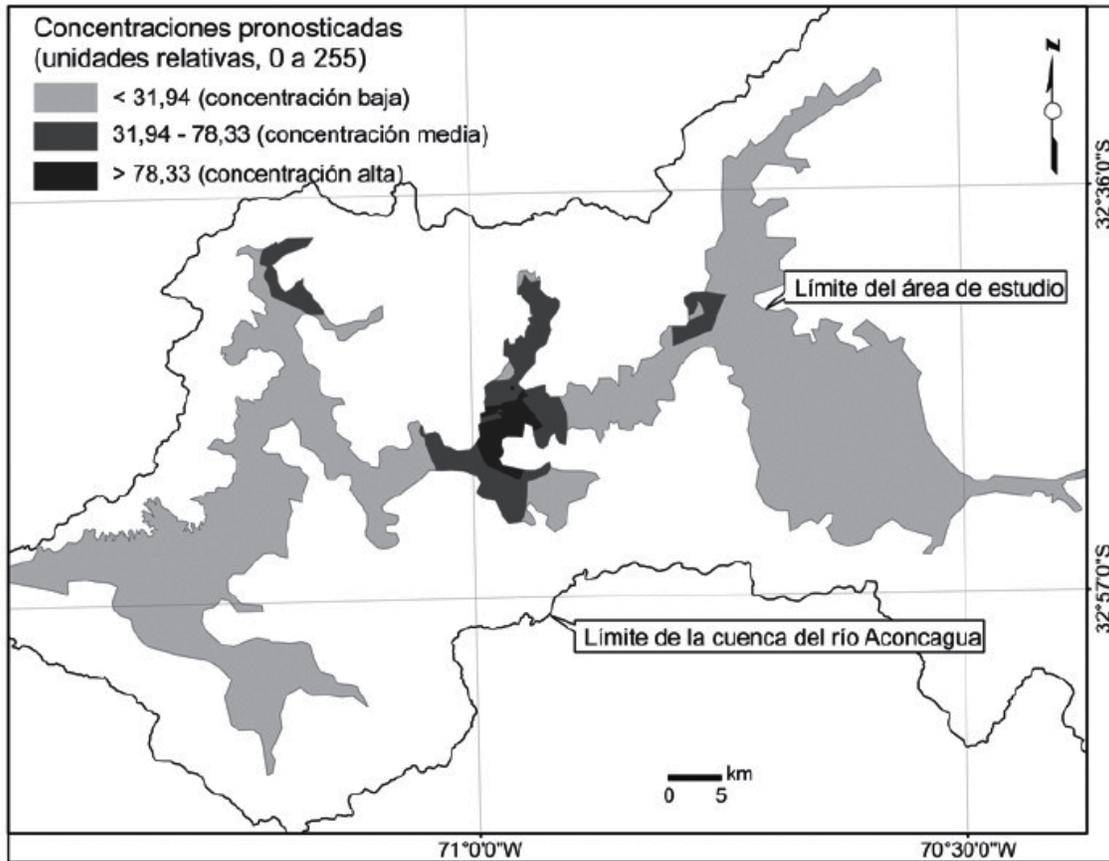


Figura 101. Pronóstico de concentraciones de cobre en suelos agrícolas, de acuerdo al modelo propuesto (unidades relativas de 0 a 255). Las unidades relativas de acuerdo a clasificación realizada en ArcGIS 9.2. Elaborado por Hormazabal (2013).

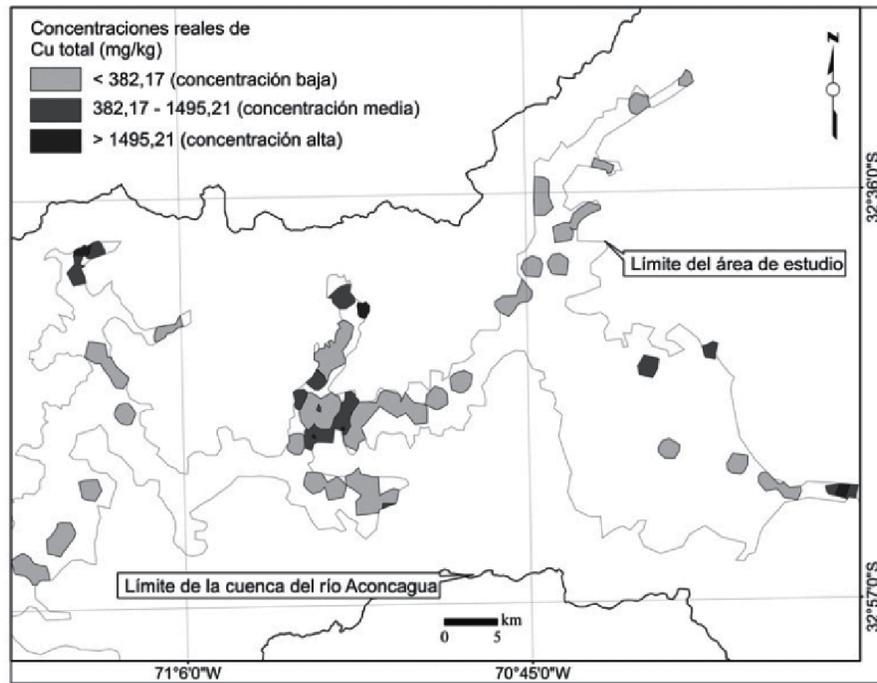


Figura 102. Las concentraciones reales de cobre, en base a los estudios de Neaman et al. (2006) y Aguilar et al. (2011). Elaborado por Hormazabal (2013).

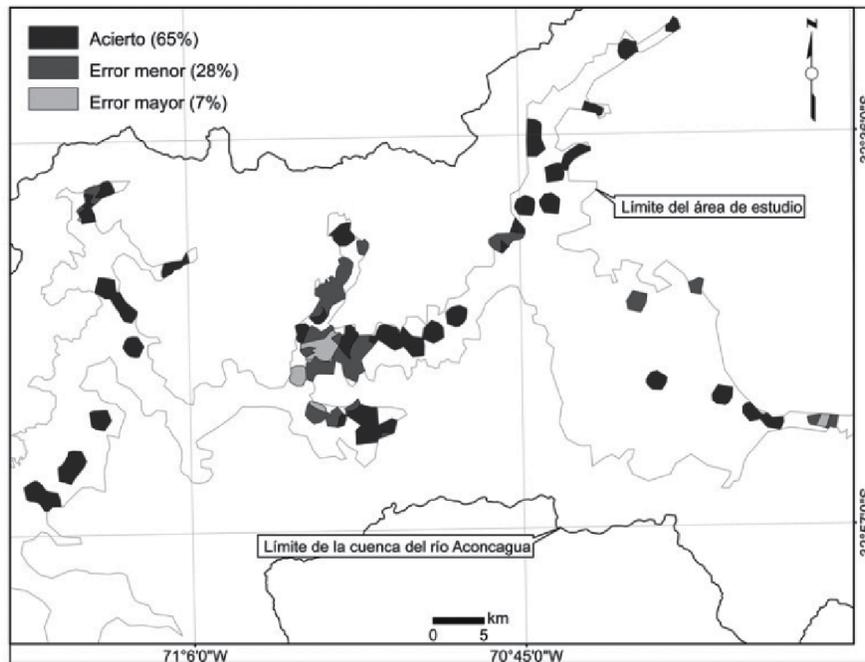


Figura 103. Acierto y error del pronóstico, respecto a la realidad. Fuente: Elaborado por los autores. Elaborado por Hormazabal (2013).

**OBJETIVO 4: GENERAR UN PLAN DE GESTIÓN DE LA CUENCA, INCORPORANDO TODAS LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y CONTROL POSIBLES DE REALIZAR.**

El plan de gestión desarrolla tres fases primordiales en su estructuración (

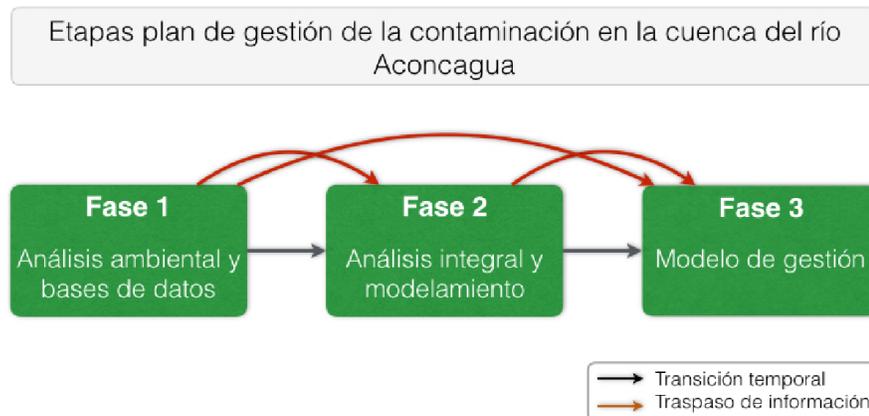


Figura 104), las cuales se pudieron identificar mediante la revisión de bibliografía específica que aborda este tema (Agencia Catalana del agua, UDEC-EULA 2002).

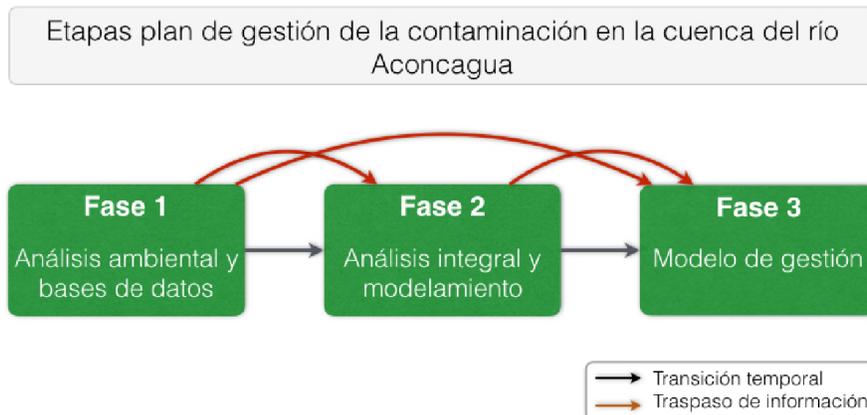


Figura 104. Diagrama de las fases o etapas que considera el Plan de Gestión de la contaminación en la cuenca del río Aconcagua. Las flechas moradas indican el orden cronológico en el cual se desarrollan las etapas. Las flechas burdeo hacen referencia a la información que se traspasa de una fase previa a la otra (Fuente: elaboración propia).

