



COEFICIENTES EXPORTACIÓN DE NUTRIENTES SEGÚN USOS DE
SUELO EN LA CUENCA DEL LAGO VILLARRICA COMO APOYO AL
PROYECTO DEFINITIVO DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DE
LA CUENCA DEL LAGO VILLARRICA

INFORME ETAPA III

Licitación 608897-1-LE20

405-AGA-20-2-227

REV-0

4/dic/2020



COEFICIENTES EXPORTACIÓN DE NUTRIENTES SEGÚN USOS DE SUELO EN LA CUENCA DEL LAGO VILLARRICA COMO APOYO AL PROYECTO DEFINITIVO DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DEL LAGO VILLARRICA

Licitación 608897-1-LE20
405-AGA-20-2-227

INFORME ETAPA III. REV-0
4/dic/2020

Tabla de Contenidos

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	3
2.1	Objetivo General.....	3
2.2	Objetivos Específicos	3
3	METODOLOGÍA DE ACUERDO CON ETAPAS Y ACTIVIDADES DEL ESTUDIO	4
3.1	Actividades a realizar, objetivo específico i)	4
3.2	Actividades a realizar, objetivo específico ii)	4
3.3	Actividades a realizar, objetivo específico iii)	5
3.4	Actividades a realizar, objetivo específico iv)	5
3.5	Actividades a realizar, objetivo específico v)	6
4	RESULTADOS.....	7
4.1	Revisión bibliográfica	7
4.1.1	Nitrógeno.....	8
4.1.2	Fósforo.....	11
4.1.3	Exportación de nutrientes	13

4.1.4	Minimización de exportación de nutrientes	19
4.2	Análisis de valores de coeficientes de exportación en la cuenca del lago Villarrica	23
4.2.1	Usos de suelo y otras variables incidentes en la calidad de aguas.....	23
4.2.2	Aportes de N y P por subcuencas desde muestreo de calidad de aguas	30
4.2.3	Comparativa coeficientes de exportación según usos de suelo (literatura)	40
4.2.4	Comparativa preliminar coeficientes de exportación según subcuencas para efectos de muestreo de suelos (desde muestreo de calidad de aguas).....	42
4.2.5	Análisis de correlación	44
4.3	Plan de muestreo de suelos.....	50
4.3.1	Selección puntos de monitoreo, número de muestras y metodología de muestreo	50
4.3.2	Desarrollo de trabajos en terreno y envío a laboratorio.....	53
4.4	Resultados muestreo de suelos	53
4.4.1	Resultados de análisis de laboratorio	55
4.5	Análisis comparativo de Modelos Hidrológicos	62
4.6	Resultados modelamiento de coeficientes de exportación	67
4.6.1	Metodología	67
4.6.2	Funcionamiento del modelo EPRO Ajustado	70
4.6.3	VARIABLES DE ENTRADA DEL MODELO SEGÚN USO DE SUELO	82
4.6.4	Datos de entrada para modelo probabilístico de clima	83
4.6.5	Limitaciones del modelo EPRO ajustado.....	85
4.6.6	Resultados modelamiento coeficientes de exportación	85
4.6.7	Estimación de la carga anual	89
4.6.8	Análisis de sensibilidad	94
4.6.9	Comparación con resultados de literatura	99
4.7	Recomendaciones de monitoreo.....	100
4.7.1	Monitoreo puntual	100
4.7.2	Monitoreo continuo	101
4.7.3	Monitoreo desde el suelo.....	101
5	CONCLUSIONES	102
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
	ANEXO 1. Coeficientes de exportación, información secundaria	108
	ANEXO 2. Mapa de pendientes.....	111



ANEXO 3. Unidades edáficas.....	113
Suelos	117
Geomorfología y Suelos en Sectores de la Araucanía.....	117
Suelos en la Cordillera de los Andes	117
Suelos en la Pre-cordillera de Los Andes	118
Suelos en la Pre-cordillera de Los Andes e Inicios de la Depresión Intermedia.....	121
Suelos de la Comuna de Curarrehue	124
Asociación Curarrehue, franco arenosa.....	124
Terrazas Aluviales de Ceniza Volcánica Curarrehue.....	132
Análisis de Propiedades Físicas de Suelos Comuna de Curarrehue	139
Descripciones de suelos Estudio Agrológico CIREN	141
ANEXO 4. Coeficientes de correlación de Pearson	159
ANEXO 5. Certificados de análisis de laboratorio	177
ANEXO 6. Guía de variables y descriptores de suelos.....	186
ANEXO 7. Especificaciones año climático (resultados EPROaj).....	195
ANEXO 8. Coeficientes de exportación modelados por EPRO aj según microcuenca.....	197
ANEXO 9. Detalle resultados modelamiento coeficientes de exportación en microcuencas estándar (pendiente y curva número).....	207
ANEXO 10. Espacialización Coeficientes de exportación modelados por EPRO aj.....	212
ANEXO 11. Descripciones morfológicas de suelos (mayo 2020).....	226
Descripciones morfológicas.....	227

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Coeficientes de exportación de nitrógeno y fósforo total para distintos usos de suelo según diversas referencias.....	17
Cuadro 2. Monitoreos de calidad de agua en puntos de control (UFRO, 2020)	24
Cuadro 3. Superficie de Usos de Suelos por subcuenca (ha) (Usos de suelos desde Edáfica-MMA, 2018) ..	28
Cuadro 4. Cálculo de Aportes de NT y PT por Subcuenca (kg/ha/año)	31
Cuadro 5. Comparativa coeficientes de exportación de NT según uso/cobertura (Literatura / Modelación)	40
Cuadro 6. Comparativa coeficientes de exportación de PT según uso/cobertura (Literatura / Modelación)	41
Cuadro 7. Comparativa coeficientes de exportación de NT según subcuenca (desde muestreo / Modelación)	42



Cuadro 8. Comparativa coeficientes de exportación de PT según subcuenca (desde muestreo / Modelación)	43
Cuadro 9. Coeficientes de correlación para uso Terrenos húmedos	46
Cuadro 10. Coeficientes de correlación para uso Bosque nativo	47
Cuadro 11. Coeficientes de correlación para uso Plantaciones forestales	48
Cuadro 12. Coeficientes de correlación para uso Glaciares y nieves	49
Cuadro 13. Coordenadas sitios de muestreo. Usos de suelos desde Edáfica – MMA (2018)	53
Cuadro 14. Resultados de análisis de laboratorio	58
Cuadro 15. Comparativa de 3 modelos hidrológicos	65
Cuadro 16. Equivalencia de nomenclatura entre diagrama de flujo y modelo programado	68
Cuadro 17. Definición de los Usos de Suelo para los cuales se calcularon los coeficientes de exportación de N y P	82
Cuadro 18. Superficie, promedio de pendiente y valores de Curva Número para usos de suelo en microcuencas del área de estudio.	83
Cuadro 19. Valores de precipitación promedio y días con eventos de precipitación para distrito Pucón, considerados para submodelo climático.	83
Cuadro 20. Otros parámetros agroclimáticos para distrito Pucón, considerados para submodelo climático.	84
Cuadro 21. Escurrimiento superficial promedio y coeficientes de exportación promedio de Nitrógeno (CExpN) y Fósforo (CExpP) en unidades de kg/ha/año y mg/L, por tipo de uso de suelo y tipo de año de precipitaciones, calculado por simulación EPROaj	86
Cuadro 22. Escurrimiento superficial promedio y coeficientes de exportación promedio de Nitrógeno (CExpN) y Fósforo (CExpP) en unidades de kg/ha/año y mg/L, por tipo de año de precipitaciones, para pendientes estándar calculado por simulación EPROaj	87
Cuadro 23. Cargas anuales de N y P según microcuenca y uso de suelos (EPROaj)	90
Cuadro 24. Resumen de análisis de sensibilidad modelo EPRO ajustado	95
Cuadro 25. Rango de valores coeficientes de exportación N y P (kg/ha) Edáfica (2020).	99
Cuadro 26. Rango de valores coeficientes de exportación N y P (mg/L) Edáfica (2020)	99
Cuadro 27. Comparación de coeficientes de exportación de Nitrógeno y Fósforo en microcuencas del Lago Villarrica y la literatura revisada (kg/ha/año)	100
Cuadro 28. Valores mínimos, máximos y promedios de valores de coeficientes de exportación de nitrógeno total según uso de suelos	109
Cuadro 29. Valores mínimos, máximos y promedios de valores de coeficientes de exportación de fósforo total según uso de suelos	109
Cuadro 30. Superficie (ha) según Serie de suelos (CIREN, 2002))	115
Cuadro 31. Superficie (ha) según Serie de suelos (Edáfica)	116
Cuadro 32. Propiedades Físicas y Químicas de la Serie Antuco (Humic Vitrixerand)	120
Cuadro 33. Propiedades Físicas y Químicas de un Perfil de la Asociación Los Nevados (Acrudoxic Hapludands)	121
Cuadro 34. Propiedades Físicas y Químicas de un Perfil de la Serie Cunco (Acrudoxic Hapludands)	123
Cuadro 35. Propiedades Físicas, Químicas y Físico-Químicas del Suelo Asociación Curarrehue	127
Cuadro 36. Caracterización química de la Asociación Curarrehue	128



Cuadro 37. Suelos de la Asociación Curarrehue en posición de lomaje con saturación de Al > 5%	129
Cuadro 38. Comparación entre niveles máximos de los elementos químicos esenciales presentes en el suelo y niveles críticos señalados por el SIRSD, Asociación Curarrehue.....	131
Cuadro 39. Propiedades Físicas, Químicas y Físico-Químicas del Suelo Unidad No Diferenciada Terraza Aluvial De Cenizas Volcánicas Curarrehue	134
Cuadro 40. Caracterización química de la Unidades no Diferenciada Terraza Aluvial de Cenizas Volcánicas Curarrehue	135
Cuadro 41. Comparación entre niveles máximos de los elementos químicos esenciales presentes en el suelo y niveles críticos señalados por el SIRSD.....	137
Cuadro 42. Caracterización física de la Asociación Curarrehue	139
Cuadro 43. Caracterización física de la Unidad no Diferenciada Terraza Aluvial de Ceniza Volcánica Curarrehue	139
Cuadro 44. Especificaciones clasificación de tipo de año climático según precipitaciones.	196
Cuadro 45. Pendiente, promedio de precipitación, escurrimiento superficial y coeficientes de exportación N y P (kg/ha/año y mg/L), por tipo de uso de suelo y tipo de año climático en microcuencas área de estudio.	198
Cuadro 46. Escurrimiento superficial y coeficientes de exportación N y P (kg/ha/año y mg/L), por pendiente, curva número y tipo de uso de suelo por tipo de año climático en microcuencas estándar.....	208
Cuadro 47. Diccionario de coberturas	213

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Coeficientes de exportación promedio de NT según Uso de suelos informados por literatura.....	19
Figura 2. Coeficientes de exportación promedio de PT según Uso de suelos informados por literatura	19
Figura 3. Modelo de Subcuencas a partir de puntos de muestreo de calidad de aguas en cauces, cuenca del lago Villarrica (Fuente: elaboración propia).....	26
Figura 4. Usos de suelos (Edáfica-MMA, 2018) y límites de subcuencas (Fuente: elaboración propia)	27
Figura 5. Histograma de frecuencia de Usos de suelos por subcuenca (%)	29
Figura 6. Histograma aportes promedio de PT según subcuenca (kg/ha/año)	30
Figura 7. Histograma aportes promedio de NT según subcuenca (kg/ha/año)	30
Figura 8. Mapa categorizado de Aportes de PT por subcuenca (kg/ha/año) para muestreo de sep/2017 (Fuente: elaboración propia)	32
Figura 9. Mapa categorizado de Aportes de PT por subcuenca (kg/ha/año) para muestreo de jul/2018 (Fuente: elaboración propia)	33
Figura 10. Mapa categorizado de Aportes de PT por subcuenca (kg/ha/año) para muestreo de nov/2018 (Fuente: elaboración propia)	34
Figura 11. Mapa categorizado de Aportes de PT por subcuenca (kg/ha/año), promedio de sep/2017-jul/2018-nov/2018 (Fuente: elaboración propia)	35
Figura 12. Mapa categorizado de Aportes de NT por subcuenca (kg/ha/año) para muestreo de sep/2017 (Fuente: elaboración propia)	36



Figura 13. Mapa categorizado de Aportes de NT por subcuena (kg/ha/año) para muestreo de jul/2018 (Fuente: elaboración propia)	37
Figura 14. Mapa categorizado de Aportes de NT por subcuena (kg/ha/año) para muestreo de nov/2018 (Fuente: elaboración propia)	38
Figura 15. Mapa categorizado de Aportes de NT por subcuena (kg/ha/año), promedio de sep/2017-jul/2018-nov/2018 (Fuente: elaboración propia)	39
Figura 16. Comparativa coeficientes de exportación de NT según uso/cobertura (Literatura / Modelación) (kg/ha/año).....	40
Figura 17. Comparativa coeficientes de exportación de PT según uso/cobertura (Literatura / Modelación) (kg/ha/año).....	41
Figura 18. Comparativa coeficientes de exportación de NT según subcuena (desde muestreo / Modelación)	42
Figura 19. Comparativa coeficientes de exportación de PT según subcuena (desde muestreo / Modelación) (kg/ha/año).....	43
Figura 20. Histograma Coeficientes de correlación para uso Terrenos húmedos	46
Figura 21. Histograma Coeficientes de correlación para uso Bosque Nativo	47
Figura 22. Histograma Coeficientes de correlación para uso Plantaciones forestales.....	48
Figura 23. Histograma Coeficientes de correlación para uso Glaciares y nieves	49
Figura 24. Propuesta de distribución de sitios de muestreo de suelos (Usos de suelo según Edáfica -MMA, 2018)	52
Figura 25. Distribución puntos de muestreo de suelos (jun/2020) (Usos de suelo desde Edáfica – MMA, 2018)	54
Figura 26. Promedio de densidad aparente según Uso (g/cm^3)	59
Figura 27. Promedio de contenido de carbono orgánico según Uso (%).....	59
Figura 28. Promedio de relación C/N según Uso	59
Figura 29. Nitrógeno total (%)	60
Figura 30. Nitrógeno disponible según Uso (mg/kg).....	60
Figura 31. Nitrógeno soluble según Uso (mg/l)	60
Figura 32. Fósforo total según Uso (%).....	61
Figura 33. Fósforo disponible según Uso (mg/kg).....	61
Figura 34. Fósforo soluble según Uso (mg/l)	61
Figura 35. Flujo de trabajo para una simulación hidrológica con SWAT	64
Figura 36. Principales componentes del modelo EPRO	68
Figura 37. Diagrama de flujo simplificado del modelo.....	69
Figura 38. Cargas anuales de NT, según microcuena y uso de suelos.....	93
Figura 39. Cargas anuales de PT, según microcuena y uso de suelos	93
Figura 40. Comparación de medias mediante análisis de varianza de Coeficientes de exportación de N y P por año climático. Las barras muestran el intervalo de confianza del 95% y las letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas.....	96
Figura 41. Comparación de medias mediante análisis de varianza de Coeficientes de exportación de N y P por pendiente. Las barras muestran el intervalo de confianza del 95% y las letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas.....	97



Figura 42. Comparación de medias mediante análisis de varianza de Coeficientes de exportación de N y P por uso de suelo. Las barras muestran el intervalo de confianza del 95% y las letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas.....	98
Figura 43. Valores mínimos, máximos y promedios de valores de coeficientes de exportación de nitrógeno total según uso de suelos	110
Figura 44. Valores mínimos, máximos y promedios de valores de coeficientes de exportación de fósforo total según uso de suelos	110
Figura 45. Mapa de pendientes (%)(Fuente: elaboración propia desde modelo digital Alos Palsar).....	112
Figura 46. Mapa de Series y Fases de suelos (Fuente: elaboración propia con datos CIREN (2002) y Edáfica (2013)).....	114
Figura 47. Histograma (%) de superficies de suelos (CIREN, (2002)) según subcuenca.....	115
Figura 48. Histograma de superficies (%) de suelos (Edáfica) según subcuenca	116
Figura 49. Coeficiente de exportación de N, año normal (kg/ha/año) (EPROaj).....	213
Figura 50. Coeficiente de exportación de N, año lluvioso (kg/ha/año) (EPROaj)	215
Figura 51. Coeficiente de exportación de N, año seco (kg/ha/año) (EPROaj)	216
Figura 52. Coeficiente de exportación de N, año normal (mg/l) (EPROaj)	217
Figura 53. Coeficiente de exportación de N, año lluvioso (mg/l) (EPROaj)	218
Figura 54. Coeficiente de exportación de N, año seco (mg/l) (EPROaj)	219
Figura 55. Coeficiente de exportación de P, año normal (kg/ha/año) (EPROaj)	220
Figura 56. Coeficiente de exportación de P, año lluvioso (kg/ha/año) (EPROaj).....	221
Figura 57. Coeficiente de exportación de P, año seco (kg/ha/año) (EPROaj)	222
Figura 58. Coeficiente de exportación de P, año normal (mg/l) (EPROaj)	223
Figura 59. Coeficiente de exportación de P, año lluvioso (mg/l) (EPROaj).....	224
Figura 60. Coeficiente de exportación de P, año seco (mg/l) (EPROaj).....	225

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Paisaje asociado a sitio 1	228
Fotografía 2. Detalle uso de suelo cobertura de bosque nativo	229
Fotografía 3. Sección de control corte 1	230
Fotografía 4. Paisaje asociado a sitio 2	232
Fotografía 5. Paisaje asociado a sitio 2	232
Fotografía 6. Sección de control sitio 2.....	233
Fotografía 7. Paisaje asociado a sitio 3	235
Fotografía 8. Sección de control corte 3.....	236
Fotografía 9. Paisaje asociado a sitio 4	238
Fotografía 10. Sección de control corte 4.....	238
Fotografía 11. Paisaje asociado a sitio 5	240
Fotografía 12. Sección de control corte 5.....	240
Fotografía 13. Paisaje asociado a sitio 6	242
Fotografía 14. Sección de control corte 6.....	243
Fotografía 15. Paisaje asociado a sitio 7	245
Fotografía 16. Sección de control corte 7.....	246
Fotografía 17. Paisaje asociado a sitio 8	248
Fotografía 18. Sección de control corte 8.....	249
Fotografía 19. Sección de control corte 9.....	252
Fotografía 20. Corte de camino en donde se aprecia la secuencia de horizontes y de depósitos volcánicos del material parental	252
Fotografía 21. Paisaje asociado a sitio 10	254
Fotografía 22. Sección de control corte 10.....	255
Fotografía 23. Paisaje asociado a sitio 11	257
Fotografía 24. Sección de control corte 11.....	258
Fotografía 25. Paisaje asociado a sitio 12	260
Fotografía 26. Sección de corte calicata 12	261
Fotografía 27. Paisaje asociado a sitio 13	263
Fotografía 28. Sección de corte calicata 13	264
Fotografía 29. Paisaje asociado a sitio 14	266

1 INTRODUCCIÓN

El impacto antropogénico sobre los ciclos biogeoquímicos a escala local y global en los ecosistemas terrestres ha llegado a constituir en las últimas décadas un serio problema ambiental. El cambio de uso y cobertura del suelo altera considerablemente el balance energético de la tierra y los ciclos biogeoquímicos (Cárdenas, 2007).

La disminución de la vegetación provoca un incremento en las tasas de sedimentos en suspensión, nitrógeno (N) y fósforo (P) total en el escurrimiento de las aguas superficiales, principalmente en los lugares que son dedicados a la agricultura o pastoreo intensivo (Heathwaite *et al.* 1990; citado en Méndez, 2018). Sumado a ello se destaca la conversión de bosques nativos a plantaciones exóticas de rápido crecimiento, donde la sustitución de vegetación nativa se asocia con la tala de ésta, ocasionando un impacto sobre la calidad de las aguas de los cursos y cuerpos de agua cercanos, por medio de la remoción de la biomasa, erosión del suelo y la mineralización acelerada del nitrógeno (Oyarzun *et al.* 2007; Méndez, 2018).

Actualmente la capacidad de carga crítica anual del Lago Villarrica se encuentra superada entre 2,0 y 3,4 veces para nitrógeno y entre 1,3 y 2,2 veces para fósforo, lo que sustenta la necesidad de aplicar acciones y medidas en toda la cuenca del lago, incluyendo sus riberas y afluentes (MMA, 2017). Diversos estudios han identificado y analizado las emisiones de las principales fuentes emisoras de nutrientes al Lago Villarrica ubicadas en la cuenca hidrográfica y ha desarrollado modelos matemáticos para estimar la magnitud de la emisión de cada una de estas.

Estudios elaborados por la Universidad Austral de Chile ("Diagnóstico de la calidad de las aguas del Lago Villarrica", 2008), el Ministerio del Medio Ambiente ("Análisis General del Impacto Económico y Social de la Norma del Lago Villarrica", 2011) y la Universidad Católica de Temuco ("Análisis de la Carga de Nutrientes de las Subcuenas al Lago Villarrica y Estudio de Escenarios de Simulación", 2012), han planteado que los principales aportes de nutrientes al Lago provienen de las descargas de residuos líquidos tratados o semi tratados de las pisciculturas, la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Pucón, las descargas de aguas servidas crudas de Curarrehue al Río Trancura, los pozos y fosas sépticas ubicadas en el borde del Lago y en las riberas de sus afluentes, y el arrastre de nutrientes por escorrentía provenientes de praderas agrícolas sobre-fertilizadas (MMA, 2017).

La determinación de cargas de nutrientes o contaminantes desde fuentes difusas son las más difíciles de evaluar, ya que están afectadas por numerosos factores variables en el espacio y en el tiempo (Oyarzún *et al.* 1997). Los estudios solicitados por el Ministerio del Medio Ambiente han permitido determinar que el aporte de nutrientes proveniente de fuentes difusas asociadas a diversos usos de suelo (tales como suelos silvoagropecuarios, urbanos, bosque nativo, etc.), asociado a procesos hidrológicos de precipitación y escorrentía, tiene una participación relevante a considerar en el balance de nutrientes del Lago. En particular, el estudio llevado a cabo por la Universidad de la Frontera (UFRO, 2020) concluyó que, del total de fuentes de emisión catastradas y evaluadas, las fuentes difusas y pisciculturas en conjunto representan el 90,8 % de las emisiones de nitrógeno total y el 93,5 % de las emisiones de fósforo total. Las fuentes difusas estarían aportando con un 42,0 % del nitrógeno y un 55,8 % del fósforo (MMA y UFRO, 2020).

En este sentido, cobra relevancia identificar los mayores aportes de cargas de nutrientes desde los diferentes usos de suelo en la cuenca del Lago Villarrica. Por ello, el Ministerio del Medio Ambiente llamó a licitación pública del contrato denominado: COEFICIENTES DE EXPORTACIÓN DE NUTRIENTES SEGÚN USOS DE SUELO EN LA CUENCA DEL LAGO VILLARRICA COMO APOYO AL PROYECTO DEFINITIVO DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DEL LAGO VILLARRICA", cuyo objetivo principal es determinar coeficientes de exportación (en unidades de concentración) de nutrientes (fósforo y nitrógeno) asociados a los usos de suelo presentes en la cuenca del lago Villarrica (ingreso de todos los afluentes que drenan al lago) a partir de mediciones de la composición de determinados tipos de suelo (series de suelo) y modelación matemática semi o espacialmente distribuida. Con la finalidad de lograr un mejor ajuste de los modelos matemáticos construidos, calibrados y validados, se requiere realizar un estudio que caracterice con mayor detalle las particularidades de los suelos de la cuenca del lago Villarrica y su capacidad de liberar nutrientes.

El presente informe corresponde al tercer informe y final del Proyecto y da cuenta de los resultados obtenidos en relación al objetivo específico v y vi, que se detallan a continuación:

- iv. A partir de herramientas de modelación matemática, como SWAT (Soil & Water Assessment Tool) u otra equivalente, determinar coeficientes de exportación de nutrientes en diversos escenarios de precipitación, para cada uso o cobertura de suelo relevante en la cuenca.
- v. En base a los coeficientes modelados, realizar una estimación de la carga anual de nutrientes proveniente de cada tipo de fuentes difusas asociada a los usos de suelo muestreados.

2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1 Objetivo General

Determinar coeficientes de exportación (en unidades de concentración) de nutrientes (fósforo y nitrógeno) asociados a los usos de suelo presentes en la cuenca del lago Villarrica (ingreso de todos los afluentes que drenan al lago) a partir de mediciones de la composición de determinados tipos de suelo (series de suelo) y modelación matemática semi o espacialmente distribuida.

2.2 Objetivos Específicos

- i. Realizar una recopilación bibliográfica acerca de coeficientes de exportación de nutrientes, determinados tanto a nivel nacional e internacional, y efectuar un análisis de los valores empleados en la modelación de fuentes difusas de la cuenca del lago Villarrica.
- ii. Diseñar un plan de muestreo eficiente y representativo de la composición físico—química de los suelos del área de estudio para una adecuada descripción y modelación de las combinatorias de usos y tipos de suelos predominantes en la cuenca del lago Villarrica.
- iii. Realizar colecta de muestras de suelo, de acuerdo con el diseño de muestreo propuesto en el objetivo b), y realizar análisis de laboratorio de las mismas.
- iv. A partir de herramientas de modelación matemática, como SWAT (Soil & Water Assessment Tool) u otra equivalente, determinar coeficientes de exportación de nutrientes en diversos escenarios de precipitación, para cada uso o cobertura de suelo relevante en la cuenca.
- v. En base a los coeficientes modelados, realizar una estimación de la carga anual de nutrientes proveniente de cada tipo de fuentes difusas asociada a los usos de suelo muestreados.

3 METODOLOGÍA DE ACUERDO CON ETAPAS Y ACTIVIDADES DEL ESTUDIO

3.1 Actividades a realizar, objetivo específico i)

- a. Recopilar y sistematizar publicaciones científicas y de divulgación general, guías u otra documentación técnica a nivel nacional e internacional que contenga información de exportación de nutrientes para diversos usos de suelo presentes a nivel nacional. Considera la información levantada en los estudios previos en relación con el Plan de descontaminación de la cuenca del Lago Villarrica.
- b. Realizar un análisis crítico acerca de la aplicabilidad de los valores de coeficientes de exportación de nutrientes utilizados en los estudios anteriores en la cuenca del lago Villarrica según la información recopilada en la actividad.

3.2 Actividades a realizar, objetivo específico ii)

- a) Recopilar y validar con la Contraparte Técnica la información georreferenciada asociada a los distintos usos de suelo de la cuenca del lago Villarrica.
- b) Recopilar y validar con la Contraparte Técnica la información georreferenciada asociada a los distintos tipos de suelo de la cuenca del lago Villarrica (según las propiedades físicas y características de cada tipo).
- c) Determinar la combinatoria de usos y tipos de suelo existente en base a la información recopilada y validada.
- d) Priorizar, en mutuo acuerdo con la Contraparte Técnica las combinaciones de usos y tipos de suelo predominantes en la cuenca y más relevantes en la exportación de nutrientes.
- e) Proponer un Plan de Muestreo de suelos de la cuenca. Este plan debe incluir como mínimo:
 - Puntos a monitorear
 - N° de muestras a tomar por punto
 - Ensayos y métodos a emplear en el muestreo
 - Materiales a utilizar
 - Planificación y calendario de las actividades a ejecutar en terreno

3.3 Actividades a realizar, objetivo específico iii)

Objetivo Específico iii) Realizar colecta de muestras de suelo, de acuerdo con el diseño de muestreo propuesto en el objetivo b), y realizar análisis de laboratorio de las mismas.

Para el cumplimiento de los objetivos del estudio se indica según bases:

- a) Coordinar con la Contraparte Técnica el calendario ajustado de las actividades asociadas a la campaña de terreno
- b) Solicitar al Ministerio del Medio Ambiente una carta de apoyo a la realización del estudio para facilitar colaboración de los propietarios de terrenos donde se deban realizar muestreos de acuerdo con el Plan de Muestreo desarrollado en la actividad 3.1.2.5
- c) Realizar la campaña de terreno y levantar muestras de suelo propuestas de acuerdo al Plan de Muestreo.
- d) Enviar muestras recopiladas a análisis de laboratorio
- e) Recibir y sistematizar la información de las muestras analizadas por los laboratorios. La información sistematizada debe ser entregada en una base de datos editable cuyo formato debe ser acordado con la Contraparte Técnica.

3.4 Actividades a realizar, objetivo específico iv)

Objetivo Específico iv) A partir de herramientas de modelación matemática, como SWAT (Soil & Water Assessment Tool) u otra equivalente, determinar coeficientes de exportación de nutrientes en diversos escenarios de precipitación, para cada uso o cobertura de suelo relevante en la cuenca.

Para el cumplimiento de los objetivos del estudio, se realizará:

- a) Recopilar y validar junto a la Contraparte técnica los inputs relevantes para la modelación matemática. Entre las que destacan: precipitaciones en la zona, modelo de elevación digital, tipo de suelo, entre otras.
- b) Realizar un análisis crítico de los modelos matemáticos semi o espacialmente distribuidos disponibles para estimar los coeficientes de exportación de nutrientes en base a la información disponible y la información generada en este estudio, además de las limitaciones de tiempo para el cumplimiento de los objetivos.
- c) Seleccionar la herramienta matemática computacional que permita cumplir los objetivos de manera óptima.

- d) Realizar una modelación matemática a través de la (s) herramienta (s) computacionales seleccionadas para obtener coeficientes de exportación de nutrientes (fósforo y nitrógeno total), para cada uso de suelo.
- e) Analizar y validar los resultados obtenidos por la modelación

3.5 Actividades a realizar, objetivo específico v)

Objetivo Específico v) En base a los coeficientes modelados, realizar una estimación de la carga anual de nutrientes proveniente de cada tipo de fuentes difusas asociada a los usos de suelo muestreados. Para el cumplimiento de los objetivos del estudio, los resultados de las actividades precedentes serán sensibilizados de tal forma de dar cumplimiento a lo planteado en las bases de licitación:

- a) En función de los coeficientes modelados, realizar una estimación de carga de nutrientes generado por cada tipo de suelo muestreado debido al escurrimiento superficial de la cuenca aportante al lago.
- b) Realizar análisis de sensibilidad de los resultados en torno a los parámetros de entrada del modelo (composición de suelos, precipitación, etc.).

4 RESULTADOS

4.1 Revisión bibliográfica

Diversos estudios han demostrado importantes relaciones entre el uso de suelo y el cambio en la cobertura de la tierra con desbalances ecológicos que llevan a procesos de eutrofización, gatillados por aumento en las cargas de nitrógeno y fósforo. Estos cambios en el uso de suelo apuntan principalmente hacia actividades silvoagropecuarias y urbanismo (Cárdenas, 2007; Fuentes *et al.* 2017), lo que conlleva una importante pérdida de la cobertura vegetal original junto con los procesos ecosistémicos asociados.

Ante una baja perturbación antrópica, los bosques templados del centro sur de Chile han sido identificados como promotores de ecosistemas oligotróficos. Los principales lagos de esta zona son generalmente caracterizados por una baja productividad primaria debido al efecto co-limitante de nitrógeno y fósforo. Específicamente, en esta área los principales cursos de agua dominados por bosques templados bien conservados reportan bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo, especialmente en sus formas inorgánicas (Fuentes *et al.* 2017).

Sin embargo, una fracción significativa del área originalmente dominada por bosque templado registra altas tasas de degradación, deforestación y conversión a otros usos, principalmente áreas urbanas, agricultura y plantaciones forestales de rápido crecimiento (Fuentes *et al.* 2017). La destrucción del bosque a través de la conversión a plantaciones y terrenos agrícolas ganaderos, uso del fuego y prácticas de extracción no sustentables, constituye un problema que aumenta la degradación en la eco-región de los bosques templados valdivianos (Cárdenas, 2007). Ya se evidencia una acelerada eutrofización relacionada con los cambios de uso de suelo y actividades productivas que modifican el ecosistema, como en el lago Budi, Lanalhue, y Vichuquén (Contreras, 2010; citado en Méndez, 2018).

La mayoría de los cambios de uso de suelo ocurren en áreas de menor altitud y de menor pendiente, que tienden a ubicarse entre el medio de la cuenca y la desembocadura, principalmente cerca de las vías fluviales. Sin embargo, se espera que el cambio de uso de suelo, en especial hacia agricultura, ganadería y plantaciones forestales se expanda a zonas con pendientes cada vez mayores (mayores a 25 %). Como resultado de estos cambios en el paisaje, la capacidad de los bosques templados para actuar como filtro natural se reducirá, causando cambios en la calidad del agua de los ríos y por tanto de los lagos (Fuentes *et al.* 2017).

En general, la actividad silvoagropecuaria provoca externalidades negativas; ha desencadenado la erosión de suelos, reducción de fertilidad, inundaciones y transporte de sedimentos, (Muñoz, 2017), contaminación de suelos, pérdida de biodiversidad, entre otras. Uno de los problemas más frecuentes que afectan la calidad del agua se atribuye al exceso de nutrientes que se mueven por escorrentía superficial y flujo subterráneo hacia esteros, ríos, lagos y océanos, afectando la calidad de sus aguas (Méndez, 2018). En muchos países del hemisferio norte la agricultura ha llegado a ser la fuente de contaminación difusa más importante, ya que elevados niveles de sedimentos, nutrientes y pesticidas están ingresando a los cauces de agua y lagos (Vought *et al.* 1994; citado en Oyarzún *et al.* 1997).

Cabe mencionar que, en relación a los aumentos en las cargas de nutrientes en cuencas hidrográficas, si bien el cambio de uso del suelo tiene gran relevancia, numerosos factores fisiográficos variables en el espacio y en el tiempo también inciden, los que se discutirán más adelante.

4.1.1 Nitrógeno

El nitrógeno en el suelo se puede encontrar en su forma orgánica, que está presente en la materia orgánica, el humus y los organismos vivos. El nitrógeno inorgánico (alrededor del 2% del N total del suelo) se puede encontrar en forma de nitrato (NO_3^-), amoníaco (NH_4^+) o nitrito (NO_2^-), siendo las primeras 2 formas las absorbibles por las plantas, en especial el nitrógeno amoniacal. El ciclo del nitrógeno está controlado principalmente por procesos biológicos, derivados de la actividad microbiana del suelo, que afecta la mayoría de las formas minerales y orgánicas del nitrógeno (Aranguren, 2018).

Un aspecto central del ciclo biogeoquímico del nitrógeno es la mineralización biológica del nitrógeno contenido en la materia orgánica del suelo y detritus, proceso que libera nitrógeno amoniacal. El amonio es en parte absorbido por las plantas y otra parte es oxidada por las bacterias hacia nitrato (NO_3^-). El excedente de nitrato que no es tomado por las plantas es llevado hacia los cursos de agua o reducido por las bacterias desnitrificadoras, principalmente a N_2 atmosférico. La desnitrificación cierra el ciclo del nitrógeno, el cual comenzó por la fijación biológica o industrial de N_2 hacia formas disponibles para la biota (Cárdenas, 2007).

El contenido total de nitrógeno en el suelo se ve afectado por muchos factores diferentes, como el clima y la vegetación, que está directamente relacionado con la actividad de los microorganismos; la topografía, la pendiente y su orientación, el tipo de suelo (contenido de arcilla) y el manejo del suelo. Por otra parte, hay tres formas principales en que el nitrógeno se importa del exterior al suelo: fijación biológica de N_2 , depositación atmosférica y aplicación de fertilizantes. (Aranguren, 2018).

En las últimas décadas el ciclo natural del nitrógeno se ha visto fuertemente afectado por actividades antropogénicas. Los procesos de combustión de hidrocarburos, actividades agrícolas e industriales, han influenciado el ciclo global del nitrógeno movilizandocantidades de nitrógeno semejantes a los procesos naturales, causando serios problemas ambientales (Cárdenas, 2007).

Existen 3 aspectos principales a escala global asociados a un desbalance del ciclo biogeoquímico del nitrógeno: (1) el N_2O , un potente gas invernadero que se ha incrementado en un 0,25% anualmente en las últimas décadas, (2) aumentos en la precipitación de amonio y nitrato que promueve la acidificación del suelo y del agua, y (3) incrementos de amonio y nitrato en la escorrentía y agua subterránea, que resulta en la eutrofización de los cuerpos de agua (Henriksen y Hessen 1997; citado en Cárdenas, 2007).

Por otra parte, muchos ecosistemas terrestres son deficientes en nitrógeno y consecuentemente tienen una pronunciada capacidad de retención de nitrógeno inorgánico. Habitualmente se considera que los bosques templados, como los nativos del sur de Chile, son deficientes en nitrógeno, y por tanto, el crecimiento de los árboles está generalmente limitado por este nutriente. En el caso de los bosques de Nothofagus de la Cordillera de los Andes, las concentraciones de nitrógeno en el agua de escorrentía son

extraordinariamente pequeñas, indicando una fuerte retención por parte del suelo y vegetación en estos ecosistemas. La capacidad de la retención de nitrógeno de una cuenca es controlada por la asimilación biológica de la vegetación, suelo, microbiológica, y por parámetros y procesos hidrológicos. Así, el nitrógeno acumulado en tejidos microbianos y materia orgánica del suelo de ecosistemas boscosos puede representar un componente significativo en la retención de nitrógeno de las cuencas (Cárdenas, 2007). Otros estudios también sugieren una fuerte retención de nitrógeno inorgánico en bosques nativos, en cuencas de baja contaminación (Godoy *et al.* 2001, Hedin *et al.* 1995; citado en Godoy *et al.* 2001).

No obstante, se ha reportado que el bosque nativo y las plantaciones forestales del valle central del sur de Chile estarían sometidos a mayores cargas de nitrógeno y que las concentraciones y flujo de nitrato y amonio en las precipitaciones serían relativamente mayores (Oyarzún *et al.* 2002, Godoy *et al.* 1999; 2001; ambos citados en Cárdenas, 2007). Es posible que una depositación seca de compuestos nitrogenados (especialmente nitrato) proveniente de un consumo creciente de fertilizantes en la agricultura y aumentos sostenidos de la producción ganadera-lechera, con el consiguiente incremento en la producción de desechos, estén afectando los ecosistemas boscosos de las zonas cercanas, debido al transporte de las masas de aire provenientes del oeste (Cárdenas, 2007).

Habitualmente los bosques y los suelos que los sustentan son eficientes filtros pudiendo interceptar y retener altas cantidades de compuestos nitrogenados vía entradas atmosféricas. No obstante, cuando las tasas de depositación de nitrógeno exceden la capacidad de consumo, y/o el daño de las raíces de los árboles causado por la acidificación reduce la capacidad de absorción y transporte, puede ocurrir que las concentraciones de nitrato y amonio (así como de otros componentes) en las aguas superficiales y subterráneas se incrementen (Cárdenas, 2007).

Los aportes atmosféricos pueden ser más o menos importantes según la distancia al mar y la cercanía de fuentes de contaminación antrópica de la atmósfera (fenómeno de las lluvias ácidas; Pizzolon, 1998). La cercanía a centros urbanos, industrias o áreas agrícolas, además de cenizas volcánicas o de incendios y el polvo en suspensión, entre otros, afectará la carga de nutrientes contenidas en las precipitaciones.