A continuación se presenta el detalle de las fases que un plan de gestión de estas características debiese considerar.

**Fase 1) Análisis ambiental y elaboración de base de datos:** recopilación de información sobre el área de estudio tal como hidrografía, suelos, demografía, usos del agua, identificación de actividades productivas consideradas como fuentes de contaminación puntual y difusa, determinación de niveles de contaminación como las descargas, calidad de agua, toxicidad y efectos de la contaminación. Esta fase es la desarrollada en los objetivos 1 y 2 de esta consultoría.

**Fase 2) Análisis integral de la información y modelamiento:** en esta etapa se desarrolla la modelación de la contaminación difusa a través de metodologías matemáticas que considera como variables del modelo a las características ambientales de la cuenca junto con los parámetros contaminantes de interés. Esta fase es la desarrollada en el objetivo 3 de esta consultoría.

**Fase 3) Desarrollo del modelo de gestión:** en esta fase se integran las dos etapas anteriores, de lo cual se obtiene un diagnóstico del estado actual de la cuenca, a partir del cual se fijan objetivos específicos de gestión orientados en este caso al control y mitigación de los efectos de la contaminación difusa en la cuenca.

Consecuentemente, la fase 3 deberá contener las siguientes sub etapas:

- a) Elaboración de un **diagnóstico** del estado actual de la contaminación difusa sobre una plataforma espacialmente explícita. Esto implica la identificación de zonas críticas, subcríticas y de cuidado menor para cada capa de información desarrollada en las etapas anteriores.
- b) Desarrollo de **objetivos de gestión**. Estos pueden ser de distinta naturaleza y tienen relación con la meta que se desea alcanzar en un horizonte temporal definido explícitamente (e.g. 5 años) respecto de: i. niveles de contaminación (objetivo de control), ii. grado de recuperación de los ecosistemas (objetivo de restauración), iii. nivel de conocimiento del estado del sistema, tanto en su dimensión biológica y ambiental (objetivo de información). Estos objetivos deben desarrollarse en forma específica para cada zona de la cuenca identificada en la sub etapa a).
- c) Desarrollo e implementación de un **programa de medidas** para cumplir cada uno de los objetivos de gestión asignados a cada una de las zonas.

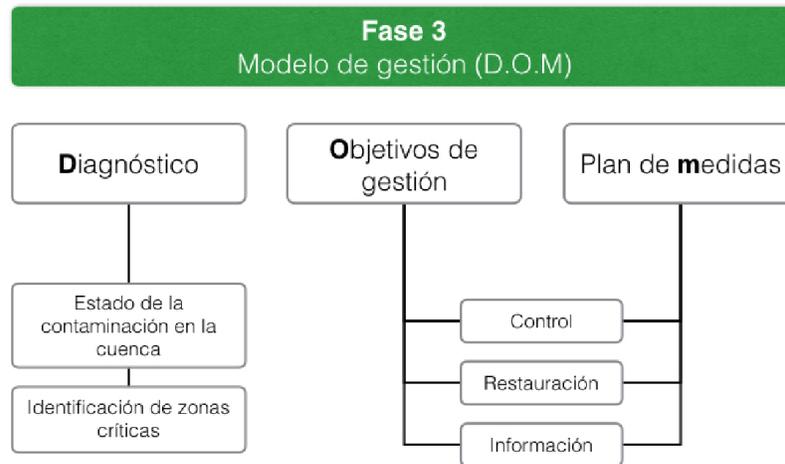


Figura 105. Esquema conceptual de la fase 3 “Desarrollo del modelo de gestión” y sus sub etapas.

A continuación se desarrollan con mayor detalle estas 3 sub etapas.

#### A. Diagnóstico

Para analizar de forma complementaria los resultados de algunos de los modelos utilizados en la caracterización de la contaminación difusa y con el objeto de responder a lo propuesto en la etapa de diagnóstico, se desarrollaron dos análisis adicionales a lo comprometido en la propuesta técnica de esta consultoría. Estos simplifican la lectura espacial de los resultados y van en directa relación con la identificación específica de: i) las zonas de la cuenca que están sujetas a una elevada y constante contaminación difusa, ii) conocer cuál(es) parámetro(s) de los modelos utilizados generan mayores cambios en los resultados del modelo dependiendo de los cambios en sus valores, y (iii) determinar cuál(es) parámetro(s) son los que contribuyen en mayor magnitud a los resultados obtenidos en la modelación.

#### Análisis de Hot Spots

Los resultados de los modelos implementados indican la concentración de contaminante, emisión potencial ó contaminante transportado por procesos de escorrentía, dependiendo de la naturaleza y características de sus parámetros. Estos resultados se concentran espacialmente en una grilla de 1 Ha de superficie, lo cual considerando el tamaño de la cuenca genera una alta resolución espacial de la contaminación difusa. Debido a esto, los resultados de la cartografía desarrollada en estos modelos no permite por si sola detectar

fácilmente patrones de dispersión. Esto dificulta dirigir eficientemente recomendaciones o acciones directas a zonas de la cuenca en particular. Sin embargo, si estos resultados se analizan en base a la concentración espacial de valores altos, bajos y aleatorios, se puede obtener un patrón de la cuenca que las defina espacialmente en tres zonas.

La herramienta de análisis espacial “*Hot spot Analysis*” incorporada en el software ArcGis 10, identifica estadísticamente clusters de valores altos: *hot spots* (zonas calientes), y de valores bajos: *cold spots* (zonas frías) a partir de los valores resultantes de los modelos evaluados en el presente análisis. Cada uno de estos valores es evaluado a través de una prueba de hipótesis estadística, calculando (para cada uno de ellos) un z-score, *p-value* y un índice asociado al nivel de confianza de la prueba.

**Hipótesis nula**

H<sub>0</sub>: el valor se asocia a un patrón aleatorio

**Hipótesis alterativa**

H<sub>1</sub>: el valor se asocia a un patrón agrupado

Estas medidas permiten determinar el rechazo o no de la hipótesis nula asociada, píxel a píxel.

<b>z-score</b>	<b>p-value (probabilidad)</b>	<b>Nivel de confianza</b>
< -1.65 or> +1.65	< 0.10	90%
< -1.96 or> +1.96	< 0.05	95%
< -2.58 or> +2.58	< 0.01	99%

Los z-score negativos y con un nivel de confianza >90%, indican agrupaciones de bajos valores de contaminación difusa (según el modelo), por el contrario, z-score positivos y con un nivel de confianza >90%, indican agrupaciones de altos valores de contaminación difusa. Los valores restantes de z-score se clasifican como parte de la zona aleatoria, es decir, los valores se expresan en el espacio de manera azarosa.

La Figura 106 y Figura 107 muestran el resultado del análisis espacial realizado para el modelo GLoad y el modelo de nutrientes (NO<sub>3</sub> y P), respectivamente. En estas se exponen las tres zonas resultantes: i) en rojo se indican las zonas de la cuenca en las cuales se agrupan valores altos de los contaminantes analizados por cada modelo, ii) en azul, zonas de la cuenca en donde se concentran bajos valores de cada modelo, y iii) en amarillo se demarcan aquellos valores que, de acuerdo a los valores de z-score, indican una distribución aleatoria.

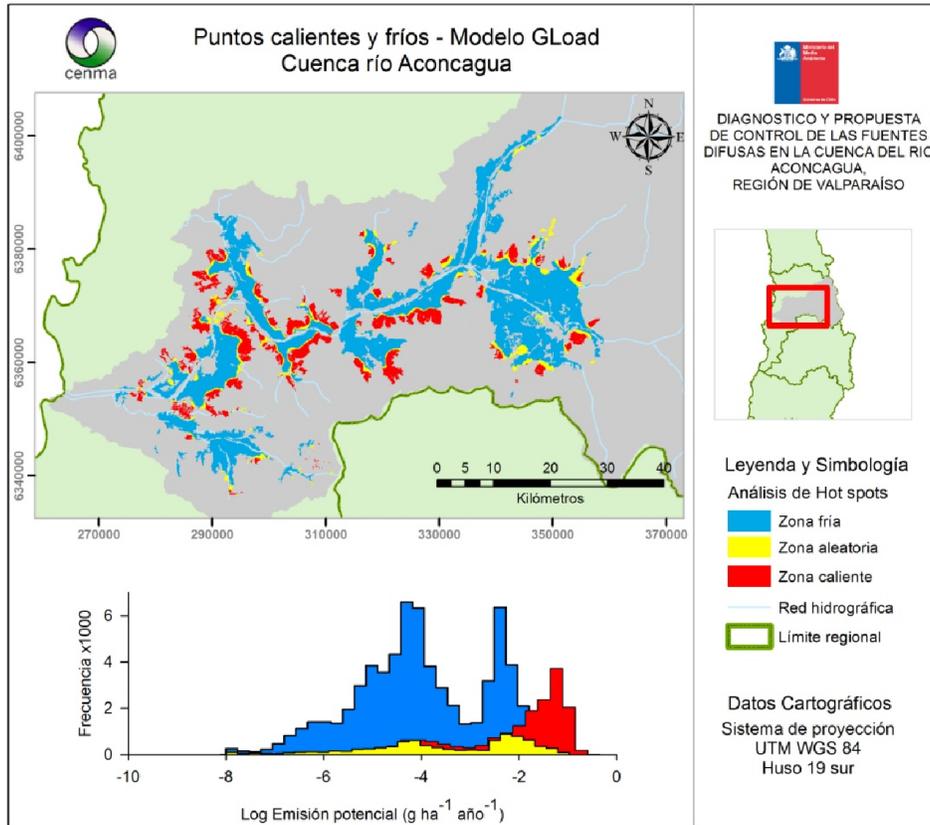


Figura 106. Resultado del análisis de *Hot spot* para el modelo GLoad. Se muestran en el mapa las zonas frías, calientes y aleatorias de la emisión potencial calculada por el modelo. El gráfico corresponde al histograma de los valores por zona.

En este análisis podemos apreciar que las zonas rojas de los cultivos tienen mayor emisión potencial de principio activo, las cuales coinciden con las partes de alta pendiente de la cuenca. De esta forma, se considera apropiada la vigilancia de estas zonas y la consideración de una eventual fuente de contaminación difusa por parte de los cultivos emplazados en zonas donde la pendiente favorece la escorrentía.