Las especies arbóreas tienen distinta capacidad para atrapar contaminantes y diversas vías estratégicas para asimilar y consumir nitrógeno proveniente de la depositación atmosférica. Diversas investigaciones indican que, en general, las especies caducifolias son menos eficientes en capturar depositación seca de compuestos nitrogenados inorgánicos que las coníferas, debido a que éstas últimas son siempreverdes y sus acículas tienen mayor índice de área foliar. Por otra parte, la capacidad de neutralización o capacidad buffer frente a la depositación es mayor en los bosques caducifolios que en los bosques de coníferas. Así, el bosque nativo tendría una mayor capacidad de retener nitrógeno y carbono, en comparación con las plantaciones exóticas, debido a su mayor biodiversidad y riquezas de sotobosque (Cárdenas, 2007). Además, se ha planteado que el tipo de bosque nativo también tiene relación con la capacidad de retención de nutrientes, siendo las especies latifoliadas muy eficientes en su retención y, por lo tanto, contribuirían en retardar los procesos de eutrofización de cuerpos de agua (Soto & Campos 1995; citado en Oyarzún *et al.* 1997).

No obstante, la respuesta potencial en el ciclo del nitrógeno en los bosques prístinos y plantaciones forestales en el sur de Chile ante una creciente tasa de depositación aún no es clara. Por otra parte, al

evaluar los efectos de la depositación de nitrógeno en ecosistemas boscosos también es relevante cuantificar la contribución de nitrógeno orgánico en el balance, ya que las pérdidas de nitrógeno orgánico disuelto pueden constituir una importante entrada de nitrógeno a los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Ciertas investigaciones han reportado que los bosques nativos prístinos del sur de Chile sometidos a bajas cargas de nitrógeno atmosférico exportan vía escorrentía superficial principalmente nitrógeno orgánico (Andersen & Gundersen 2000, Perakis & Hedin 2001, 2002, Van Bremen 2002; citados en Cárdenas, 2007).

Por otra parte, también se ha documentado concentraciones mayores de $N-NO_3$ dentro del bosque nativo (bosque decíduo de *Nothofagus pumilio* y bosque siempreverde de *Nothofagus betuloides*), especialmente en el flujo del tallo, en comparación con las concentraciones en las precipitaciones totales, lo que sugiere una fijación biológica de nitrógeno en el dosel posiblemente debido a la presencia de líquenes epífitos de los géneros *Peltigera*, *Pseudocyphellaria* y *Sticta* viviendo en los troncos, aunque esta mayor concentración disminuyó en la escorrentía. (Godoy *et al.* 2001). Las talófitas han sido indicadas como una fuente importante de enriquecimiento de nitrógeno y carbono en los bosques del sur de Chile (Galloway, 1996; citado en Godoy *et al.* 2001). No obstante, otros investigadores han sugerido disminuciones significativas en la concentración de nitrógeno (ambos NO_3^- y NH_4^+) en relación con la precipitación incidente en el flujo de tallo en coníferas, atribuido en parte a los líquenes epífitos y microorganismos asociados. Además, el amonio podría convertirse en nitrato por bacterias epífitas o en nitrógeno orgánico por epífitas o líquenes (Houle *et al.* 1999, Reiners & Olson, 1984; citados en Godoy *et al.* 2001), lo que explicaría las menores concentraciones de amonio en la precipitación directa y en el flujo de tallo en comparación con la precipitación total en el estudio de Godoy y colaboradores (2001).

Por otra parte, otro estudio en el norte de España identificó que las relaciones de precipitación directa / precipitación total para bosques caducifolios y de coníferas mostraron que el NH_4^+ representa el ion principal en el enriquecimiento del nitrógeno inorgánico, especialmente en un entorno rural, mientras que el enriquecimiento de NO_3^- fue mayor cerca de los centros industriales, debido a la depositación seca (Amizaga *et al.* 1997; citado en Godoy *et al.* 2001).

La caracterización química de las precipitaciones del sur de Chile (40° a 52° S) ha resultado en una estimación de la tasa de nitrógeno inorgánico menor a $1 \text{ kg N / ha / año}$ en la Cordillera de la Costa (Hedin *et al.* 1995; citado en Cárdenas, 2007) y menor a $5 \text{ kg N / ha / año}$ en la Cordillera de los Andes (Godoy *et al.* 1999; citado en Cárdenas, 2007). Sin embargo, debido al incremento de las actividades agrícolas y urbanas se podría esperar un aumento creciente en estas tasas de depositación especialmente en el Valle Central y Precordillera Andina.

En cuanto a otros usos de suelo, el estudio de Oyarzún y otros investigadores (1997) reportó que el transporte anual de nitrógeno total en las cuencas con bosque nativo es significativamente menor que las cargas exportadas por las cuencas con praderas ganaderas o praderas con agricultura limitada. Así también identificó que las concentraciones de $N-NO_3$ representaron los valores más altos de todas las formas de nitrógeno exportado, especialmente en las microcuencas que tienen un uso del suelo predominante de praderas ganaderas y praderas con agricultura limitada. Mientras que las concentraciones de nitrógeno orgánico fueron relativamente mayores en la microcuenca con cobertura de bosque nativo, aun así, las concentraciones de $N-NO_3$ fueron las más dominantes. El estudio de Cárdenas (2007) reportó resultados

similares en cuanto a menor transporte anual de nitrógeno total en cuencas con bosque nativo, pero con mayor preponderancia de nitrógeno orgánico, aunque en éste se hace referencia a otros estudios realizados en cuencas con cobertura de bosque nativo donde si bien el nitrógeno orgánico exportando es mayor que el nitrógeno inorgánico, la fracción inorgánica estaría dominada por N-NH_4 . En estudios realizados en bosque nativo en la Cordillera de Piuché también se ha identificado que predominan las pérdidas de nitrógeno orgánico disuelto y las concentraciones de N-NO_3 fueron excepcionalmente bajas (Hedin *et al.* 1995; citado en Oyarzún *et al.* 1997).

Es esperable que los niveles de nitrógeno inorgánico deberían ser naturalmente bajos en cauces que drenan bosques templados sin contaminación atmosférica. No obstante, los altos niveles de nitrato encontrados por algunos estudios permiten sugerir que ello podría tener relación con el material geológico parental, aportes por depositación de las nubes que constituyen un aporte adicional importante de N-NO_3 y N-NH_4^+ en los ecosistemas del sur de Chile, o bien por aportes de fuentes antrópicas vía polvo atmosférico provenientes de los campos agrícolas y quema de vegetación (Oyarzún *et al.* 1997).

En el caso de la agricultura intensiva, el alto transporte de compuestos nitrogenados, principalmente nitrato, es típico para cauces de agua que drenan estas áreas, debido al uso extensivo de fertilizantes. Concentraciones sobre 10 mg/L de nitrato son comunes en tales cauces. En general, el transporte de N-NO_3 en cuencas agrícolas usualmente representa entre el 80-90% del nitrógeno total (Oyarzún *et al.* 1997).

4.1.2 Fósforo

A diferencia del nitrógeno, el fósforo (P) no tiene fase gaseosa, y se deriva principalmente de la meteorización de los materiales geológicos (Aranguren, 2018). El fósforo proviene de las apatitas y depósitos de fosfato natural desde donde es liberado a través de procesos de meteorización, lixiviación, erosión y extracción industrial como fertilizante. Los aportes de fósforo por precipitación son, en general bajos exceptuándose las precipitaciones en sitios cercanos a fuentes contaminantes o muy afectadas por las quemadas (Sequera *et al.* 1991; citado en Méndez, 2018).

Al igual que el nitrógeno, el fósforo en el suelo está presente tanto en formas orgánicas como inorgánicas, aunque sus formas son diferentes a las del nitrógeno. Se clasifica en cinco grupos: fósforo inorgánico no lábil, P lábil adsorbido por las partículas del suelo, P de biomasa asociado con organismos vivos, P orgánico asociado con materia orgánica del suelo no viva y P disuelto en formas inorgánicas y orgánicas. El fósforo se caracteriza por concentraciones solubles muy bajas debido a su fuerte adsorción a las superficies de partículas del suelo. Las plantas absorben el P como H_2PO_4^- o HPO_4^{2-} , dependiendo del pH del suelo (Aranguren, 2018).

Como el fósforo está estrechamente relacionado con la materia orgánica, la mayoría del fósforo orgánico se encuentra en la capa superior del suelo, mientras que su presencia disminuye con la profundidad (Aranguren, 2018). Además, los microorganismos presentes en el suelo pueden apropiarse del fósforo soluble y transformarlo en complejos orgánicos insolubles. El fósforo soluble procedente de fertilizantes o en forma natural en el suelo es convertido rápidamente a formas menos disponibles por el proceso de

fijación, haciendo que se mueva muy poco en la mayoría de los suelos, dando como resultado que una pequeña parte sea perdida por lavado (Biavati, sin año; citado en Méndez, 2018).

En suelos con baja disponibilidad de fósforo, las plantas y los microorganismos compiten por este nutriente en la solución del suelo. Ello favorece un rápido ciclaje a través de los procesos de mineralización e inmovilización y en donde el fósforo orgánico constituye una fuente importante para suplir estas demandas (Tiessen *et al.* 1994, citado en Cárdenas, 2007).

En relación a la exportación de fósforo en microcuencas, la literatura ha sugerido que el sustrato geológico, tipo de suelo o la abundancia natural de fósforo en el suelo tendrían mayor incidencia que los diferentes usos de suelo, encontrando mayores diferencias entre microcuencas con sustrato geológico distinto que con usos de suelo diferentes (Oyarzún *et al.* 1997; Méndez, 2018). Los suelos procedentes de rocas ígneas y basalto son más ricas que las graníticas o las rocas sedimentarias. También se ha reportado una alta capacidad de retención de fosfatos de los suelos volcánicos (Pizzolon, 1998).

Las pérdidas anuales de fósforo estarían relacionadas con los diferentes tipos de suelo, encontrándose las menores concentraciones y pérdidas en cuencas con suelos arenosos donde la intensidad de la erosión es potencialmente menor, que en las cuencas donde predominan los suelos arcillosos (Procházková & Brink 1991; citado en Oyarzún *et al.* 1997).

Sin embargo, el ingreso de fósforo en los cuerpos de agua ha aumentado de manera notable en los últimos tiempos a consecuencia del uso creciente por el hombre y de la recuperación ineficaz de este elemento (Méndez, 2018). En aquellas microcuencas donde el uso predominante es agrícola ganadero la exportación de fósforo tiende a ser mayor, posiblemente dado el aumento en el uso de fertilizantes (como lo es en el caso de nitrógeno), especialmente en las praderas con alta producción de leche y carne.

El fósforo es transportado desde los suelos por escorrentía, erosión del suelo, lixiviación y flujo subsuperficial, siendo la escorrentía superficial el principal mecanismo de pérdidas de fósforo de los sistemas agrícolas. Durante los eventos de tormenta, cuando la concentración de sedimentos suspendidos en el agua de la corriente es mayor, se producen las mayores pérdidas de fósforo en partículas. En contraste con el nitrógeno, la lixiviación de fósforo no es común, ya que su concentración en solución es bastante baja en los suelos. Aun así, puede ocurrir. El tipo de suelo, el pH, las condiciones climáticas y el uso de fertilizantes son algunos factores que afectan la lixiviación de fósforo en la agricultura. Los drenajes subterráneos y los macroporos también influyen en el transporte de fósforo, promoviendo su lixiviación (Aranguren, 2018).

Borie y Rubio (2003, citado en Cárdenas, 2007) han encontrado en ecosistemas boscosos del sur de Chile, cantidades de fósforo menores que aquellas de terrenos agrícolas, aunque el fósforo orgánico supera el 50% del fósforo total al igual que en terrenos agrícolas. El estudio realizado por Oyarzún y colaboradores (1997) reportó que las microcuencas con bosque nativo exportaron anualmente cantidades significativamente menores de fósforo total que las microcuencas con praderas ganaderas. Por otra parte, en la cuenca con bosque nativo la exportación de fósforo en solución fue la vía más importante de transporte, lo que sugiere la predominancia de escurrimiento subsuperficial, ya que el flujo superficial es un mecanismo raramente observado en bosques, excepto en bosques deciduos durante períodos de lluvia de larga duración.

4.1.3 Exportación de nutrientes

La composición química del agua de un curso o cuerpo de agua va a venir determinada por varios factores concretos: la composición y cantidad de precipitación caída en la cuenca, geología de la cuenca y la solubilidad de las rocas o materiales, los suelos, vegetación terrestre, procesos hidrológicos, químicos, biológicos y finalmente la contaminación o vertidos de origen humano los cuales pueden influir directamente en las cargas de nutrientes obtenidas (Méndez, 2018).

La determinación de cargas desde fuentes difusas son las más difíciles de evaluar, ya que están afectadas por numerosos factores variables en el espacio y en el tiempo (Oyarzún *et al.* 1997). Para cuantificar los aportes desde fuentes difusas, la determinación de los coeficientes de exportación de nutrientes permite realizar una estimación representativa de la cantidad exportada para cada área de origen en la cuenca hidrográfica en relación a los usos de suelo (Méndez, 2018).

Este procedimiento se basa en el supuesto de que, en condiciones hidrológicas medias en una cuenca a lo largo del ciclo anual, una determinada actividad del uso del terreno exportará una carga relativamente constante de nutrientes por unidad de superficie a las aguas receptoras que drenan en dicho terreno (Vicente y Cruz-Pizarro, 2003).

Una manera de estimar estos coeficientes de exportación es la utilizada en el estudio realizado por Oyarzún y colaboradores (1997), donde los valores mensuales de nitrógeno y fósforo exportados por cada microcuenca fueron calculados combinando la descarga total de agua para el período mensual con la concentración de nitrógeno y fósforo en el agua medido en el punto medio del período. La exportación mensual de nitrógeno y fósforo para cada microcuenca fue entonces obtenida dividiendo el nitrógeno y fósforo exportado (mg/mes) por el área de la cuenca respectiva (m²). Entonces, estos resultados fueron sumados para el período de doce meses, para obtener el transporte anual (mg/m²/año).

No obstante, esta metodología enfrenta la dificultad en la obtención de coeficientes de exportación donde se presentan usos de suelo heterogéneos para una determinada cuenca. Por ello, la obtención de coeficientes de exportación para un determinado uso de suelo debiera considerar microcuencas con un uso específico o al menos de manera dominante. De lo contrario, no es posible cuantificar la exportación de nutrientes en una cuenca desde los distintos usos de suelo existentes.

Como ya se adelantó, diversos factores variables en el espacio y en el tiempo influyen en la exportación de nutrientes en las diferentes cuencas. Una de las herramientas más importantes en el análisis hídrico es el estudio de las características morfométricas, dado que permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico de una región y también como análisis espacial en el manejo y planificación de los recursos naturales. Al mismo tiempo, pueden proporcionar conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio y realizar comparaciones entre distintas cuencas hidrográficas (Méndez, 2018).

Estadísticamente se ha demostrado que el factor "área" es el más importante en las relaciones entre escurrimiento y las características de una cuenca. Esto se puede afirmar por el alto valor de los coeficientes de correlación cuando se grafica escurrimiento respecto al área. Pero hay otros parámetros que también

tienen su influencia en la escorrentía como la pendiente del afluente, la pendiente de la cuenca, la vegetación y la densidad de drenaje (Reyes *et al.* 2010; citado en Méndez, 2018).

El estudio de Aranguren (2018) identificó que las condiciones climáticas (precipitaciones y temperatura), los suelos (origen, textura, contenido de materia orgánica), la fertilización, la forma de las cuencas, la vegetación ripariana, la distribución de zonas improductivas (uso del suelo) y el drenaje subsuperficial afectan las dinámicas de nutrientes en las cuencas. En la exportación de nitrato, por ejemplo, los últimos tres factores citados serían los que desempeñan el papel más importante. Mientras que, en el caso de fósforo, la exportación estaría fuertemente relacionada con el movimiento de sedimentos, lo que a su vez se relaciona fuertemente con la forma de la cuenca.

En general, la exportación de nutrientes desde ecosistemas boscosos no alterados depende de la magnitud de las precipitaciones, sustrato geológico, tipo de vegetación, escorrentía superficial, y proximidad a fuentes antrópicas (Likens & Bormann 1995; citado en Oyarzún *et al.* 1997). Las menores cantidades de nutrientes exportados en los cauces que drenan cuencas con bosques nativos han sido atribuidas principalmente a: (a) mayores tiempos de residencia del escurrimiento subsuperficial en el suelo (dada la mayor infiltración y retención de agua en suelos ricos en materia orgánica), lo que permite la desnitrificación bajo condiciones saturadas, (b) la carencia de un escurrimiento superficial continuo, particularmente en la estación de crecimiento, y (c) la localización de áreas fertilizadas lejos de los cauces de agua (Yarbro *et al.* 1984; citado en Oyarzún *et al.* 1997). Los mayores tiempos de residencia del agua en el suelo están determinados porque los suelos bajo cobertura de bosque nativo presentan altos contenidos de materia orgánica, la que presenta una alta capacidad de retención de agua, que es una de las propiedades fundamentales del carbono orgánico en los suelos.

Por otra parte, el manejo del bosque y especialmente de las plantaciones afecta su balance hídrico, porque afecta el monto de agua que alcanza el suelo, la cantidad que se evapotranspira, la variación temporal y espacial del contenido de agua edáfica, y las tasas de percolación. Además, la tala rasa, produce un aumento de la escorrentía, lo que acelera la erosión del suelo y arrastre de sedimentos a los cursos y cuerpos de agua afectando su calidad físico-química (Cárdenas, 2007). El estudio de Cárdenas (2007) identificó que la retención anual de nitrógeno y fósforo total fue mayor en la cuenca con bosque nativo, comparada con las cuencas con plantaciones exóticas (*Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens*). El estudio llevado a cabo por Fuentes y otros investigadores (2017), donde se evaluó el cambio de uso del suelo en la exportación de nutrientes mediante la utilización de un modelo (“spatially explicit modelling” o N-SPECT), determinó que las concentraciones y exportaciones de nitrógeno y fósforo total tendieron a disminuir cuando la relación entre bosques nativos y usos antrópicos de la tierra (hectáreas en la cuenca) fue superior a 10:1. Cuando esta proporción disminuyó, las concentraciones de nutrientes tendieron a aumentar dramáticamente. También se encontró que la tala de bosques para la expansión agrícola en sitios de mayor pendiente se relacionó con un aumento significativo en las concentraciones de nitrógeno y fósforo. La remoción de la vegetación habitualmente provoca un incremento en las tasas de sedimentos en suspensión, nitrógeno y fósforo total en el escurrimiento superficial, particularmente en áreas intensivamente cultivadas o dedicadas al pastoreo (Heathwaite *et al.* 1990; citado en Oyarzún *et al.* 1997).

En el estudio realizado por Méndez (2018), las microcuencas de uso agropecuario presentaron los registros más altos de estimación de cargas de nitrógeno y fósforo exportadas, seguido de las microcuencas de monocultivo forestal y bosque nativo, estas últimas con valores significativamente más bajos. En dicho estudio se plantea que la condición de la cubierta vegetal influye directamente en la descarga de nutrientes, así como también la cantidad y la intensidad de precipitaciones. Las microcuencas de uso agropecuario tendrían una carga mayor de nutrientes asociado a aplicación de fertilizantes y a la presencia de animales.

Cabe tener en consideración que las microcuencas con mayor influencia de agricultura y ganadería constituyen las zonas con mayor densidad de población rural en comparación con microcuencas con bosque nativo y plantaciones forestales, lo que incide en mayor cantidad de fosas sépticas, mayor movilización y otros aspectos que también tienen relación con la exportación de nutrientes.

En el caso del estudio de Oyarzún y colaboradores (1997), donde se evaluó la exportación de nutrientes desde microcuencas con distinto uso de suelo aportantes del Lago Rupanco, se discute que los coeficientes de nitrógeno total exportados identificados para la microcuenca con praderas y agricultura limitada reflejan el escaso impacto de la agricultura. Seguramente debido a su limitada extensión en la cuenca y al hecho de que probablemente se utilicen escasos fertilizantes debido a que los predios más bien están constituidos por huertos de reducida superficie. En este sentido, es relevante distinguir entre agricultura intensiva y extensiva. Otros estudios para tierras con agricultura intensiva del norte de Europa, donde las entradas provienen principalmente de los fertilizantes químicos, han reportado coeficientes de exportación de 17 kg/ha/año (Kronvang *et al.* 1993; citado en Oyarzún *et al.* 1997) y de hasta 20-30 kg/ha/año (Jansson *et al.* 1994; citado en Oyarzún *et al.* 1997). Otros estudios realizados en Japón han llegado a identificar coeficientes de exportación mayores a 50 kg/ha/año (Shretsha *et al.* 2008; citado en Méndez, 2018).

En Cuadro 1 y Anexo 1 se presentan coeficientes de exportación para nitrógeno y fósforo total para diversos usos de suelo extraídos de la revisión bibliográfica. Cabe mencionar que el uso de suelo se ha categorizado en grandes grupos a modo de poder compararlos. En situaciones, los investigadores han reportado estos coeficientes para uso agrícola, por ejemplo, cultivo en hilera o cultivo no en hilera (Reckhow *et al.* 1980; citado en Lin, 2004), lo que fue categorizado como uso agrícola.

Diversos estudios han permitido evidenciar grandes diferencias en los coeficientes de exportación de nutrientes entre zonas estudiadas a nivel nacional y mundial, lo que permite comprender el alto rango de variabilidad de los coeficientes, donde las diferencias tienen un amplio rango con respecto a distintas zonas en estudio para un mismo nutriente. Además, cabe destacar que las principales limitaciones de estos estudios reconocen la dificultad en la obtención de coeficientes de exportación donde se presentan usos de suelo heterogéneos para una determinada cuenca. La influencia de actividades antrópicas y las restricciones de tiempo y presupuesto para monitorear la calidad del agua a escalas espaciales y temporales que permitan tener un mayor número de registros y variabilidad también limitan la obtención de coeficientes de exportación fidedignos (Méndez, 2018).

Por otra parte, aunque los valores de los coeficientes de exportación se informan ampliamente en la literatura, teniendo en cuenta la extensa variabilidad en el espacio y tiempo de las características de la

tierra, clima y prácticas de manejo (por ejemplo, suelos, pendientes, riegos, prácticas de labranza, precipitación y escorrentía, etc.), son necesarias estimaciones específicas de sitio y período de coeficientes de exportación para la predicción precisa de contaminantes de nitrógeno y fósforo (Lu *et al.* 2012; citado en Méndez, 2018), y de esta manera poder tomar certeras medidas de control o mitigación de la contaminación de cursos y cuerpos de agua.

Cuadro 1. Coeficientes de exportación de nitrógeno y fósforo total para distintos usos de suelo según diversas referencias

USO DE SUELO	N TOTAL (kg/ha/año)	P TOTAL (kg/ha/año)	REFERENCIA	PAÍS ESTUDIO
Bosque Nativo	1,65	1,29	Cárdenas, 2007	Chile
Bosque Nativo	6,73 a 6,78	0,65 a 1,04	Oyarzún <i>et al.</i> 1997	Chile
Bosque Nativo	-	0,007 a 0,18	Romero, 2019	España
Bosque Nativo	38	0,9	Shretsha <i>et al.</i> 2008; citado en Méndez, 2018	Japón
Bosque Nativo	0,6	0,2	Mcfarland <i>et al.</i> 2001; citado en Méndez, 2018	EEUU
Bosque Nativo	2,4	0,1	Frink <i>et al.</i> 1991; citado en Méndez, 2018	EEUU
Bosque Nativo	2,33	0,11	Clesceri <i>et al.</i> 1986; citado en Méndez, 2018	EEUU
Bosque Nativo	1,38 a 6,26	0,19 a 0,83	Reckhow <i>et al.</i> 1980; citado en Méndez, 2018	EEUU
Bosque Nativo	1,0 a 3,0	0,05 a 0,1	Rast y Lee; citado en Lin, 2004	EEUU
Bosque Nativo	1,0 a 6,3	0,007 a 0,88	Loehr <i>et al.</i> 1989; citado en Lin, 2004	EEUU y Europa
Bosque Nativo / Humedal	0,69 a 3,8	0,09 a 0,21	Dodd <i>et al.</i> 1992; citado en Lin, 2004	EEUU
Plantación Forestal	1,56	0,88	Cárdenas, 2007	Chile
Plantación Forestal	2,5	0,2	USEPA; citado en Lisboa, 2016	EEUU
Plantación Forestal	5,69 a 7,32	0,22 a 0,435	Schindler <i>et al.</i> 1976; citado en Lisboa, 2016	-
Plantación Forestal	1,37 a 3,16	0,349 a 0,722	Taylor <i>et al.</i> 1971; citado en Lisboa, 2016	-
Bosque y praderas	-	0,06 a 0,37	Romero, 2019	España
Pradera con matorral	8,05	0,66	Oyarzún <i>et al.</i> 1997	Chile
Pradera	14,36 a 15,84	1,18 a 1,19	Oyarzún <i>et al.</i> 1997	Chile
Pradera	3,2 a 14,0	0,05 a 4,9	Lin, 2004; Jeje, 2006; Endreny y Wood, 2003; citados en Lisboa, 2016	EEUU
Pradera	3,2 a 14,0	0,05 a 0,6	Loehr <i>et al.</i> 1989; citado en Lin, 2004	EEUU y Europa
Pradera	0,3 a 6,0	0,32 a 0,82	Frink, 1991; citado en Lisboa, 2016	EEUU
Pradera	1,48 a 30,85	0,14 a 4,9	Reckhow <i>et al.</i> 1980; citado en Lisboa, 2016	EEUU
Pradera	5,4	1,04	Mcfarland <i>et al.</i> 2001; citado en Lin, 2004	EEUU
Pradera	-	0,15 a 0,75	Romero, 2019	España
Pradera con agricultura limitada	11,35	0,94	Oyarzún <i>et al.</i> 1997	Chile
Corrales ganado	680,5 a 7.979,9	21,28 a 795,2	Reckhow <i>et al.</i> 1980; citado en Lin, 2004	EEUU

USO DE SUELO	N TOTAL (kg/ha/año)	P TOTAL (kg/ha/año)	REFERENCIA	PAÍS ESTUDIO
Corrales ganado	100 a 1.600	10 a 620	Loehr <i>et al.</i> 1989; citado en Lin, 2004	EEUU y Europa
Agricultura	52,5	0,36	Shretsha <i>et al.</i> 2008; citado en Méndez, 2018	Japón
Agricultura	7,6	0,54	Frink <i>et al.</i> 1991; citado en Méndez, 2018	EEUU
Agricultura	2,1 a 79,6	0,06 a 2,9	Lin, 2004; Jeje, 2006; Endreny y Wood, 2003; citados en Lisboa, 2016	EEUU
Agricultura	2,0 a 5,0	0,5	Rast y Lee; citado en Lin, 2004	EEUU
Agricultura	5,0 a 14,3	0,55 a 0,99	Dodd <i>et al.</i> 1992; citado en Lin, 2004	EEUU
Agricultura	6,69	0,26	Clesceri <i>et al.</i> 1986; citado en Méndez, 2018	-
Agricultura	2,82 a 41,50	0,08 a 3,25	Reckhow <i>et al.</i> 1980; citado en Lisboa, 2016	EEUU
Agricultura (Frutales; Citrus)	-	0,18	Romero, 2019	España
Agricultura; Cultivo en hileras	2,1 a 79,6	0,26 a 18,6	Reckhow <i>et al.</i> 1980; citado en Lisboa, 2016	EEUU
Agricultura; Cultivos no en hileras	0,97 a 7,82	0,10 a 2,90	Reckhow <i>et al.</i> 1980; citado en Lin, 2004	EEUU
Agricultura; Cultivos rurales	2,1 a 79,6	0,06 a 2,9	Loehr <i>et al.</i> 1989; citado en Lin, 2004	EEUU y Europa
Agricultura; Cultivos bajo labranza	-	0,22 a 1	Romero, 2019	España
Urbano	6,9	0,18	Shretsha <i>et al.</i> 2008; citado en Méndez, 2018	Japón
Urbano	10	2,23	Mcfarland <i>et al.</i> 2001; citado en Méndez, 2018	EEUU
Urbano	13,4	1,7	Frink <i>et al.</i> 1991; citado en Méndez, 2018	EEUU
Urbano	1,5 a 40	0,2 a 6,2	Lin, 2004; Jeje, 2006; Endreny y Wood, 2003; citados en Lisboa, 2016	EEUU
Urbano	1,48 a 38,47	0,19 a 6,23	Reckhow <i>et al.</i> 1980; citado en Lin, 2004	EEUU
Urbano	2,5 a 5,0	1	Rast y Lee; citado en Lin, 2004	EEUU
Residencial	5,0 a 7,3	0,77 a 2,2	Loehr <i>et al.</i> 1989; citado en Lin, 2004	EEUU y Europa
Comercial	1,9 a 11,0	0,1 a 7,6	Loehr <i>et al.</i> 1989; citado en Lin, 2005	EEUU y Europa
Industrial	1,9 a 14,0	0,4 a 4,1	Loehr <i>et al.</i> 1989; citado en Lin, 2006	EEUU y Europa

Según los valores de coeficientes de exportación de PT y NT indicados en la literatura, en Figuras 1 y 2 se presentan histogramas con valores promedio por uso de suelos, en donde se aprecia que para NT valores por sobre 10 kg/ha/año y valores mayores a 1 kg/ha/año de PT corresponden principalmente a usos antrópicos.

Figura 1. Coeficientes de exportación promedio de NT según Uso de suelos informados por literatura

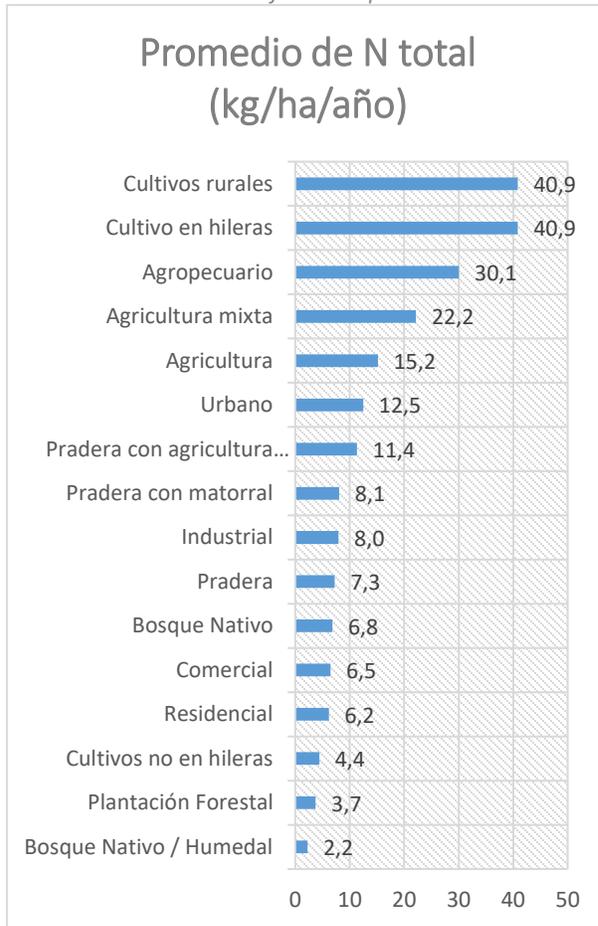
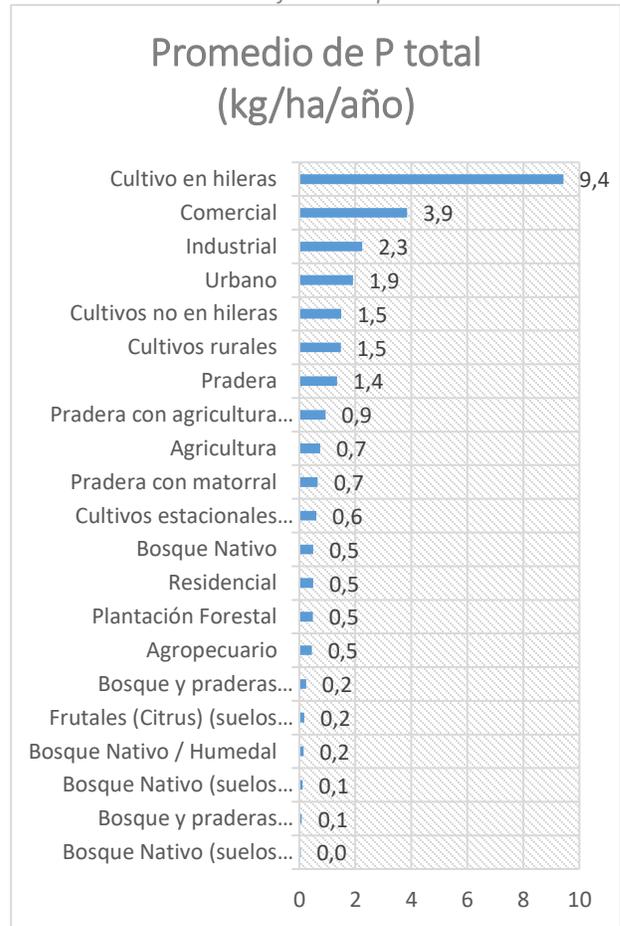


Figura 2. Coeficientes de exportación promedio de PT según Uso de suelos informados por literatura



4.1.4 Minimización de exportación de nutrientes

Pese a que las coberturas naturales de la tierra (bosques, humedales, pastizales) generalmente retiene más sedimentos y nutrientes que las tierras agrícolas o forestales, reduciendo así las pérdidas de éstos, el cambio de uso de suelos, tendiente a aumentar las tierras urbanas, agrícolas y forestales, está aumentando progresivamente, con la consecuente pérdida de las coberturas naturales. Esto ha llevado a mayores arrastres y percolación de nutrientes hacia los cursos y cuerpos de agua.

Varios estudios han reportado que la sustitución de bosque tiene efectos aún mayores en el movimiento de sedimentos y nutrientes en áreas de pendientes y de grandes altitudes donde los suelos tienden a ser

más delgados. En relación a ello, las características fisiográficas del territorio deberían ser una condicionante en la posibilidad de expandir actividades productivas. El tamaño de las áreas naturales y su distribución en el espacio también inciden en la retención de sedimentos y nutrientes. En este sentido, resulta indispensable una planificación de las actividades productivas desde la mirada del ordenamiento territorial, donde las áreas naturales de un tamaño apropiado sean un componente esencial en la configuración de la utilización del territorio.

Detener la pérdida de bosques nativos por habilitación de terrenos agrícolas y plantaciones forestales debiera constituir una tarea primordial, dados por vitales servicios ecosistémicos que estos ecosistemas brindan. Un reciente dictamen de Contraloría General de la República de Chile declara ilegales los planes de manejo de tala de bosque nativo con fines agrícolas, aprobados por CONAF desde 2008, por cuanto dichos permisos no cumplirían con el objeto de proteger, recuperar, y mejorar el bosque nativo para asegurar la sustentabilidad forestal y la política ambiental (Contraloría General de la República de Chile, 2020; Ladera Sur, 2020). Este dictamen constituye un puntapié hacia la puesta en valor de los bosques nativos por sobre la expansión agrícola, y es de esperar que permita orientar futuros lineamientos en esta materia.

El impacto de la fertilización con nitrógeno en su exportación depende de algunos factores diferentes, como el tipo de fertilizante, la tasa de fertilización, el tiempo y el tipo de aplicación, el estado del suelo antes de la aplicación y la fenología y características del cultivo. Dado que predecir la absorción de nitrógeno del cultivo (variable tanto temporal como espacialmente) así como los rendimientos del cultivo requiere gran precisión, existe una tendencia a aumentar las tasas de aplicación sobre las dosis recomendadas. Diferentes estudios han mostrado una correlación lineal entre las tasas de aplicación de nitrógeno y la lixiviación total de nitrato. En consecuencia, es muy importante controlar las tasas de fertilización, ya que el excedente de nitrógeno (el suministrado por sobre las necesidades de cultivo) se considera el principal impulsor de la pérdida de nitrógeno desde las tierras de cultivo (Aranguren, 2018).

Los ciclos de nitrógeno en el suelo varían según el tipo de fertilizante utilizado: la concentración de nitrato residual en el suelo es mayor cuando se aplica urea, en comparación con el nitrógeno orgánico. Las aplicaciones de urea tienen mayores pérdidas por lixiviación de nitrato (hasta cinco veces mayores), mientras que las aplicaciones de nitrógeno orgánico están más relacionadas con las pérdidas gaseosas por desnitrificación (Shelton *et al.* 2018; citado en Aranguren, 2018). Una alternativa orgánica es la incorporación de guanos en los cultivos, lo que tiene un efecto sinérgico al reducir la aplicación de fertilizantes sintéticos y reducir la descarga o eliminación de guanos de manera inapropiada. Cabe mencionar que a menudo las descargas directas de estiércol animal a los cursos de agua se ignoran en los estudios (Ma, 2020), dada la dificultad de identificar y cuantificar estas prácticas.

En este sentido, varios países están apuntando hacia una reducción en el uso de fertilizantes sintéticos y en la sobre fertilización. El Ministerio de Agricultura de China, por ejemplo, en 2015 publicó la política “Crecimiento cero en uso de fertilizantes para 2020”, para reducir el exceso de fertilización de las tierras de cultivo y aumentar el reciclaje del guano animal (Ma, 2020). Es muy importante que la aplicación de los nutrientes se realice de manera criteriosa, conociendo la riqueza del fertilizante, efectuando un balance respecto a lo aportado por el suelo, la contribución proveniente del agua de riego y tomando en cuenta además la demanda proyectada según el rendimiento esperado.

Sin embargo, hasta ahora, la legislación nacional sólo regula y fiscaliza la composición de los productos fertilizantes que se comercializan y no contempla ninguna regulación en relación con límites en las aplicaciones y manejos de los mismos de modo que no constituyan un riesgo para la salud y el medio ambiente. La única exigencia legal que existe en esta materia es la obligación de indicar en la etiqueta la composición del producto en caso de que el fertilizante venga envasado, mientras que, en el caso de la venta a granel del producto, esta indicación debe constar en la boleta o factura, siendo en estos casos el Servicio Agrícola y Ganadero el órgano fiscalizador (Silva, 2010).

Ante toda esta problemática, surge como alternativa el Manejo Integrado de Nutrientes (MIN) en agricultura, el cual consiste en una aproximación holística a la optimización de la fertilización, incluyendo: 1. Evaluar los aportes residuales de nutrientes en el suelo, tanto como su acidez y/o salinidad, 2. Determinar el potencial productivo del suelo para varios cultivos, mediante la valoración de las características físicas del suelo, con especial atención a la capacidad de retención de agua y profundidad de enraizamiento, 3. Calcular los requerimientos nutritivos del cultivo para la producción esperada y específicamente para el sitio, 4. Cuantificar el aporte de nutrientes desde la incorporación de residuos de cultivos y estiércol, 5. Calcular el aporte suplementario de nutrientes (requerimientos nutricionales totales menos los nutrientes disponibles en el predio), 6. Desarrollar un programa para optimizar la utilización de nutrientes mediante la selección de fuentes apropiadas de los mismos, en las fechas y sitios adecuados. De esta manera se espera alcanzar el objetivo principal del MIN; nutrir el cultivo de la manera más eficiente posible, mientras se minimizan los potenciales impactos adversos sobre el ambiente (Roy *et al.* 2006; citado en Silva, 2010).

Por otra parte, diversos estudios han demostrado que el drenaje subsuperficial asistido se considera una de las prácticas de gestión agrícola más importantes que afectan el aumento de la carga de nitrógeno en las aguas superficiales y subterráneas. En muchos casos, es el factor principal que controla la descarga de la cuenca y la exportación de nitrógeno, especialmente nitrato. El drenaje subterráneo reduce el tiempo de saturación del agua del suelo al disminuir el nivel de la capa freática y, por lo tanto, disminuye la desnitrificación en el campo. El espacio entre las líneas de drenaje también ha mostrado un efecto sobre las pérdidas de nitrato, siendo mayores las pérdidas ante menores espacios de drenaje (Aranguren, 2018). En este sentido, debe tenerse en consideración la real necesidad y un adecuado diseño de drenaje que evite maximizar las pérdidas de nutrientes y la contaminación de aguas.