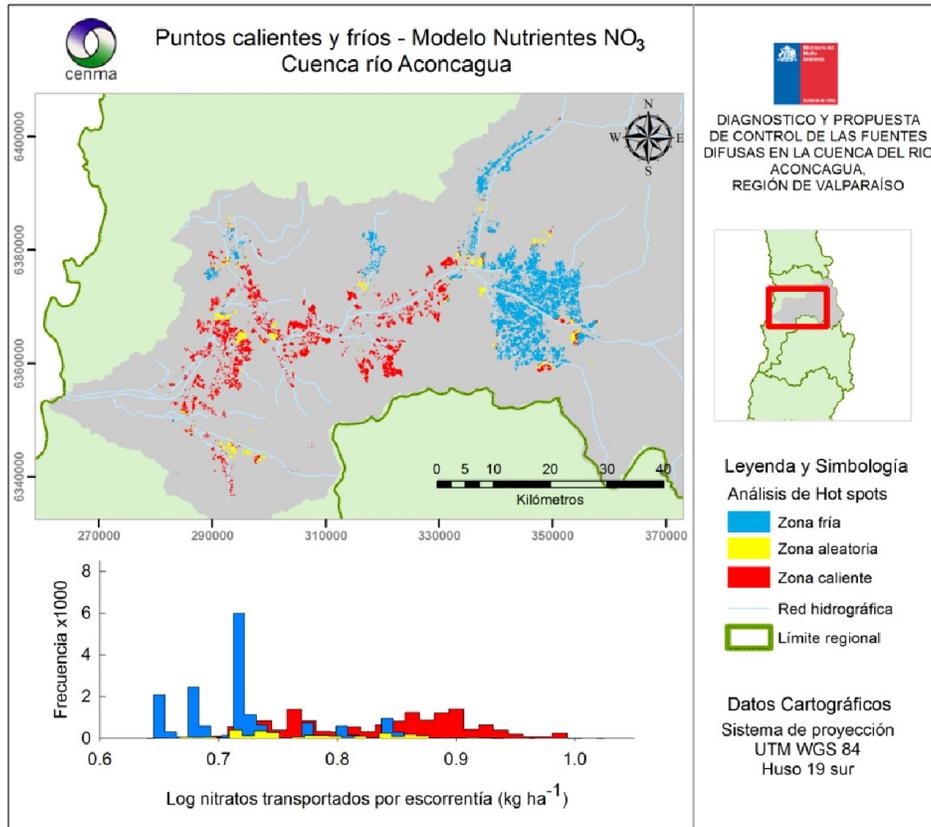


Figura 107. Resultado del análisis de *Hot spot* para el modelo de nutrientes NO<sub>3</sub>. Se muestran en el mapa las zonas frías, calientes y aleatorias de la emisión potencial calculada por el modelo. El gráfico corresponde al histograma de los valores por zona.

El resultado de este análisis muestra que las zonas de mayor transporte de nitratos se emplazan en la parte media y baja de la cuenca, zonas en donde la fuente de contaminación difusa aportante está más desarrollada. Se recomienda para el presente plan de gestión, el control en aquellas áreas de vigilancia que concuerdan con estas dos zonas de la cuenca.

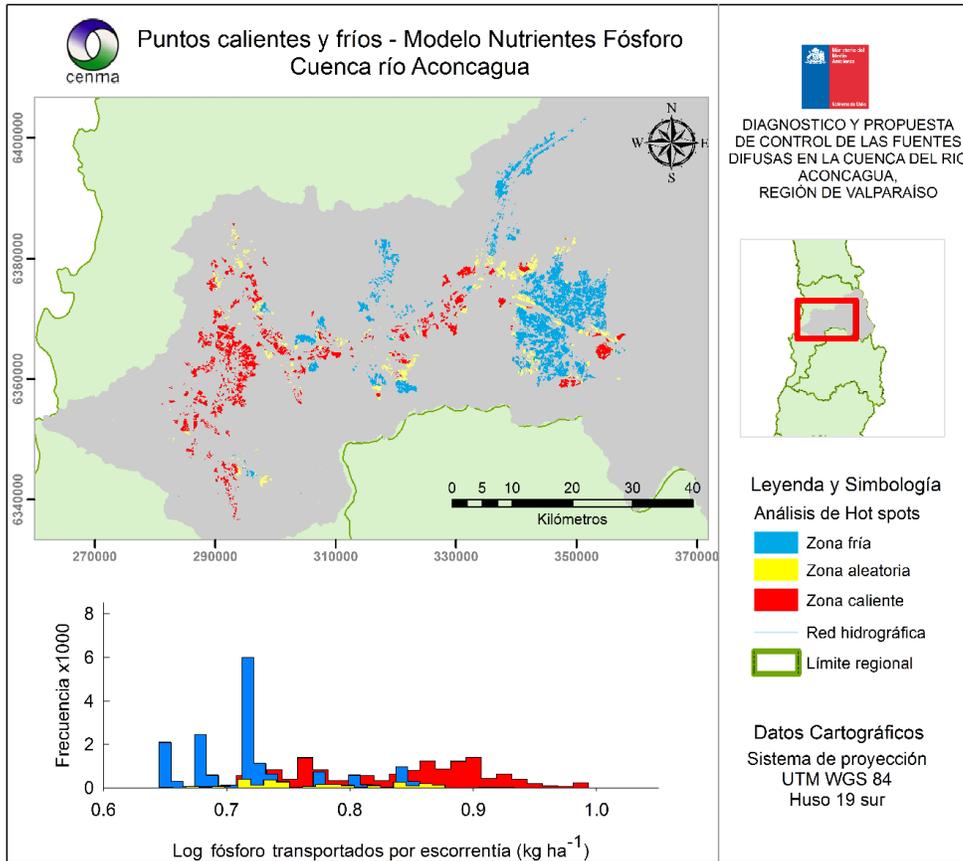


Figura 108. Resultado del análisis de *Hot spot* para el modelo de nutrientes P. Se muestran en el mapa las zonas frías, calientes y aleatorias de la emisión potencial calculada por el modelo. El gráfico corresponde al histograma de los valores por zona.

### Análisis retrospectivo

Este método de descomposición fue propuesto por Caswell (1989) también para el análisis de la tasa de crecimiento poblacional en ecología. La idea básica es escribir un modelo lineal para determinar los efectos de un tratamiento sobre una situación control. Los términos en este modelo lineal dependen de cómo la variable respuesta (en nuestro caso la escorrentía obtenida en el modelo SYNOPSIS-2) varía en respuesta a los cambios en el tratamiento, y esta variación es descrita por la sensibilidad descrita en la sección anterior.

Si consideramos de acuerdo a nuestro caso dos tratamientos para el modelo SYNOPSIS-2:

1. Tratamiento control ( $T_c$ ): que contiene el valor promedio para cada parámetro del modelo SYNOPS-2 en la cuenca del Río Aconcagua a partir del cual se obtiene un valor de SYNOPS-2 promedio ( $\bar{L}$ ). El control permite determinar las desviaciones considerando una cuenca con características homogéneas.

2. Tratamiento experimental ( $T_L$ ): que en cada pixel considerado por las aéreas de cultivo de la cuenca contiene un set de parámetros que genera un valor de SYNOPS-2 particular ( $L_i$ ).

Así, podemos escribir el modelo lineal de contribuciones:

$$L_i = \bar{L} + \sum_i (a_{ij}^L - a_{ij}^C) \times \left( \frac{\partial \bar{L}}{\partial a_{ij}} \right)_{\bar{L}}$$

Donde cada término de la sumatoria es la contribución de cada uno de los parámetros del modelo SYNOPS-2 medidos en el control ( $a_{ij}^C$ ) y el tratamiento experimental ( $a_{ij}^L$ ), y evaluados en la sensibilidad de la condición control.

De esta forma se puede determinar cuál o cuales de los parámetros del modelo son los que contribuyen en mayor magnitud a sus resultados.

Este análisis revela la contribución de cada uno de los parámetros del modelo SYNOPS-2 a la diferencia observada respecto a una cuenca con valores promedio para cada parámetro, es decir, una cuenca homogénea.

Para los ingredientes activos evaluados (Methomyl y Metamidofos), se observa que los parámetros que contribuyen en mayor magnitud y de forma positiva a la escorrentía superficial son la pendiente (F1) y la dosis de aplicación (D), seguidos por la escorrentía superficial (Q). Esto se observa en la Figura 109 donde se muestra, representado por cada barra, la contribución de cada uno de los parámetros evaluados, distinguiéndose los mayores aportes por barras de mayor altura.

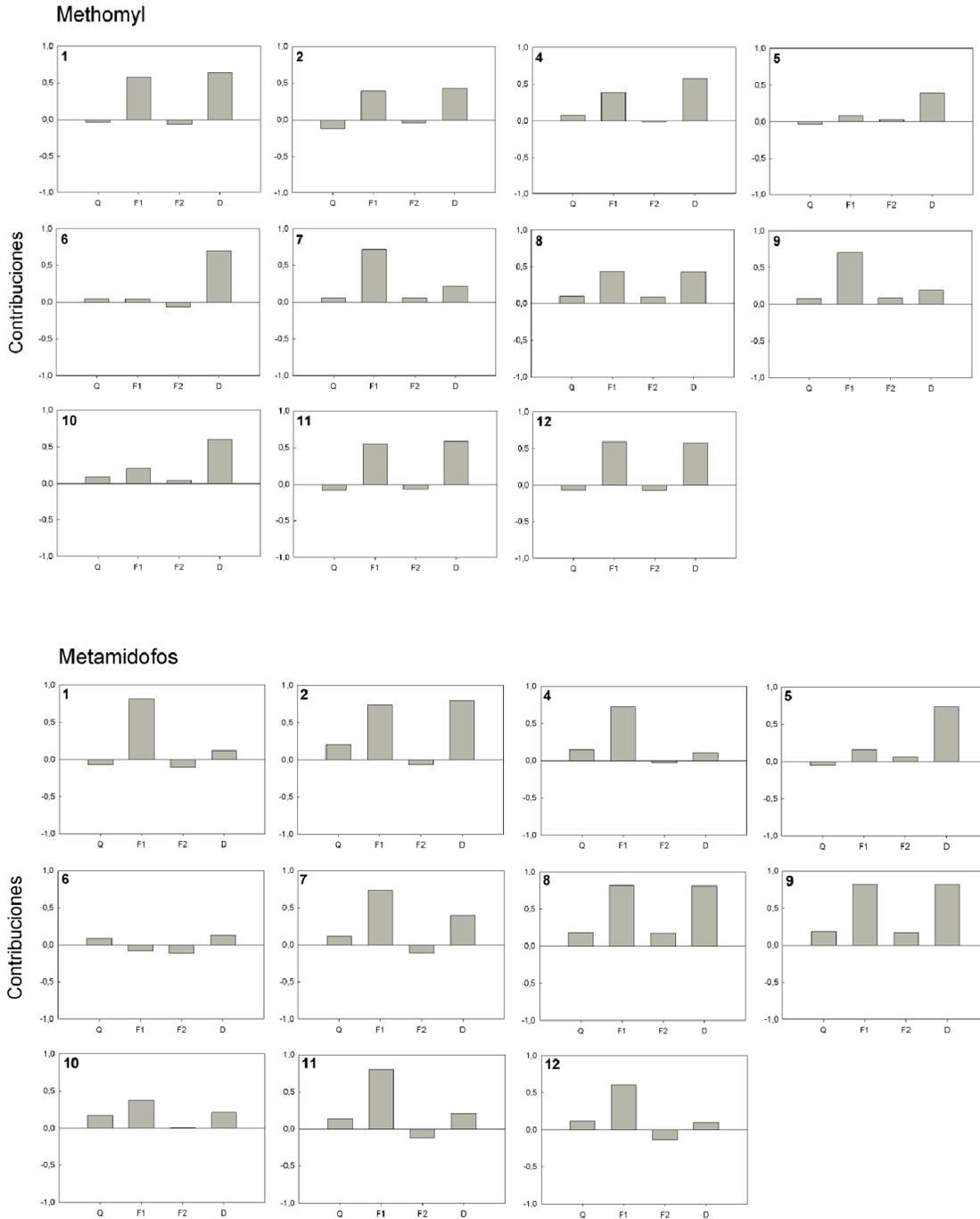


Figura 109. Contribuciones de los parámetros de escorrentía (Q), pendiente (F1), Intercepción planta (F2) y dosis de aplicación a los valores del modelo SYNOPSIS-2 evaluado para los ingredientes activos Methomyl y Metamidofos.

## Objetivos de gestión

Los objetivos de gestión responden a las metas generales que se definen según las necesidades de la zona a ser manejada. Tal como se definió anteriormente, estos objetivos corresponden a tres: control, restauración e información, los cuales se detallan a continuación.

- i) **Objetivos de control:** Los resultados de todos los modelos implementados en esta consultoría son una expresión cualitativa de lo que probablemente esté ocurriendo en términos de contaminación difusa en la cuenca bajo estudio. De esta forma, los modelos utilizados sirven como guía general para identificar zonas críticas afectadas por contaminación difusa y, en las cuales es necesario implementar objetivos y medidas de control específicas. Para el establecimiento de objetivos de control, se propone: 1) la verificación en terreno de los valores de contaminación difusa resultantes de los modelos, 2) análisis de los efectos de los contaminantes detectados en las dosis verificadas en terreno, 3) análisis espacializado de los componentes básicos del territorio: social, económico, biológico y 4) análisis de la normativa ambiental y recomendaciones internacionales. Este conjunto de medidas de control son de carácter cuantitativo y deben ir acompañadas de un horizonte temporal y espacial explícito.
  
- ii) **Objetivos de restauración:** Apunta a la determinación de objetivos en términos de estados futuros deseados de los ecosistemas focales, a alcanzar en un horizonte temporal definido. Para saber qué, dónde y cuánto se pretende restaurar, es necesario conocer el estado de salud de los ecosistemas de la cuenca. Para esto se recomienda la elaboración de líneas de base de especies biológicas y, conocer la estructura y funcionamiento de las comunidades y ecosistemas. Esta información es base para una segunda etapa, la cual tiene relación con conocer cuáles y cómo los componentes sociales y económicos hacen uso del sistema acuático. Lo que se propone es determinar la relación entre los diferentes servicios ecosistémicos (SSEE) presentes en la cuenca, y los componentes sociales y económicos. De esta forma se ligan conceptos como calidad de agua y suelos, provisión de servicios ecosistémicos, calidad de vida, sustentabilidad. Finalmente, cruzando las funciones ecosistémicas con el diagnóstico de la contaminación difusa es posible establecer localmente el estado del ecosistema, al cual se pretende alcanzar a través de medidas directas de restauración en un plazo de tiempo determinado.
  
- i) **Objetivos de información:** Corresponde a metas para la generación de información relevante sobre los componentes territoriales principales (social, económico, biológico)

con fines de gestión de la contaminación difusa. En esta consultoría se recomienda como fase inicial la ejecución de una línea de base general de la cuenca, la cual fortalezca las bases de datos existentes y llene los vacíos de información necesaria. Se propone además, la implementación de un plan de monitoreo específico de parámetros relacionados a la contaminación difusa en la cuenca del río Aconcagua. Más detalles se explican en la sección “Plan de medidas”. La característica clave de este plan de monitoreo es su naturaleza adaptativa, es decir, la redefinición continua de parámetros, estaciones de monitoreo y frecuencia de muestreo de acuerdo a los análisis de las campañas precedentes.

Con la información recopilada en este estudio y en base a los resultados de los modelos implementados, se proponen establecer objetivos de control en las áreas de vigilancia 7, 8 y 9, debido a que en ellas se concentra la mayor cantidad de contaminación difusa producto de las actividades agrícolas y sus prácticas asociadas. En base a esta propuesta, se recomienda establecer en estas áreas 1) la verificación en terreno de los valores de contaminación difusa resultantes de los modelos, 2) análisis de los efectos de los contaminantes detectados en las dosis verificadas en terreno, 3) análisis espacializado de los componentes básicos del territorio: social, económico, biológico y 4) análisis de la normativa ambiental y recomendaciones internacionales, con el fin de determinar la magnitud empírica del fenómeno y las posibles consecuencias a nivel social y económico.

Bajo la premisa de la optimización de recursos y logística, se propone en estas mismas áreas de vigilancia, la implementación de objetivos de restauración e información, con tal de tener suficientes datos de terreno para decidir hasta qué punto es necesario restaurar el ecosistema, por ejemplo.

## B. Plan de medidas

Para todos los objetivos de gestión se debiesen diseñar un paquete de medidas orientadas al cumplimiento de dichos objetivos. Es importante entender que estas medidas forman parte de un proceso adaptativo, en base a la obtención creciente de información recopilada en la cuenca.

Las medidas se debiesen plantear en base al camino recorrido de la contaminación para facilitar su aplicación (Figura 110). Desde esta esquematización es posible identificar tres tipos de lugares potenciales para la aplicación de medidas de control, restauración y/o información:

- i. Fuente: es donde se origina la contaminación difusa y donde se pueden aplicar medidas directas y/o indirectas para la reducción de las emisiones, como por ejemplo: cambios en prácticas y tecnología agrícola y ganadero (naturaleza de pesticidas, aumento en la eficiencia del control biológico, reducción de estrés del

- cultivo, cambios en tipos de riego, manejo en el transporte y almacenamiento de residuos orgánicos animales, entre otras) y campañas de educación transversal (e.g. ciudadanía, empresas).
- ii. Vías de transporte: medio físico a través del cual se traslada la contaminación desde la fuente hasta el receptor. En estos sitios es posible controlar el arribo de contaminantes al receptor a través de la instalación de filtros o barreras físicas, químicas y biológicas a través de la ruta más probable entre la fuente y el receptor.
  - iii. Receptor: zona del sistema hídrico que recibe el materia contaminante desde sus diversas fuentes difusas. En esta zona es posible la aplicación de medidas de reparación a fin de recuperar propiedades definidas del ecosistema, como por ejemplo: bombeo de oxígeno a capas de agua anóxicas, retiro físico de hidrocarburos superficiales, instalación de sustrato para repoblamiento biótico, entre otras.

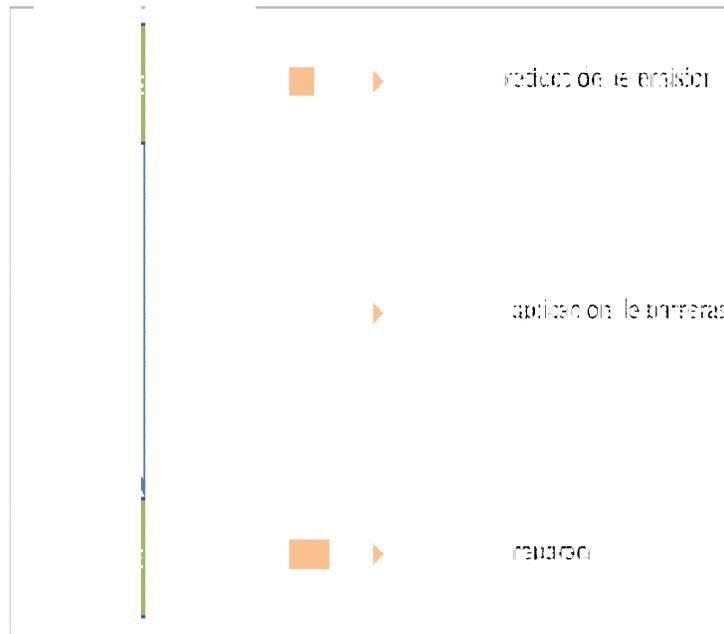


Figura 110. Caracterización del transporte de la contaminación difusa y sitios en donde es posible la aplicación de medidas para su control.

Estas medidas se proponen a continuación para las áreas de vigilancia anteriormente descritas: 7, 8 y 9 con el objetivo de reducir el movimiento de los plaguicidas fuera del área de aplicación y como consecuencia disminuir el riesgo para los organismos acuáticos expuestos a los productos fitosanitarios. Las medidas de mitigación deben ir acompañadas de una verificación de los efectos de las medidas de mitigación logradas, para de esta manera proteger el medio ambiente.

Las actividades de mitigación o reducción del riesgo se definen como las acciones tomadas para reducir o eliminar las concentraciones de plaguicidas en los hábitats

acuáticos o terrestres. La mitigación del riesgo puede involucrar numerosas actividades regulatorias, desde restricciones en el etiquetado hasta la prohibición de algún uso específico. Limitar el transporte o aplicación de un determinado plaguicida desde el borde del campo o área tratada hacia las fuentes de agua puede requerir de la construcción o establecimiento de terrazas, tranques de detención, humedales artificiales, zonas buffer, franjas de filtros de vegetación etc. estas zonas se deberán mantener mientras permanezca la aplicación de un determinado plaguicida.