El estudio de Oyarzún y otros investigadores (1997) identificó la relevancia del transporte de nitrógeno y fósforo asociado a los sedimentos en suspensión (en comparación con las fracciones solubles), especialmente en las microcuencas con uso de praderas ganaderas y praderas con agricultura limitada. Ello refleja la importancia que tiene la erosión de los suelos sobre el transporte de nitrógeno y fósforo. La influencia de las actividades forestales sobre las concentraciones y transporte de nutrientes ha sido evaluada, documentándose una estrecha relación entre transporte de sedimentos en suspensión y exportación de nutrientes como resultado de la pérdida de cobertura vegetal. En este sentido, es vital adoptar prácticas de conservación de suelos y medidas que permitan minimizar la erosión de suelos.

Las franjas amortiguadoras vegetales a lo largo de los cauces han demostrado ser un mecanismo eficiente en la retención de nutrientes transportados por el escurrimiento superficial y subsuperficial desde las laderas hacia los cauces de agua. Estas franjas de vegetación ribereña no solamente minimizan el

transporte de nutrientes hacia los cauces de agua al actuar como filtros, sino que también pueden reducir el riesgo de erosión estabilizando la ribera del cauce, además de incrementar el hábitat para insectos y peces y ser una fuente importante de energía en pequeños esteros (Barling & Moore 1994, Vought *et al.* 1994; citados en Oyarzún *et al.* 1997; Aranguren, 2018). La vegetación ribereña proporciona funciones de regulación natural para la cantidad de agua, así como problemas de calidad del agua, representan zonas de amortiguamiento entre el medio ambiente terrestre y acuático y, por lo tanto, tienen un impacto importante en el balance hídrico y la dinámica de las aguas subterráneas, así como en la contaminación de nutrientes dentro de la llanura aluvial (Krause *et al.* 2008; citado en Méndez, 2018).

Al igual que las franjas de vegetación ribereña, los humedales también constituyen barreras de protección de los tributarios de una cuenca, así como de los cuerpos de agua. Si bien los mecanismos mediante los que actúan estos dos componentes del paisaje son diferentes, ambos retienen y reducen la carga de sedimentos y nutrientes del escurrimiento superficial, y conservan o mejoran la calidad del agua. Existen diversos modelos que permiten evaluar la reducción en la carga de contaminantes transportados por el escurrimiento superficial hacia elementos del paisaje susceptibles (tributarios, reservorios, estuarios, albuferas), como producto de la retención potencial de franjas de vegetación ribereña y humedales, en función de atributos capaces de influenciar esos procesos, tales como el tipo de suelo, la topografía, y la composición y configuración espacial del uso de la tierra. La aplicación de estos modelos permitiría identificar las zonas de exportación de contaminantes y zonas de mayor potencial de mejoramiento de la calidad del agua por filtros, a fin de priorizar esfuerzos de conservación hacia dichas zonas (Orúe *et al.* 2011).

En el caso de áreas urbanas, resulta interesante evaluar interponer estructuras para la amortiguación pluvial que permita mitigar parcialmente el incremento de escurrimientos, así como permitir la decantación de sólidos como medida de retención de nutrientes. Esto es de gran utilidad en el control del fósforo ya que la mayor parte se encuentra en forma particulada, y, además, la exportación de dicho nutriente ocurre en mayor medida durante los primeros lavados (first-flush) los cuales pueden ser mitigados con unidades de decantación adecuadas, resultando en una gran eliminación de los sólidos sedimentables. Estas unidades de amortiguación permitirían además la fijación biológica de nitrógeno por parte de las hidrófitas y algas que proliferen posteriormente. Para hacer efectiva la remoción de nitrógeno y fósforo se debe efectuar limpieza de barros del fondo, así como de la vegetación superficial con cierta frecuencia. La cantidad de fósforo removida durante las limpiezas de las unidades de amortiguación/decantación puede ser gruesamente estimada en una remoción del 90 % de la fracción particulada (50 %), lo que resulta en una extracción de un 45 % del fósforo total, siguiendo en forma disuelta un 55 % (Lisboa, 2016). Estas unidades de amortiguación/decantación podrían constituir zonas buffer tipo humedal donde ocurre la retención y reciclado de nutrientes, constituyendo biofiltros de nutrientes previo a la llegada del agua al Lago Villarrica.

4.2 Análisis de valores de coeficientes de exportación en la cuenca del lago Villarrica

4.2.1 Usos de suelo y otras variables incidentes en la calidad de aguas

El Estudio de UFRO-MMA (2020), indica una serie de muestreos de cauces, asociado al punto de descarga de cuencas hidrográficas. Los resultados señalados corresponden a los presentados en Cuadro 2.

Considerando la ubicación de cada sitio de monitoreo (Cuadro 2), se procedió a determinar la sección de cuenca aportante, desde modelo digital de elevación Alos Palsar con un tamaño máximo de microcuenca de 100 ha y una resolución de pixel de 12,5 m. La cartografía de subcuencas resultantes se presenta en Figura 3.

De esta forma, para cada subcuenca aportante se logró aislar las siguientes variables para un análisis de regresión múltiple:

- i. Superficie de Usos de suelos (Edáfica – MMA (2018)) (Cuadro 3, Figuras 4 y 5)
- ii. Distribución de viviendas (UFRO-MMA, 2020) (número de viviendas por subcuenca)
- iii. Fuentes puntuales (UFRO-MMA, 2020) (número de fuentes puntuales por subcuenca)
- iv. Pendiente del terreno, derivada desde modelo digital de elevación Alos Palsar (Anexo 2) (superficie por categorías)
- v. Series de Suelo (CIREN, 2002) (Figuras 29 y 30, y Cuadro 15 del Anexo 3) (Superficie por Serie)
- vi. Series de Suelo (Edáfica – CONADI, 2013) (Figuras 29 y 31, y Cuadro 16 del Anexo 3) (Superficie por Fase)
- vii. Distribución de Precipitaciones (UFRO-MMA, 2020)
- viii. Concentraciones de PT y NT por uso de suelos (UFRO-MMA, 2020)
- ix. Coeficientes de escurrimiento según curva número (UFRO-MMA, 2020)

Cabe señalar que algunas de las subcuencas definidas en el estudio de UFRO (2020) o parte de ellas, no se consideraron debido a que su ubicación corresponde con más de una subcuenca definida en el presente análisis, y ello implica una dificultad para aislar las variables de interés respecto de los puntos de muestreo informados en UFRO-MMA (2020).

Se debe considerar en este punto que las comparativas que se presentan a continuación y que toman como base los datos de calidad de aguas son referenciales y sólo se ocupan en el presente análisis con fines de ubicar sitios de monitoreo de suelos contrastantes, es decir, microcuencas con baja intervención antrópica y su contraste, microcuencas con alta intervención antrópica.

Se consigna además que el monitoreo de calidad del agua realizado en estudio MMA-UFRO (2020), fue realizado para validar modelo de calidad WASP para fuentes puntuales. Una vez que se valida el modelo de puntuales, la diferencia en carga no explicada por las fuentes puntuales se atribuyó a fuentes difusas y posterior a esto, se modeló las difusas con NSPECT.

Cuadro 2. Monitoreos de calidad de agua en puntos de control (UFRO, 2020)

Punto	Fecha	Flow (M³/S)	T (°C)	pH	Cond. (µS/CM)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO ₄ ³⁻] (MG/L)	Fósforo Total [PT] (MG/L)	Nitrato [NO ₃] (MG/L)	Nitrito [NO ₂] (MG/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH ₃] (MG/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (MG/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (MG/L)	Nitrógeno Total [NT] (MG/L)	Clorofila a (UG/L)
M-1	26-09-2017	5,62	8,54	7,5	89	9,81	0,09	0,098	1,926	0,226	0,095	0,095	0,599	0,599	-
M-1	11-07-2018	2,17	8,63	7,7	76,3	0,36	0,13	0,132	3,04	0,181	0,18	0,18	0,922	0,927	0,08
M-1	26-11-2018	1,58	10,79	7,6	165	7,05	0,108	0,156	2,635	0,006	0,18	0,151	0,737	0,75	33,79
M-2	26-09-2017	1,84	9,39	7,54	102	9,48	0,039	0,046	0,907	0,03	0,061	0,061	0,275	0,275	-
M-2	11-07-2018	2,16	9,12	8,04	96,1	0,34	0,047	0,05	1,202	0,01	0,14	0,14	0,415	0,418	0,2
M-2	27-11-2018	1,36	7,05	7,6	124	7,91	0,042	0,058	1,58	0,09	0,157	0,131	0,506	0,52	0,14
M-3	26-09-2017	2,26	8,89	7,53	84	9,71	0,027	0,035	0,5	0,113	0,041	0,041	0,188	0,188	-
M-3	11-07-2018	2,74	9,22	8,42	42	0,29	0,031	0,03	1,576	0,005	0,067	0,067	0,425	0,429	0,14
M-3	26-11-2018	2,41	11,56	7,7	58	7,3	0,022	0,038	1,015	0,006	0,03	0,033	0,254	0,26	0,64
M-4	26-09-2017	1,1	7,94	7,52	328	10	0,046	0,35	0,254	0,009	<0,009	<0,009	0,06	0,06	-
M-4	11-07-2018	2,59	8,04	7,66	86	0,28	0,051	0,053	0,995	0,051	0,095	0,095	0,335	0,338	<0,02
M-4	26-11-2018	3,2	8,69	7,4	56	7,7	0,044	0,08	1,375	0,002	0,131	0,111	0,413	0,42	0,27
M-5	26-09-2017	285,98	8,77	7,23	83	9,6	0,013	0,02	0,153	0,009	0,017	0,017	0,054	0,054	-
M-5	11-07-2018	238,93	7,85	7,5	32	12,23	0,021	0,022	0,367	0,004	0,098	0,098	0,182	0,187	0,14
M-5	27-11-2018	253,27	12,22	7,41	49	10,71	0,015	0,026	0,21	0,001	0,02	0,018	0,063	0,07	0,66
M-6	26-09-2017	40,02	7,65	7,16	46	3,6	0,005	0,006	0,003	0,009	<0,009	<0,009	0,003	0,01	-
M-6	11-07-2018	26,48	6,64	7,13	27	8,79	0,011	0,012	0,2	0,002	0,082	0,082	0,128	0,129	0,72
M-6	26-11-2018	23	11,54	6,85	38	8,53	0,005	0,018	0,154	0,001	0,042	0,035	0,068	0,07	0,26
M-7	26-09-2017	1,17	10	7,61	94	9,25	0,045	0,055	0,715	0,02	0,027	0,027	0,195	0,195	-
M-7	11-07-2018	1,03	9,42	7,65	44,2	0,36	0,039	0,041	1,484	0,004	0,084	0,084	0,42	0,425	0,08
M-7	26-11-2018	1,36	12,12	7,77	66	7,09	0,042	0,071	1,502	0,007	0,052	0,044	0,382	0,38	0,61
B-1	26-09-2017	0,28	8,33	7,1	82	9,75	0,01	0,013	0,037	0,007	<0,009	<0,009	0,01	0,01	-
B-1	10-07-2018	0,56	8,08	8,23	31,8	0,19	0,01	0,009	0,157	0,005	0,056	0,056	0,093	0,106	0,04
B-1	27-11-2018	0,43	8,9	7,43	52	7,28	0,009	0,027	0,795	0,001	0,036	0,032	0,208	0,21	1,04
B-2	26-09-2017	1,77	9,2	7,54	91	9,62	0,023	0,027	0,593	0,02	0,014	0,014	0,154	0,154	-
B-2	11-07-2018	1,75	8,75	7,63	45	0,46	0,024	0,026	1,32	0,006	0,043	0,043	0,343	0,345	0,08
B-2	27-11-2018	0,79	10,32	7,65	65	7,98	0,014	0,047	1,08	0,006	0,077	0,064	0,306	0,31	0,53
B-4	26-09-2017	1,45	9,49	7,24	78	9,46	0,012	0,017	0,241	0,009	<0,009	<0,009	0,057	0,057	-
B-4	10-07-2018	2,12	8,94	7,01	35,5	0,2	0,015	0,012	0,58	0,003	0,053	0,053	0,185	0,198	0,85
B-4	26-11-2018	1,83	11,59	7,48	53	7,65	0,007	0,015	0,378	0,003	0,009	0,005	0,093	0,09	0,58
B-5	26-09-2017	10,79	7,25	7,31	49	10,03	0,006	0,008	0,008	0,008	<0,009	<0,009	0,004	<0,010	-
B-5	11-07-2018	3,8	8,11	8,09	24,5	0,24	0,009	0,011	0,242	0,004	0,086	0,086	0,142	0,144	<0,02
B-5	26-11-2018	4,76	12,79	7,41	28	7,41	0,008	0,017	0,345	0,002	0,014	0,013	0,089	0,09	0,08
B-6	26-09-2017	38,29	6,6	7,72	34	6,16	0,023	0,032	0,071	0,011	<0,009	<0,009	0,019	0,019	-
B-6	11-07-2018	24,86	6,29	7,45	26	14,06	0,06	0,027	0,093	0,002	0,057	0,057	0,079	0,08	0,08
B-6	27-11-2018	43,54	7,28	7,25	45	12,82	0,021	0,037	0,275	0,001	0,17	0,142	0,194	0,2	0,15
B-7	26-09-2017	0,51	8,67	7,68	40	5,52	0,001	0,005	0,134	0,007	<0,009	<0,009	0,032	0,032	-
B-7	10-07-2018	0,51	7,17	7,55	27	10,74	0,003	0,002	0,063	0,003	0,063	0,063	0,078	0,093	<0,02
B-7	26-11-2018	0,35	10,57	7,31	50	9,43	0,005	0,006	0,25	0,001	0,054	0,046	0,099	0,1	0,02
B-9	26-09-2017	2,84	7,13	7,64	49	5,43	0,006	0,013	0,02	0,007	<0,009	<0,009	0,007	<0,010	-
B-9	10-07-2018	8,12	5,86	7,31	12	11,84	0,013	0,012	0,122	0,002	0,045	0,045	0,073	0,086	<0,02
B-9	26-11-2018	5,73	10,95	7,11	43	10,68	0,012	0,009	0,238	0,001	0,009	0,007	0,061	0,06	0,14
B-10	26-09-2017	12,04	8,16	7,41	55	5,61	0,041	0,042	0,005	0,009	<0,009	<0,009	0,004	<0,010	-
B-10	10-07-2018	12,84	7,79	6,93	34	10,86	0,044	0,045	0,325	0,004	0,066	0,066	0,141	0,156	<0,02
B-10	26-11-2018	9,96	8,89	6,8	54	11,56	0,033	0,042	0,417	0,001	0,019	0,016	0,109	0,11	<0,02

Punto	Fecha	Flow (M ³ /S)	T (°C)	pH	Cond. (μS/CM)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO ₄ ⁻³] (MG/L)	Fósforo Total. [PT] (MG/L)	Nitrato [NO ₃] (MG/L)	Nitrito [NO ₂] (MG/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH ₃] (MG/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (MG/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (MG/L)	Nitrógeno Total [NT] (MG/L)	Clorofila a (UG/L)
B-11	26-09-2017	0,05	7,25	7,8	35	5,19	0,023	0,031	0,01	0,011	<0,009	<0,009	0,006	<0,010	-
B-11	10-07-2018	1,06	4,94	7,35	23	11,82	0,031	0,029	0,215	0,004	0,057	0,057	0,107	0,156	0,02
B-11	26-11-2018	2,05	9,97	6,89	29	10,93	0,027	0,059	0,177	0,001	0,009	0,004	0,047	0,04	0,07
B-12	26-09-2017	31,36	6,95	7,05	42	3,86	0,007	0,014	0,098	0,007	<0,009	<0,009	0,024	0,029	-
B-12	10-07-2018	30,26	5,69	7,15	24	11,05	0,011	0,008	0,082	0,004	0,066	0,066	0,086	0,1	0,78
B-12	26-11-2018	28,26	11,28	6,89	37	10,26	0,04	0,18	0,295	0,001	0,065	0,055	0,117	0,12	0,21
B-14	26-09-2017	44,71	7,7	7,68	32	4,83	0,003	0,003	0,022	0,007	<0,009	<0,009	0,007	<0,010	-
B-14	10-07-2018	37,36	5,97	7,25	26	12,7	0,01	0,002	0,175	0,005	0,069	0,069	0,11	0,119	<0,02
B-14	26-11-2018	24,94	12,42	7,68	43	10,4	0,001	0,011	0,2	0,002	0,024	0,021	0,064	0,07	0,4
B-15	26-09-2017	25,35	7,06	7,69	27	5,1	0,002	0,006	0,098	0,007	<0,009	<0,009	0,024	0,024	-
B-15	10-07-2018	4,82	6,03	7,1	22	12,01	0,007	0,005	0,21	0,003	0,066	0,066	0,114	0,129	<0,02
B-15	26-11-2018	26,11	11,39	7,05	44	10,95	<0,001	0,01	0,098	0,001	0,012	0,011	0,032	0,03	0,4
B-16	26-09-2017	3,56	7,57	7	101	9,87	0,045	0,047	0,764	0,008	<0,009	<0,009	0,175	0,175	-
B-16	10-07-2018	1,15	7,66	6,53	49,5	1,23	0,049	0,049	0,548	0,003	0,08	0,08	0,205	0,225	<0,02
B-16	26-11-2018	5	7,7	7,07	71	7,6	0,03	0,056	0,43	0,001	0,038	0,033	0,127	0,13	<0,02
B-17	26-09-2017	61,9	8,49	7,25	64	9,69	0,007	0,014	0,4	0,011	<0,009	<0,009	0,094	0,094	-
B-17	11-07-2018	67,33	8,85	7,46	40,45	10,86	0,018	0,018	0,645	0,002	0,093	0,093	0,239	0,241	0,09
B-17	27-11-2018	53,2	11,23	7,08	71	11,15	0,017	0,029	0,953	0,011	0,053	0,045	0,26	0,26	3,37
B-20	26-09-2017	8,93	8,96	7,67	59	9,74	0,013	0,018	0,095	0,007	<0,009	<0,009	0,024	0,024	-
B-20	10-07-2018	5,2	7,63	6,92	25,2	0,47	0,012	0,011	0,227	0,004	0,057	0,057	0,109	0,122	<0,02
B-20	26-11-2018	6,77	9,43	7,69	38	6,06	0,01	0,023	0,183	0,001	0,03	0,025	0,065	0,07	<0,02
B-21	26-09-2017	0,03	9,93	7,22	104	9,31	0,053	0,058	1,806	0,007	<0,009	<0,009	0,41	0,41	-
B-21	11-07-2018	0,09	10,06	6,98	52,2	0,43	0,051	0,053	1,702	0,003	0,073	0,073	0,458	0,461	<0,02
B-21	27-11-2018	0,12	9,95	7,23	72	6,99	0,05	0,059	1,765	0,004	0,03	0,026	0,423	0,43	0,02

Figura 3. Modelo de Subcuencas a partir de puntos de muestreo de calidad de aguas en cauces, cuenca del lago Villarrica (Fuente: elaboración propia)

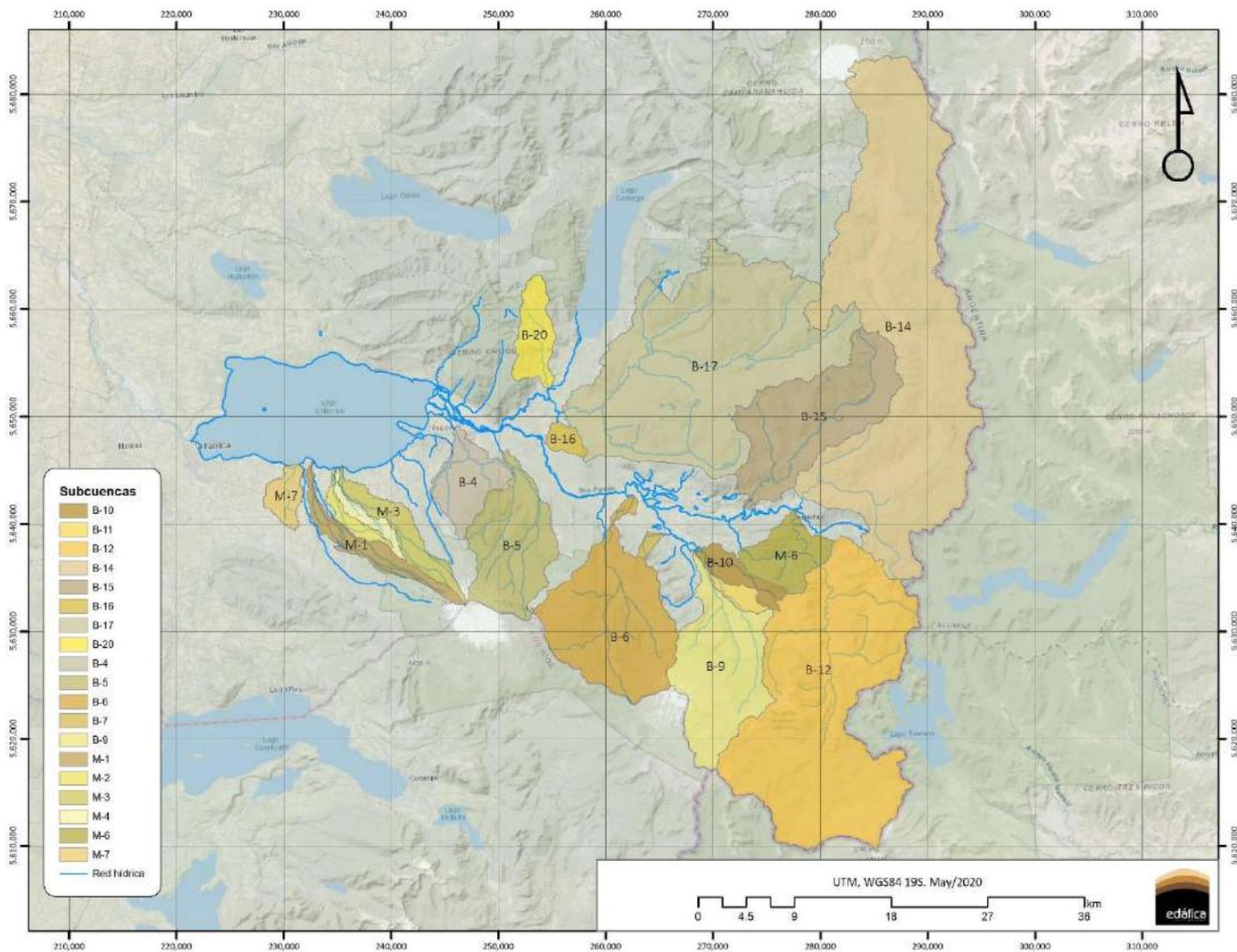
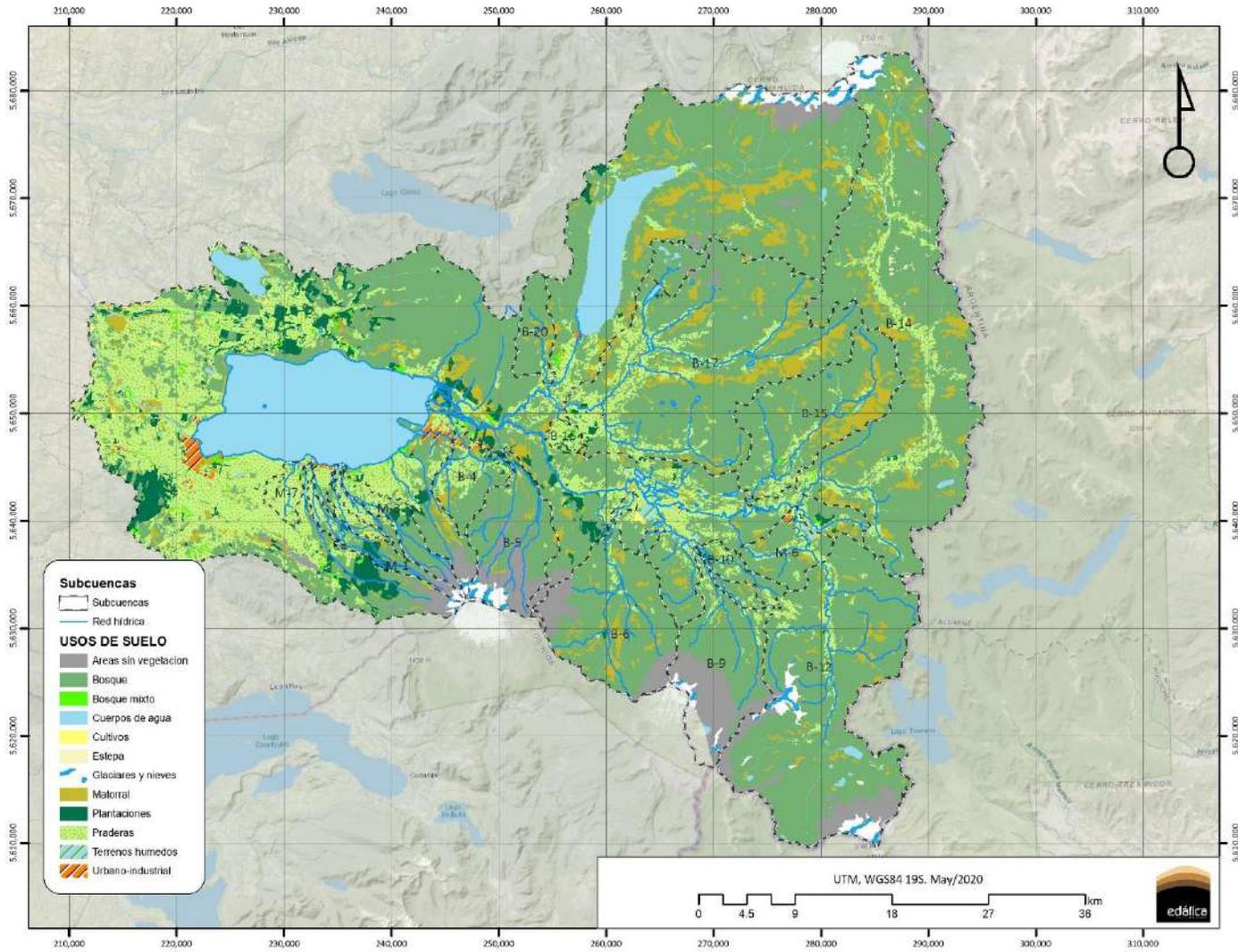


Figura 4. Usos de suelos (Edáfica-MMA, 2018) y límites de subcuencas (Fuente: elaboración propia)



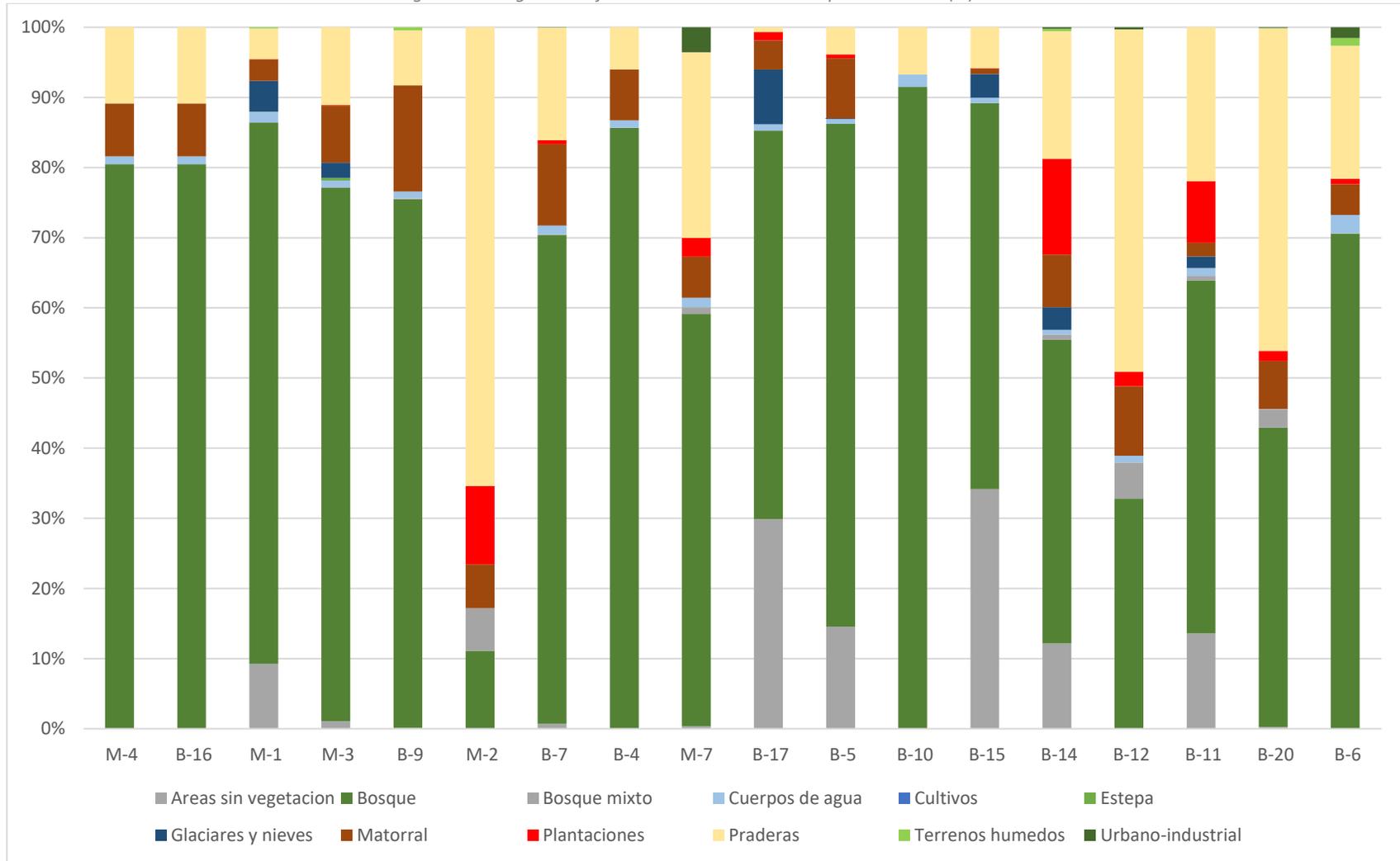
Cuadro 3. Superficie de Usos de Suelos por subcuenca (ha) (Usos de suelos desde Edáfica-MMA, 2018)

SUBCUENCA	áreas sin vegetación	Bosque ¹	Bosque mixto ²	Cuerpos de agua	Cultivos	Estepa	Glaciares y nieves	Matorral	Plantaciones	Praderas	Terrenos húmedos	Urbano-industrial	Total
B-10		1.299	7	5				20	39	402		4	1.777
B-11		651		9				61		88			809
B-12	2.928	24.439		466		21	1.386	969	12	1.392	46		31.658
B-14	458	32.653	31	400		169	939	3.467	45	4.766			42.928
B-15	14	9.376	19	120				1.881		977	54		12.441
B-16		88	48					50	88	517			791
B-17	232	22.839	24	398			13	3.798	182	5.271		8	32.764
B-20		2.380	0	29				202		167			2.779
M-7		139	22	25					6	1.235			1.428
B-4	14	2.277	35	53				227	104	1.025		138	3.873
B-5	2.438	4.517		73			635	339	100	54			8.157
B-6	1.948	9.598		86	0		13	1.148	74	518			13.384
B-7		277		5						20			303
B-9	3.309	5.328		74			326	82	0	565			9.685
M-1	328	1.165	20	19			87	201	369	490	9	6	2.694
M-2		281	44	8				85	18	418		3	856
M-3	376	1.394	17	31			45	54	244	607			2.769
M-4	2	415	25	1				66	14	448		1	973
M-6		2.564	2	95				159	30	688	40	56	3.633
TINQUILCO	54	1.546		101				33		15			1.749
Total	12.104	123.227	294	1.998	0	189	3.444	12.843	1.325	19.662	150	215	175.451

¹ Bosque, corresponde a la cobertura de bosque nativo con predominancia de especies nativas, sin incluir especies alóctonas.

² Bosque mixto, corresponde a áreas de bosque nativo que incluye especies alóctonas como *Eucaliptus spp.*, *Pinus spp.*, *Acacia spp.* (aromos). La especificación proviene del Catastro de Los Recursos Vegetacionales Nativos (CONAF, 2013) para la región de La Araucanía, sin detallar las proporciones de cada especie presente.

Figura 5. Histograma de frecuencia de Usos de suelos por subcuenca (%)



4.2.2 Aportes de N y P por subcuencas desde muestreo de calidad de aguas

Se procedió a calcular el aporte de nitrógeno total y fósforo total por unidad de superficie considerando el tamaño de la subcuenca aportante, cuyo objeto es, comparar en términos de unidades de coeficiente de exportación en kg/ha/año tres fechas de muestreo, sep/2017, jul/2018 y nov/2018 tomando los resultados de caudal y calidad de aguas informados por UFRO-MMA (2020) en el Cuadro 2.

El aporte consideró el siguiente cálculo:

$$\text{Aporte (kg/ha/año)} = \text{Caudal (m}^3\text{/s)} \times \text{NT o PT (mg/l)} \times \text{tiempo (año)} / \text{superficie (ha)}$$

Los resultados se presentan en Cuadro 4. En Figuras 6 y 7 se presentan histogramas de aportes promedio de todas las fechas consideradas para NT y PT. En Figuras 8 a 15 se presenta cartografía clasificada en rangos de aportes según fecha de muestreo.

Es importante señalar en este punto que las estimaciones no consideran el análisis de la variación mensual de los caudales y tampoco la existencia o aporte de fuentes puntuales, lo cual pudiera incidir en el aporte de la subcuenca.

Figura 6. Histograma aportes promedio de PT según subcuenca (kg/ha/año)

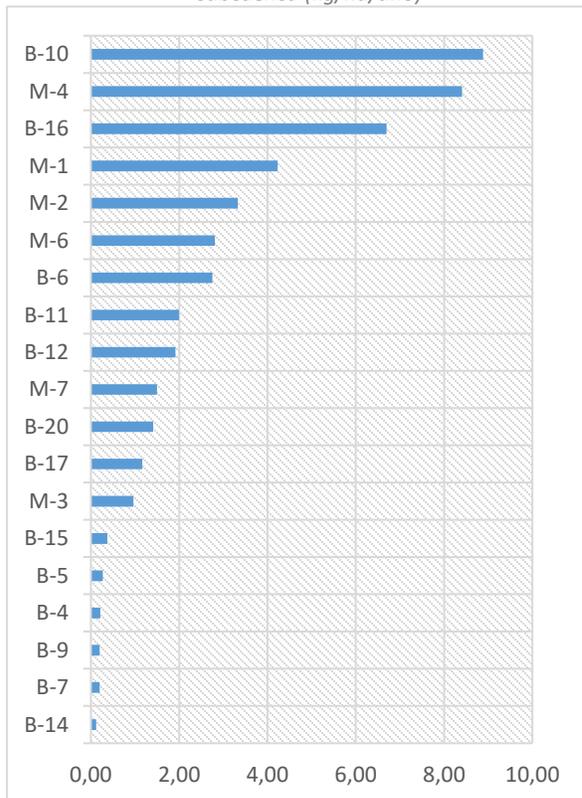
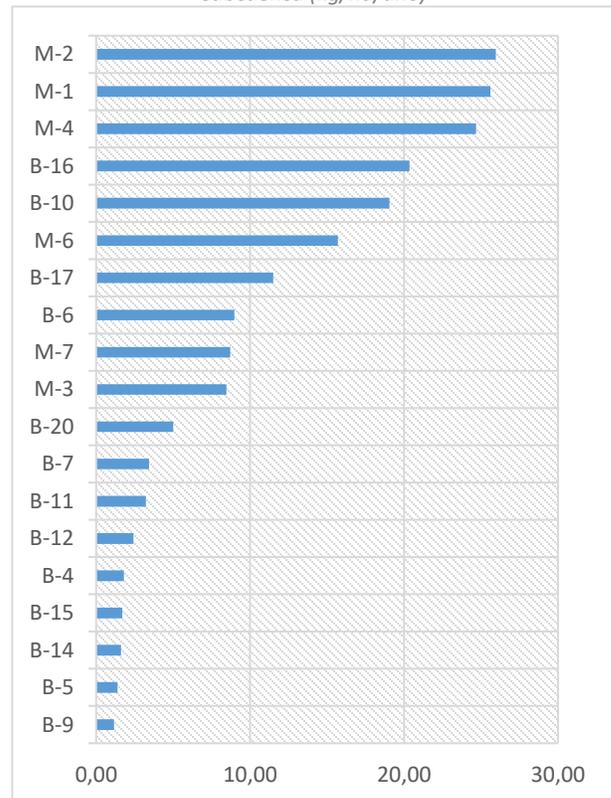


Figura 7. Histograma aportes promedio de NT según subcuenca (kg/ha/año)



Cuadro 4. Cálculo de Aportes de NT y PT por Subcuenca (kg/ha/año)

SUBCUENCA	APORTE PT (kg/ha/año) (sep/2017)	APORTE PT (kg/ha/año) (jul/2018)	APORTE PT (kg/ha/año) (nov/2018)	APORTE NT (kg/ha/año) (sep/2017)	APORTE NT (kg/ha/año) (jul/2018)	APORTE NT (kg/ha/año) (nov/2018)	APORTE PT Promedio (kg/ha/año)	APORTE NT Promedio (kg/ha/año)
B-10	9.0	10.3	7.4	2.1	35.6	19.4	8.9	19.0
B-11	0.1	1.2	4.7	0.0	6.4	3.2	2.0	3.2
B-12	0.4	0.2	5.1	0.9	3.0	3.4	1.9	2.4
B-14	0.1	0.1	0.2	0.3	3.3	1.3	0.1	1.6
B-15	0.4	0.1	0.7	1.5	1.6	2.0	0.4	1.7
B-16	6.7	2.2	11.2	24.8	10.3	25.9	6.7	20.4
B-17	0.8	1.2	1.5	5.6	15.6	13.3	1.2	11.5
B-20	1.8	0.6	1.8	2.4	7.2	5.4	1.4	5.0
B-4	0.2	0.2	0.2	0.7	3.4	1.3	0.2	1.8
B-5	0.3	0.2	0.3	0.4	2.1	1.7	0.3	1.4
B-6	2.9	1.6	3.8	1.7	4.7	20.5	2.8	9.0
B-7	0.3	0.1	0.2	1.7	4.9	3.6	0.2	3.4
B-9	0.1	0.3	0.2	0.1	2.3	1.1	0.2	1.2
M-1	6.4	3.4	2.9	39.4	23.5	13.9	4.2	25.6
M-2	3.1	4.0	2.9	18.6	33.2	26.0	3.3	26.0
M-3	0.9	0.9	1.0	4.8	13.4	7.1	1.0	8.5
M-4	12.5	4.4	8.3	2.1	28.4	43.6	8.4	24.7
M-6	2.1	2.8	3.6	3.5	29.7	14.0	2.8	15.7
M-7	1.4	0.9	2.1	5.0	9.7	11.4	1.5	8.7

Figura 8. Mapa categorizado de Aportes de PT por subcuenca (kg/ha/año) para muestreo de sep/2017 (Fuente: elaboración propia)

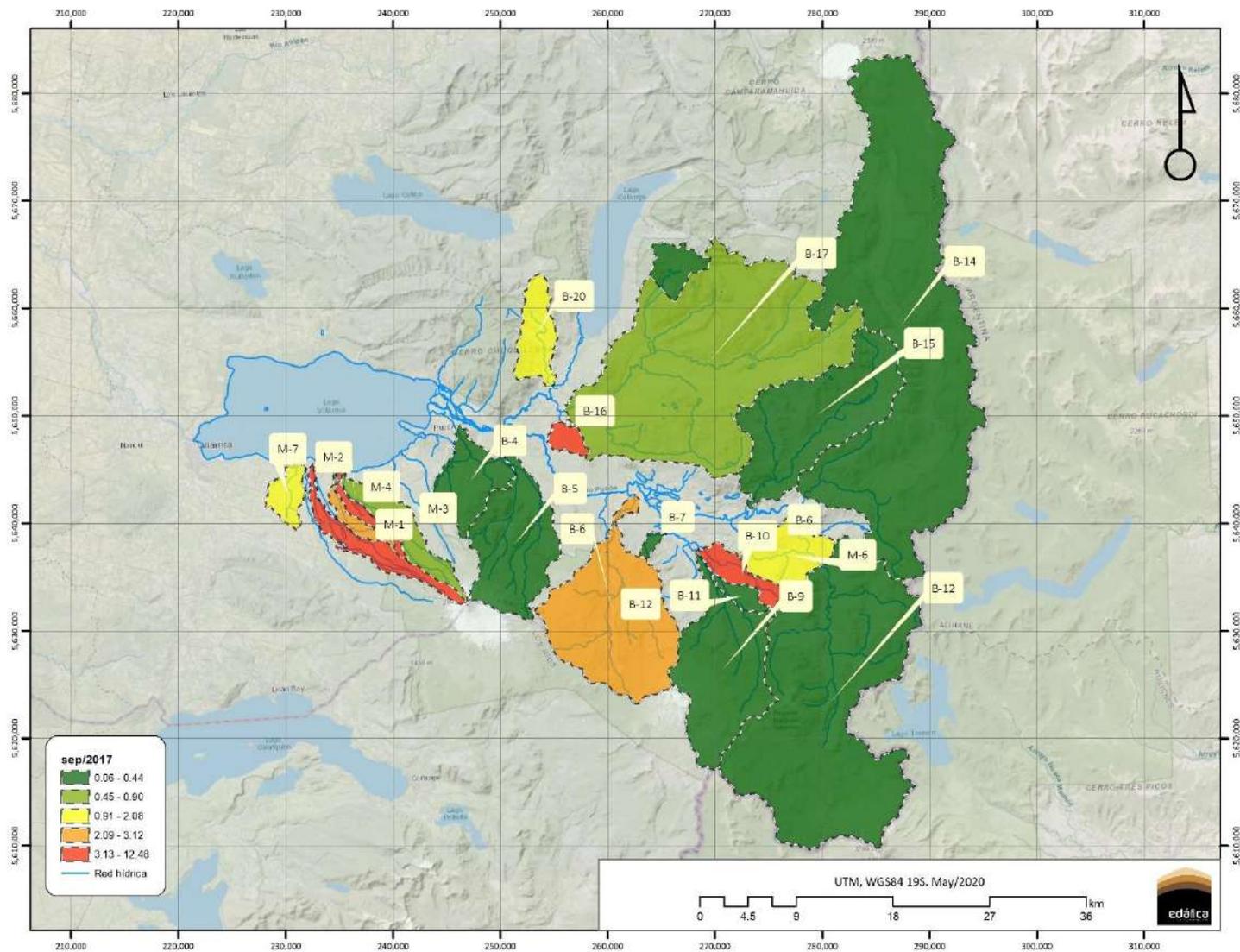


Figura 9. Mapa categorizado de Aportes de PT por subcuenca (kg/ha/año) para muestreo de jul/2018 (Fuente: elaboración propia)

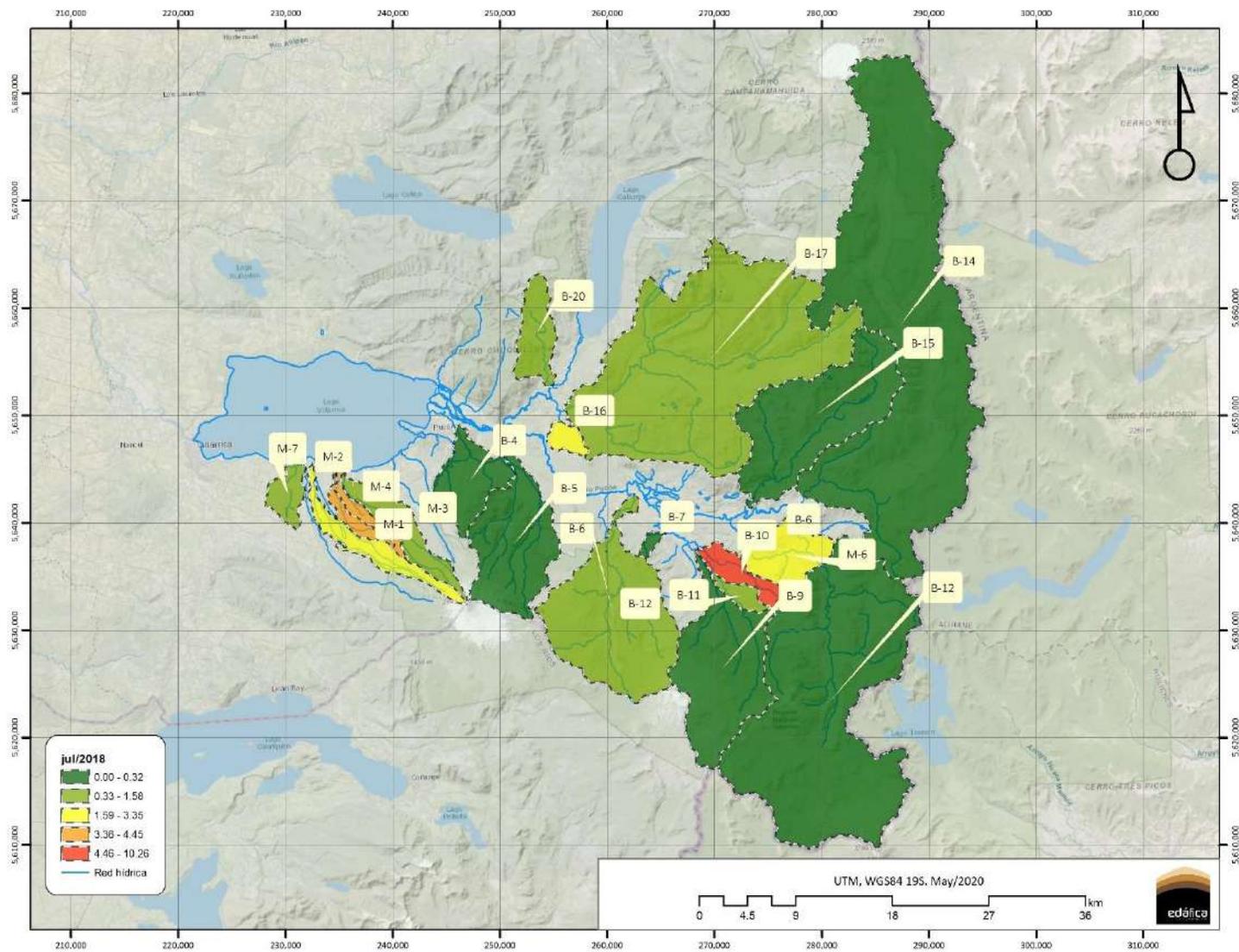


Figura 10. Mapa categorizado de Aportes de PT por subcuenca (kg/ha/año) para muestreo de nov/2018 (Fuente: elaboración propia)

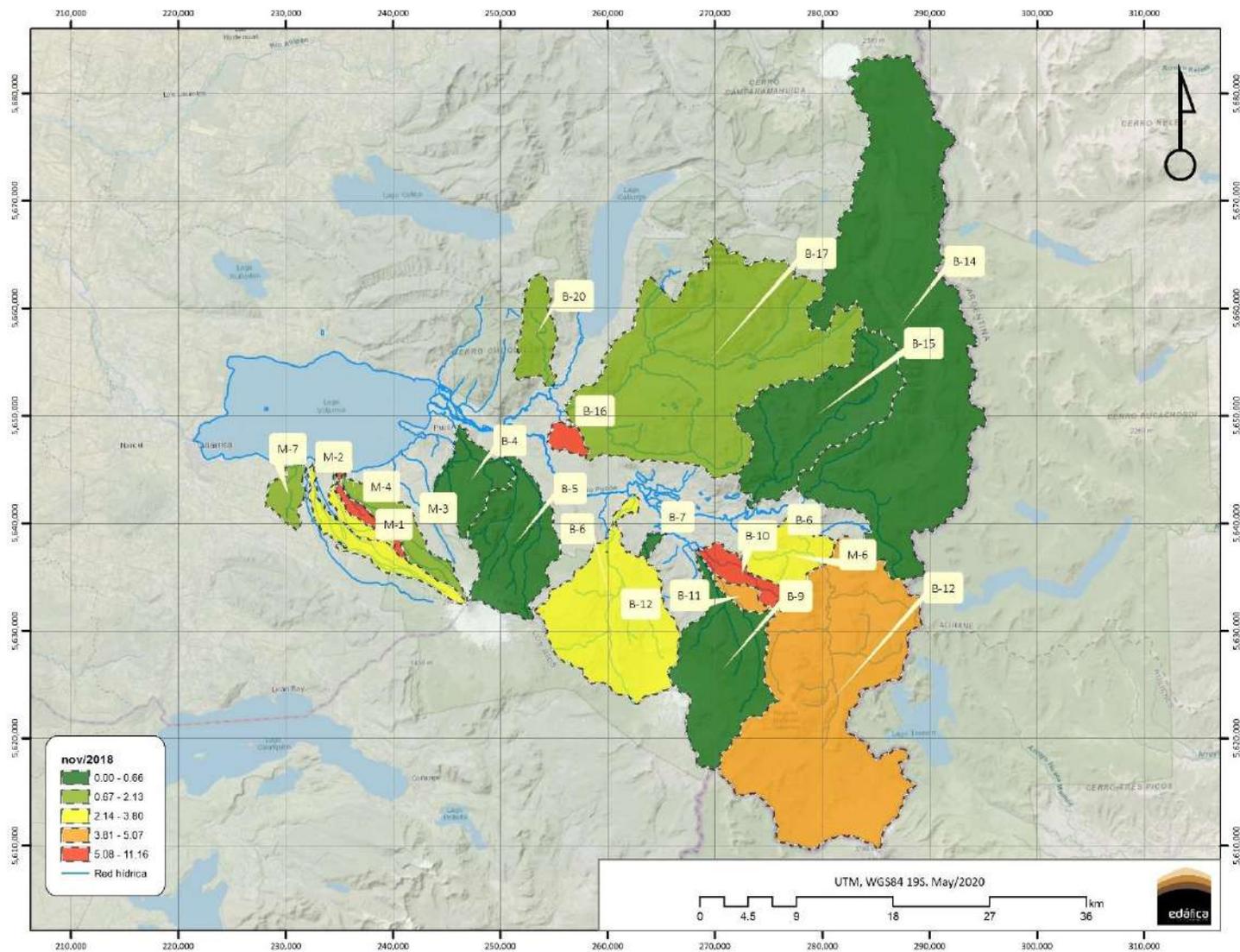


Figura 11. Mapa categorizado de Aportes de PT por subcuenca (kg/ha/año), promedio de sep/2017-jul/2018-nov/2018 (Fuente: elaboración propia)

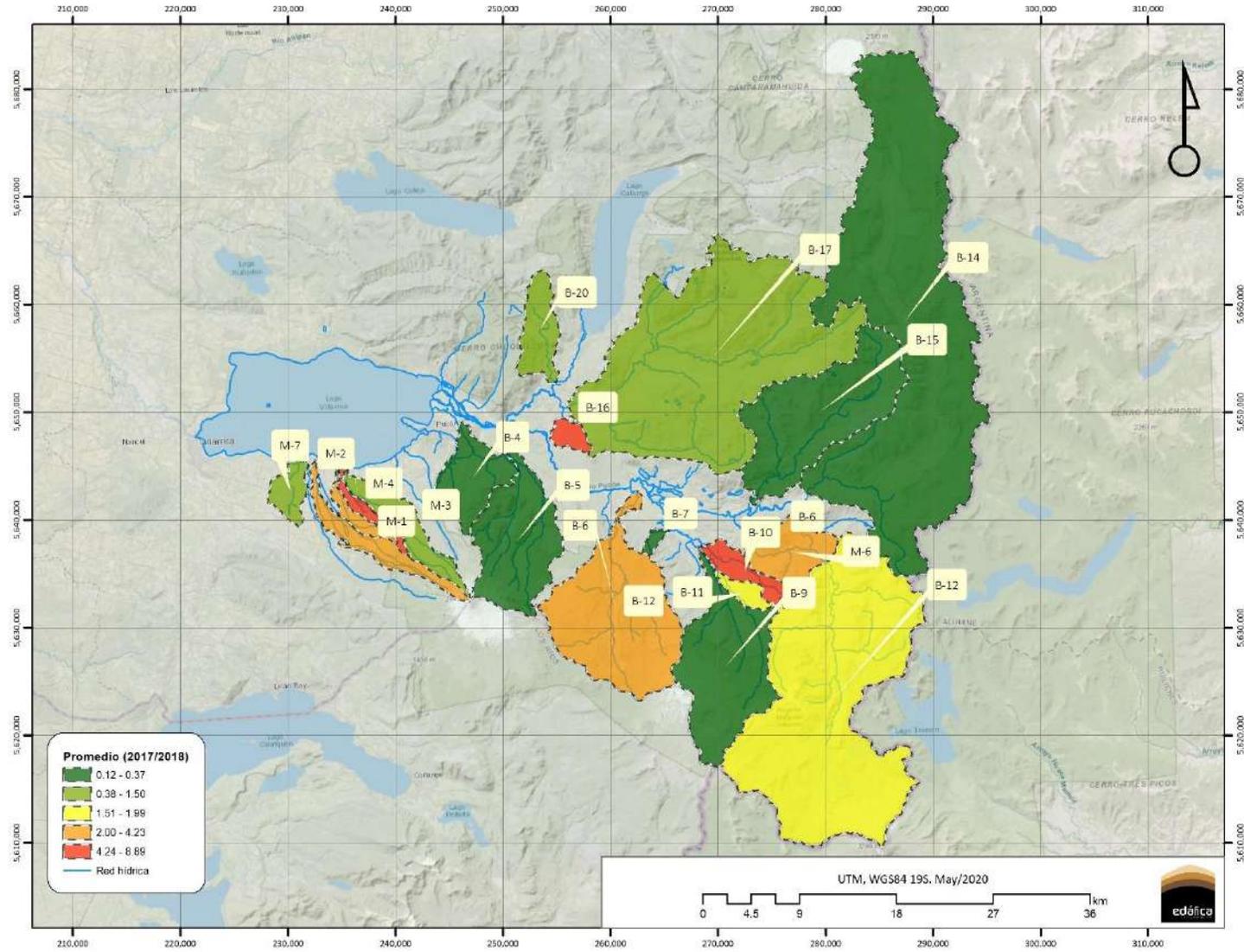


Figura 12. Mapa categorizado de Aportes de NT por subcuenca (kg/ha/año) para muestreo de sep/2017 (Fuente: elaboración propia)

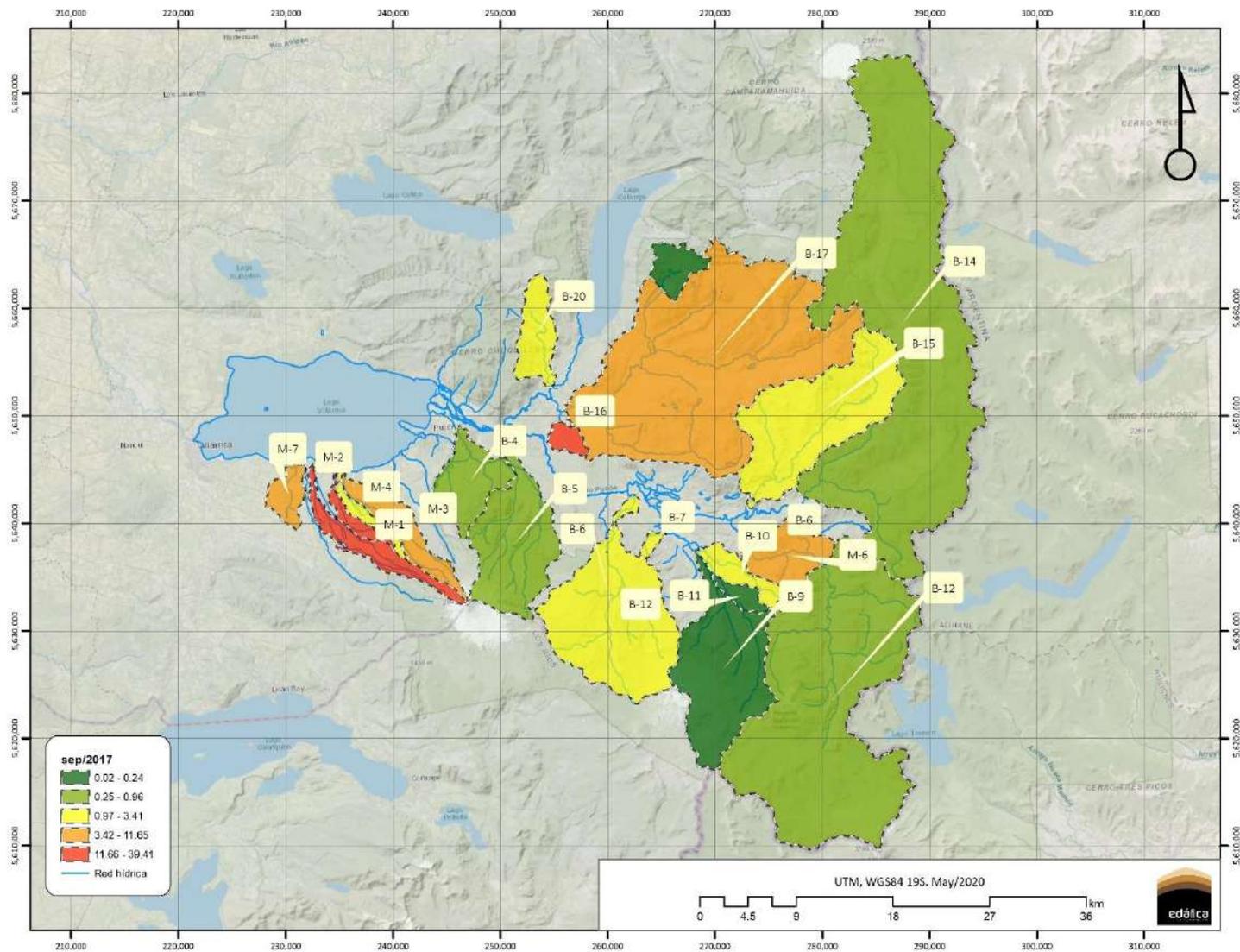


Figura 13. Mapa categorizado de Aportes de NT por subcuenca (kg/ha/año) para muestreo de jul/2018 (Fuente: elaboración propia)

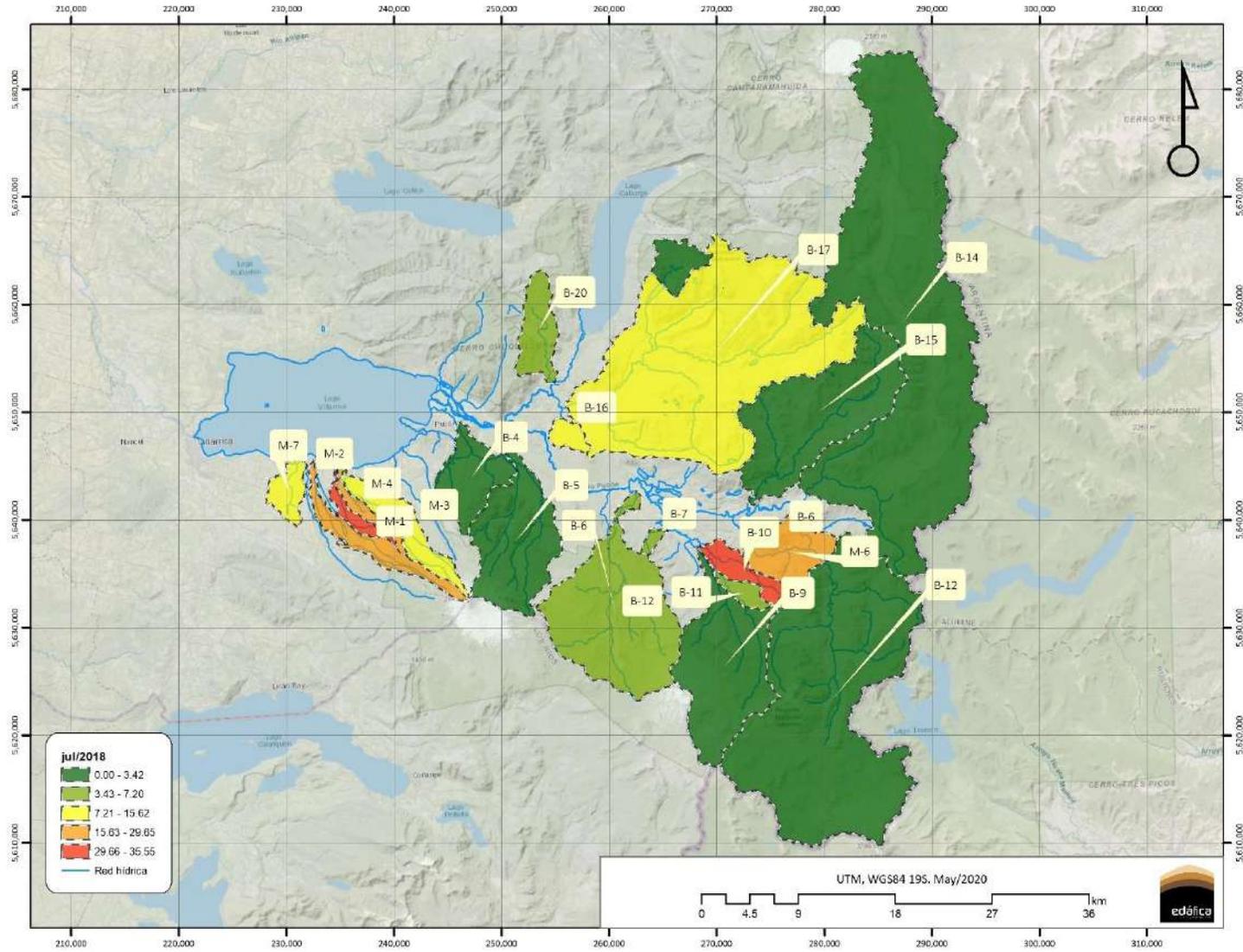


Figura 14. Mapa categorizado de Aportes de NT por subcuenca (kg/ha/año) para muestreo de nov/2018 (Fuente: elaboración propia)

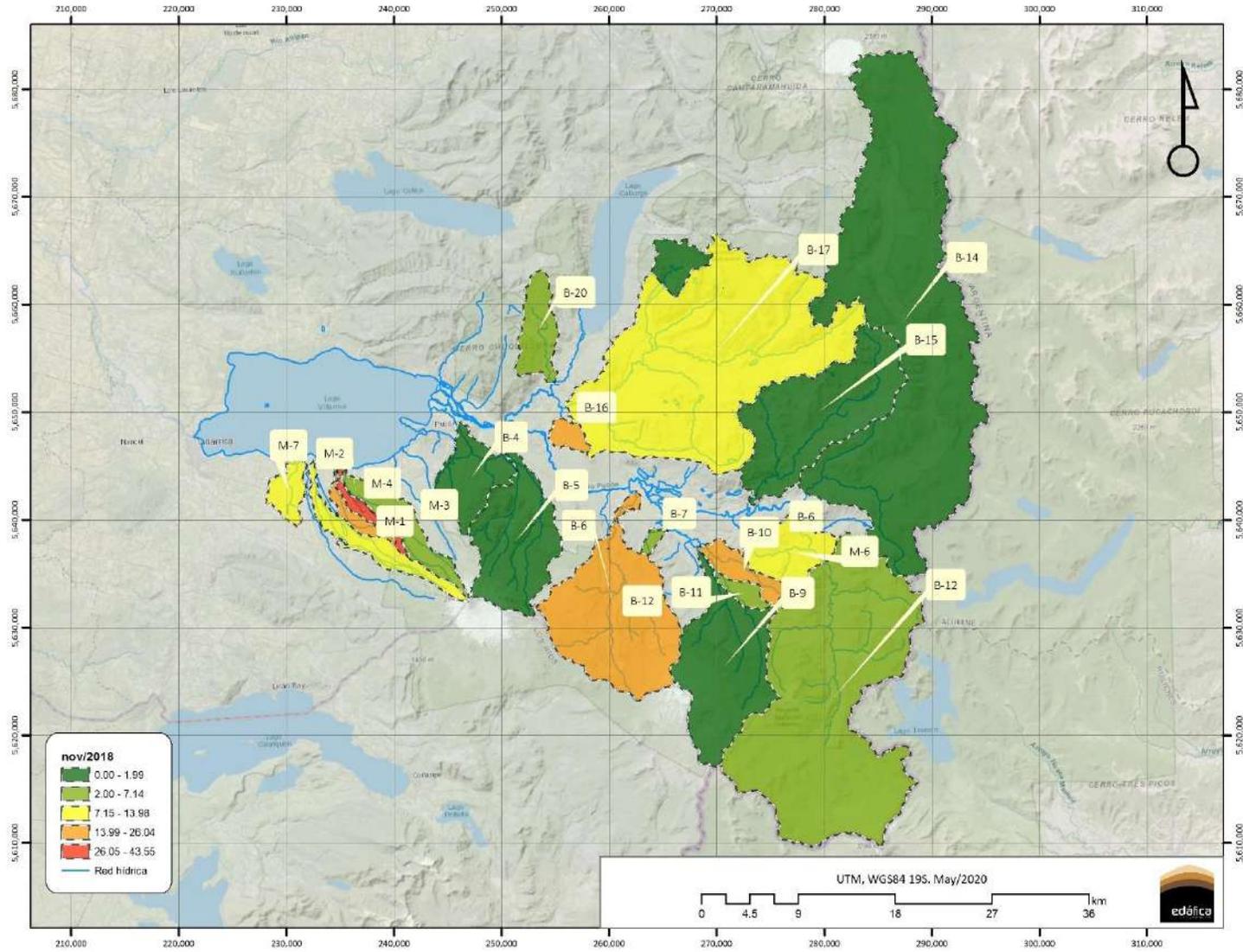
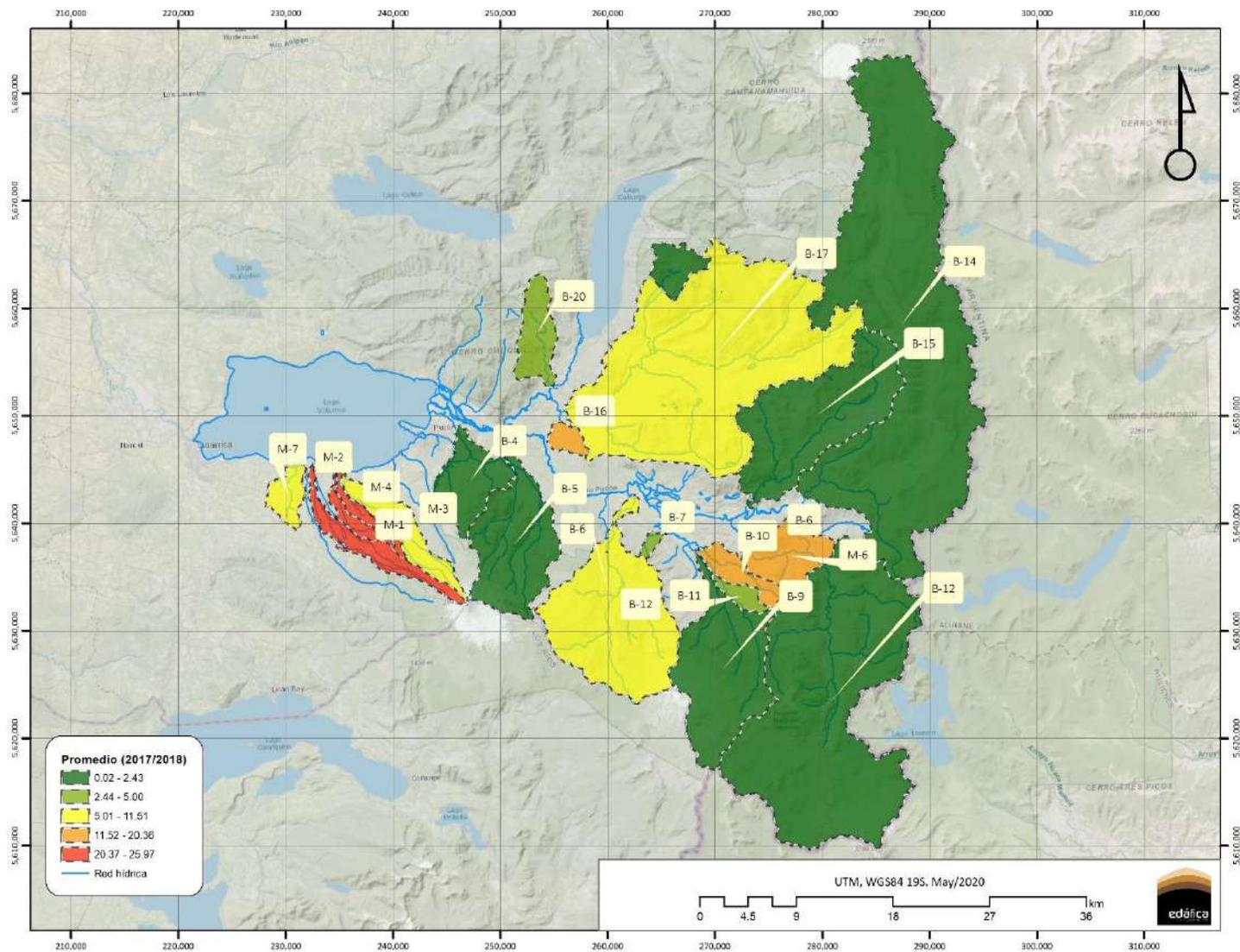


Figura 15. Mapa categorizado de Aportes de NT por subcuenca (kg/ha/año), promedio de sep/2017-jul/2018-nov/2018 (Fuente: elaboración propia)



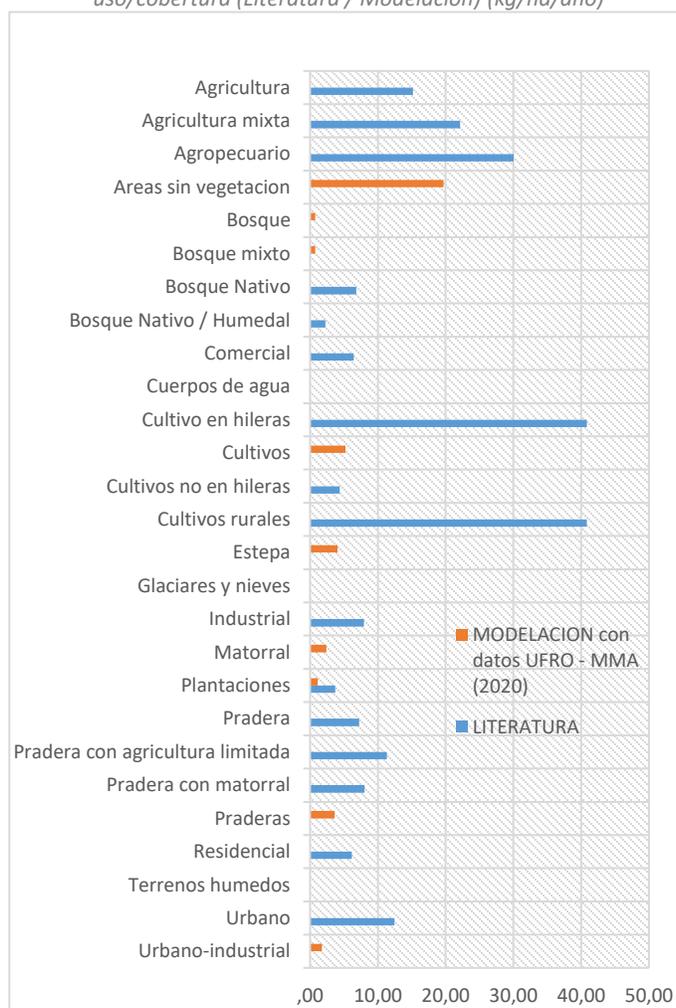
4.2.3 Comparativa coeficientes de exportación según usos de suelo (literatura)

Para el cálculo de los coeficientes de exportación según usos de suelos, se tomaron los valores de concentración, de curva número para suelos tipo A y de precipitaciones utilizados por UFRO-MMA (2020) y la cobertura de usos de suelo de Edáfica – MMA (2018), utilizando operaciones vectoriales en ambiente SIG. Los coeficientes de exportación obtenidos se presentan en Cuadros 5 y 6 y Figuras 16 y 17. En general, los coeficientes de exportación tanto para NT como para PT, a partir de los valores son menores a los indicados por la literatura. Cabe señalar que los datos obtenidos corresponden a estimaciones de valores de coeficientes de exportación con el objeto de evaluar las magnitudes en el caso de los valores reportados por la literatura y los valores previamente dimensionados por estudios anteriores.

Cuadro 5. Comparativa coeficientes de exportación de NT según uso/cobertura (Literatura / Modelación)

Usos / Coberturas	COEF. EXPORTACION NT (kg/ha/año)	
	LITERATURA	MODELACION a partir de datos UFRO – MMA (2020)
Urbano-industrial		1.8
Urbano	12.5	
Terrenos húmedos		0.0
Residencial	6.2	
Praderas		3.6
Pradera con matorral	8.1	
Pradera con agricultura limitada	11.4	
Pradera	7.3	
Plantaciones	3.7	1.2
Matorral		2.4
Industrial	8.0	
Glaciares y nieves		0.0
Estepa		4.1
Cultivos rurales	40.9	
Cultivos no en hileras	4.4	
Cultivos		5.2
Cultivo en hileras	40.9	
Cuerpos de agua		0.0
Comercial	6.5	
Bosque Nativo / Humedal	2.2	
Bosque Nativo	6.8	
Bosque mixto		0.8
Bosque		0.8
Áreas sin vegetación		19.7
Agropecuario	30.1	
Agricultura mixta	22.2	
Agricultura	15.2	

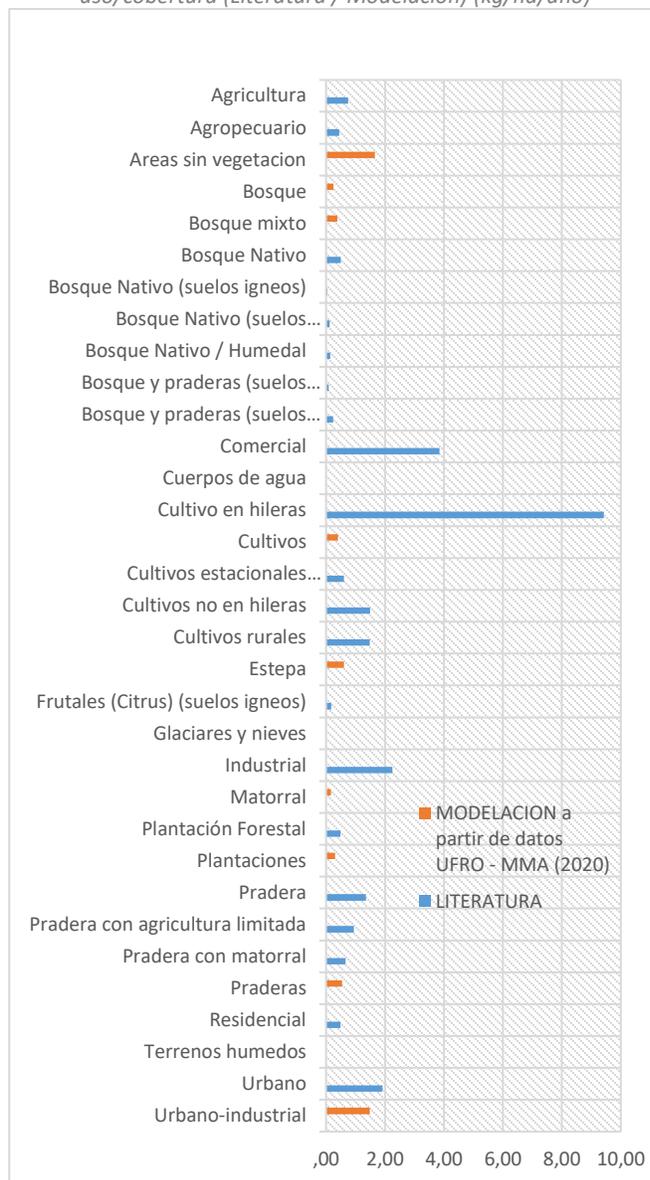
Figura 16. Comparativa coeficientes de exportación de NT según uso/cobertura (Literatura / Modelación) (kg/ha/año)



Cuadro 6. Comparativa coeficientes de exportación de PT según uso/cobertura (Literatura / Modelación)

Usos / Coberturas	COEF. EXPORTACION PT (kg/ha/año)	
	LITERATURA	MODELACION a partir de datos UFRO – MMA (2020)
Urbano-industrial		1.5
Urbano	1.9	
Terrenos húmedos		0.0
Residencial	0.5	
Praderas		0.5
Pradera con matorral	0.7	
Pradera con agricultura limitada	0.9	
Pradera	1.4	
Plantaciones		0.3
Plantación Forestal	0.5	
Matorral		0.2
Industrial	2.3	
Glaciares y nieves		0.0
Frutales (Citrus) (suelos ígneos)	0.2	
Estepa		0.6
Cultivos rurales	1.5	
Cultivos no en hileras	1.5	
Cultivos estacionales (Labranza) (suelos ígneos)	0.6	
Cultivos		0.4
Cultivo en hileras	9.4	
Cuerpos de agua		0.0
Comercial	3.9	
Bosque y praderas (suelos sedimentarios)	0.2	
Bosque y praderas (suelos ígneos)	0.1	
Bosque Nativo / Humedal	0.2	
Bosque Nativo (suelos sedimentarios)	0.1	
Bosque Nativo (suelos ígneos)	0.0	
Bosque Nativo	0.5	
Bosque mixto		0.4
Bosque		0.3
Áreas sin vegetación		1.7
Agropecuario	0.5	
Agricultura	0.7	

Figura 17. Comparativa coeficientes de exportación de PT según uso/cobertura (Literatura / Modelación) (kg/ha/año)



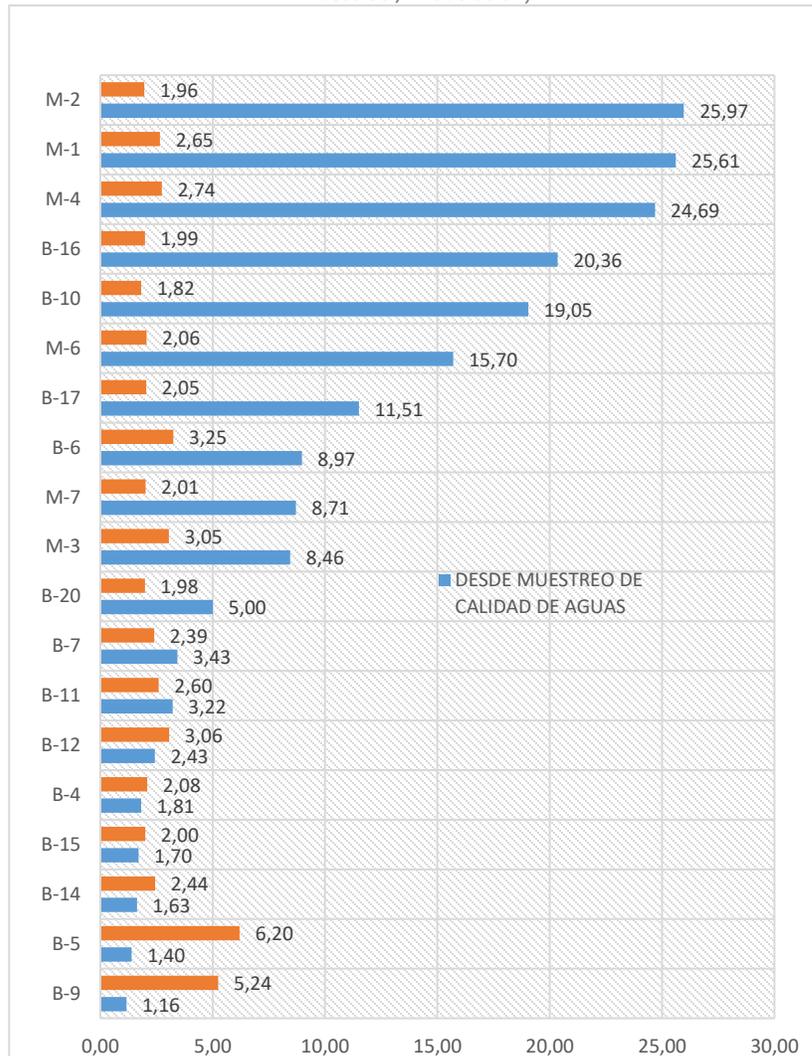
4.2.4 Comparativa preliminar coeficientes de exportación según subcuencas para efectos de muestreo de suelos (desde muestreo de calidad de aguas)

Para realizar la comparativa de los coeficientes de exportación por subcuenta, se tomaron los coeficientes de exportación calculados a partir de los datos de muestreo de calidad de aguas, y los coeficientes de exportación calculados a partir de los valores de concentración de NT y PT informados por UFRO-MMA (2020). Los resultados se indican en Cuadros 7 y 8 y Figuras 18 y 19. En resumen, las subcuencas en donde los coeficientes de NT son mayores para la modelación con datos de UFRO-MMA, 2020 por sobre los coeficientes obtenidos desde muestreo de calidad de aguas son B-9, B-5, B-14, B-15 y B-4 y para PT son B-14, B-7, B-9, B-4 y B-5.