### MEDIDAS GENERALES DE MITIGACIÓN

La primera medida de mitigación es reducir la cantidad de producto aplicado en una aplicación o estación. Las principales rutas de movimiento de los plaguicidas fuera del sitio de aplicación corresponden a la escorrentía de aguas superficiales y a la deriva por pulverización de los plaguicidas.

#### Uso de agroquímicos

Existen principalmente cuatro métodos de aplicación de plaguicidas:

1. Equipo terrestre de varas y boquillas.
2. Equipo tipo nebulizador y sus variantes.
3. Aplicación de plaguicidas mediante aguas para riego.
4. Aérea.

Mediante cualquiera de estos métodos hay movimientos de los plaguicidas por escorrentía superficial y/o deriva fuera del área de tratamiento. Un resumen de medidas generales que se pueden adoptar para reducir el movimiento de los plaguicidas fuera del área de aplicación se puede observar en la Tabla 89.

Tabla 89. Resumen de medidas generales de mitigación de la deriva según Baker et al., 1994).

Factores de Mitigación	Análisis o Comentario
Reducción de la tasa de aplicación.	Reducción de la carga total de plaguicidas al medio ambiente.
Reducción en el número de aplicaciones.	Reducción de la carga total de plaguicidas al medio ambiente, niveles de exposiciones máximas pueden ser similares, pero la probabilidad de ocurrencia será menor y la exposición crónica puede ser reducida.
Manejo integrado de plagas.	Reducción de la carga total de plaguicidas al medio ambiente.
Incrementar el intervalo de aplicaciones.	Debería disminuir la exposición crónica.
Restricciones locales y regionales.	Restricción en el uso de productos en áreas de extrema sensibilidad (p.ej. en zonas de pendientes fuertes).
Restricciones específicas al	Restricción en las aplicaciones en cultivos de áreas

cultivo.	sensibles y/o en cultivos que requieren múltiples o altas tasa de aplicación.
Uso regulado	Se requiere de un permiso de la autoridad competente previo a su aplicación; minimizar el uso en áreas sensitivas o dependiendo de las condiciones.
Educación / Programas de entrenamiento	Reducción al mínimo el uso erróneo mediante el incremento de entrenamiento/educación; implementación expedita a las opciones de mitigación.
Aplicación y Calibración de equipos	Reducción de la sobre-aplicación y la deriva, asegurando una calibración apropiada del equipo.

Un enfoque común para reducir los niveles de agroquímicos es controlando la “fuente de contaminación”, reduciendo las tasas y frecuencias de la aplicación de los plaguicidas. Secundariamente a una reducción directa de la fuente de emisión, hay que tomar medidas para reducir el movimiento de los plaguicidas a través del agua superficial o disminuir la accesibilidad de éstos al hábitat acuático para que su acción no afecte a organismos que no son blancos.

Los dos principales métodos de control en la fuente son:

- a) **Reducción en la dosis de aplicación:** Hay situaciones donde la mitigación del riesgo debe ser enfrentada en un comienzo, reduciendo las dosis de aplicación. Dicha reducción debe requerir un compromiso de la empresa en desarrollar datos eficaces que sostengan amplias tasas de aplicación.
- b) **Reducción en el número de aplicaciones:** Reducir el número permitido de aplicaciones también es utilizado como una estrategia de reducción del riesgo.
- c) **Substitución parcial:** Una substitución del plaguicida por otro plaguicida u otra forma de control de la plaga puede reducir la cantidad de plaguicida aplicado. Sólo se disminuirá los efectos si el plaguicida de substitución es menos tóxico y con un menor potencial de pérdida de acuerdo a la combinación de los factores hidrológicos, suelo y propiedades físico-químicas del substituto.

### Restricciones regionales o locales

En algunas situaciones, la caracterización del riesgo indicada por la Razón de Exposición Tóxica (**TER**: Toxicity Exposure Ratio) obtenida con la toxicidad aguda y la  $PEC_{tot}$  en diferentes especies es excedida en distintos hábitat, cuencas o en áreas donde habitan especies en peligro. En estos casos, lograr un nivel de riesgo aceptable es mediante la limitación o restricción del uso del plaguicida. En algunos casos es necesaria la prohibición del uso de plaguicidas en las áreas vulnerables coordinado por el SAG, SEREMI de Medio Ambiente y otras instituciones correspondientes.

### Regulación al uso de plaguicidas

Si la regulación de un plaguicida particular implica una protección a un sistema ecológico de alto riesgo, la aplicación de esta regulación es una alternativa de mitigación. El aplicar estas medidas implica un alto costo de operación e implementación por lo que sólo se

aplica cuando el uso de este plaguicida es esencial. En el caso de aplicar la regulación, la utilización del plaguicida será sólo en determinadas circunstancias. Esta regulación requiere mecanismos definidos y aprobados por servicios gubernamentales.

Un ejemplo del plan de regulación, es en el uso de azinfosmetil con cultivos de caña de azúcar en Lousiana, EE.UU., donde las oportunidades para la mitigación acuática del riesgo eran limitadas, mientras que las ventajas, según lo juzgado por el estado, eran altas. Se propuso una estrategia de mitigación del riesgo, controlando la aplicación total del azinfosmetil en un área dada publicando los permisos para el uso Baker et al.(1994).Estos permisos son entregados por la entidad reguladora que a su vez supervisa la aplicación.

### **MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE LA ESCORRENTÍA DE LOS PLAGUICIDAS**

Son diversos los factores que determinan la pérdida de plaguicidas por escorrentía en los campos agrícolas, esos factores pueden dividirse en tres categorías:

- a) **Propiedades del plaguicida:** Uno de las principales propiedades que determinan el movimiento de los plaguicidas por las aguas superficiales es su persistencia y capacidad de adsorción al suelo.
- b) **Condiciones hidrológicas:** El mayor factor hidrológico es la intensidad y duración de las precipitaciones y su tasa de infiltración afectada por las condiciones y factores del suelo.
- c) **Prácticas de manejo:** Los principales factores que determinan una disminución en las pérdidas de plaguicidas son la tasa de aplicación (dosis), método, intervalo y la elección del plaguicida a utilizar. Conjuntamente con el manejo del riego y cosecha.

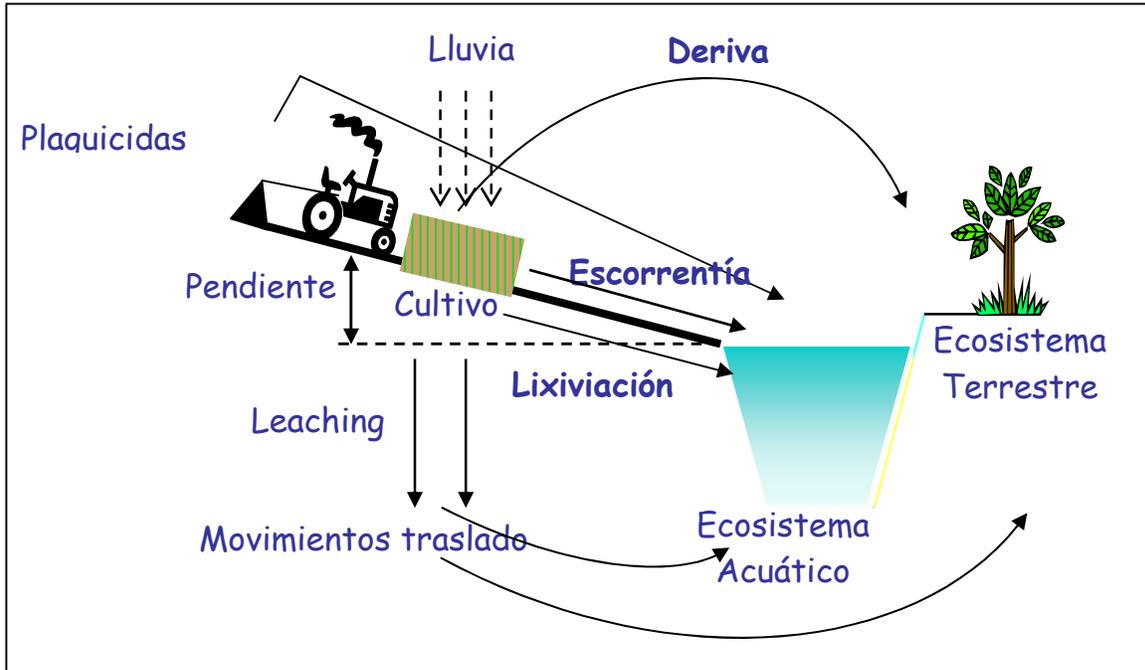


Figura 111. Las distintas fuerza que conducen a la contaminación de los cursos de agua superficiales. Fuente: presentación del Dr. Antonio Finizio, abril 2006.

## Cultivos

### Cultivo de la franja

Cuando las franjas de cultivos densos plantados (por ejemplo forrajeras o los granos pequeños), se alternan con franjas o filas de cultivos, el cultivo más denso plantado actúa como buffer. Cuando las franjas se plantan en el contorno, se reducen la escorrentía y la erosión y más agua de escorrentía absorbe el suelo.

### Rotación de cultivos

La rotación de cultivos puede interrumpir ciclos vitales de insectos, de enfermedades y de malas hierbas y reduce la necesidad de los tratamientos de plaguicidas. De la misma manera que se rota el uso de plaguicidas es posible rotar algunos cultivos, reduciendo la cantidad de cualquier un plaguicida usado en el campo.

### **Medidas de gestión**

Existen distintas prácticas estructurales para disminuir los efectos de la escorrentía por plaguicida, como la construcción de terrazas donde se reduce el transporte de sedimentos por escorrentía. Ordenamiento del paisaje considerando zonas buffer, humedales en la cuenca o zonas de ribera, pueden potencialmente atenuar la cantidad de plaguicida arrastrado por los sedimentos y disuelto en el agua al atravesar estas barreras.

### **Estructuras**

Terrazas y tranques de retención: Son utilizadas como un método para controlar la erosión construyendo canales amplios o diques perpendiculares a la pendiente o zona de rodados. Las terrazas más económicas y utilizadas en EEUU son las de base amplia. El mayor efecto que poseen estos sistemas es detener el transporte de sedimentos por deposición en la base de la terraza o tranque (Figura 112). Otra ventaja de las terrazas es en la reducción en la erosión y el transporte de sedimentos (y nutrientes) transportados por las aguas. Los tranque de retención además aportan un mayor tiempo de retención a las aguas permitiendo una mayor degradación del plaguicida, especialmente si el plaguicida se hidroliza rápidamente.



Figura 112. Tranque de retención con bomba de aireación. Fuente: Natural Resources Conservation Service. Fuente: <http://www.nrcs.usda.gov/>

Construcción de humedales: La construcción de humedales permite mediante un adecuado diseño incorporar los substratos saturados, vegetación subemergente y emergente, vida animal y agua que simula humedales naturales.



Figura 113. Humedal restaurado en Estados Unidos. Fuente: Natural Resources Conservation Service. Fuente: <http://www.nrcs.usda.gov/>

## Ordenamiento del paisaje

### Franja buffer

Las franjas buffer son áreas en los borde de los campos que no reciben tratamientos con plaguicidas. Pueden ser del mismo cultivo utilizado en el campo u otra especie vegetal (Figura 114 y Figura 115). Estas áreas tienen varios propósitos, uno de ellos es separar físicamente las zonas tratadas de las no tratadas, reduce en pequeños porcentajes la cantidad de plaguicida utilizado en la cuenca y puede detener o, en su defecto, atenuar la pérdida de plaguicidas por escorrentía superficial (adsorción o por depósito) de la zona tratada a otra vecina. La infiltración en la zona buffer también reduce el efecto de la escorrentía, disminuyendo su volumen. El rango estimado de reducción del transporte de plaguicidas es de un 5 a 40% Baker et al.(1994).



Figura 114



Figura 115

Imágenes de la aplicación de franjas buffer como protección contra la contaminación de los cursos de agua producto de la escorrentía superficial. En la Figura 115, se puede observar la combinación de zonas buffer ribereñas con árboles y de franja de filtro vegetal. Fuente: “Natural Resources Conservation Service”.

#### Franja de filtros vegetales (**grass filter strip**)

Estas zonas de buffer están plantadas con pasto u otras plantas de forraje (idealmente deberían incluir arbustos y árboles) separando el área tratada con el cuerpo de agua (ver Figura 116 y Figura 117). El objetivo es remover el plaguicida disuelto en el agua o adsorbido al sedimento presente en la escorrentía.



Figura 116. Ejemplo de franja de filtro de pasto para minimizar la escorrentía, medida aplicada en Ohio, Estados Unidos. Fuente: Natural Resources Conservation Service.



Figura 117. Ejemplo de franja de filtro de pasto para minimizar la escorrentía, medida aplicada en Ohio, Estados Unidos. Fuente: Natural Resources Conservation Service. Fuente: <http://www.nrcs.usda.gov/>

Vías de pasto para el agua (grassed waterways): Son caminos de pastos construidos para recibir y transportar el agua de escorrentía, guiándola a una zona de drenaje sin generar erosión (ver Figura 118 y Figura 119). El pasto actúa como una franja de filtro vegetal durante el ingreso de la escorrentía, además evita la erosión generada por el paso del agua reteniendo además el transporte del sedimento, y como consecuencia de todos estos efectos remueve el plaguicida.

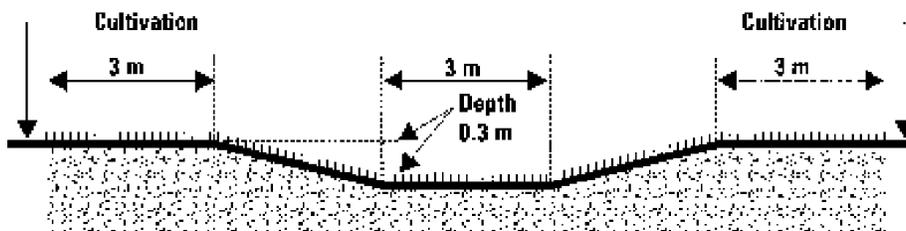


Figura 118. Dibujo de un perfil transversal con las dimensiones requeridas de las vías de pasto para el agua.



Figura 119. Vista aérea de la aplicación de vías de pasto para el agua en un campo de Ohio, EEUU. Fuente: Natural Resources Conservation Service. Fuente: <http://www.nrcs.usda.gov/>

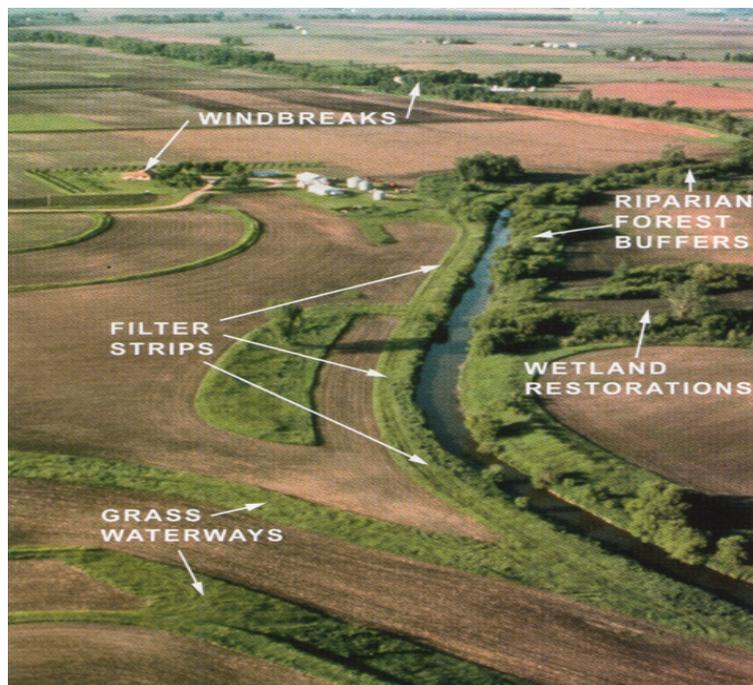


Figura 120. Integración de las distintas medida tomadas por el "Natural Resources Conservation Service" en el proyecto "Ohio Lake Erie Buffer Initiative".

## MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE LA DERIVA DE PLAGUICIDAS

La deriva de las nubes de plaguicidas es el movimiento aerotransportado en la forma de sólido, líquido o vapor más allá del área intencional objetiva. Para propósitos regulatorios esta definición incluye generalmente la aplicación directa no intencional de plaguicidas en áreas no objetivas. La deriva en la forma de partículas sólidas o líquidas surge típicamente durante la aplicación por rocío por cuanto la deriva por vapor no comienza si no después de varias horas de la aplicación por rocío. El potencial para la formación de deriva por plaguicidas existe con todos los tipos de equipos de rocío de plaguicidas.

La deriva por rocío de plaguicidas no sólo representa una pérdida de producto valioso de plaguicida si no también una amenaza potencial al medio ambiente en términos de calidad del aire y la contaminación de la superficie del agua, suelo y vegetación. La deriva puede plantear una amenaza a la salud de los humanos, animales, plantas y a las áreas ambientalmente sensibles. Los trabajadores agrícolas, el ganado, los espectadores y la vida silvestre cercana a las áreas donde se usan plaguicidas pueden verse directamente expuestas a la deriva por rocío.

El tema de la deriva de las nubes de rocío de plaguicidas se está haciendo cada vez más importante. La invasión urbana hacia los terrenos agrícolas se está incrementando, existiendo hoy una gran preocupación sobre los plaguicidas en la salud humana y en el medio ambiente, existe también abundante información y de fácil acceso y hay un incremento en la conciencia pública.

### Mitigación de la deriva

Los principales escenarios de aplicación por aspersión donde la deriva ocurre, son los mismos antes mencionados:

1. Equipo terrestre de varas y boquillas.
2. Equipo tipo nebulizador y sus variantes.
3. Aplicación de plaguicidas mediante aguas para riego.
4. Aérea.

#### 6.4.2.1 Factores generales para la reducción de la deriva

Una manera común de aproximarse a la minimización de la exposición de áreas no blanco a la deriva de los plaguicidas es la imposición de un área buffer. La cual se define como un área que se sitúa entre el área de aplicación y el área de no aplicación "área de cuidado". Relativo a la reducción de la deriva, esta área puede interceptar la deriva no sólo por la selección del sitio de aplicación, sino que además basándose en el ancho del área se pueden controlar los no blancos móviles. El ancho requerido de la zona buffer depende de la reducción necesaria para alcanzar niveles óptimos de la TER. En la Tabla 90, se expone un resumen de los factores generales para la reducción de la deriva.

Tabla 90. Factores generales para la reducción de la deriva (Baker et al., 1994).

Factor de Mitigación	Comentarios
1.- Zona buffer o área blanco	Acciones en la hilera de intersección con la deriva; porcentaje de reducción de la deriva dependerá del tamaño de la zona buffer.
2.- Restricciones meteorológicas relacionadas: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Velocidad de viento</li> <li>○ Dirección del viento</li> <li>○ Inversión de temperatura</li> <li>○ Humedad</li> </ul>	<p>La dispersión se incrementa con la velocidad del viento. Restricciones en la aplicación con altas velocidad de viento pueden disminuir la deriva de un 5 a un 40%.</p> <p>Restringir la aplicación sólo cuando la dirección del viento afecte al área de interés.</p> <p>La deriva puede incrementarse durante estados de inversión térmica, la restricción de la aplicación durante estas condiciones disminuye la deriva en un porcentaje desconocido.</p> <p>Restringir la aplicación con bajo porcentaje de humedad, disminuye la deriva en un 10 a un 20%.</p>
3.- Especificaciones del equipo: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tipos de boquilla</li> <li>○ Orientación de la boquilla</li> <li>○ Ajuste y largo de de la vara</li> <li>○ Presión y velocidad de flujo</li> <li>○ Volumen</li> <li>○ Equipo especializado</li> </ul>	<p>Boquillas requeridas para producir gotas grandes disminuye la deriva dependiendo el tipo de boquilla.</p> <p>Orientación de la boquilla hacia la corriente de aire producirá un gran porcentaje de gotas finas, la minimización de este ángulo reducirá la deriva, porcentaje desconocido.</p> <p>Minimización del largo de la vara puede reducir el efecto de remolino de viento y consecuentemente la deriva, en un 10 a un 20%</p> <p>Bajas presiones puede minimizar la formación de gotas pequeñas, lo que reduce la deriva.</p> <p>Se requiere ajustar el equipo para obtener bajos volúmenes de aplicación en forma de gotas finas, restringir el uso a bajos volúmenes puede reducir la deriva de un 10 a un 100% dependiendo de la situación.</p>
4.- Procedimientos de aplicación: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Velocidad del aplicador</li> </ul>	<p>La velocidad de avión afecta al tipo de gota que sale de la boquilla. Altas velocidades origina gotas más finas. Velocidades menores disminuyen la deriva. Porcentaje de reducción desconocido.</p> <p>Vuelos altos con respecto al dosel aumentan la deriva, vuelos rasantes disminuyen la deriva.</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Altura sobre el dosel</li> <li>○ Ajuste del pulverizador al dosel</li> <li>○ Periodos de aplicación</li> <li>○ Pulverizadores de una vía</li> </ul>	<p>Para aplicaciones de barra, el tamaño del árbol es crítico y puede incrementar la deriva si el equipo no está ajustado a la altura del árbol; porcentaje de reducción desconocido.</p> <p>La deriva disminuye si las aplicaciones se hacen en condiciones meteorológicas óptimas para este fin.</p> <p>Para rociadores de huertas, rocíe sólo a través del centro y evite las zonas sensibles, esto disminuye la deriva.</p>
<p>5.- Aditivos a los tanques</p>	<p>Varios tipos de aditivos están disponibles, cuya principal función es minimizar la formación de gotas pequeñas y/o disminuir la tasa de evaporación, existen datos limitados que confirmen la reducción actual de la deriva.</p>
<p>6.- Modificaciones del sitio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Muros de viento</li> <li>○ Árboles pequeños</li> </ul>	<p>Estructuras (ej. árboles) pueden ser ubicadas junto a áreas habitadas o alrededor del área tratada (ej. huerta) para interceptar la deriva., como opción a largo plazo.</p> <p>Para cosecha de árboles, la deriva es más controlable cuando se dispone de árboles pequeños, como opción a largo plazo.</p>