Cuadro 7. Comparativa coeficientes de exportación de NT según subcuenta (desde muestreo / Modelación)

Subcuenta	COEF. EXPORTACION NT (kg/ha/año)	
	Muestreo de calidad de aguas (promedio 2017-2018)	Desde valores de concentración de UFRO-MMA (2020)
B-9	1.16	5.24
B-5	1.40	6.20
B-14	1.63	2.44
B-15	1.70	2.00
B-4	1.81	2.08
B-12	2.43	3.06
B-11	3.22	2.60
B-7	3.43	2.39
B-20	5.00	1.98
M-3	8.46	3.05
M-7	8.71	2.01
B-6	8.97	3.25
B-17	11.51	2.05
M-6	15.70	2.06
B-10	19.05	1.82
B-16	20.36	1.99
M-4	24.69	2.74
M-1	25.61	2.65
M-2	25.97	1.96

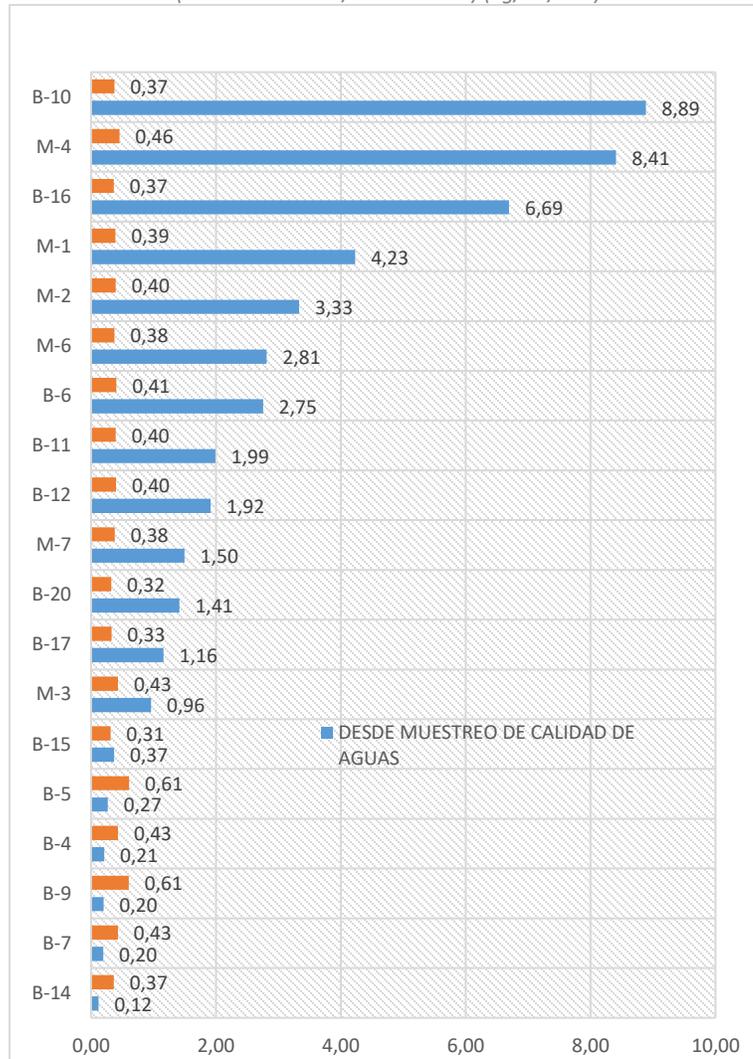
Figura 18. Comparativa coeficientes de exportación de NT según subcuenta (desde muestreo / Modelación)



Cuadro 8. Comparativa coeficientes de exportación de PT según subcuenca (desde muestreo / Modelación)

Subcuenca	Coeficiente exportación PT (kg/ha/año)	
	Muestreo de calidad de aguas (promedio 2017-2018)	Desde valores de concentración de UFRO-MMA (2020)
B-14	0.12	0.37
B-7	0.20	0.43
B-9	0.20	0.61
B-4	0.21	0.43
B-5	0.27	0.61
B-15	0.37	0.31
M-3	0.96	0.43
B-17	1.16	0.33
B-20	1.41	0.32
M-7	1.50	0.38
B-12	1.92	0.40
B-11	1.99	0.40
B-6	2.75	0.41
M-6	2.81	0.38
M-2	3.33	0.40
M-1	4.23	0.39
B-16	6.69	0.37
M-4	8.41	0.46
B-10	8.89	0.37

Figura 19. Comparativa coeficientes de exportación de PT según subcuenca (desde muestreo / Modelación) (kg/ha/año)



Cabe señalar que este análisis tiene por objeto obtener una distribución espacial de los coeficientes de exportación y facilitar la decisión de fijar los sitios de muestreo de suelos en función de identificar aquellas microcuencas con menor intervención antrópica de aquellas con mayor presencia de fuentes puntuales, y corresponde a un análisis de valores obtenidos para el presente estudio por una parte, a partir de la estimación de los coeficientes de exportación desde datos de muestreo de calidad de aguas y por otra desde los coeficientes de exportación en concentración modelados por estudios anteriores, pero utilizando las actualizaciones de las coberturas de uso de suelos y delimitación de microcuencas realizadas por el presente estudio.

4.2.5 Análisis de correlación

Para evidenciar variables de interés que pudieran estar controlando los valores de concentraciones de N y P en los muestreos de calidad de aguas, se realizó un análisis estadístico de correlación de Pearson, tomando todas las variables disponibles para cada subcuenca aislada según se detalla en el ítem 4.2.1 del presente informe. En Anexo 4 se presenta la totalidad de los coeficientes de correlación para las variables disponibles para cada subcuenca identificada.

La correlación de Pearson es una medida de la fuerza de una asociación lineal entre dos variables, la que puede tomar un rango de valores de +1 a -1. Un valor de 0 indica que no hay asociación entre las dos variables. Un valor mayor que 0 indica una asociación positiva, es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, también lo hace el valor de la otra variable. Un valor menor que 0 indica una asociación negativa, es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, disminuye el valor de la otra variable. Cuanto más fuerte sea la asociación de las dos variables, más cercano será el coeficiente de correlación de Pearson a +1 o -1 dependiendo de si la relación es positiva o negativa, respectivamente. Para realizar este análisis se utilizó el software de estadística Minitab, en donde las unidades de las coberturas de Usos, Tipos y Pendientes de suelos están en superficie (ha). Cabe señalar que el análisis de correlación es independiente de la unidad de medida de las variables, de hecho, los cálculos para el coeficiente de correlación de Pearson fueron diseñados de tal manera que las unidades de medida no afecten el cálculo. Esto permite que el coeficiente de correlación sea comparable y no esté influenciado por las unidades de las variables utilizadas.

Los resultados de las correlaciones se presentan en Cuadros 9, 10, 11 y 12 y Figuras 20, 21, 22 y 23, en donde se aprecia que la variable que correlaciona positivamente con los valores de fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en los puntos de monitoreo, corresponde al uso de suelo Plantaciones Forestales.

Por otra parte, los valores de todas las concentraciones de formas de N y de P correlacionan negativamente con la presencia del uso de suelos Terrenos húmedos (humedales).

A la luz de estos resultados, resulta evidente que el Uso Plantaciones Forestales podría estar incidiendo en la concentración de formas de N y de P en las aguas monitoreadas, mientras que la presencia de humedales es un factor que estaría contribuyendo a la retención de las formas de N y P en las cuencas.

Complementariamente, el uso Bosque nativo, correlaciona positivamente con un mayor caudal y una mayor retención de fósforo total, y el uso Glaciares y Nieves, correlaciona con un mayor caudal y aporte de fósforo total en época de primavera, y con menores aportes de NT y PT en invierno. Esto concuerda con los conceptos de funciones ecosistémicas que aportan los usos de suelo, en el caso de humedales la retención de nutrientes, en el caso de bosques, glaciares y nieves la provisión de recursos hídricos. Cabe señalar que, la correlación positiva del uso Bosque Nativo con los caudales medidos tiene relación con el total de superficie que representa como Uso/cobertura en la subcuenca.

En el caso de plantaciones forestales, los aportes de nutrientes, particularmente de fósforo estaría relacionado a la generación de procesos erosivos por la habilitación de caminos forestales, tránsito de maquinarias y faenas de cosecha que impactan fuertemente sobre el suelo. Cabe señalar que diversos

autores relacionan los contenidos de fósforo en aguas con material particulado generado por escurrimiento superficial (Cárdenas, 2007), (Aranguren, 2018).

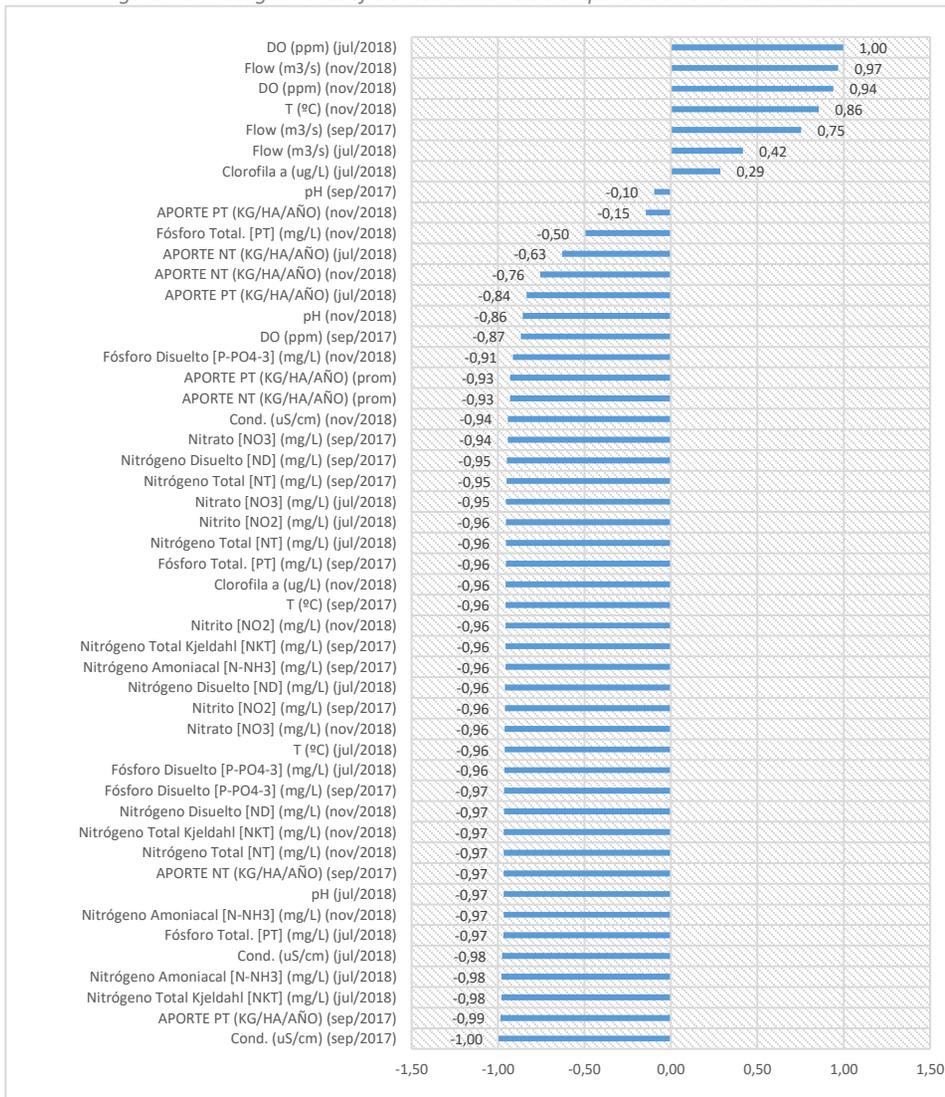
Otras variables como pendientes del terreno, número de viviendas, y Series de suelos por subcuencas no presentan correlación con las variables de calidad de aguas.

Luego, para la definición de la combinatoria de Usos de suelos y Tipos de suelos, dado que los suelos no son una variable condicionante según los datos analizados, se plantea un muestreo basado en condiciones de Usos y subcuencas con calidades de aguas contrastantes, lo que se resume en el análisis de aportes de NT y PT a nivel de subcuenca presentado precedentemente.

Cuadro 9. Coeficientes de correlación para uso Terrenos húmedos

Variable	Coef. regresión
Cond. (uS/cm) (sep/2017)	-1.00
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (sep/2017)	-0.99
Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) (jul/2018)	-0.98
Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L) (jul/2018)	-0.98
Cond. (uS/cm) (jul/2018)	-0.98
Fósforo Total. [PT] (mg/L) (jul/2018)	-0.97
Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L) (nov/2018)	-0.97
pH (jul/2018)	-0.97
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (sep/2017)	-0.97
Nitrógeno Total [NT] (mg/L) (nov/2018)	-0.97
Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) (nov/2018)	-0.97
Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) (nov/2018)	-0.97
Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) (sep/2017)	-0.97
Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) (jul/2018)	-0.96
T (°C) (jul/2018)	-0.96
Nitrato [NO ₃] (mg/L) (nov/2018)	-0.96
Nitrito [NO ₂] (mg/L) (sep/2017)	-0.96
Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) (jul/2018)	-0.96
Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L) (sep/2017)	-0.96
Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) (sep/2017)	-0.96
Nitrito [NO ₂] (mg/L) (nov/2018)	-0.96
T (°C) (sep/2017)	-0.96
Clorofila a (ug/L) (nov/2018)	-0.96
Fósforo Total. [PT] (mg/L) (sep/2017)	-0.96
Nitrógeno Total [NT] (mg/L) (jul/2018)	-0.96
Nitrito [NO ₂] (mg/L) (jul/2018)	-0.96
Nitrato [NO ₃] (mg/L) (jul/2018)	-0.95
Nitrógeno Total [NT] (mg/L) (sep/2017)	-0.95
Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) (sep/2017)	-0.95
Nitrato [NO ₃] (mg/L) (sep/2017)	-0.94
Cond. (uS/cm) (nov/2018)	-0.94
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (prom)	-0.93
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (prom)	-0.93
Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) (nov/2018)	-0.91
DO (ppm) (sep/2017)	-0.87
pH (nov/2018)	-0.86
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (jul/2018)	-0.84
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (nov/2018)	-0.76
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (jul/2018)	-0.63
Fósforo Total. [PT] (mg/L) (nov/2018)	-0.50
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (nov/2018)	-0.15
pH (sep/2017)	-0.10
Clorofila a (ug/L) (jul/2018)	0.29
Flow (m3/s) (jul/2018)	0.42
Flow (m3/s) (sep/2017)	0.75
T (°C) (nov/2018)	0.86
DO (ppm) (nov/2018)	0.94
Flow (m3/s) (nov/2018)	0.97
DO (ppm) (jul/2018)	1.00

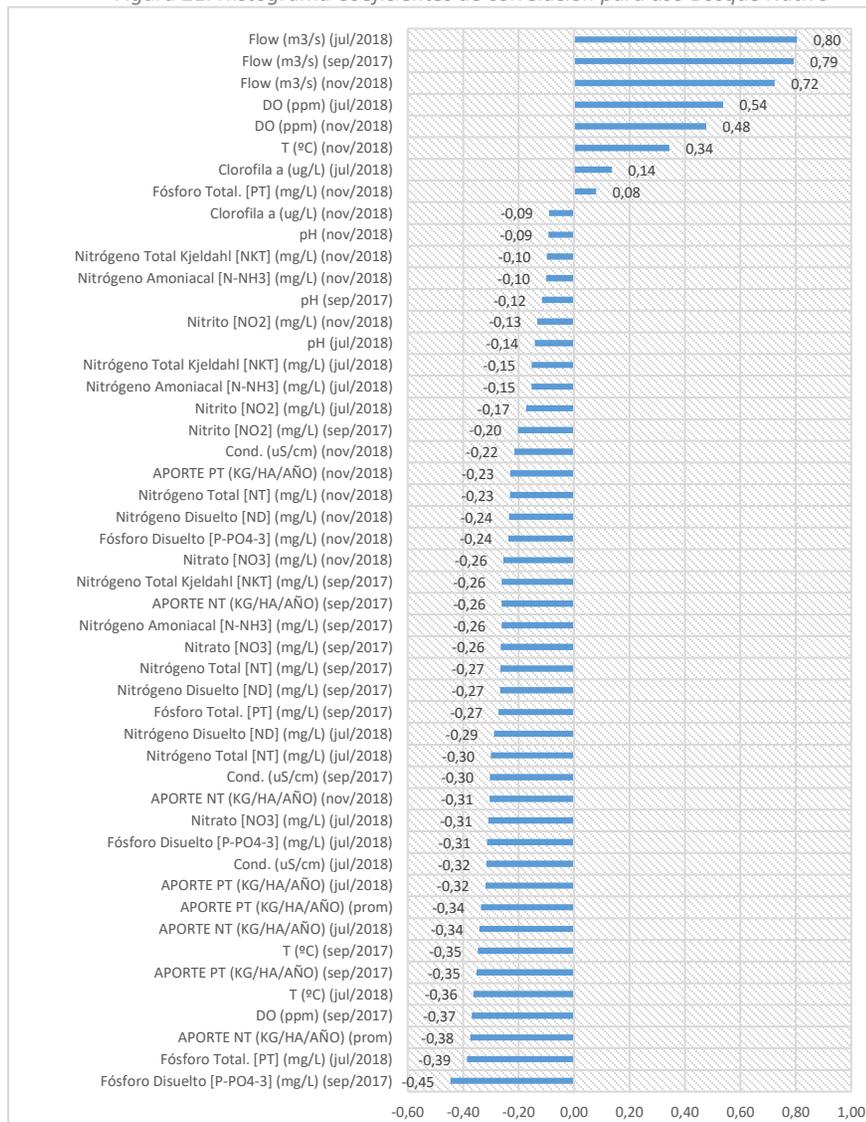
Figura 20. Histograma Coeficientes de correlación para uso Terrenos húmedos



Cuadro 10. Coeficientes de correlación para uso Bosque nativo

Variable	Coef. regresión
Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) (sep/2017)	-0.45
Fósforo Total. [PT] (mg/L) (jul/2018)	-0.39
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (prom)	-0.38
DO (ppm) (sep/2017)	-0.37
T (°C) (jul/2018)	-0.36
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (sep/2017)	-0.35
T (°C) (sep/2017)	-0.35
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (jul/2018)	-0.34
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (prom)	-0.34
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (jul/2018)	-0.32
Cond. (uS/cm) (jul/2018)	-0.32
Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) (jul/2018)	-0.31
Nitrato [NO ₃] (mg/L) (jul/2018)	-0.31
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (nov/2018)	-0.31
Cond. (uS/cm) (sep/2017)	-0.30
Nitrógeno Total [NT] (mg/L) (jul/2018)	-0.30
Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) (jul/2018)	-0.29
Fósforo Total. [PT] (mg/L) (sep/2017)	-0.27
Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) (sep/2017)	-0.27
Nitrógeno Total [NT] (mg/L) (sep/2017)	-0.27
Nitrato [NO ₃] (mg/L) (sep/2017)	-0.26
Nitrógeno Amoniacal [N-NH ₃] (mg/L) (sep/2017)	-0.26
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (sep/2017)	-0.26
Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) (sep/2017)	-0.26
Nitrato [NO ₃] (mg/L) (nov/2018)	-0.26
Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) (nov/2018)	-0.24
Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) (nov/2018)	-0.24
Nitrógeno Total [NT] (mg/L) (nov/2018)	-0.23
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (nov/2018)	-0.23
Cond. (uS/cm) (nov/2018)	-0.22
Nitrito [NO ₂] (mg/L) (sep/2017)	-0.20
Nitrito [NO ₂] (mg/L) (jul/2018)	-0.17
Nitrógeno Amoniacal [N-NH ₃] (mg/L) (jul/2018)	-0.15
Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) (jul/2018)	-0.15
pH (jul/2018)	-0.14
Nitrito [NO ₂] (mg/L) (nov/2018)	-0.13
pH (sep/2017)	-0.12
Nitrógeno Amoniacal [N-NH ₃] (mg/L) (nov/2018)	-0.10
Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) (nov/2018)	-0.10
pH (nov/2018)	-0.09
Clorofila a (ug/L) (nov/2018)	-0.09
Fósforo Total. [PT] (mg/L) (nov/2018)	0.08
Clorofila a (ug/L) (jul/2018)	0.14
T (°C) (nov/2018)	0.34
DO (ppm) (nov/2018)	0.48
DO (ppm) (jul/2018)	0.54
Flow (m3/s) (nov/2018)	0.72
Flow (m3/s) (sep/2017)	0.79
Flow (m3/s) (jul/2018)	0.80

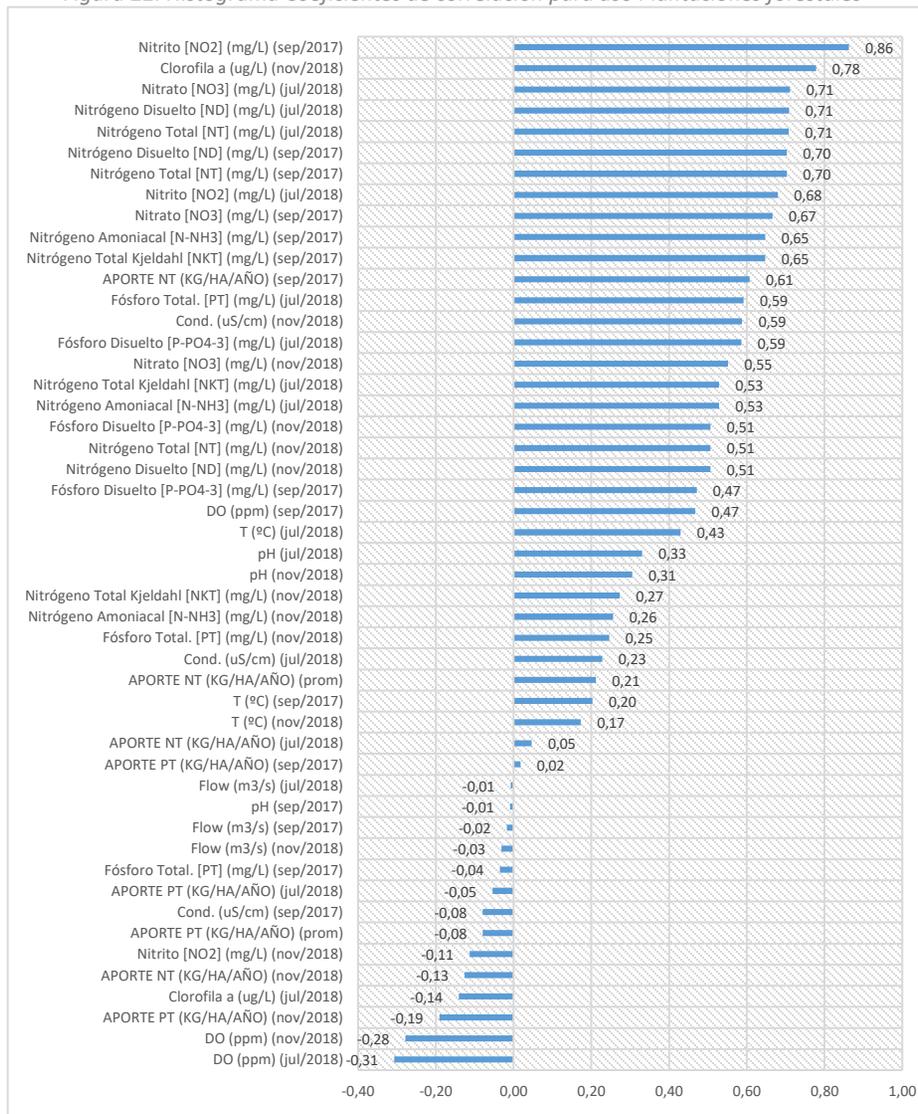
Figura 21. Histograma Coeficientes de correlación para uso Bosque Nativo



Cuadro 11. Coeficientes de correlación para uso Plantaciones forestales

Variable	Coef. regresión
DO (ppm) (jul/2018)	-0.31
DO (ppm) (nov/2018)	-0.28
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (nov/2018)	-0.19
Clorofila a (ug/L) (jul/2018)	-0.14
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (nov/2018)	-0.13
Nitrito [NO2] (mg/L) (nov/2018)	-0.11
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (prom)	-0.08
Cond. (uS/cm) (sep/2017)	-0.08
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (jul/2018)	-0.05
Fósforo Total. [PT] (mg/L) (sep/2017)	-0.04
Flow (m3/s) (nov/2018)	-0.03
Flow (m3/s) (sep/2017)	-0.02
pH (sep/2017)	-0.01
Flow (m3/s) (jul/2018)	-0.01
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (sep/2017)	0.02
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (jul/2018)	0.05
T (°C) (nov/2018)	0.17
T (°C) (sep/2017)	0.20
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (prom)	0.21
Cond. (uS/cm) (jul/2018)	0.23
Fósforo Total. [PT] (mg/L) (nov/2018)	0.25
Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L) (nov/2018)	0.26
Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) (nov/2018)	0.27
pH (nov/2018)	0.31
pH (jul/2018)	0.33
T (°C) (jul/2018)	0.43
DO (ppm) (sep/2017)	0.47
Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) (sep/2017)	0.47
Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) (nov/2018)	0.51
Nitrógeno Total [NT] (mg/L) (nov/2018)	0.51
Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) (nov/2018)	0.51
Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L) (jul/2018)	0.53
Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) (jul/2018)	0.53
Nitrato [NO3] (mg/L) (nov/2018)	0.55
Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) (jul/2018)	0.59
Cond. (uS/cm) (nov/2018)	0.59
Fósforo Total. [PT] (mg/L) (jul/2018)	0.59
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (sep/2017)	0.61
Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) (sep/2017)	0.65
Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L) (sep/2017)	0.65
Nitrato [NO3] (mg/L) (sep/2017)	0.67
Nitrito [NO2] (mg/L) (jul/2018)	0.68
Nitrógeno Total [NT] (mg/L) (sep/2017)	0.70
Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) (sep/2017)	0.70
Nitrógeno Total [NT] (mg/L) (jul/2018)	0.71
Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) (jul/2018)	0.71
Nitrato [NO3] (mg/L) (jul/2018)	0.71
Clorofila a (ug/L) (nov/2018)	0.78
Nitrito [NO2] (mg/L) (sep/2017)	0.86

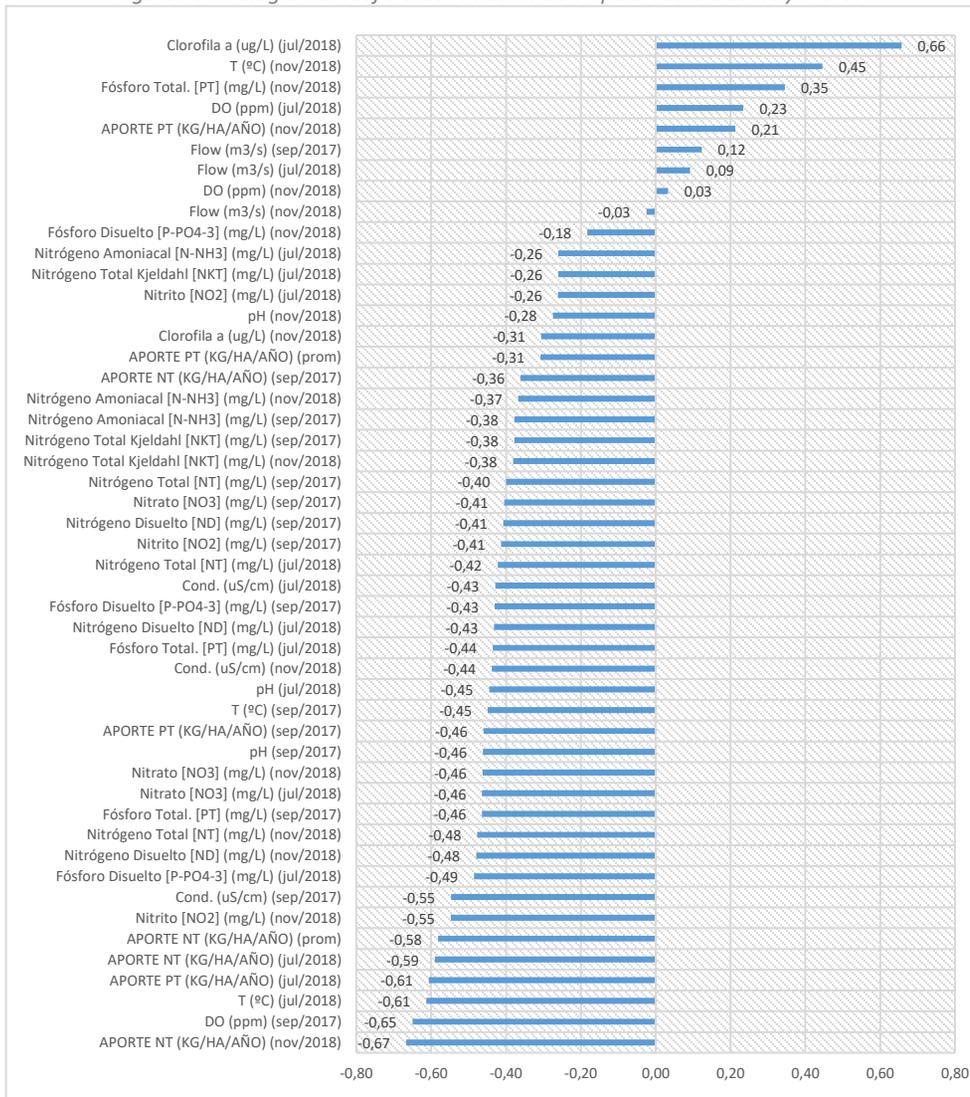
Figura 22. Histograma Coeficientes de correlación para uso Plantaciones forestales



Cuadro 12. Coeficientes de correlación para uso Glaciares y nieves

Variable	Coef. regresión
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (nov/2018)	-0.67
DO (ppm) (sep/2017)	-0.65
T (°C) (jul/2018)	-0.61
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (jul/2018)	-0.61
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (jul/2018)	-0.59
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (prom)	-0.58
Nitrito [NO ₂] (mg/L) (nov/2018)	-0.55
Cond. (uS/cm) (sep/2017)	-0.55
Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) (jul/2018)	-0.49
Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) (nov/2018)	-0.48
Nitrógeno Total [NT] (mg/L) (nov/2018)	-0.48
Fósforo Total. [PT] (mg/L) (sep/2017)	-0.46
Nitrato [NO ₃] (mg/L) (jul/2018)	-0.46
Nitrato [NO ₃] (mg/L) (nov/2018)	-0.46
pH (sep/2017)	-0.46
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (sep/2017)	-0.46
T (°C) (sep/2017)	-0.45
pH (jul/2018)	-0.45
Cond. (uS/cm) (nov/2018)	-0.44
Fósforo Total. [PT] (mg/L) (jul/2018)	-0.44
Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) (jul/2018)	-0.43
Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) (sep/2017)	-0.43
Cond. (uS/cm) (jul/2018)	-0.43
Nitrógeno Total [NT] (mg/L) (jul/2018)	-0.42
Nitrito [NO ₂] (mg/L) (sep/2017)	-0.41
Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) (sep/2017)	-0.41
Nitrato [NO ₃] (mg/L) (sep/2017)	-0.41
Nitrógeno Total [NT] (mg/L) (sep/2017)	-0.40
Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) (nov/2018)	-0.38
Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) (sep/2017)	-0.38
Nitrógeno Amoniacal [N-NH ₃] (mg/L) (sep/2017)	-0.38
Nitrógeno Amoniacal [N-NH ₃] (mg/L) (nov/2018)	-0.37
APORTE NT (KG/HA/AÑO) (sep/2017)	-0.36
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (prom)	-0.31
Clorofila a (ug/L) (nov/2018)	-0.31
pH (nov/2018)	-0.28
Nitrito [NO ₂] (mg/L) (jul/2018)	-0.26
Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) (jul/2018)	-0.26
Nitrógeno Amoniacal [N-NH ₃] (mg/L) (jul/2018)	-0.26
Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) (nov/2018)	-0.18
Flow (m3/s) (nov/2018)	-0.03
DO (ppm) (nov/2018)	0.03
Flow (m3/s) (jul/2018)	0.09
Flow (m3/s) (sep/2017)	0.12
APORTE PT (KG/HA/AÑO) (nov/2018)	0.21
DO (ppm) (jul/2018)	0.23
Fósforo Total. [PT] (mg/L) (nov/2018)	0.35
T (°C) (nov/2018)	0.45
Clorofila a (ug/L) (jul/2018)	0.66

Figura 23. Histograma Coeficientes de correlación para uso Glaciares y nieves



4.3 Plan de muestreo de suelos

4.3.1 Selección puntos de monitoreo, número de muestras y metodología de muestreo

De acuerdo con los resultados presentados anteriormente, se realizó un muestreo en las siguientes categorías de Uso de suelos:

- i. Plantaciones forestales
- ii. Bosque nativo
- iii. Praderas

Con el objeto de obtener situaciones contrastantes en cuanto a los valores de aportes de NT y PT, se realizó muestreo en las subcuencas con bajos valores de aporte y contrastantemente con altos valores de aporte según lo siguiente:

- a. Bajos aportes de NT y PT
 - i. B-9
 - ii. B-14
- b. Altos aportes de NT y PT
 - i. M-4
 - ii. B-10

Con esta combinatoria de situaciones se tiene 3 usos de suelos y 4 subcuencas, lo que resulta en un total de 12 puntos de muestreo si, todas las combinaciones se dieran en el terreno. En Figura 24 se presenta un mapa tentativo de ubicación de puntos de muestreo considerando las combinaciones seleccionadas, incluyendo 2 sectores de humedales, esto para verificar la condición de los suelos de estos ecosistemas que, de acuerdo con los datos analizados y diversos autores, actúan como importantes retenedores de nutrientes en las cuencas.

Debido a que no se relevó una relación clara entre tipos de suelos, aportes de nutrientes y calidad de aguas, se incluyó en cada sitio de muestreo una caracterización detallada de suelos.

Esta caracterización detallada de los suelos se realizó por horizonte de diagnóstico utilizando el estándar Schoeneberger (2012), con muestreo en cada punto a 2 profundidades, las que correspondiendo con los horizontes A y B.

De esta forma, el total de muestras a obtener es de 14.

Los análisis realizados en muestras de suelos en laboratorio son los siguientes:

- i. Contenidos totales de elementos de interés, en este caso contenido de fósforo total y de nitrógeno total.
- ii. Contenidos disponibles de elementos de interés, en este caso contenido de fósforo disponible (P Olsen) y de nitrógeno disponible.

- iii. Contenidos solubles de elementos de interés, en este caso contenido de fósforo soluble y de nitrógeno soluble.
- iv. Densidad aparente.
- v. Contenido de carbono orgánico.
- vi. Relación C/N

Las muestras fueron obtenidas alternativamente utilizando desde calicata excavada con fines de caracterización del suelo. Las muestras de densidad aparente se obtuvieron con el método del terrón.