i) Medidas para el cumplimiento de objetivos de control

El equipo consultor ha desarrollado un análisis adicional a los objetivos requeridos por la contraparte técnica, el cual sirve para dar orientaciones más específicas relacionadas al control de la contaminación difusa en la cuenca del río Aconcagua.

El análisis de elasticidad fue desarrollado en el marco de análisis matricial de poblaciones y permite determinar los cambios proporcionales en la tasa de crecimiento poblacional a partir de los cambios proporcionales en los parámetros del modelo que la describe (Caswell 2000).

Para un modelo genérico M la sensibilidad está definida por:

$$s_{ij} = \frac{\partial M}{\partial a_{ij}}$$

Que representa el cambio diferencial del resultado del modelo en función de un cambio diferencial del parámetro  $a_{ij}$ .

Y la elasticidad:

$$e_{ij} = \frac{\partial M}{\partial a_{ij}} \times \frac{a_{ij}}{M}$$

Que representa el cambio proporcional estandarizado por el valor del parámetro  $a_{ij}$  y el valor M obtenido en el modelo.

En esta consultoría tomamos parte de esta teoría desarrollada en el campo de la ecología para llevarla a práctica en la modelación espacial de productos fitosanitarios transportados en una cuenca. En particular, nos centramos en el modelo SYNOPS-2 que estima la cantidad de producto fitosanitario que escurre disuelto en agua (ver parámetros en Tabla 6):

$$L\%_{\text{escorrentía}} = \frac{Q}{P} \times F \times e^{\left(\frac{-\Delta t \text{Ln}2}{DT_{50}}\right)} \times \frac{100}{1 + \frac{k_{oc} \times CO}{100}} \times D$$

De acuerdo a los resultados obtenidos del modelo SYNOPS-2 se tomaron los valores de cada pixel dentro de cada área de vigilancia y se calculó la elasticidad de cada parámetro en cada uno. Este análisis fue realizado para 5 parámetros específicos que se especifican más abajo y sugiere cuáles de ellos generan mayores cambios en los resultados del modelo de acuerdo a sus cambios proporcionales. La elección de los parámetros que se describen a continuación tiene como objetivo la generación planes de mitigación y/o regulación de acuerdo a su naturaleza:

i) Volumen de escorrentía (F2):

$$\frac{\partial L}{\partial F2} \times \frac{F2}{L}$$

ii) Area buffer (F3):

$$\frac{\partial L}{\partial (F3)} \times \frac{F3}{L}$$

ii) tiempo de aplicación de ingrediente activo (dt):

$$\frac{\partial L}{\partial(dt)} \times \frac{dt}{L}$$

iv) vida media del pesticida ( $dt_{50}$ ):

$$\frac{\partial L}{\partial(dt_{50})} \times \frac{dt_{50}}{L}$$

v) coeficiente de adsorción (koc):

$$\frac{\partial L}{\partial(koc)} \times \frac{koc}{L}$$

vi) Dosis de aplicación del ingrediente activo (D):

$$\frac{\partial L}{\partial(D)} \times \frac{D}{L}$$

A partir del análisis prospectivo, evaluado mediante la elasticidad de los parámetros del modelo SYNOPS-2 es posible determinar que para los pesticidas Methomyl y Metamidofos el patrón general fue el mismo. Observándose que ante aumentos de los parámetros como: intercepción planta (F2), área buffer (F3), tiempo de aplicación del ingrediente activo (dt) y su capacidad de adsorción al suelo (koc) se genera una disminución de la fracción de ingrediente activo que es transportado por escorrentía superficial disuelto en agua. Por otro lado, ante aumentos de los parámetros de vida media del ingrediente activo ( $dt_{50}$ ) y la dosis de aplicación de este (D) se genera un aumento de la fracción que escurre.

Sin embargo, es posible observar diferencias en la magnitud de estos cambios a través de las aéreas de vigilancia propuestas, donde las aéreas 2, 7, 8, 11 y 12 son las que presentan los mayores valores de elasticidad de de sus parámetros, especialmente para dosis de aplicación del ingrediente activo (Figura 121).

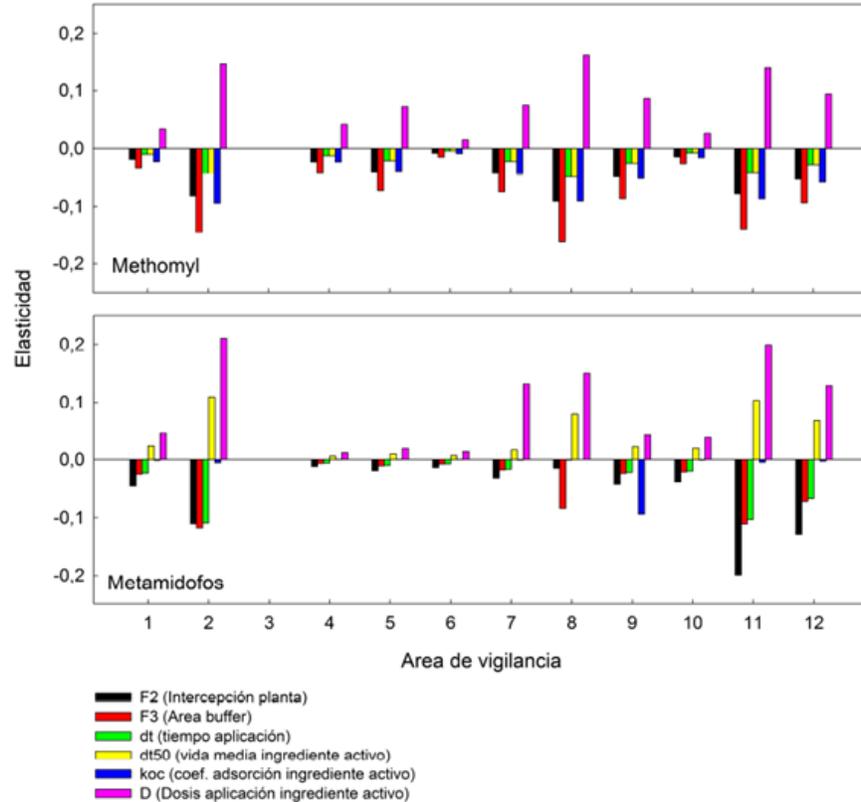


Figura 121. Valores de elasticidad para los parámetros del modelo SYNOPS-2 evaluados dentro de cada área de vigilancia.

ii) Medidas para el cumplimiento de objetivos de restauración

Estas medidas están orientadas a la recuperación y reparación de los ecosistemas acuáticos en sectores F2 de la cuenca que: i) se vean afectados por fuentes de contaminación difusa, ii) que se quieran proteger debido a la importancia de la biodiversidad presente y iii) que se puedan restaurar debido a la presencia de zonas con importancia biológica que incidan en la mejora de la calidad aguas abajo (Figura 122).

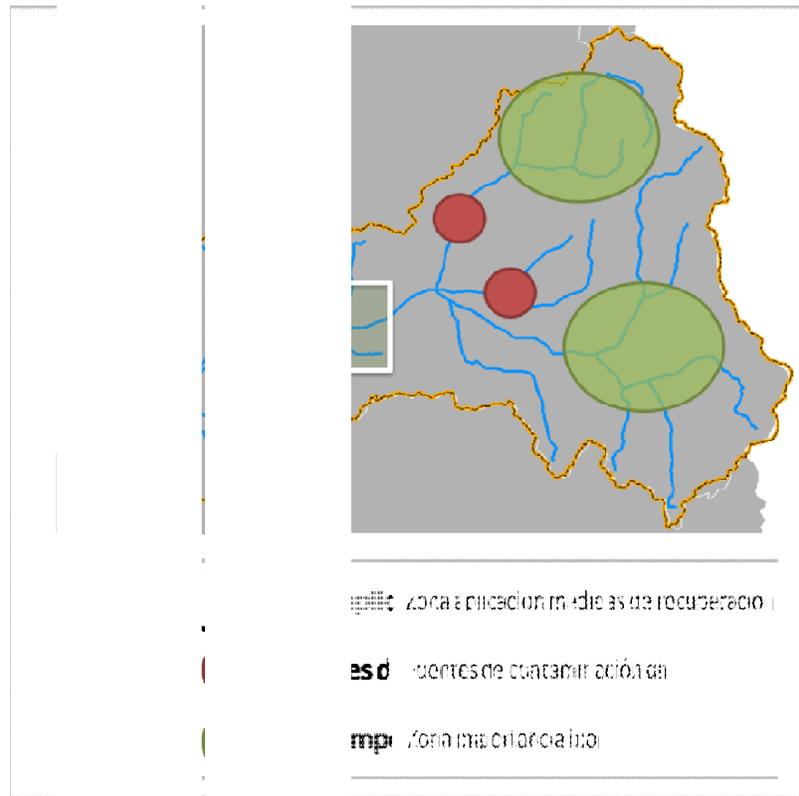


Figura 122. Modelo de aplicación de medidas para el cumplimiento de objetivos de restauración.