Los análisis en laboratorio se realizaron de acuerdo con el estándar Métodos de análisis de recomendados para los suelos de Chile (Sadzawka *et al.* 2006). Los factores que controlan la lixiviación de nitrógeno y el arrastre de fósforo estarán dados entre otros por:

- i. Relación carbono/nitrógeno: se obtiene de los contenidos de carbono orgánico y de los contenidos de nitrógeno total. Cuando la relación C/N es mayor a 30, el nitrógeno se inmoviliza en el suelo, y por lo tanto no se lixivía.
- ii. Densidad aparente: un alto valor de densidad aparente, por sobre 1,4 g/cm³ indica un suelo con escasa permeabilidad y mayor potencial de generar escurrimientos superficiales, lo que impacta en el potencial de arrastre de fósforo desde los suelos, asociado al transporte de partículas durante la ocurrencia de precipitaciones efectivas. Para cuantificar el suelo erosionado o sedimentado en ton/ha, por ejemplo, se puede utilizar la siguiente expresión matemática, empleada por Cuitiño (1999), y Concha (2004) (citados en Pino, 2008):

$$X \text{ (ton/ ha)} = Y * Da * 10$$

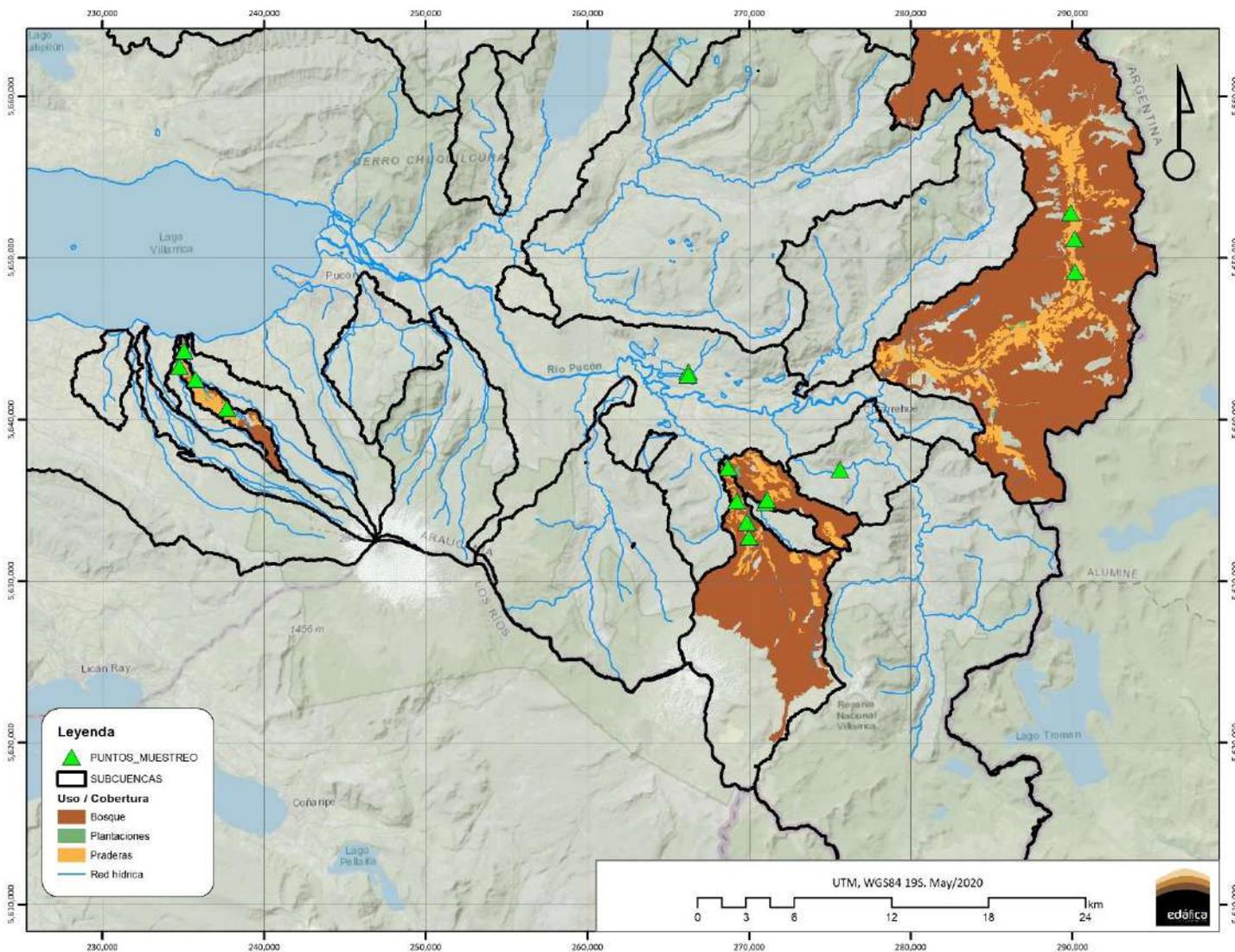
Donde:

X: suelo erosionado o sedimentado (ton/ha)

Y: altura media de suelo erosionado o sedimentado (mm)

Da: densidad aparente del suelo (ton/m³)

Figura 24. Propuesta de distribución de sitios de muestreo de suelos (Usos de suelo según Edáfica -MMA, 2018)



4.3.2 Desarrollo de trabajos en terreno y envío a laboratorio

Los trabajos de muestreo se realizaron entre el 25/jun y el 30/jun de 2020. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de Análisis de suelo de la facultad de Agronomía de la PUCV en Quillota, laboratorio acreditado ISO 17.025.

4.4 Resultados muestreo de suelos

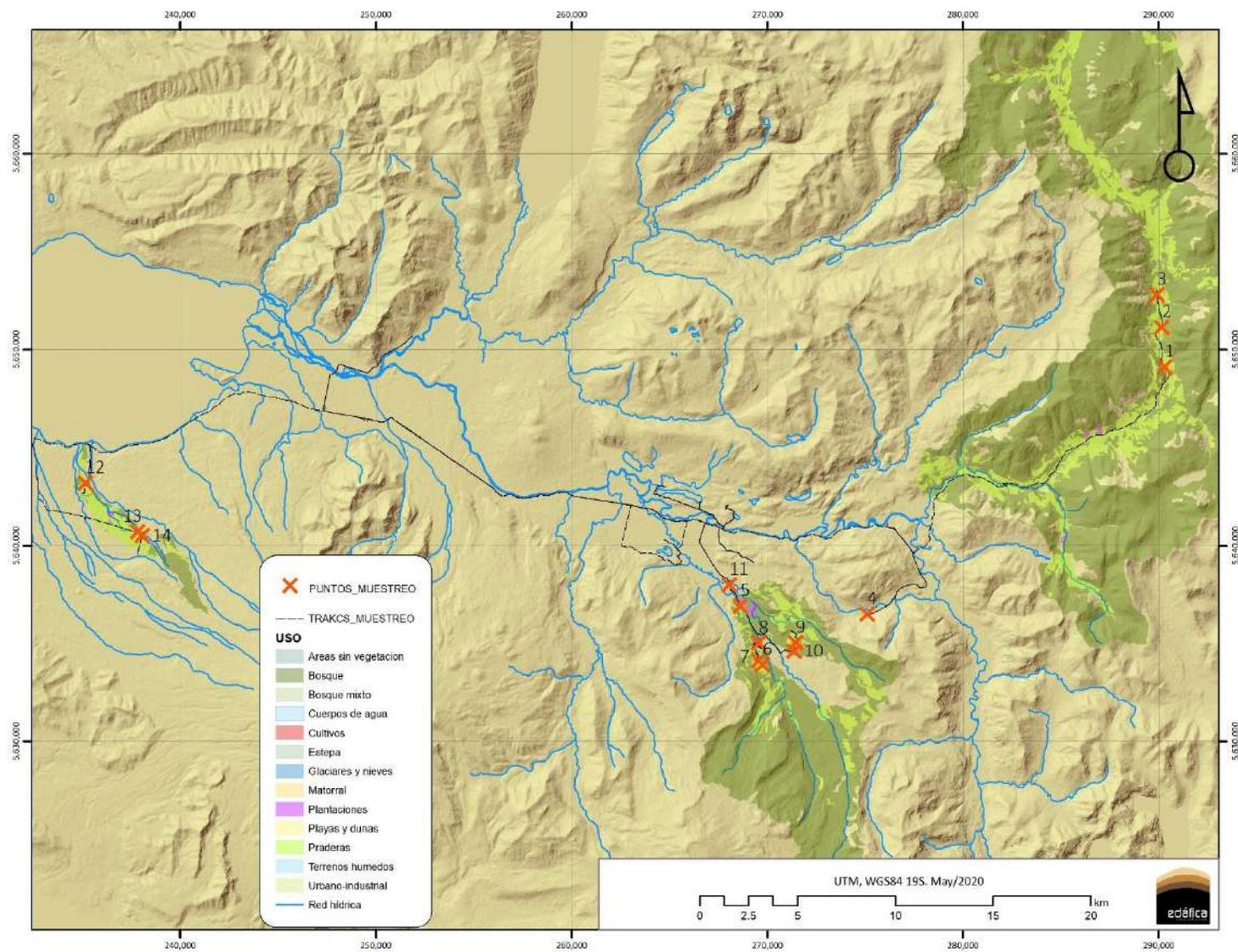
En Cuadro 13 y Figura 25 se indican las coordenadas de los sitios de descripción y muestreo. En Anexo 6, se incorpora una guía con la descripción de las variables e indicadores utilizados en las descripciones morfológicas de los suelos.

Las descripciones de suelos se enfocan en la identificación de horizontes de diagnóstico, texturas de campo, estructura, consistencia, resistencia, distribución de raíces, límites de horizontes, color según tabla Munsell, y presencia de rasgos específicos entre otras propiedades que puedan reconocerse.

Cuadro 13. Coordenadas sitios de muestreo. Usos de suelos desde Edáfica – MMA (2018)

Sitio	Uso / Cobertura	este	norte
1	Bosque nativo	290.306	5.649.119
2	Pradera	290.138	5.651.146
3	Plantación forestal (pino)	289.911	5.652.820
4	Humedal palustre emergente	275.103	5.636.513
5	Plantación forestal cosechada (eucalipto)	268.618	5.636.934
6	Pradera	269.752	5.633.919
7	Plantación forestal (eucalipto)	269.555	5.634.138
8	Bosque nativo	269.558	5.635.040
9	Pradera	271.431	5.635.049
10	Bosque nativo	271.358	5.634.622
11	Humedal palustre emergente	268.049	5.638.013
12	Pradera punto 12	235.149	5.643.200
13	Bosque nativo	237.821	5.640.710
14	Plantación forestal (pino)	238.053	5.640.521

Figura 25. Distribución puntos de muestreo de suelos (jun/2020) (Usos de suelo desde Edáfica – MMA, 2018)



4.4.1 Resultados de análisis de laboratorio

El resumen de los valores determinados por análisis de laboratorio se presenta en Cuadro 14. En Figuras 27 a 35 se presentan los promedios de las determinaciones realizadas según Uso de suelos.

4.4.1.1 Nitrógeno total

Los resultados de los análisis de laboratorio de las muestras permiten detectar valores entre 0,07 y 1,63 % de N total. Los menores valores se registran en el sitio 5 (horizonte B) de plantación forestal, sitio 2 (horizonte B) de pradera y sitio 11 (horizonte B) de humedal. Los mayores valores se registran en el sitio 4 de humedal, en ambos horizontes.

4.4.1.2 Nitrógeno disponible

Los análisis de laboratorio muestran valores de N disponible que varían entre 5,25 y 53,6 mg/kg. Los menores niveles se registran en el sitio 5 (horizonte B) de plantación forestal, sitio 11 (horizonte B) de humedal y sitio 12 (horizonte B) de pradera. Los mayores niveles se registran en el sitio 14 de plantación forestal, sitios 2 y 6 de pradera y sitio 4 de humedal, todos en el horizonte B.

4.4.1.3 Nitrógeno soluble

Con respecto al N soluble, los resultados de laboratorio indican niveles entre 0,57 y 9,73 mg/l para los sitios muestreados. Los menores valores se registran en el sitio 11 (horizonte B) de humedal y sitio 5 (horizonte B) de plantación forestal. Los mayores valores se registran en el sitio 12 (horizonte A) de pradera y sitio 4 (horizonte B) de humedal.

4.4.1.4 Nitrógeno en relación al uso de suelo

En general, no es posible advertir un patrón de comportamiento o niveles de concentración de las fracciones de N evaluadas con respecto al uso de suelo, Aunque en el caso de bosque nativo, éste no destaca por niveles menores o mayores con respecto a los otros usos. El sitio 4 de humedal registra mayores concentraciones de N total, disponible y soluble, lo que posiblemente tenga relación con una importante presencia de ganado en el lugar, dado que el sitio 11, también de humedal, no registra los mismos niveles, sino más bien niveles bajos en relación a los otros registrados.

El sitio 5 con una plantación forestal de eucalipto resulta tener los menores niveles para todas las fracciones de N evaluadas. Cabe destacar que en dicho sitio se muestreó la plantación forestal más productiva, recientemente cosechada, además. El otro sitio con plantación forestal de eucalipto evaluado también registró bajas valores, lo que estaría reflejando una fuerte demanda de N por parte de la especie. En las praderas no es posible detectar un patrón de comportamiento de las formas de N evaluadas.

Por otra parte, los mayores valores en todas las fracciones de N tienden a encontrarse en el horizonte B, lo que refleja la movilidad de este elemento en el perfil del suelo.

4.4.1.5 Fósforo total

Los resultados de laboratorio permiten detectar valores entre 0,02 y 0,12 % de P total. Los menores valores se registran en el sitio 11 de humedal, sitio 4 de humedal y sitio 13 de bosque nativo, en todos los casos en el horizonte B. Los mayores valores se registran en el sitio 2 de pradera, sitio 3 de plantación forestal, sitio 14 de plantación forestal y sitio 4 de humedal, todos en el horizonte A.

4.4.1.6 Fósforo disponible

Los análisis de las muestras registran valores de P disponible que varían entre 2,18 y 89,90 mg/kg. Los menores niveles se registran en el sitio 3 de plantación forestal, sitio 12 de pradera, sitio 14 de plantación forestal y sitio 13 de bosque nativo, en todos los casos en el horizonte B. Destaca la concentración detectada en el sitio 9 de pradera, en el horizonte A, concentración muy por sobre las encontradas en las otras muestras analizadas.

4.4.1.7 Fósforo soluble

En relación al p soluble, los resultados de laboratorio indican niveles entre 0,08 y 16,50 mg/l para los sitios muestreados. Los menores valores se registran en el sitio 4 (horizonte B) de humedal, sitio 7 (horizonte B) de plantación forestal, sitio 11 (horizonte A) de humedal y sitio 13 (horizonte B) de bosque nativo. Los mayores valores se registran en el sitio 5 (horizonte B) de plantación forestal y sitio 14 (horizonte A) también de plantación forestal.

4.4.1.8 Fósforo en relación al uso de suelo

En el caso de las fracciones de P evaluadas, es aún menos evidente encontrar un patrón entre las concentraciones registradas y los usos de suelo en estudio.

En relación a los valores encontrados a distintas profundidades, los menores valores en todas las fracciones de p tienden a encontrarse en el horizonte B, lo que refleja la escasa movilidad de este elemento en el perfil del suelo, al contrario de lo que estaría reflejándose para el N. Caso particular es el alto nivel de P soluble detectado en el horizonte B del sitio 5 de plantación forestal.

4.4.1.9 Carbono orgánico

Los análisis de laboratorio muestran valores de carbono orgánico entre 0,44 y 24,6 %. Los menores niveles se registran en el sitio 5 (horizonte B) de plantación forestal, sitio 2 (horizonte B) de pradera y sitio 11 (horizonte B) de humedal. Los mayores niveles se registran en el sitio 4 de humedal (ambos horizontes) y en el sitio 14 (horizonte A) de plantación forestal.

En general los menores valores se encuentran en horizonte B, mientras que los mayores en el horizonte A, lo que es coincidente con la acumulación de hojarasca y material vegetal en superficie.

4.4.1.10 Relación C/N

Los resultados de laboratorio indican valores para la relación C/N que varían entre 5,99 y 45,1. Los menores niveles se registran en el sitio 5 de plantación forestal, sitio 2 de pradera y sitio 11 de humedal, todos en el horizonte B (coincidentes con las muestras de menores valores para C orgánico). Los mayores niveles se registran en los sitios 14 y 7 de plantación forestal, así como en el sitio 13 de bosque nativo, todos en el horizonte A.

Al igual que en el caso del carbono orgánico, los menores valores se encuentran en horizonte B, mientras que los mayores en el horizonte A.

4.4.1.11 Densidad aparente

En relación a la densidad aparente, los valores encontrados por el análisis de laboratorio se encuentran entre 0,39 y 1,51 g/cm³. Los menores valores se registraron para el sitio 4 de humedal en sus 2 horizontes. Los mayores valores se registraron en el sitio 5 de plantación forestal de eucalipto recién cosechado

(horizonte B), lo que tendría relación con la compactación del suelo producto del tránsito de maquinaria, y en el sitio 2 de pradera (horizonte B).

En todos los sitios muestreados es posible identificar una mayor densidad aparente en el horizonte B con respecto a la densidad aparente en el horizonte A.

Por otra parte, la densidad aparente presenta una correlación negativa con los contenidos de N total, es decir, a mayor densidad aparente, menores contenidos de N total en los suelos.

Cuadro 14. Resultados de análisis de laboratorio

horizonte	Profundidad muestra (cm)	N total (%)	N disponible (mg/kg)	N soluble (mg/l)	P total (%)	P disponible (mg/kg)	P soluble (mg/l)	Carbono orgánico (%)	Relación C/N	Densidad aparente (g/cm ³)	Sitio	USO LULC	USO	subuso
A	0 - 12	0.49	24.00	6.13	0.09	10.40	0.36	9.41	19.20	0.80	1	1	Bosque nativo	
B	12 - 30	0.24	13.00	2.17	0.06	5.89	0.16	2.89	12.20	0.88	1	1	Bosque nativo	
A	0 - 22	0.30	16.10	3.78	0.07	8.55	0.11	3.21	10.60	1.12	2	2	Pradera	
B	22 - 40	0.08	41.70	3.81	0.05	6.62	0.12	0.71	9.29	1.43	2	2	Pradera	
A	0 - 30	0.55	25.70	3.25	0.11	12.40	0.17	11.20	20.40	0.77	3	3	Plantación forestal	pino
B	30 - 50	0.28	11.80	1.79	0.10	2.18	0.18	2.95	10.50	0.82	3	3	Plantación forestal	pino
A	0 - 12	1.61	36.90	5.49	0.11	23.60	0.40	24.60	15.30	0.39	4	4	Humedal	
B	12 - 40	1.63	19.80	9.23	0.04	13.50	0.08	18.70	11.50	0.41	4	4	Humedal	
A	0 - 19	0.41	9.87	2.09	0.09	13.50	6.75	6.64	16.30	1.01	5	3	Plantación forestal	eucalipto
B	19 - 40	0.07	5.25	0.77	0.07	5.58	16.50	0.44	5.99	1.51	5	3	Plantación forestal	eucalipto
A	0 - 29	0.57	10.60	3.39	0.09	13.10	9.83	9.02	15.80	0.81	6	2	Pradera	
B	29 - 60	0.20	37.50	1.40	0.05	6.24	0.13	2.93	14.90	0.94	6	2	Pradera	
A	0 - 22	0.39	10.30	3.47	0.07	10.90	0.30	14.50	37.60	0.87	7	3	Plantación forestal	eucalipto
B	22 - 60	0.15	9,17	1.39	0.05	6.97	0.08	2.15	13.90	0.97	7	3	Plantación forestal	eucalipto
A	0 - 12	0.40	9.45	2.13	0.08	25.80	0.15	11.00	27.60	0.78	8	1	Bosque nativo	
B	12 - 45	0.21	8.75	1.39	0.06	11.90	0.33	2.88	13.60	1.01	8	1	Bosque nativo	
A	0 - 18	0.54	14.40	3.28	0.12	89.90	0.56	10.50	19.60	0.77	9	2	Pradera	
B	18 - 40	0.30	8.33	1.47	0.09	9.83	4.23	4.86	16.40	0.92	9	2	Pradera	
A	0 - 15	0.50	9.17	2.10	0.09	17.50	0.31	12.80	25.60	0.76	10	3	Bosque nativo	
B	15 - 45	0.23	7.49	1.65	0.06	12.60	0.16	4.13	17.90	0.88	10	3	Bosque nativo	
A	0 - 25	0.46	10.70	1.74	0.06	8.23	0.10	5.72	12.30	0.77	11	4	Humedal	
B	25 - 45	0.14	6.37	0.57	0.02	5.43	1.49	1.38	9.74	1.09	11	4	Humedal	
A	0 - 16	0.41	14.90	9.73	0.07	7.00	0.27	4.36	10.70	1.03	12	2	Pradera	
B	16 - 35	0.28	7.07	2.31	0.06	2.18	0.29	4.08	14.60	1.07	12	2	Pradera	
A	0 - 10	0.24	15.80	4.91	0.07	11.70	0.41	10.30	42.60	0.91	13	1	Bosque nativo	
B	10 - 40	0.23	10.30	2.44	0.04	3.84	0.10	2.91	12.50	1.10	13	1	Bosque nativo	
A	0 - 12	0.48	14.90	2.11	0.11	30.50	14.60	21.80	45.10	0.86	14	3	Plantación forestal	pino
B	12 - 30	0.25	53.60	2.55	0.05	3.52	0.25	4.26	17.10	1.00	14	3	Plantación forestal	pino

Figura 26. Promedio de densidad aparente según Uso (g/cm^3)

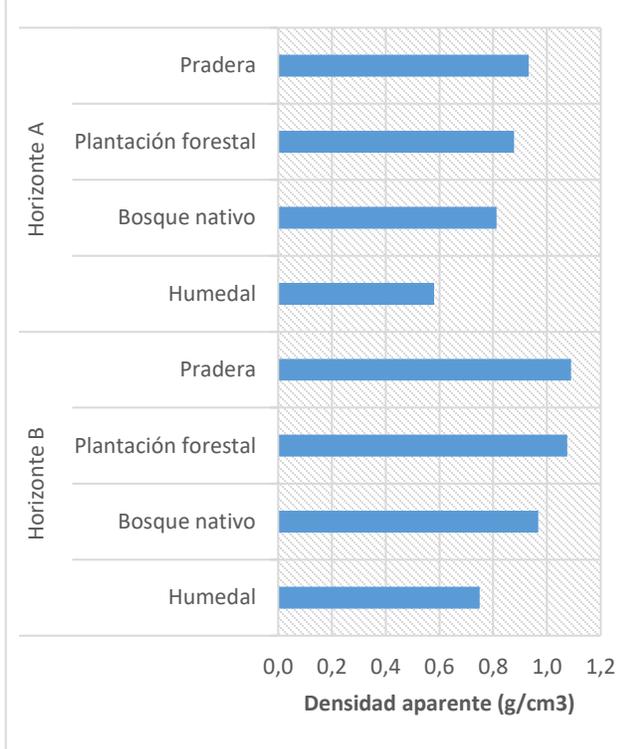


Figura 27. Promedio de contenido de carbono orgánico según Uso (%)

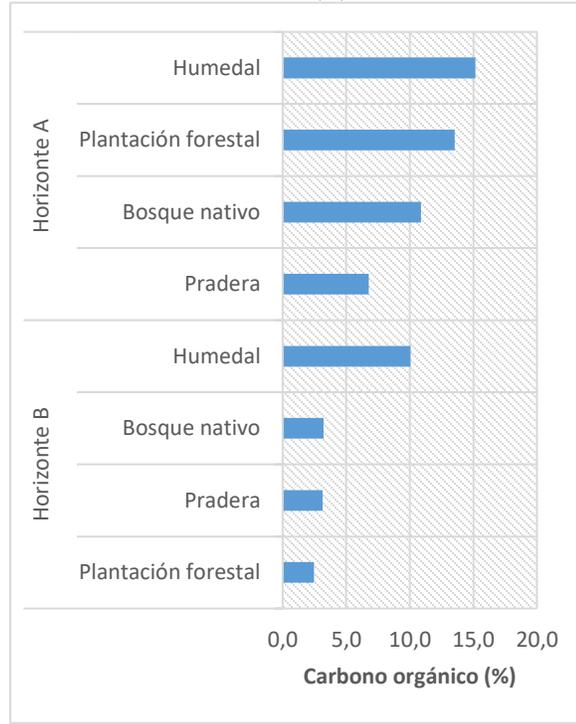


Figura 28. Promedio de relación C/N según Uso

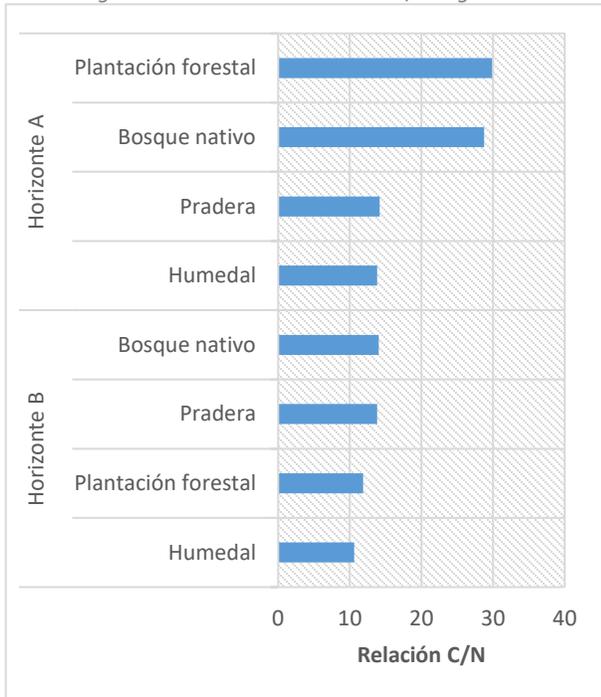


Figura 29. Nitrógeno total (%)

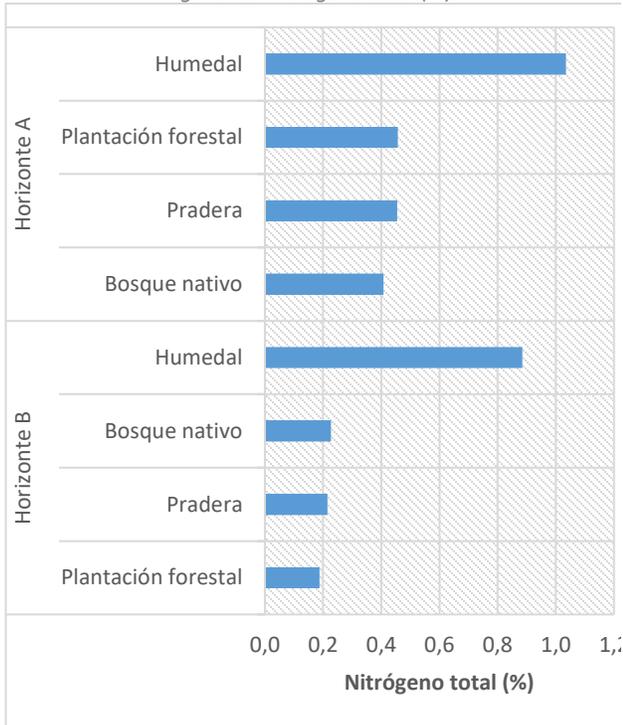


Figura 30. Nitrógeno disponible según Uso (mg/kg)

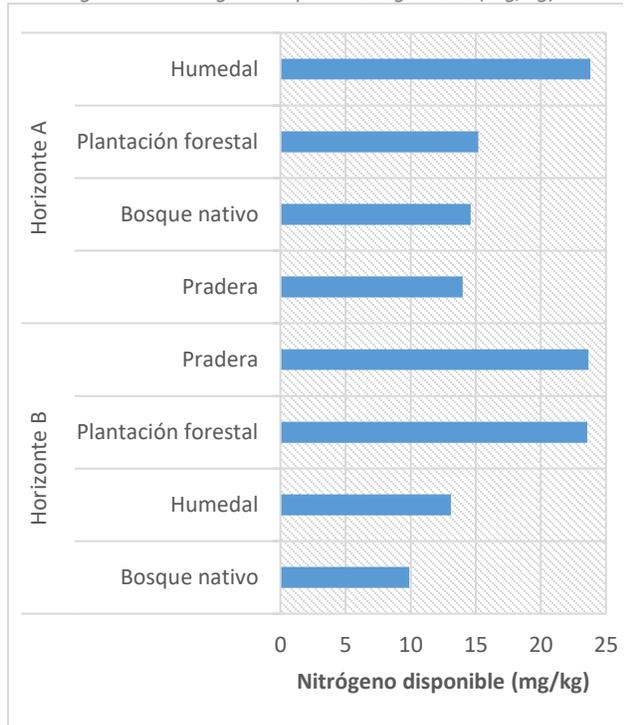


Figura 31. Nitrógeno soluble según Uso (mg/l)

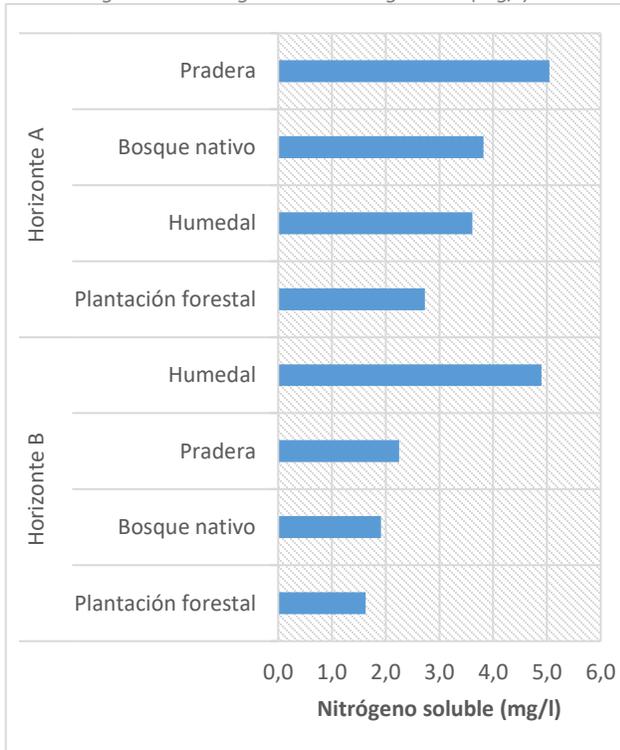


Figura 32. Fósforo total según Uso (%)

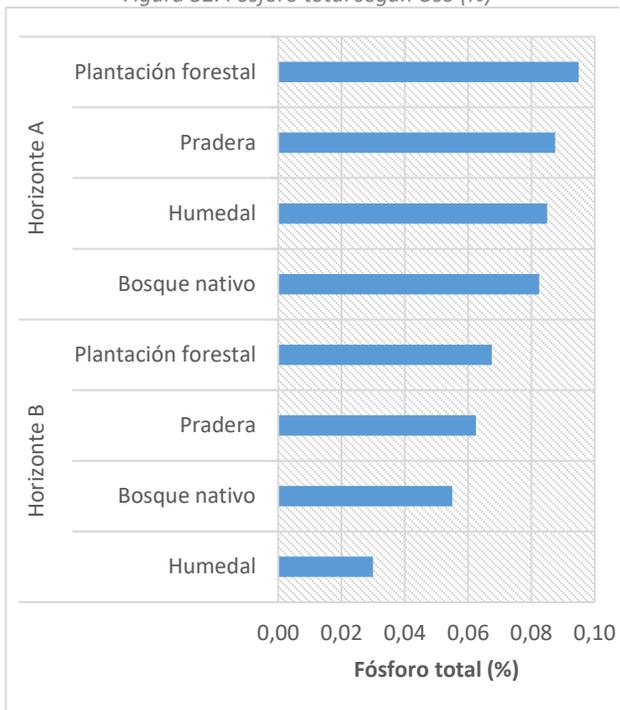


Figura 33. Fósforo disponible según Uso (mg/kg)

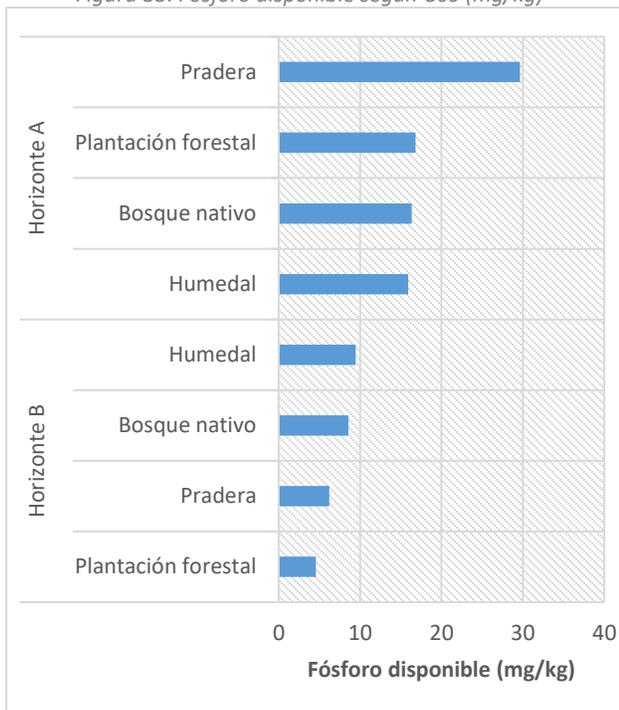
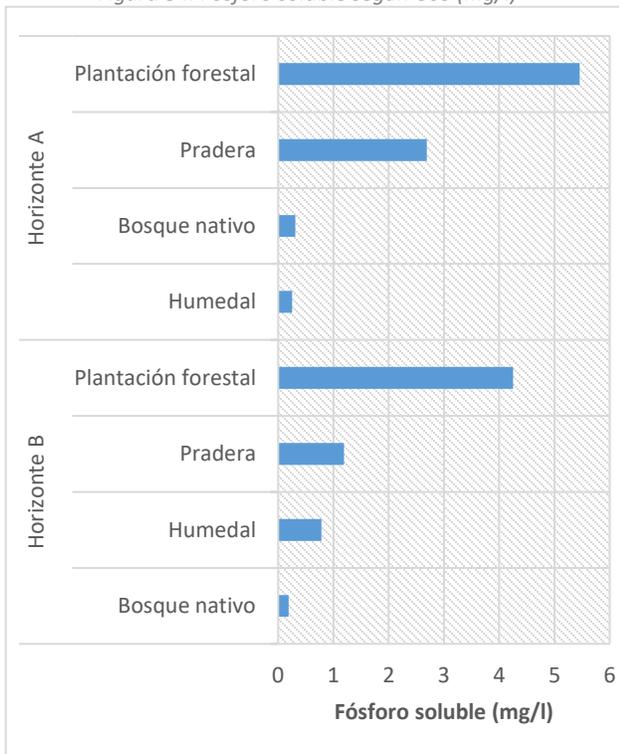


Figura 34. Fósforo soluble según Uso (mg/l)



4.5 Análisis comparativo de Modelos Hidrológicos

Trabajar con modelos hidrológicos ayuda a comprender parte de las dinámicas que se dan en las cuencas -y sus subcuencas-, respecto a las formas de uso del recurso hídrico. Teniendo en cuenta que su explotación es cada vez mayor, aumentando la demanda continuamente, sumando esto al escenario de cambio climático, hace necesario la consideración del apoyo de modelos hidrológicos como herramientas (aún en estado de formación) de gran importancia para la planificación del territorio y la gestión del recurso agua.

Estas buscan transformarse en un aporte en la toma de decisiones respecto a la calidad del agua y del nivel de impacto en la toma de decisiones sobre la gestión del agua, tanto bajo las condiciones actuales como de escenarios propuestos, a nivel de uso o cobertura de suelo.

Se debe tener en cuenta, además, que al tratarse de modelos, sus resultados son simulaciones que deben ser corregidas con datos medidos en la cuenca analizada, para reducir el grado de incertidumbre que puede generar el modelo (como simplificación de la realidad) (Jodar-Abellan et al., 2018), y que dependen en gran medida de contar con datos de entrada calibrados e información cartográfica de buena calidad.

- Modelo EPRO

El modelo de Erosión y Producción de los cultivos (EPRO) se orienta en simular el rendimiento y desarrollo de una serie de cultivos, el que se basa en la disponibilidad hídrica y los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), además de simular el efecto que tiene el proceso erosivo sobre la producción agrícola a una resolución de escala diaria.

Para su aplicación, requiere datos climáticos (estaciones climáticas, temperaturas máximas y mínimas, radiación solar y precipitación), de suelo y cultivos. De esta forma, permite simular la erosión y productividad local.

Como productos, se puede obtener la biomasa acumulada, el rendimiento, el índice de área foliar, los factores de estrés que afectan el crecimiento, las variaciones del Nitrógeno y Fósforo disponible en el suelo, el contenido de agua en el perfil, el escurrimiento superficial, la percolación de agua, la lixiviación de nutrientes, la erosión y la profundidad del suelo.

- Modelo SWAT

El software *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) es un modelo hidrológico de parámetros semidistribuidos, que puede simular varios procesos físicos a escala temporal continua (anual, mensual, diaria y subdiaria) (Jodar-Abella et al., 2018), diseñado en la Universidad de Texas para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Arnold et al., 1990).

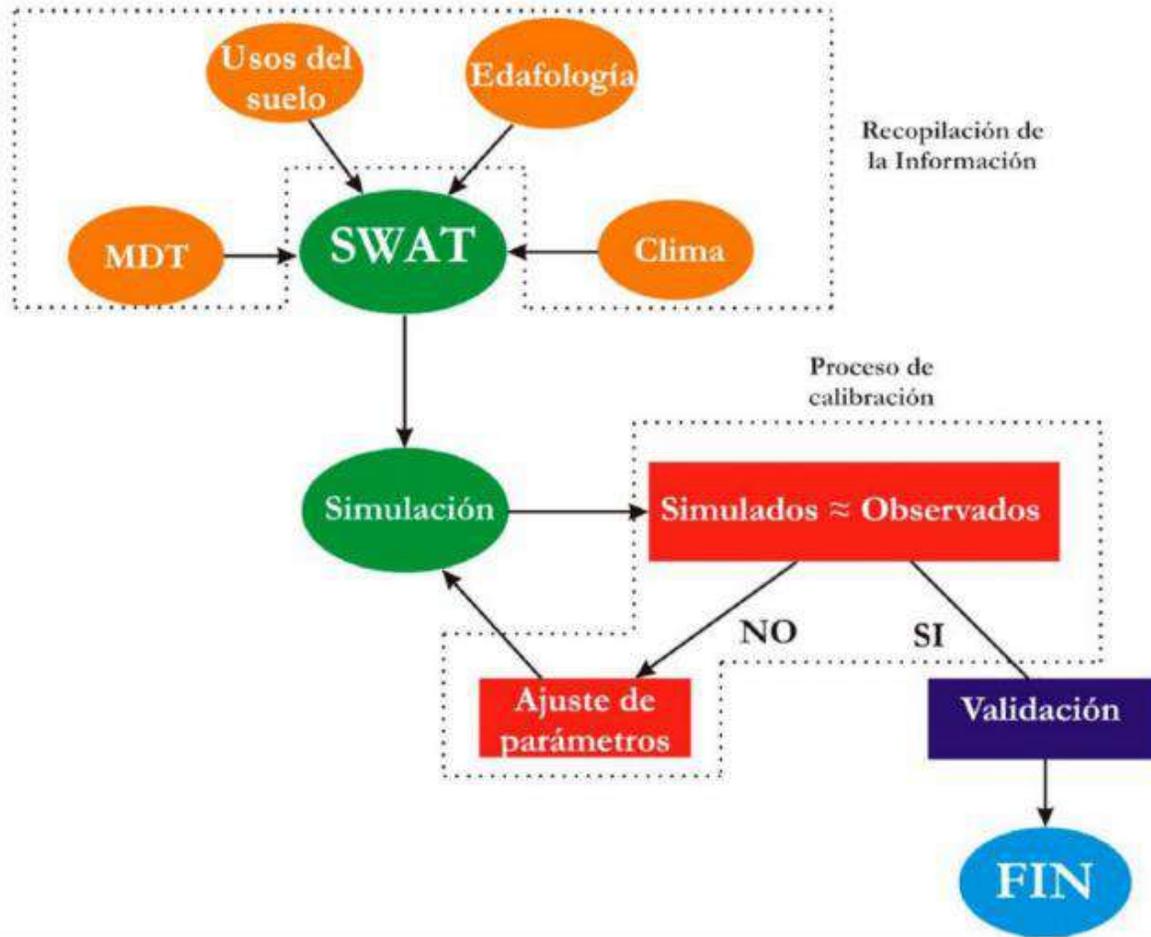
La aplicación de este modelo permite simular la producción de agua -escurrimiento- y los sedimentos generados en cuencas hidrográficas, así como también el efecto que la producción agrícola tiene sobre la calidad del agua debido al uso de pesticidas y fertilizantes.

Este modelo se basa en la ecuación del balance hídrico:

$$SW_t = SW + \sum (R_i - Q_i - E_{t_i} - P_i - QR_i)$$

Donde SW_t corresponde a la cantidad final de contenido de agua en el suelo (mm), SW es la cantidad inicial de contenido de agua en el suelo (mm), t es el tiempo en días, R_i es la cantidad de lluvia caída en el período de análisis (mm), Q_i es la cantidad de esorrentía (mm), E_{t_i} evapotranspiración (mm), P_i percolación (mm), QR_i flujo de retorno (mm). Luego, una vez determinadas las cargas de sedimentos, nutrientes y pesticidas en el agua del cauce principal, estas son ruteadas a través de la red de canales de la cuenca (Behrens et al., 2011). En este trabajo se contó con el software de código abierto QSWAT 3 para QGIS 3.16.

Figura 35. Flujo de trabajo para una simulación hidrológica con SWAT



Fuente: Galván, 2011

- Modelo NSPECT

El software *Nonpoint Source Pollution and Erosion Comparison Tool* (NSPECT) analiza las relaciones entre la erosión, el uso y cobertura del suelo y factores físicos como la elevación, inclinación, tipo de suelo y precipitación. Con esto se calcula y modela la dirección y acumulación de escorrentía a nivel de cuenca y local.

Los coeficientes resultantes representan las aproximaciones de las contribuciones de cada tipo de cobertura de suelo a la carga de la cuenca, de las estimaciones de escorrentía, cargas contaminantes y de sedimentos.

A continuación se presenta un cuadro comparativo de 3 modelos hidrológicos (Cuadro 15), en donde se analizan, acorde a una revisión de fuentes secundarias, algunas de las principales ventajas y desventajas de cada modelo, teniendo siempre en cuenta que los resultados pueden variar bastante según la ubicación geográfica del estudio, su escala (los tamaños de las cuencas o subcuencas), las características climáticas y la cantidad y calidad de la información base con la que se cuente para aplicar cada modelo, entre otras particularidades de cada caso.

Cuadro 15. Comparativa de 3 modelos hidrológicos

Modelos hidrológicos	Ventajas	Desventajas
EPRO	<ul style="list-style-type: none"> - Se pueden utilizar submodelos de datos climáticos obtenidas desde el programa o utilizar datos reales cuando se cuente con ellos. - Funciona con parámetros de entrada conocidos y disponibles en Chile. - Al disponer del programa fuente propio se puede programar para entregar distintos parámetros de salida. - Está basado en los mismos principios y teorías químicas, físicas, físico-químicas, biológicas, edáficas y climáticas que el modelo Swat. 	<ul style="list-style-type: none"> - Para efectuar la simulación es necesario seleccionar una estación meteorológica y una localidad o estación climatológica, además de tener conocimiento sobre el tipo de manejo agrícola. - Estar programado en lenguaje antiguo (QBasic) de baja compatibilidad con sistemas informáticos actuales, lo que en algunos casos dificulta su uso.
SWAT	<ul style="list-style-type: none"> - Es un software de código abierto, con versiones para ArcGis y QGis. - Posee una precisión adecuada en cuencas de gran tamaño y con variedad en relieve, tipos y usos de suelo. Por lo que se considera, en términos generales, relacionable a diferentes áreas de estudio. - Complementa su modelación tanto a nivel de subcuenca como de HRU (Unidades de Respuesta Hidrológica), esta última busca aumentar la precisión basándose en tipo de suelo, uso de suelo y pendiente (no realizada 	<ul style="list-style-type: none"> - Gran importancia en la distribución de las estaciones meteorológicas a lo largo de la cuenca estudiada. - Para el cálculo de la influencia de la pendiente, se requiere información altimétrica de buena resolución (curvas de nivel para el Modelo Digital de Elevación). - Para un mejor contraste, o mejora en la calibración, se requiere de un buen número de datos observados (por ejemplo del escurrimiento, para comparar caudales simulados vs caudales observados). - Puede llegar a presentar errores en el modelado de pendientes, subestimando el factor topográfico (<i>LS</i>) por las pendientes (basados en lotes experimentales uniformes en pendiente y longitud de flujo superficial), o estimando incorrectamente la longitud de la pendiente (<i>L_n</i>), sobre todo

Modelos hidrológicos	Ventajas	Desventajas
	<p>por otro tipo de modelos hidrológicos).</p>	<p>cuando las pendientes son <25% (las que en caso de ser identificadas, deben ser corregidas manualmente desde la tabla de atributos).</p> <ul style="list-style-type: none"> - A medida que se trabaja con escalas más grandes, se debe tener en cuenta la simplificación de resultados.
<p>NSPECT</p>	<ul style="list-style-type: none"> - El modelo está planteado para ser funcional (considerando la información con la que se cuente) y extrapolable a diferentes áreas de estudio. - Se considera que puede dar resultados aceptables sin tener gran cantidad de datos de entrada. 	<ul style="list-style-type: none"> - No incorpora adecuadamente la disminución de nutrientes a lo largo del trayecto hacia la desembocadura, por lo que los valores estimados de descarga de sedimentos y nutrientes son exagerados. Esta consideración se basa en lo indicado por Burke y Sugg (2006), en su estudio aplicado en cuencas del sur de México, en donde se indica que una limitación clave en la utilización del modelo NSPECT es que no incorpora adecuadamente la atenuación de nutrientes y sedimentos (por pérdida o redeposición) en la cuenca hidrológica durante el trayecto hacia la desembocadura del río. Como resultado, se estima que los sedimentos y nutrientes que llegan a la desembocadura del río son exagerados. Sin embargo, agregan que los valores obtenidos resultan útiles para analizar patrones relativos, y pueden ser considerados válidos. - Se requiere contar, como aspecto crítico, con información detallada de los suelos de la zona de estudio, para obtener el factor K (erodabilidad del suelo), lo que no siempre está disponible. Acorde a lo indicado en el estudio aplicado por Flores (2016), si bien los parámetros utilizados para el modelo NSPECT son relativamente pocos (en términos de modelo simple), ideal para zonas con datos hidrológicos escasos, pudiéndose obtener coberturas de degradación de suelos y posibles escenarios futuros de cambio de uso de suelo, se agrega la necesidad de contar con estudios detallados de suelos del sector, con el fin de obtener el factor K (como elemento extra pero recomendado), que aunque puede ser efectivamente complejo de obtener, considera la autora, resulta vital para la ejecución del modelo. - Puede tender a homogeneizar resultados (actividades o usos de suelo) en una misma parcela o área de control, lo que no se condice necesariamente con el comportamiento en el territorio. Además de no considerar efectos específicos de las prácticas de manejo de uso de suelo, basándose únicamente en el cambio de coberturas.

Fuente: elaboración propia basada en análisis bibliográfico

4.6 Resultados modelamiento de coeficientes de exportación

4.6.1 Metodología

Los coeficientes de exportación de nitrógeno y de fósforo se cuantificaron mediante simulación dinámica utilizando el modelo EPRO (Cazanga, 2001). Este modelo utiliza los procedimientos descritos y definidos en el modelo EPIC (Williams, 1994), los cuales son similares a los presentes en el modelo SWAT para calcular el balance de nitrógeno y de fósforo en diversos ecosistemas. El balance de nitrógeno considera componentes tales como: arrastre por escurrimiento superficial, lixiviación, transporte por erosión, mineralización, volatilización, aportes por depositación atmosférica, fertilización, deposiciones animales y absorción vegetal. En el caso del fósforo se considera: arrastre por escurrimiento superficial, transporte por erosión, mineralización, fertilización, depositación atmosférica, aportes por deposiciones animales, y absorción vegetal. Con el propósito descrito anteriormente, se hicieron ajustes de programación al modelo original, dando paso al modelo EPRO ajustado, el cual se describe de manera genérica a continuación.

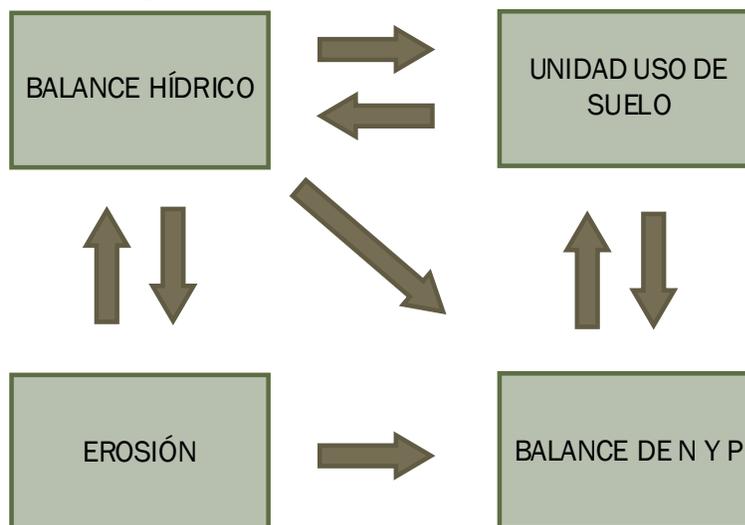
Cabe señalar que los modelos SWAT y NSPECT, presentan la limitante de requerir información en formatos específicos no siempre disponibles, y un tiempo de aprendizaje y capacitación, que implican tiempo de trabajo y conocimiento que exceden los plazos de proyecto o bien implican un análisis crítico de los resultados.

4.6.1.1 Descripción General del Modelo EPRO Ajustado

Este modelo está constituido por 4 submodelos principales, los cuales se presentan en la Figura 36.

- i. Balance hídrico
- ii. Unidad Uso de Suelo
- iii. Erosión
- iv. Balances de nitrógeno y fósforo

Figura 36. Principales componentes del modelo EPRO

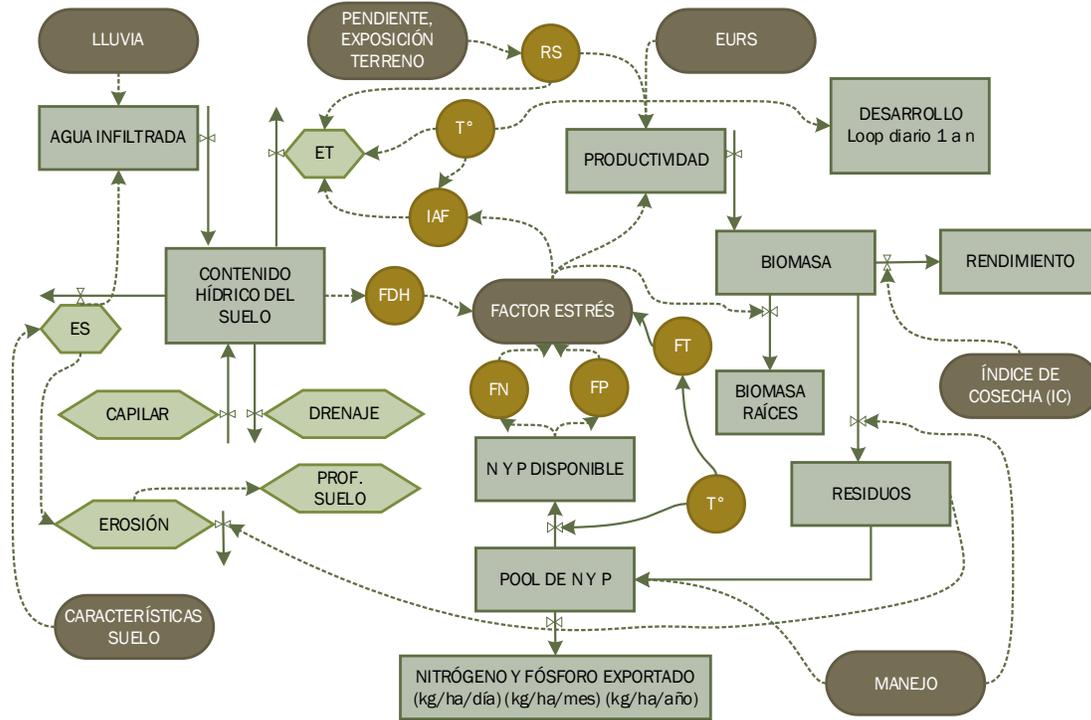


En el Cuadro 16 se presenta el significado de la nomenclatura utilizada en el diagrama de flujo simplificado (Figura 37) del sistema simulado de acuerdo con la nomenclatura de Forrester (1972).

Cuadro 16. Equivalencia de nomenclatura entre diagrama de flujo y modelo programado

Diagrama	Significado	Modelo Programado
FN	Factor de estrés de N	FACN
FP	Factor de estrés de P	FACP
FDH	Factores de estrés de déficit hídrico	SWDF, SWDF1, SWDF2
FT	Factor de estrés de temperatura	FTERMICO
IC	Índice de cosecha	INCOSE
ET	Evapotranspiración	ET
ES	Escorrimento superficial	ESUP
DREN	Percolación profunda	DRAIN
RS	Radiación solar	RS
Tº	Temperatura del aire	TEMP
EURS	Eficiencia uso RS	EURS

Figura 37. Diagrama de flujo simplificado del modelo



El modelo está compuesto por 4 submodelos principales, balance hídrico, crecimiento y desarrollo, erosión, y balances de nitrógeno y fósforo. A continuación, se presentan los algoritmos conceptuales utilizados en la modelización.

Los parámetros de salida del modelo son:

- a) Cantidad de Nitrógeno exportado (producción de biomasa vegetal, lixiviación, volatilización y transportado por arrastre de sedimentos). Esto es calculado mediante cálculo de formación de biomasa vegetal y funciones de transporte, utilizando coeficientes de exportación en función de la productividad vegetal (crecimiento), suelo, pendiente, precipitación, erosión.
- b) Cantidad de Fósforo exportado (producción vegetal transporte por arrastre de sedimentos y una mínima cantidad por solubilización). Esto es calculado mediante cálculo de formación de biomasa vegetal y funciones de transporte, utilizando coeficientes de exportación en función de la productividad (crecimiento) vegetal, suelo, pendiente, precipitación, erosión.

Significado de algunos símbolos:

Simbología

Variables de estado	
Tasa de cambio	
Variable auxiliar	
Flujo de materia o energía	
Flujo de información	

4.6.2 Funcionamiento del modelo EPRO Ajustado

4.6.2.1 Balance Hídrico

El balance hídrico del suelo es simulado en la subrutina BALHID, en forma de cascada unidimensional en sentido vertical, con un paso de tiempo diario. Para cada día, los flujos de infiltración, drenaje, evapotranspiración y redistribución del agua en el perfil del suelo son calculados secuencialmente.

El perfil de suelo se divide en 4 estratas homogéneas, caracterizadas por los parámetros retención hídrica a saturación (SAT), a capacidad de campo (CDC) y en punto de marchitez permanente (PMP), expresados como contenido volumétrico (cm cm^{-1}).

La infiltración es calculada como la diferencia entre el aporte por precipitación y el escurrimiento superficial (ESUP (mm)). A su vez el escurrimiento superficial es calculado en función de la precipitación y del grado de saturación del suelo, utilizando el método de la curva número del USDA – Soil Conservation Service, 1985.

En la primera estrata el drenaje (DRAIN (cm)) ocurre en sentido descendente si el nivel de agua sobrepasa la capacidad de campo. Este drenaje es instantáneamente transferido a la estrata siguiente, siendo equivalente al excedente sobre capacidad de campo. Este flujo descendente se detiene cuando en una estrata no se alcanza capacidad de campo.

El volumen diario drenado desde una estrata, el cual corresponde al agua en exceso sobre capacidad de campo, es reducido mediante el parámetro SWCON (0-1) (macroporosidad). Este parámetro representa la fracción del volumen que percola cada día.

SWCON es calculado en la subrutina INICIALSIMULACION con la siguiente ecuación (1):

(1)

$$SWCON = \frac{POROS - CDC}{POROS}$$

Donde:

POROS: porosidad (cm cm^{-1})

CDC: contenido hídrico a capacidad de campo (cm cm^{-1}).

La evapotranspiración potencial es calculada según el método de Priestley y Taylor (1972) en función de la radiación solar y de las temperaturas máxima y mínima del aire. El componente de evaporación del suelo es calculado mediante el modelo de dos estados propuesto por Ritchie (1972), en tanto que la transpiración es calculada en función del área foliar y de la evapotranspiración potencial, como se describe en CERES-Maize (Jones y Kiniry, 1986). La disponibilidad de agua para el cultivo es calculada considerando

la evaporación del suelo en la estrata superior, y la transpiración de la planta a través de toda la zona de crecimiento de raíces.

Luego, que la evapotranspiración ha hecho disminuir la cantidad de agua en algunas estratas del suelo, son simulados los flujos ascendentes o descendentes mediante una relación semi empírica. Ésta relaciona la cantidad diaria de agua capilar (FLOW (cm)), moviéndose desde la estrata superior L-1, según sus contenidos de humedad SW(L) y SW(L-1), sus espesores DLAYR(L) y DLAYR(L-1), sus contenidos hídricos en punto de marchitez permanente LL(L) y LL(L-1), y la conductividad hidráulica DBAR (ecuación 2):

(2)

$$FLOW = DBAR * \frac{(SW_{(L)} - LL_{(L)}) - (SW_{(L-1)} - LL_{(L-1)})}{(DLAYR_{(L)} + DLAYR_{(L-1)}) * 0.5}$$

Con:

(3)

$$DBAR = 0.88 * e^{[35.4 * (SW_{(L)} + SW_{(L-1)}) * 0.5]}$$

Donde:

SW: contenido hídrico actual en las estratas L y L-1 (cm cm⁻¹).

LL: contenido hídrico en punto de marchitez permanente en las estratas L y L-1 (cm cm⁻¹).

DLAYR: espesor de las estratas L y L-1 (cm).

El término de la derecha representa una forma no diferencial del gradiente de agua en una estrata, mientras que DBAR representa una expresión empírica para la conductividad hidráulica promedio entre dos estratas, en función del contenido hídrico. No se considera ascenso capilar desde la napa freática.

La transpiración del cultivo es relacionada con la absorción de agua. El modelo calcula el crecimiento de raíces en profundidad (RTDEP (cm)) y la densidad en términos de longitud (cm de raíz cm⁻³ de suelo) para cada estrata de suelo (RLV(L)). RTDEP aumenta en forma potencial cada día en función de una fracción de las unidades térmicas diarias (ST (°C d⁻¹)). Este crecimiento se ve restringido cuando el contenido hídrico es menor al 25 % de la humedad aprovechable de acuerdo con:

$$RTDEP = RTDEP + 0.22 * ST * \text{Mínimo}(SWDF1 * 2, SWDF)$$

Donde:

SWDF1: factor de estrés hídrico que afecta la fotosíntesis (0-1).

SWDF: factor de estrés hídrico que representa la impedancia mecánica del suelo (0-1).

El aumento de RLV(L) es simulado en función de los asimilados distribuidos hacia las raíces (BIORA (kg m⁻²)), de un factor de distribución de las raíces en profundidad, y del contenido hídrico, cuando éste desciende del 25% de la humedad aprovechable.

La absorción de agua por unidad de longitud de raíces (RWU(L) (cm⁻³ cm)), fluctúa entre su valor máximo (RWUMX) de 0.03 cm⁻³ cm y el valor calculado según la siguiente expresión, cuando existe limitación hídrica:

$$RWU_{(L)} = 0.00267 * \frac{e^{[62.0 * (SW_{(L)} - LL_{(L)})]}}{6.68 - \ln(RLV_{(L)})}$$

RWU(L) es posteriormente transformada a unidades de altura de agua (cm).

El total de agua absorbida (TRWU (cm)) es calculada sumando RWU(L) para todas las estratas. En el caso que TRWU exceda la transpiración (EP1 (cm)), RWU(L) es recalculada según:

$$RWU_{(L)} = RWU_{(L)} * \frac{EP1}{TRWU}$$

Luego, los factores de estrés hídrico SWDF, SWDF1 y SWDF2 son calculados. SWDF afecta el crecimiento de las raíces, SWDF1 actúa sobre la fotosíntesis y SWDF2 restringe la elongación celular.

$$SWDF = 4.0 * \frac{SW_{(L)} - LL_{(L)}}{DUL_{(L)} - LL_{(L)}}$$

Si, el contenido hídrico es menor al 25% de la humedad aprovechable, SWDF se calcula como:

Si TRWU es menor que EP1, SWDF1 se calcula de acuerdo con:

$$SWDF1 = \frac{TRWU}{EP1}$$

Finalmente, SWDF2 reduce la elongación celular hasta que TRWU excede EP1 en un factor de 1.5. Así SWDF2 es calculado como:

$$SWDF2 = 0.67 * \frac{TRWU}{EP1}$$

4.6.2.2 Unidad de Uso de Suelo

El modelo utiliza un único submodelo para simular el crecimiento vegetal de los Usos de Suelo considerados, existiendo para cada uno un conjunto de parámetros de entrada específicos. Los usos de suelos modelados corresponden a:

- i. Bosque Nativo Prístino,
- ii. Bosque Nativo intervenido,
- iii. Plantación Forestal Pino
- iv. Pradera –Matorral Extensiva

4.6.2.3 Desarrollo

El desarrollo se calcula en la subrutina DESAR. Su cálculo se basa en la acumulación diaria de unidades térmicas (ST, °C. d⁻¹) de acuerdo con la siguiente expresión:

$$ST = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_u$$

Donde Tmax y Tmin son las temperaturas máxima y mínima del aire (°C), y Tu es la temperatura umbral (°C) de crecimiento de la especie vegetal considerada.

ST es acumulado diariamente (ST (°C d⁻¹)), con lo cual se calcula el índice de suma de temperaturas relativo (STRX, 0-1). STR toma los valores 0 y 1, en los estados de desarrollo, desde inicio a fin de la simulación, lo cual en este caso se consideró equivalente a un año (365 días).

$$STRX = \frac{ST}{STTC}$$

Donde STTC es la suma total de unidades térmicas requeridas para cumplir el ciclo anual.

4.6.2.4 Crecimiento

El crecimiento potencial diario del cultivo (PRODD (kg ha⁻¹)) es calculado en la subrutina CPOTEN, en función de la eficiencia de conversión de la energía luminosa en biomasa total (EURS (kg. ha⁻¹/MJ m⁻²) y de la radiación solar fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo (PAR (MJ.m⁻²)). PAR es calculada de acuerdo con la ley de Beer. Las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

$$PAR = 0.5 * RSR * \left(1 - e^{(-K_{(i)} * IAF)} \right)$$

Donde:

RSR: radiación solar incidente sobre el cultivo considerando pendiente y exposición del terreno ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

IAF: índice de área foliar (m^2m^{-2})

$K_{(i)}$: coeficiente de extinción de la luz (0-1)

0.5: fracción visible de la radiación solar global

Y

$$PRODD = EURS_{(i)} * PAR$$

Donde:

PRODD: producción diaria de biomasa aérea y raíces (kg/ha).

$EURS_{(i)}$: eficiencia de uso de la radiación solar visible de la especie *i* ($\text{kg. ha}^{-1} \text{d}^{-1} / \text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

A su vez, *IAF* es calculado en la subrutina DESAR, en función de la acumulación de unidades térmicas, factores de estrés y del estado fenológico del cultivo.

Así, desde emergencia a inicio de la declinación del área foliar, *IAF* es calculado mediante las siguientes expresiones:

$$IAF = IAF + \Delta IAF$$

$$\Delta IAF = \Delta STRF * IAFmax_{(i)} * \left(1 - e^{[5.0 * (IAF - IAFmax_{(i)})]}\right) * \sqrt{FACTOR2}$$

Donde:

ΔIAF : incremento diario de *IAF*.

$\Delta STRF$: incremento diario del factor de suma térmica relativa.

$IAFmax_{(i)}$: valor máximo de *IAF* de la especie *i* en condiciones óptimas

FACTOR2: el menor de los factores de estrés; hídrico, SWDF2; térmico, FTERMICO; de nitrógeno, FACN; o de fósforo FACP.

Siendo:

$$FTERMICO = 1 - 0.0025 * \left[(0.25 * T_{min} + 0.75 * T_{max}) - Top_{(i)} \right]^2$$

Donde:

$Top_{(i)}$: temperatura óptima de crecimiento de la especie *i* ($^{\circ} \text{C}$)

El factor STRF es calculado según la siguiente expresión:

$$STRF = \frac{STRX}{STRX + e^{(A_{(i)} - B_{(i)}) * STRX}}$$

Donde $A_{(i)}$ y $B_{(i)}$ son parámetros específicos de cada especie.

El crecimiento potencial diario o productividad potencial diaria, es reducida si existen déficits hídricos, de nitrógeno o de fósforo, o si la temperatura no es la óptima. Así, la productividad real diaria (BIOMASA (kg ha⁻¹)) es calculada en la subrutina CREAL como:

$$BIOMASA = PRODD * FACTOR1$$

Donde *FACTOR1* corresponde al menor de los factores de estrés hídrico, SWDF1; térmico, FTERMICO; de nitrógeno, FACN; o de fósforo FACP.

El crecimiento diario de raíces BIORA (kg ha⁻¹) se calcula de acuerdo con:

$$BIORA = PRODD * CRR$$

Donde *CRR* corresponde a la proporción promedio de asimilados que van hacia las raíces (30%).

El crecimiento real del cultivo es acumulado diariamente (BIOAC, kg/ha) hasta que STRX alcanza el valor de 1, de acuerdo con:

$$BIOAC = BIOAC + BIOMASA$$

En este momento el cultivo alcanza la madurez fisiológica y el rendimiento económico del cultivo es calculado ($REND_{(i)}$ (kg/ha)) en el módulo PRINCIPAL, según la siguiente expresión:

$$REND_{(i)} = BIOAC * (1 - CRR) * INCOSE_{(i)}$$

Donde:

$INCOSE_{(i)}$: índice de cosecha de la especie *i* (biomasa económica/biomasa aérea).

4.6.2.5 Erosión

EPRO solo simula la erosión hídrica. Utiliza una versión de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada, MUSLE (Williams, 1994), adaptada para pequeñas cuencas. Esta ecuación permite estimar la erosión (EROSION (t ha⁻¹)) de cada lluvia individual, donde ocurra escurrimiento superficial (ESUP (mm)). En EPRO la estimación de la erosión se hace en la subrutina EROSION. El cálculo supone una superficie de una hectárea con una longitud de la pendiente de 100 metros. La ecuación es la siguiente:

$$EROSION = 0.79 * \left(\frac{ESUP}{24} * ESUP \right)^{0.65} * 1^{0.009} * K * C * P * FTOPO$$

Donde:

ESUP: escurrimiento superficial (mm)

K: erodabilidad del suelo (t/ha)

C: factor de manejo del cultivo (adimensional)

P: factor práctica de conservación (adimensional)

FTOPO: factor topografía (adimensional)

1: corresponde a la superficie de la microcuenca, en este caso una hectárea.

ESUP es calculado en la subrutina *BALHID*, el factor *ERODA* es leído asociado a la textura. *FPRAC* es calculado en la subrutina *INICIALSIMULACION*, en función del tipo de práctica de conservación de suelo utilizada y de la pendiente del terreno. *FTOPO* es calculado en la subrutina *INICIALSIMULACION* mediante:

$$FT = \left(\frac{100}{22.1}\right)^{0.45} * \left[65.41 * \left(\frac{SLOPE1}{100}\right)^2 + 4.56 * \left(\frac{SLOPE1}{100}\right) + 0.065 \right]$$

Donde:

SLOPE1: pendiente en %

100: corresponde al largo de la pendiente, en este caso 100 metros

4.6.2.6 Nitrógeno

A continuación, se presentan algunas relaciones utilizadas por el modelo para calcular los coeficientes de exportación de Nitrógeno.

El nitrógeno proveniente de los residuos es estimado mediante el modelo de Matus (1994). El que divide el pool de nitrógeno proveniente de los residuos, en una fracción resistente a la mineralización, y en otra lábil.

Los parámetros del balance de nitrógeno son calculados en las subrutinas INICIALSIMULACION, INICIAL, BARBECHO y NITRO. Los cálculos realizados en la subrutina BARBECHO fueron descrito anteriormente. A continuación, se presentan los cálculos llevados a cabo en la subrutina NITRO.

La fracción resistente del nitrógeno proveniente de los residuos ($NIRERES$ (kg/ha)), será mineralizada en función de la tasa de mineralización de referencia ($K21_{(i)}$, 1/d), calculada en la subrutina INICIAL de acuerdo con la siguiente expresión:

$$K21_{(i)} = \frac{0.12}{LP_{(i)} + LBARBECHO_{(i)}}$$

Esta tasa de mineralización referencial es ajustada de acuerdo a la temperatura y humedad de la primera estrata del suelo. Este cálculo se realiza en la subrutina NITRO mediante las siguientes ecuaciones:

$$K2t = K21_{(i)} * e^{(0.061 * TSUELOM - 16)}$$

$$K2w = K21_{(i)} * \left(1.11 * \frac{SW(1)}{DUL(1)} - 0.138 \right)$$

Donde, $K2t$ (de unidad día⁻¹) es la tasa de mineralización dependiente de la temperatura y $K2w$ (de unidad día⁻¹) es la tasa de mineralización dependiente de la humedad del suelo. $TSUELOM$ corresponde a la temperatura media del suelo en los primeros 5 cm de profundidad. $TSUELOM$ debe estar dentro del rango 5 y 35 grados, inclusive, de lo contrario $K2t$ es equivalente a $K21 * 0.51$. $SW_{(1)}$ y $DUL_{(1)}$ corresponden a los contenidos hídricos (cm cm⁻¹) actual y a capacidad de campo de la primera estrata (15 cm), respectivamente.

Una vez calculadas $K2t$ y $K2w$, se elige la de menor valor ($K2c$) para calcular el nitrógeno mineralizado de la fracción de nitrógeno resistente, proveniente de los residuos ($NIRMIN$ (kg ha⁻¹)), de acuerdo con:

$$NIRMIN = NIRERES * (1 - e^{-K2c})$$

El total de nitrógeno mineralizado ($NIMIN$ (kg.ha⁻¹)) se calcula el primer día de simulación de acuerdo a:

$$NIMIN = NIMIN + NIRLAB + NIRMIN - NILIXI - NIESUP - ABSNI$$

Donde:

NIMIN: nitrógeno mineral disponible en el suelo el día n-1.

NIRLAB: nitrógeno lábil proveniente de los residuos

NILIXI: nitrógeno lixiviado (kg ha⁻¹ d⁻¹).

NIESUP: nitrógeno soluble arrastrado por el escurrimiento superficial (kg ha⁻¹ d⁻¹).

ABSNI: nitrógeno absorbido diariamente por la especie i (kg ha⁻¹ d⁻¹).

$$NIMIN = NIMIN + FERNI_{(i)}$$

Respecto de los otros parámetros se tiene:

$$NILIXI = NIMIN * \left(\frac{DRAIN}{DRAIN + PMP * ZH + TSW} \right)$$

$$ABSNI = \frac{TRWU * NIMIN}{TSW}$$

$$NIESUP = NIMIN * \frac{1}{ZH} * \left[1 - e^{\left(-\frac{ESUP/10}{POROS-LL_{(1)}} * 1 \right)} \right]$$

Donde:

DRAIN: agua de drenaje de la estrata (cm).

TSW: contenido hídrico actual para todo el perfil de suelo (cm).

TRWU: total de agua absorbida por las raíces a través de todo el perfil de suelo (cm.d⁻¹).

PMP: contenido hídrico en punto de marchitez permanente (cm.cm⁻¹).

LL₍₁₎: contenido hídrico en punto de marchitez permanente de la estrata 1(cm.cm⁻¹).

ZH: profundidad actual del suelo (cm).

Por otra parte, *NIRERES* es corregida mediante la resta de la cantidad perdida por el arrastre de sedimentos debido a la erosión (*NIERO* (kg ha⁻¹)). En el caso que exista erosión la siguiente relación es calculada:

$$NIERO = \frac{NIRERES}{DA} * EROSION * 0.001 * TE$$

Donde DA es la densidad aparente del suelo ($t\ m^{-3}$), $(NIRERES/DA)$ está en $kg\ t^{-1}$ suponiendo un volumen de $1000\ m^3\ ha^{-1}$ y TE corresponde a la tasa de enriquecimiento de los sedimentos.

Esta última es calculada con la relación:

$$TE = 7.4 * (1000 * EROSION)^{-0.2}$$

Donde $EROSION$ está en $t\ ha^{-1}$.

Una vez establecida la cantidad de nitrógeno disponible para el cultivo, el modelo estima la absorción de nitrógeno mediante el enfoque de aporte y demanda. La demanda diaria de nitrógeno por parte del cultivo es la diferencia entre el contenido de nitrógeno actual y el contenido de nitrógeno ideal que debiera tener el cultivo en ese momento.

La demanda ($DEMAN$, $kg\ N.\ ha^{-1}.\ d^{-1}$) es calculada mediante la siguiente ecuación:

$$DEMAN = CONCEN * BIOMASA * FTERMICO$$

Donde:

$CONCEN$: concentración óptima de nitrógeno en el cultivo ($kg\ kg^{-1}$)

$BIOMASA$: tasa de productividad en biomasa ($kg\ ha^{-1}$)

$CONCEN$ disminuye con el desarrollo fenológico de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CONCEN = CONCNI_{(i)} * \frac{1}{1 + 10 * STRX}$$

no pudiendo ser menor a la concentración final de nitrógeno en el tejido ($CONCNF(i)$ (%)).

$CONCNI(i)$ (%) corresponde a la concentración inicial de nitrógeno en el tejido. Tanto $CONCNI(i)$ como $CONCNF(i)$, son valores promedio de la planta y son específicos a cada especie (i). $STRX$ corresponde a la fracción del período de desarrollo en tiempo térmico (0-1; 0: siembra, 1: madurez fisiológica).

$ABSNI$ (kg/ha) es calculada en función del total de agua absorbida ($TRWU$), del contenido hídrico del suelo y de la cantidad de nitrógeno mineral disponible, según la siguiente ecuación:

$$ABSNI = TRWU * 10 * \frac{NIMIN}{TSW * 10}$$

$ABSNI$ no puede sobrepasar el valor de $DEMAN$.

El término RESIDUOS, en genérico, se refiere al material vegetal que se deposita sobre el suelo, ya sea en condiciones naturales como la caída de hojas y ramas sobre el suelo, o bien a aquellos provenientes de la actividad agrícola.

4.6.2.7 Fósforo

El balance de fósforo se estima mediante el enfoque de oferta y demanda (Sharpley, 1994).

En el caso que exista escurrimiento superficial se calculan las pérdidas de fósforo soluble (FOSOL (kg ha⁻¹)) mediante la ecuación siguiente:

$$FOSOL = 0.1 * \frac{PDISP}{DA} * \frac{ESUP}{175}$$

En la cual *PDISP* (kg ha⁻¹) corresponde al fósforo total disponible que existe en el suelo. *DA* es la densidad aparente del suelo (t m⁻³) y (*PDISP/DA*) está en kg t⁻¹ suponiendo un volumen de 1000 m³ ha⁻¹.

El fósforo total disponible (*PDISP* (kg ha⁻¹)) se calcula de acuerdo a:

$$PDISP = PDISP - FOSOL - FOERO - ABSP$$

Donde:

PDISP: fósforo disponible (kg ha⁻¹).

FOERO: fósforo perdido por erosión (kg ha⁻¹)

ABSP: fósforo absorbido por la formación vegetal (kg ha⁻¹ d⁻¹)

Con, al comienzo de la simulación:

$$PDISP = FOSI$$

Y, el día 1 de cada ciclo:

$$PDISP = PDISP + FERFO_{(i)}$$

Donde:

FERFO_(i): fertilización fosforada (mineral) empleada en el cultivo *i* (kg ha⁻¹)

FOSI: fósforo inicial existente al comienzo de la simulación (kg ha⁻¹).

PDISP es corregido mediante la resta de la cantidad perdida por el arrastre de sedimentos debido a la erosión (*FOERO* (kg ha⁻¹)), según la siguiente expresión:

$$FOERO = \frac{PDISP}{DA} * EROSION * 0.001 * TE$$

Donde DA es la densidad aparente del suelo ($t\ m^{-3}$), $(PDISP/DA)$ está en $kg\ t^{-1}$ suponiendo un volumen de $1000\ m^3\ ha^{-1}$ y TE corresponde a la tasa de enriquecimiento de los sedimentos. Esta última es calculada con la relación utilizada por Littleboy et al. (1989):

$$TE = 7.4 * (1000 * EROSION)^{-0.2}$$

Donde $EROSION$ está en $t\ ha^{-1}$.

ABSP es calculada mediante la siguiente expresión:

$$ABSP = 1.5 * DEMANP * FACPD * \frac{RLV_{(i)}}{RLV_{(total)}}$$

Donde:

$DEMANP$: demanda de fósforo por la vegetación ($kg\ ha^{-1}$).

$FACPD$: factor de absorción de fósforo lábil (0-1).

RLV : densidad de raíces por estrata ($cm\ raíz\ cm^{-3}\ suelo$).

Esto significa que la absorción de fósforo es función de la densidad de raíces, considerando que 2/3 de ellas tendrán contacto con el fósforo demandado por el cultivo, si el fósforo lábil en el suelo no es limitante (Sharpley et al., 1994).

La demanda ($DEMANP$, $kg\ P\ ha^{-1}\ d^{-1}$) es calculada mediante la siguiente ecuación:

$$DEMANP = CONCENP * BIOMASA * FTERMICO$$

Donde:

$CONCENP$: concentración óptima de fósforo del cultivo ($kg\ kg^{-1}$).

$BIOMASA$: tasa de productividad en biomasa ($kg\ ha^{-1}$).

$CONCENP$ disminuye con el desarrollo fenológico de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CONCENP = CONCPI_{(i)} * \frac{1}{1 + 10 * STRX}$$

no pudiendo ser menor a la concentración final de fósforo en el tejido ($CONCPF_{(i)}$, %).

$CONCPI_{(i)}$ (%) corresponde a la concentración inicial de fósforo en el tejido. Tanto $CONCPI_{(i)}$ como $CONCPF_{(i)}$, son valores promedio de la planta y son específicos a cada especie (i) . $STRX$ corresponde a la fracción del período de desarrollo en tiempo térmico.

4.6.3 Variables de entrada del modelo según uso de suelo

En el Cuadro 17 se presenta el valor de los parámetros de entrada que caracterizan cada Uso de Suelo. Se incluyen los valores de N y P disponible y la densidad aparente de los suelos obtenida para los 4 usos de suelo muestreados (Anexo 5 y Anexo 11). Los valores de la retención de agua provienen de la sección Análisis de Propiedades Físicas de Suelos Comuna de Curarrehue (Anexo 3). En el Cuadro 18 se presentan los valores de promedio de pendiente y de curva número ponderada por uso de suelo para microcuencas y usos de suelo en el área de estudio.

Cuadro 17. Definición de los Usos de Suelo para los cuales se calcularon los coeficientes de exportación de N y P

Parámetro	Uso de Suelo			
	Bosque Nativo	Bosque Mixto	Plantación	Pradera
K	0,07	0,07	0,07	0,07
C	0,001	0,003	0,013	0,012
P	1	1	1	1
Deposiciones animales (kg/ha/año) 0,2 unidades animales/ha/año	N: 0 P: 0	N: 2,518 P: 0,620	N: 0 P: 0	N: 2,518 P: 0,620
Fertilización (kg/ha/año)	N: 0 P: 0	N: 0 P: 0	N: 5,06 P: 2,30	N: 0 P: 0
N disponible (mg/kg)	12,24	12,24	18,77	18,83
P disponible (mg/kg)	12,45	12,45	10,69	17,93
Densidad aparente (gr/cm³)	0,89	0,89	0,98	1,01
Suelo				
Textura	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco limosa
Profundidad	100 cm	100 cm	100 cm	100 cm
Retención de agua (33 kPa)	46,7	46,7	46,7	42,1
	21,8	21,8	21,8	20,6

Nota:

K. factor erodabilidad del suelo; C: factor cobertura vegetal; P: factor práctica de manejo del suelo; CDC: contenido hídrico capacidad de campo; PMP: contenido hídrico en punto de marchitez permanente; DA: densidad aparente.
La fertilización se considera nula en praderas de uso extensivo como es habitual en la zona de estudio, correspondiendo a praderas naturalizadas con escaso manejo agronómico.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 18. Superficie, promedio de pendiente y valores de Curva Número para usos de suelo en microcuencas del área de estudio.