### iii) Medidas para el cumplimiento de objetivos de información

Estas medidas desarrollan acciones específicas en base a la información que se necesita tanto para aumentar nivel de conocimiento del estado del sistema, en su dimensión biológica y ambiental, como para alimentar las medidas de control y restauración. De este modo se adoptan acciones acordes a una base de datos relacionada a la dinámica propia de un territorio:

- a) Líneas de base: construcción de bases de datos de los diferentes componentes territoriales, e.g. biológica, económica, percepción ciudadana, calidad de aguas, entre otras.
- b) Monitoreo adaptativo
  - Condición inicial:
    - Parámetros: se incluyen en el monitoreo todos los parámetros directamente relacionados con la contaminación difusa: nutrientes: nitrato, fosforo, coliformes fecales y pesticidas (orgánicos y minerales) y metales, además de los parámetros considerados básicos (pH, conductividad, oxígeno disuelto, sulfatos, amonio, sólidos suspendidos,

turbidez, temperatura). Dichos parámetros deben medirse en la red hídrica y canales de regadío.

- Frecuencia: estacional.
- Estaciones de muestreo: priorizar la ubicación de estaciones de monitoreo en las zonas calientes resultantes del análisis de *Hot spot* para cada parámetro modelizado.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Indicador PRISW-1 para seleccionar plaguicidas

Este indicador, al incorporar las declaraciones de venta, permite estimar y conocer en función del tiempo, la evolución de los plaguicidas aplicados en la cuenca. Si bien, las declaraciones de venta tienen su margen de inexactitud, es sabido a nivel global que no existe mejor estimador de los plaguicidas que están siendo aplicados, de hecho se pueden realizar análisis con más de 200 ingredientes activos, a diferencia de las encuestas, las que nos entregan un universo plaguicidas, sólo aquellos más conocidos por los agricultores y respecto a las cantidades aplicadas, tampoco existe seguridad que son aquellas indicadas en los cuadernos de campo. Para este análisis, a partir de 60 productos fitosanitarios se seleccionaron 10 que serían los más tóxicos para los ecosistemas acuáticos y con mayor potencial para escurrir a las aguas superficiales. Indicadores similares a estos pueden ser aplicados para identificar aquellos que generan más riesgo para los ecosistemas terrestres, y de esta manera llevar a nivel de Ministerio un control de aquellos plaguicidas más usados, con mayor riesgo y cómo el riesgo se iría modificando al aplicar restricciones al uso de plaguicidas. Por ejemplo, no existe claridad de cuánto disminuyó la presión sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres al prohibir endosulfan y otros plaguicidas los últimos años, o cuáles son aquellos que el agricultor está escogiendo en la temporada.

### MODELOS UTILIZADOS

En general es necesario señalar que estos modelos han sido aplicados sin disponer ni medir parámetros indispensables para obtener aproximaciones reales a las concentraciones transportadas a las aguas superficiales. Sin embargo, pueden cumplir un rol de screening o indicadores de las diferentes fuentes de contaminación difusa en la cuenca. De esta manera, detectar las zonas con mayor potencial a generar este tipo de contaminación.

### Modelo de escorrentía de PFS

El Modelo de escorrentía gLOAD y SYNOPS tienen una estructura similar, la diferencia radica en que el primero utiliza los principales parámetros que determinan la escorrentía, por lo cual se le atribuye una estimación a la escorrentía de productos agrícolas en general, desde fertilizantes, humus a PFS. SYNOPS en cambio, es un modelo simplificado que permite estimar en forma aproximada las concentraciones de ingredientes activos individuales que son transportadas por las aguas superficiales. Importantes es hacer notar, que nunca tendremos una molécula en el agua transportada por la escorrentía, es un mix que produce un efecto desconocido, pero mediante diferentes modelos, es posible aproximarse a dicho impacto.

#### Modelos de coliformes fecales, NO<sub>3</sub> y P

Estos modelos son los más simplificados y con una menor validación, son varios los parámetros que requieren ser medidos en terreno para tener una aproximación más cercana a lo que ocurre en la cuenca. Como indicadores de contaminación sí serán útiles, si esta información es corroborada/comparada con los Servicios Públicos que trabajan en la cuenca y tienen una mayor idea en terreno de lo que está ocurriendo con los nutrientes y coliformes fecales.

## BIBLIOGRAFIA

Dirección General de Aguas (DGA). 2015. Pronóstico de disponibilidad de agua. Temporada de riego 2014-2015. Disponible en: <http://www.dga.cl/DGADocumentos/pronostico2014-2015.pdf>. Leído el 18 de julio de 2015.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2007. Censo Agropecuario. Disponible en: <http://www.censoagropecuario.cl/noticias/09/07042009.html>. Leído 18 de julio 2015.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 2010. REGIÓN DE O'HIGGINS: EFICIENCIA EN SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO EN EL SECANO. Revista Tierra Adentro, Enero-Febrero 2010. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR36672.pdf>. Leído 18 de julio 2015

Comisión Nacional de Investigación, Ciencia y Tecnología (Conicyt). 2008. Conceptos Básicos de Ciencia, Tecnología e Innovación. Disponible en: <http://www.conicyt.cl/wp-content/uploads/2012/09/Conceptos-Basicos-de-Ciencia-Tecnolog-e-Innovaci-B3n-2008.pdf> . Leído 18 de julio de 2015.

Baginsky, C.; y Faiguenbaum, H. 2010. Preparación de suelos, siembra y transplante de hortalizas. Disponible en: [http://www.cepoc.uchile.cl/pdf/Boletin\\_Preparacion\\_suelo.pdf](http://www.cepoc.uchile.cl/pdf/Boletin_Preparacion_suelo.pdf). Leído el 04 de mayo de 2015.

Faiguenbaum, H. 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Santiago-Chile 2003

Fundación para la Innovación Agraria (FIA). 2007. Producción de flores cortadas-V Región. Disponible en: [http://www.indap.gob.cl/sites/default/files/produccion\\_flores\\_cortadas\\_v\\_reg.pdf](http://www.indap.gob.cl/sites/default/files/produccion_flores_cortadas_v_reg.pdf). Leído 10 septiembre 2015.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2009. Producción de Flores en Chile. Disponible en: [http://www.ine.cl/canales/sala\\_prensa/noticias/2009/septiembre/not040909.php](http://www.ine.cl/canales/sala_prensa/noticias/2009/septiembre/not040909.php)

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2014. Agropecuarias. Disponible en: [http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario\\_de\\_publicaciones/pdf/informe\\_a\\_nual\\_agropecuarias\\_2013.pdf](http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario_de_publicaciones/pdf/informe_a_nual_agropecuarias_2013.pdf). Leído el 04 de mayo de 2015.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2007. VII Censo Agropecuario. Sección IV Hortalizas. Disponible en: <http://www.censoagropecuario.cl/generalidades/censo2007/IV.html>. Leído el 04 de mayo de 2015.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2012. Actualización del catastro de la agroindustria hortofrutícola chilena. Disponible en: [http://www.odepa.cl/wp-content/files\\_mf/1383165686Catastro\\_Agroindustrial\\_Informe\\_final.pdf](http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1383165686Catastro_Agroindustrial_Informe_final.pdf). Leído el 18 de julio 2015

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2015. Cultivos industriales. Disponible en: <http://www.odepa.cl/rubro/cultivos-industriales/>. Leído el 04 de mayo de 2015.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2015. Hortalizas frescas. Disponible en: <http://www.odepa.cl/rubro/hortalizas-frescas/>. Leído el 04 de mayo de 2015.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2015. Frutas frescas / Hortalizas. Disponible en: <http://www.odepa.cl/rubro/frutas-frescas/>. Leído el 04 de mayo de 2015.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2015. Región de Valparaíso, Información Regional 2015. Disponible en: [http://www.odepa.cl/wp-content/files\\_mf/1435258450Valpara%C3%ADsojunio.pdf](http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1435258450Valpara%C3%ADsojunio.pdf). Leído el 18 de julio de 2015.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2015d. Directorio de la Agroindustria Hortofrutícola Chilena 2011. Disponible en : <http://diragro.odepa.cl/>. Leído el 18 de julio 2015.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1998. Censos Agropecuarios y Género - Conceptos y Metodología. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/004/x2919s/x2919s00.htm#Contents> . Leído el 18 de julio de 2015.

REAL Academia Española. Diccionario de la Lengua Española. 21 Ed. Madrid: Espasa Calpe. 1992.

Servicio Agrícola Ganadero (SAG). 2005. Informe final: Desarrollo de una metodología para la evaluación y mitigación de la contaminación de aguas y suelo: Aplicación a la Cuenca del Río Aconcagua. Proyecto SAG 55-14-300, desarrollado por Laboratorio Ecotoxicología, Universidad Mayor. Disponible en: [http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/gestion-ambiental/133/publicaciones?field\\_tema\\_otros\\_documentos\\_tid=All&field\\_tipo\\_de\\_publicacion\\_tid=All&title=&field\\_fecha\\_otros\\_value%5Bvalue%5D&items\\_per\\_page=15&page=1](http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/gestion-ambiental/133/publicaciones?field_tema_otros_documentos_tid=All&field_tipo_de_publicacion_tid=All&title=&field_fecha_otros_value%5Bvalue%5D&items_per_page=15&page=1). Leído el 18 de julio de 2015.

Servicio Agrícola Ganadero (SAG). 2010. Listado de plantas faenadoras nacionales. Disponible en:

<http://historico.sag.gob.cl/common/asp/pagAtachadorVisualizador.asp?argCryptedData=G P1TkTXdhRJAS2Wp3v88hJtD3Xu0AesKq89cmzNMQGw%3D&argModo=&argOrigen=BD &argFlagYaGrabados=&argArchivold=23371>

UDEC, Universidad de Concepción, 2002. Metodología para la evaluación y mitigación de la contaminación de aguas y suelos: a nivel de cuenca hidrográfica. Proyecto financiado por el Fondo para el mejoramiento del patrimonio fitosanitario del Servicio Agrícola y ganadero.

## ANEXOS

- Cd con resultados de los modelos implementados.