Microcuenca	Superficie (ha)	Promedio de PENDIENTE (%)	CN Bosque	CN bosque mixto	CN plantaciones	CN praderas
B-10	413	23,7	40,1	36,0	51,5	50,4
B-11	87	18,4	36,8			83,6
B-12	1.399	42,1	44,7		46,2	53,0
B-14	4.781	51,4	41,8	38,7	49,1	56,7
B-15	966	39,3	39,9	38,6		53,8
B-16	559	13,8	36	36,0	46	49,0
B-17	5.357	39,2	40,1	36,0	46	51,5
B-20	166	38,3	36			49
B-4	1.054	26,8	38,4	36,0	49,4	49,5
B-5	55	34,7	47,2		49,4	50,4
B-6	514	32,4	40,9		51,5	51,1
B-7	19	44,2	36			49
B-9	569	29,4	42,1			50,7
M-1	524	15,0	36,1	36,0	46	49,0
M-2	407	12,4	36,5	44,2	47,3	49,3
M-3	643	15,4	36,1	36,0	46	49,0
M-4	473	10,1	36,2	43,8		49,4
M-6	681	41,5	42,7	36,5	46,0	53,6
M-7	1.251	8,8	36,6	36,0	46	49,5

4.6.4 Datos de entrada para modelo probabilístico de clima

A continuación, (Cuadro 19 y Cuadro 20) se presentan los datos climáticos de base determinados para el distrito Pucón, donde se ubica la cuenca del lago Villarrica, de acuerdo con “Atlas Agroclimático de Chile 2017” (Santibáñez *et al.*, 2017).

El Modelo EPRO Ajustado cuenta con un sub-modelo estocástico que genera datos climáticos diarios de temperatura máxima y mínima del aire, precipitación y radiación solar. De esta manera, el modelo EPRO Ajustado simula con paso de tiempo diario los procesos de crecimiento vegetal, mineralización, escurrimiento superficial, erosión y lixiviación, para cuantificar los coeficientes de exportación de Nitrógeno y Fósforo.

Cuadro 19. Valores de precipitación promedio y días con eventos de precipitación para distrito Pucón, considerados para submodelo climático.

MESES	PPM (mm)	DLL (días)	
1	Enero	78	0
2	Febrero	78	0
3	Marzo	104	0
4	Abril	208	2,3
5	Mayo	338	5,9
6	Junio	441	9,3
7	Julio	363	8,2
8	Agosto	312	7,1
9	Septiembre	208	3,2
10	Octubre	182	1,7
11	Noviembre	130	1,1
12	Diciembre	104	0

Cuadro 20. Otros parámetros agroclimáticos para distrito Pucón, considerados para submodelo climático.

OTROS PARÁMETROS	
TXE (°C)	22,8
TXJ (°C)	9,4
TNE (°C)	7,6
TNJ (°C)	3,0
RSE (cal/cm ² día)	500
RSJ (cal/cm ² día)	121

SIMBOLOGIA

- Precipitación promedio mensual (PPM, mm)
- Número de días promedio mensual con lluvias (DLL, días)
- Temperatura máxima promedio mensual de enero (TXE, °C)
- Temperatura máxima promedio mensual de julio (TXJ, °C)
- Temperatura mínima promedio mensual de enero (TNE, °C)
- Temperatura mínima promedio mensual de julio (TNJ, °C)
- Radiación solar enero (cal/cm² día)
- Radiación solar julio (cal/cm² día)

Fuente: Elaboración propia en base a información del Atlas Agroclimático de Chile (Santibáñez et al., 2017)

4.6.5 Limitaciones del modelo EPRO ajustado

Como fue explicado anteriormente, el modelo EPRO ajustado utiliza para su implementación varios submodelos. A continuación, se describen las principales limitaciones a tener en consideración en la interpretación de sus resultados, asociadas a los submodelos utilizados.

- a. Erosión: la estimación de la erosión se realiza con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (MUSLE), la cual corresponde a un modelo empírico desarrollado en los Estados Unidos, es decir, corresponde a un modelo desarrollado a partir de datos experimentales. Esto implica que:
 - i. El uso para tipos de uso de suelo en Chile, especialmente el bosque nativo, no presenta datos modelados y dependen en gran medida de estimaciones numéricas basadas en la experiencia de estudios anteriores.
 - ii. Suelos que presenten valores extremos de, por ejemplo, contenido de materia orgánica, presentan en los datos obtenidos procesos de extrapolación, pudiendo incluir sub o sobreestimaciones significativas.
- b. Uso del factor de erodabilidad (k): la precisión en la determinación del factor K depende de la información de suelo disponible, tanto en detalle como en representatividad. Por otra parte, la determinación requiere de valores de la porción de arena muy fina, la cual es raramente presentada en análisis de suelos. Por otra parte, la permeabilidad y estructura son parámetros muy subjetivos cuya evaluación depende mucho de la experiencia del edafólogo, especialmente considerando lo explicitado en el punto a.
- c. Pendiente: la longitud de la pendiente representa la longitud de recorrido del escurrimiento superficial hasta que éste es interrumpido o desviado por obstáculos en el terreno, tales como: cercas, zanjas, cambios de pendiente, terrazas, barreras, etc. La determinación de L, para condiciones naturales, es muy difícil necesitándose de una topografía muy detallada para realizarlo. Como fue explicado anteriormente, el modelo EPRO utiliza como aproximación una longitud de pendiente estable de valor 100 m.

4.6.6 Resultados modelamiento coeficientes de exportación

4.6.6.1 Resultados por microcuencas

Se calcularon los coeficientes de exportación para cuatro Usos de Suelo en función del valor promedio de la pendiente de cada una de las 19 subcuencas (microcuencas) del Lago Villarrica. Los valores obtenidos por microcuenca corresponden al promedio de simulaciones usando datos climáticos diarios generados estocásticamente por el generador climático del modelo, para 20 años. Los datos climáticos generados para cada Uso de suelo y subcuenca son independientes entre sí. A su vez, los resultados fueron diferenciados entre año normal, lluvioso y seco (Anexo 7) obteniéndose diferentes coeficientes de

exportación de Nitrógeno y Fósforo, para cada una de las 19 microcuencas estudiadas. Los resultados en detalle para cada microcuenca se encuentran en el Anexo 8, y un resumen para el análisis de resultados se presenta en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Ecurrimiento superficial promedio y coeficientes de exportación promedio de Nitrógeno (CExpN) y Fósforo (CExpP) en unidades de kg/ha/año y mg/L, por tipo de uso de suelo y tipo de año de precipitaciones, calculado por simulación EPROaj

Uso Suelo (n)	Tipo de año	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
Bosque mixto	Lluvioso	2365,326	5,215	0,204	0,221	0,009
	Normal	2034,239	4,862	0,185	0,240	0,009
	Seco	1742,153	4,655	0,133	0,268	0,008
Promedio anual Bosque mixto		2091,702	4,944	0,182	0,239	0,009
Bosque nativo	Lluvioso	2575,265	4,335	0,091	0,169	0,003
	Normal	2058,240	4,051	0,074	0,198	0,003
	Seco	1609,593	3,835	0,069	0,241	0,004
Promedio anual Bosque nativo		2027,051	4,043	0,076	0,205	0,004
Plantación	Lluvioso	2667,728	8,385	0,626	0,315	0,023
	Normal	2155,651	8,079	0,497	0,376	0,023
	Seco	1704,694	7,632	0,482	0,453	0,028
Promedio anual Plantación		2122,780	8,006	0,518	0,387	0,024
Pradera	Lluvioso	2704,125	8,314	0,978	0,308	0,035
	Normal	2180,082	7,885	0,769	0,363	0,035
	Seco	1733,018	7,616	0,739	0,444	0,042
Promedio anual Pradera		2150,771	7,890	0,802	0,376	0,037
Promedio anual microcuencas área de estudio		2098,076	6,221	0,394	0,302	0,018

Del análisis de este cuadro, se desprende que existen diferencias en el coeficiente de exportación de Nitrógeno y Fósforo, según uso de suelo. Al mismo tiempo, existe una tendencia en todos los casos a aumentar el coeficiente de exportación de Nitrógeno y Fósforo en años lluviosos y a disminuir en años secos.

Según uso de suelo, es el Bosque Nativo el que genera menor coeficiente de exportación de Nitrógeno y Fósforo, alcanzando en promedio un 4,04 y 0,08 kg/ha/año, respectivamente. Esta condición se explica por la baja cantidad de aportes, existiendo solo depositación atmosférica, la cual es muy baja, debido a lo alejado que se encuentran estos bosques de centros poblados y de actividad antrópica contaminante.

Por encima de estos valores se encuentran los demás usos de suelo estudiados, observándose que el mayor impacto en el aumento del coeficiente de exportación de Nitrógeno se obtiene en Plantaciones Forestales, y el de Fósforo en praderas, debido a la condición inicial de fertilización y degradación de las condiciones hidrológicas del suelo.

En cuanto a las concentraciones, los mayores valores se presentan para plantaciones con 0,387 y 0,024 mg/L para N y P, respectivamente. Por otro, lado los valores mayores de concentración de nutrientes se presentan en años secos, lo que se debe a que, si bien existe una menor exportación por unidad de superficie, esta se encuentra menos diluida en los cuerpos de agua.

Por último, en ANEXO 10. Espacialización Coeficientes de exportación modelados por EPRO aj, se presentan mapas con los resultados de la modelación con EPROaj.

4.6.6.2 Resultados por cuenca estándar

Con el objetivo de evaluar la sensibilidad del modelo ante factores como el tipo de uso de suelo, el tipo de año climático y la pendiente, se calcularon los coeficientes de exportación para cuencas estándar con valores de pendiente de 5 a 60% y con valores de curva número por tipo de uso de suelo asociadas al promedio de estos valores en las microcuencas del área de estudio. Los valores obtenidos por pendiente corresponden al promedio de simulaciones usando datos climáticos diarios generados estocásticamente por el generador climático del modelo, para 20 años. A su vez, los resultados fueron diferenciados entre año normal, lluvioso y seco (ANEXO 7. Especificaciones año climático (resultados EPROaj)), obteniéndose diferentes coeficientes de exportación de Nitrógeno y Fósforo, para cada una de las 12 pendientes estudiadas. Los resultados en detalle para cada pendiente y valor de curva número se encuentran en el ANEXO 9. Detalle resultados modelamiento coeficientes de exportación en microcuencas estándar (pendiente y curva número), y un resumen para el análisis de resultados se presenta en el Cuadro 22, a continuación. El análisis de estos datos se encuentra en la sección 4.6.8 Análisis de sensibilidad.

Cuadro 22. Esguerrimiento superficial promedio y coeficientes de exportación promedio de Nitrógeno (CExpN) y Fósforo (CExpP) en unidades de kg/ha/año y mg/L, por tipo de año de precipitaciones, para pendientes estándar calculado por simulación EPROaj

Pendiente (%)	Tipo de año	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
5	Lluvioso	2178,344	6,075	0,040	0,277	0,002
	Normal	1799,045	5,978	0,036	0,330	0,002
	Seco	1420,681	5,746	0,034	0,406	0,002
	Prom.	1785,079	5,937	0,036	0,338	0,002
10	Lluvioso	2341,037	6,191	0,092	0,263	0,004
	Normal	1933,149	6,093	0,081	0,314	0,004
	Seco	1533,843	5,873	0,077	0,384	0,005
	Prom.	1920,213	6,056	0,083	0,321	0,004
15	Lluvioso	2502,993	6,261	0,161	0,250	0,006
	Normal	2055,934	6,163	0,143	0,298	0,007
	Seco	1634,820	5,951	0,136	0,366	0,008
	Prom.	2040,523	6,128	0,145	0,305	0,007

Pendiente (%)	Tipo de año	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
20	Lluvioso	2587,514	6,304	0,245	0,242	0,009
	Normal	2135,055	6,204	0,218	0,289	0,010
	Seco	1706,678	6,000	0,208	0,353	0,012
	Prom.	2124,710	6,172	0,222	0,296	0,010
25	Lluvioso	2604,250	6,348	0,336	0,242	0,013
	Normal	2151,745	6,244	0,302	0,288	0,014
	Seco	1756,069	6,043	0,291	0,349	0,017
	Prom.	2155,443	6,214	0,307	0,294	0,014
30	Lluvioso	2605,601	6,388	0,440	0,244	0,016
	Normal	2166,293	6,284	0,396	0,289	0,018
	Seco	1750,290	6,084	0,380	0,349	0,022
	Prom.	2156,228	6,254	0,402	0,294	0,019
35	Lluvioso	2609,401	6,419	0,549	0,245	0,020
	Normal	2167,701	6,320	0,492	0,290	0,022
	Seco	1751,474	6,123	0,476	0,351	0,027
	Prom.	2158,142	6,289	0,501	0,296	0,023
40	Lluvioso	2609,336	6,441	0,666	0,245	0,025
	Normal	2168,738	6,349	0,602	0,291	0,027
	Seco	1753,445	6,156	0,586	0,352	0,033
	Prom.	2159,174	6,318	0,613	0,297	0,028
45	Lluvioso	2604,344	6,458	0,788	0,246	0,029
	Normal	2164,654	6,368	0,708	0,293	0,032
	Seco	1749,202	6,183	0,693	0,354	0,040
	Prom.	2154,831	6,339	0,723	0,299	0,034
50	Lluvioso	2604,439	6,471	0,934	0,247	0,035
	Normal	2162,865	6,389	0,816	0,294	0,037
	Seco	1746,516	6,207	0,806	0,357	0,046
	Prom.	2153,243	6,358	0,841	0,300	0,039
55	Lluvioso	2598,514	6,478	1,077	0,248	0,040
	Normal	2158,890	6,410	0,937	0,296	0,043
	Seco	1743,822	6,229	0,919	0,358	0,053
	Prom.	2149,157	6,376	0,965	0,301	0,045
60	Lluvioso	2592,034	6,493	1,189	0,249	0,045
	Normal	2159,357	6,425	1,065	0,296	0,049
	Seco	1741,575	6,234	1,040	0,359	0,060
	Prom.	2147,227	6,389	1,088	0,302	0,051

4.6.7 Estimación de la carga anual

A partir de los valores modelados de coeficientes de exportación por EPROaj, se procedió a estimar la carga anual de Nitrógeno total (NT) y Fósforo total (PT) para los usos de suelos modelados según las microcuencas seleccionadas (Cuadro 23, Figura 38 y Figura 39) a partir de la relación:

$$\text{Carga anual (t/año)} = \text{Coef. exportación (kg/ha/año)} \times \text{superficie (ha)}$$

Las estimaciones de carga de NT y PT indicadas corresponden al año climático resultado del modelamiento con EPROaj, para cada uso de suelo considerado, en concordancia con la superficie de cada uso presente por microcuenca. Se debe tener en consideración que no corresponde a la carga total de la microcuenca, puesto que sólo considera los usos señalados que representan sólo la fracción correspondiente como se indica.

Cuadro 23. Cargas anuales de N y P según microcuencia y uso de suelos (EPROaj)

Uso Suelo (n)	Microcuencia (n)	Superficie (ha)	Esc. Sup. (mm/año)			Carga anual N (T/año)			Carga anual P (T/año)		
			Lluvioso	Normal	Seco	Lluvioso	Normal	Seco	Lluvioso	Normal	Seco
Bosque mixto	B-10	6,8	2401,55	2059,99	1767,80	0,035	0,033	0,031	0,001	0,001	0,001
	B-11	0,0	2383,29	2042,86	1749,42	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	B-12	0,0	2423,34	2092,49	1795,03	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	B-14	41,1	2431,86	2105,03	1801,83	0,219	0,205	0,196	0,019	0,017	0,012
	B-15	18,6	2438,63	2103,30	1797,31	0,099	0,092	0,088	0,006	0,005	0,004
	B-16	51,9	2258,18	1931,17	1649,69	0,265	0,246	0,235	0,003	0,003	0,002
	B-17	30,7	2413,89	2078,55	1782,74	0,162	0,151	0,144	0,009	0,009	0,006
	B-20	0,0	2428,31	2094,35	1793,77	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	B-4	36,6	2413,23	2070,13	1776,08	0,190	0,177	0,170	0,006	0,006	0,004
	B-5	0,0	2429,06	2091,87	1794,96	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	B-6	0,0	2426,76	2089,39	1795,98	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	B-7	0,0	2422,91	2091,67	1791,23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	B-9	0,0	2425,17	2089,66	1795,89	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	M-1	14,0	2291,70	1960,25	1674,30	0,072	0,067	0,064	0,001	0,001	0,001
	M-2	59,0	2293,10	1976,88	1688,77	0,307	0,287	0,275	0,003	0,003	0,002
	M-3	21,7	2302,76	1969,86	1682,45	0,111	0,103	0,099	0,002	0,002	0,001
	M-4	34,0	2224,50	1916,36	1636,55	0,176	0,164	0,157	0,001	0,001	0,001
	M-6	9,6	2420,22	2081,52	1784,23	0,051	0,047	0,045	0,003	0,003	0,002
M-7	17,1	2112,72	1805,20	1542,88	0,086	0,080	0,076	0,001	0,001	0,000	
Bosque nativo	B-10	1.296,6	2648,19	2107,80	1656,24	5,632	5,259	4,983	0,085	0,066	0,064
	B-11	661,1	2580,79	2050,73	1581,85	2,819	2,636	2,489	0,029	0,024	0,021
	B-12	24.659,9	2681,78	2155,67	1712,15	110,200	103,031	98,109	3,796	3,013	3,048
	B-14	33.164,7	2656,84	2132,50	1687,85	147,699	138,430	131,966	6,859	5,527	5,238
	B-15	9.494,5	2648,72	2127,36	1680,82	41,931	39,110	37,112	1,314	1,071	0,989
	B-16	83,1	2453,81	1949,98	1494,76	0,350	0,328	0,308	0,002	0,002	0,002
	B-17	22.977,3	2650,24	2128,62	1682,25	101,516	94,691	89,856	3,172	2,585	2,389
	B-20	2.425,2	2615,11	2095,07	1643,74	10,588	9,865	9,354	0,312	0,267	0,240

Uso Suelo (n)	Microcuencia (n)	Superficie (ha)	Esc. Sup. (mm/año)			Carga anual N (T/año)			Carga anual P (T/año)		
			Lluvioso	Normal	Seco	Lluvioso	Normal	Seco	Lluvioso	Normal	Seco
	B-4	2.347,1	2638,71	2102,89	1650,86	10,195	9,515	9,001	0,181	0,152	0,138
	B-5	4.523,1	2706,93	2173,09	1731,14	20,213	18,891	17,958	0,531	0,422	0,398
	B-6	9.645,6	2654,92	2127,25	1681,64	42,453	39,599	37,637	0,993	0,796	0,761
	B-7	284,4	2609,37	2094,47	1650,24	1,246	1,161	1,100	0,046	0,038	0,035
	B-9	5.323,5	2662,92	2135,48	1688,72	23,396	21,850	20,768	0,481	0,378	0,366
	M-1	1.180,4	2491,28	1979,69	1518,98	4,988	4,669	4,398	0,039	0,031	0,028
	M-2	302,4	2416,06	1921,13	1473,05	1,272	1,190	1,120	0,007	0,006	0,005
	M-3	1.468,6	2503,57	1989,07	1526,40	6,213	5,814	5,477	0,050	0,040	0,036
	M-4	391,2	2340,30	1860,94	1422,54	1,632	1,528	1,434	0,007	0,006	0,005
	M-6	2.601,0	2667,74	2143,30	1699,60	11,571	10,813	10,275	0,388	0,306	0,301
	M-7	140,2	2302,78	1831,54	1399,44	0,583	0,546	0,512	0,002	0,002	0,002
Plantación	B-10	35,6	2753,16	2232,67	1775,53	0,300	0,289	0,274	0,016	0,013	0,012
	B-11	0,0	2699,97	2171,00	1700,61	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	B-12	8,9	2720,86	2204,45	1753,43	0,076	0,073	0,069	0,009	0,007	0,007
	B-14	27,9	2741,69	2213,86	1769,19	0,238	0,231	0,220	0,040	0,030	0,030
	B-15	0,0	2736,21	2216,17	1771,12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	B-16	42,4	2559,33	2056,14	1598,89	0,348	0,335	0,315	0,009	0,007	0,006
	B-17	114,5	2721,67	2206,32	1758,58	0,970	0,935	0,884	0,106	0,085	0,085
	B-20	0,0	2736,52	2217,49	1768,68	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	B-4	49,7	2745,51	2225,48	1769,23	0,420	0,404	0,382	0,027	0,021	0,020
	B-5	70,4	2748,99	2227,90	1780,72	0,599	0,578	0,546	0,056	0,044	0,042
	B-6	54,4	2760,37	2242,02	1794,57	0,463	0,447	0,423	0,039	0,031	0,030
	B-7	0,0	2731,20	2212,52	1766,95	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	B-9	0,0	2725,99	2217,28	1764,48	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	M-1	353,2	2597,96	2086,60	1623,65	2,908	2,797	2,634	0,083	0,065	0,061
	M-2	154,8	2526,40	2031,14	1581,66	1,272	1,223	1,152	0,028	0,022	0,020
	M-3	2,2	2610,80	2096,75	1631,83	0,018	0,017	0,016	0,001	0,000	0,000
	M-4	19,4	2451,87	1971,18	1531,83	0,158	0,152	0,143	0,003	0,002	0,002

Uso Suelo (n)	Microcuenca (n)	Superficie (ha)	Esc. Sup. (mm/año)			Carga anual N (T/año)			Carga anual P (T/año)		
			Lluvioso	Normal	Seco	Lluvioso	Normal	Seco	Lluvioso	Normal	Seco
	M-6	5,4	2721,48	2203,06	1757,62	0,046	0,044	0,042	0,005	0,004	0,004
	M-7	0,0	2396,86	1925,36	1490,60	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pradera	B-10	413,1	2744,18	2208,70	1749,08	3,410	3,226	3,110	0,292	0,229	0,218
	B-11	87,3	2946,01	2405,50	1960,09	0,758	0,725	0,711	0,042	0,037	0,035
	B-12	1.400,3	2766,35	2237,31	1791,81	11,828	11,225	10,877	2,267	1,801	1,729
	B-14	4.786,3	2779,80	2250,09	1811,16	40,916	38,952	37,884	10,759	8,104	7,960
	B-15	967,3	2772,41	2242,54	1798,72	8,169	7,756	7,515	1,424	1,131	1,081
	B-16	559,0	2595,90	2078,01	1628,24	4,544	4,305	4,140	0,180	0,139	0,132
	B-17	5.360,4	2756,59	2228,84	1782,85	45,100	42,763	41,378	7,810	6,212	5,934
	B-20	165,6	2739,96	2215,47	1767,07	1,386	1,312	1,265	0,231	0,183	0,181
	B-4	1.053,8	2746,93	2208,97	1753,08	8,722	8,246	7,949	0,891	0,699	0,661
	B-5	55,3	2752,79	2223,00	1773,14	0,462	0,438	0,423	0,068	0,053	0,051
	B-6	513,8	2759,16	2227,86	1777,68	4,293	4,063	3,919	0,573	0,450	0,432
	B-7	18,5	2738,29	2210,10	1763,11	0,155	0,148	0,143	0,032	0,025	0,024
	B-9	569,9	2753,03	2223,57	1769,86	4,744	4,486	4,331	0,552	0,436	0,417
	M-1	523,5	2631,66	2105,49	1650,08	4,263	4,038	3,885	0,190	0,147	0,139
	M-2	406,6	2555,10	2047,00	1603,89	3,298	3,126	3,006	0,112	0,087	0,082
	M-3	642,9	2643,58	2114,41	1657,01	5,238	4,962	4,773	0,242	0,189	0,177
	M-4	473,1	2483,31	1992,28	1559,61	3,820	3,622	3,479	0,099	0,077	0,072
	M-6	681,4	2770,77	2241,74	1796,95	5,754	5,468	5,294	1,086	0,861	0,826
	M-7	1.250,7	2442,54	1960,68	1533,91	10,068	9,546	9,165	0,218	0,169	0,161

Figura 38. Cargas anuales de NT, según microcuencia y uso de suelos

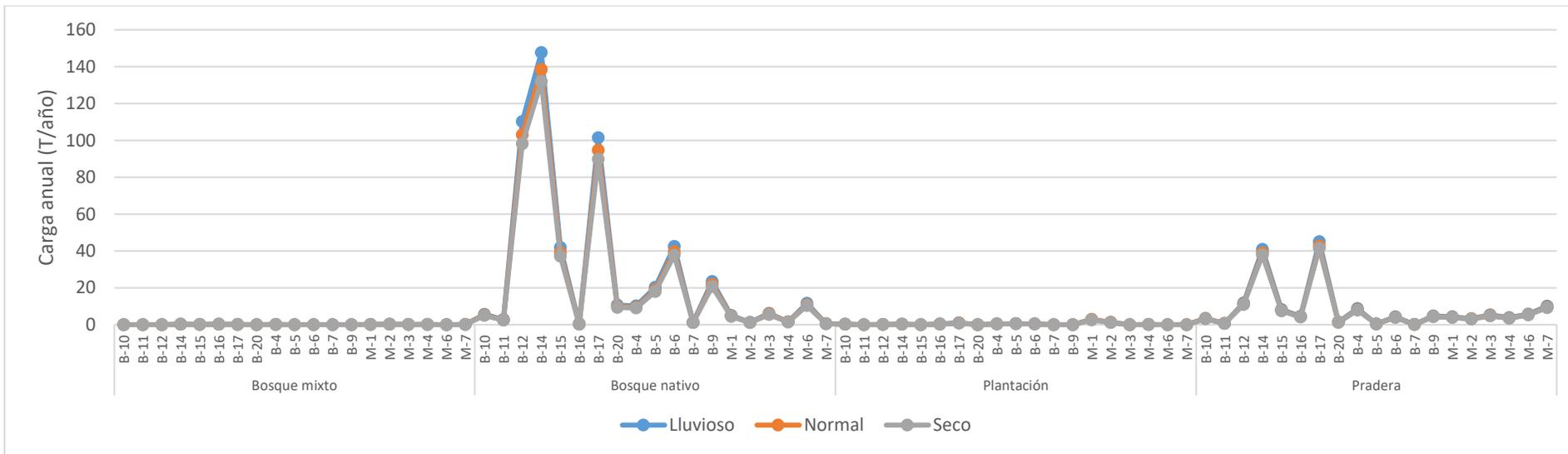
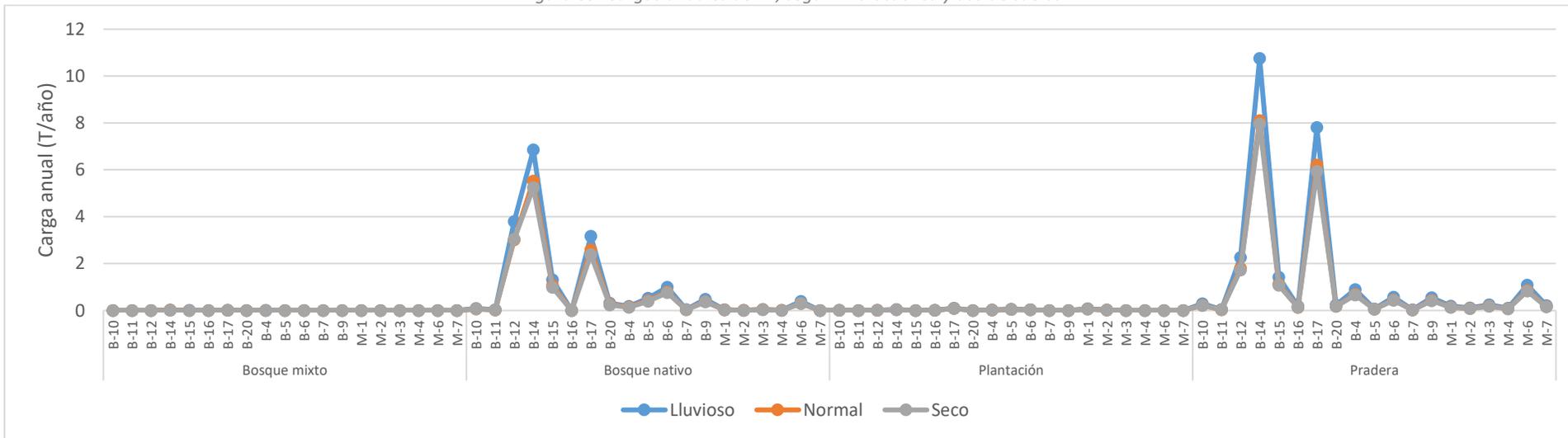


Figura 39. Cargas anuales de PT, según microcuencia y uso de suelos



Como puede observarse en el cuadro y las figuras, la magnitud de la carga total es altamente dependiente de la superficie, es decir, si bien bosque nativo presenta valor por ha significativamente más bajos que otros usos de suelo para N y P, debido a la gran diferencia en superficie en las microcuencas del área de estudio, termina exportando una mayor carga total.

El caso de pradera resulta preocupante, puesto que presenta una significativa superficie al mismo tiempo que sus valores de exportación por ha también son altos, presentando para P las cargas totales mayores.

4.6.8 Análisis de sensibilidad

Para el análisis de sensibilidad de los coeficientes de exportación de N y P del modelo EPRO ajustado en relación con las precipitaciones, pendiente y tipo de uso de suelo, se utilizaron los datos de los resultados por cuenca estándar (sección 4.6.6.2 Resultados por cuenca estándar), de manera de permitir inferir del análisis la sensibilidad del modelo a estos parámetros de forma aislada.

Para ello se llevó a cabo una comparación de medias unifactorial mediante análisis de varianza con un intervalo de confianza del 95%, cuyos resultados y análisis se presentan en las subsecciones siguientes.

En el Cuadro 24, se presentan las tendencias en relación con los tres parámetros analizados de forma numérica y gráfica, donde cada barra representa el valor relativo de coeficiente de exportación correspondiente a su propio grupo.

En este contexto, en relación con la sensibilidad del modelo se observa que:

- La exportación de P y N por unidad de área (kg/ha/año) aumenta hacia años más lluviosos.
- La concentración de P y N (mg/L) exportado disminuye hacia años más lluviosos, lo que se debe a la dilución en la solución de agua.
- La exportación de P y N por unidad de área (kg/ha/año) aumenta con la pendiente, si bien la exportación de P presenta un incremento mayor.
- La concentración de N (mg/L) exportado disminuye con la pendiente, lo que probablemente se debe a una mayor dilución en la solución de agua, producto de un mayor escurrimiento superficial. El P presenta el caso contrario, probablemente debido a que el mayor escurrimiento superficial no es suficiente para neutralizar el gran efecto de la pendiente en la exportación de P por unidad de área.
- Tanto para exportación de N en relación con unidad de área como para la concentración los mayores valores los presenta el uso de suelo Plantación y el menor Bosque Nativo. En el caso del P los mayores valores los presenta el uso de suelo Pradera y los menores Bosque Nativo.

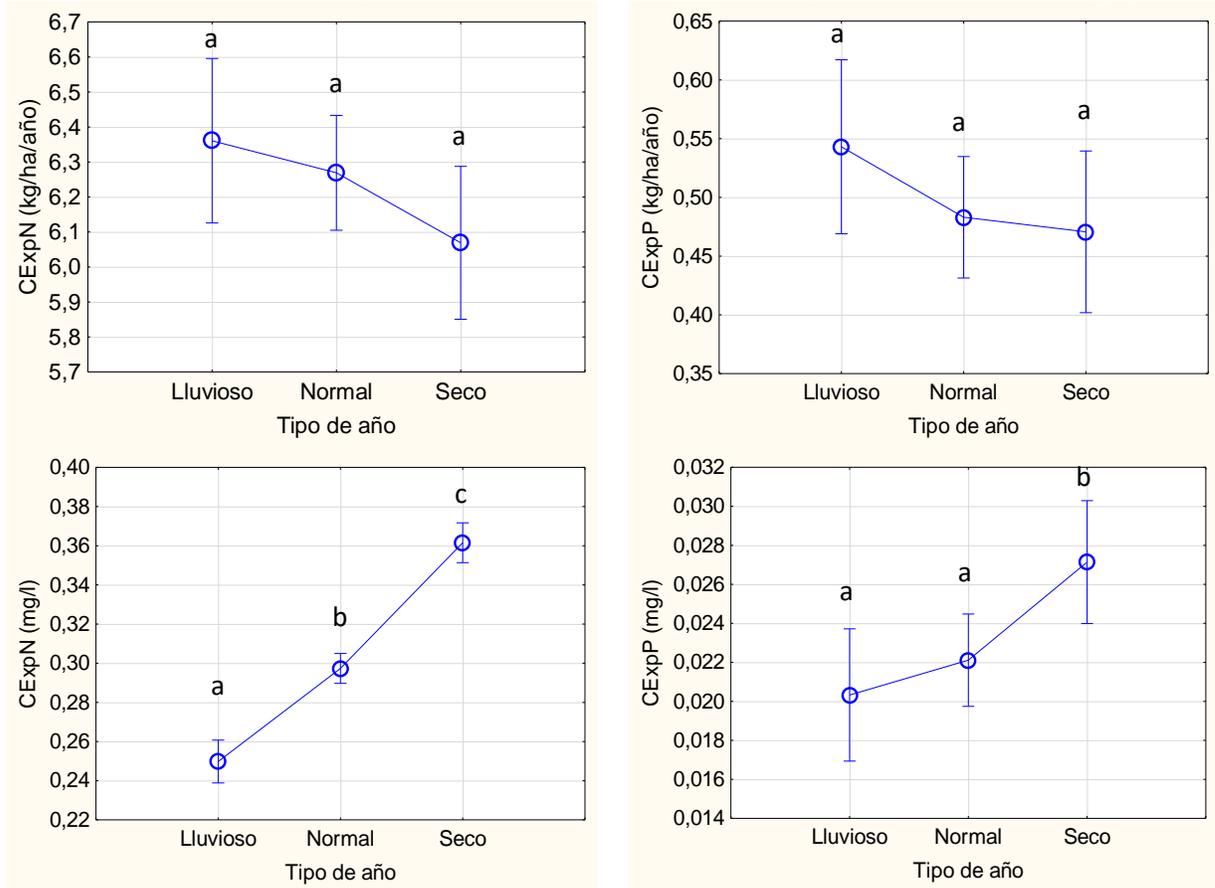
Cuadro 24. Resumen de análisis de sensibilidad modelo EPRO ajustado

	Promedio de CExpN (kg/ha/año)	Promedio de CExpP (kg/ha/año)	Promedio de CExpN (mg/l)	Promedio de CExpP (mg/l)
Tipo de año				
Lluvioso	6,361	0,543	0,250	0,020
Normal	6,269	0,483	0,297	0,022
Seco	6,069	0,471	0,362	0,027
Pendiente (%)				
5	5,937	0,036	0,338	0,002
10	6,056	0,083	0,321	0,004
15	6,128	0,145	0,305	0,007
20	6,172	0,222	0,296	0,010
25	6,214	0,307	0,294	0,014
30	6,254	0,402	0,294	0,019
35	6,289	0,501	0,296	0,023
40	6,318	0,613	0,297	0,028
45	6,339	0,723	0,299	0,034
50	6,358	0,841	0,300	0,039
55	6,376	0,965	0,301	0,045
60	6,389	1,088	0,302	0,051
Uso Suelo (n)				
Bosque mixto	4,952	0,231	0,240	0,011
Bosque nativo	4,056	0,096	0,206	0,005
Plantación	8,022	0,648	0,390	0,030
Pradera	7,913	1,001	0,379	0,046

4.6.8.1 Precipitaciones

De acuerdo con el análisis de varianza, la exportación de N y P por ha, si bien aumenta con el incremento de las precipitaciones, no presenta diferencias significativas entre años lluviosos, normales y secos para N y P. Sin embargo, la media de la exportación de N en la dilución de agua es mayor en años secos y menor para años lluviosos, lo que se debe a la gran diferencia en cantidad de agua y al efecto de retención del suelo húmedo, al igual que para el caso del P, aunque no existe diferencia significativa entre años normales y lluviosos para este último caso.

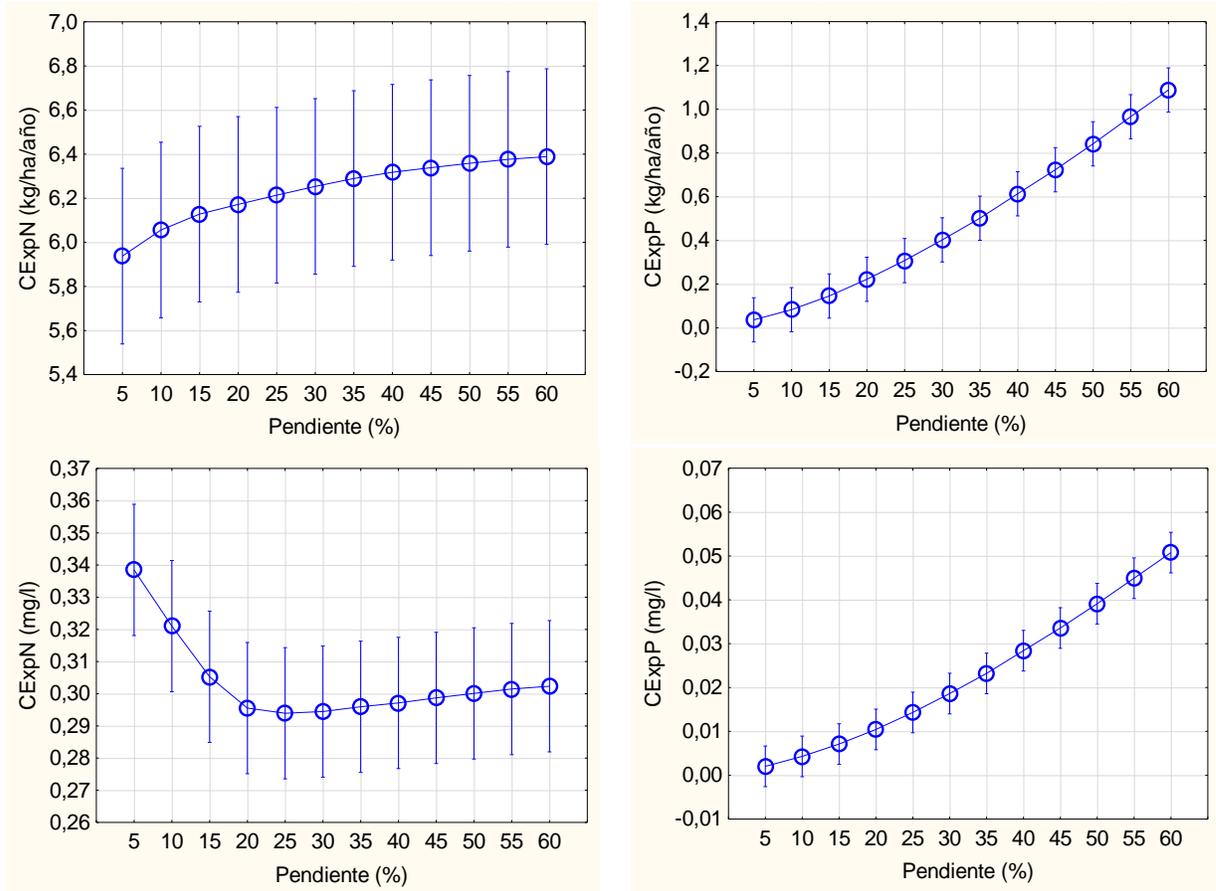
Figura 40. Comparación de medias mediante análisis de varianza de Coeficientes de exportación de N y P por año climático. Las barras muestran el intervalo de confianza del 95% y las letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas.



4.6.8.2 Pendiente

En relación a la pendiente, el análisis indica que la exportación de N y P por unidad de área aumenta con esta, pero las diferencias no son significativas para N y son significativas para P. En relación a las medias en estos nutrientes diluidos, solo existe una tendencia al incremento significativa de la concentración de P con el aumento de la pendiente. Para este parámetro el N, siendo la relación inversa, no presenta diferencias significativas (Figura 41).

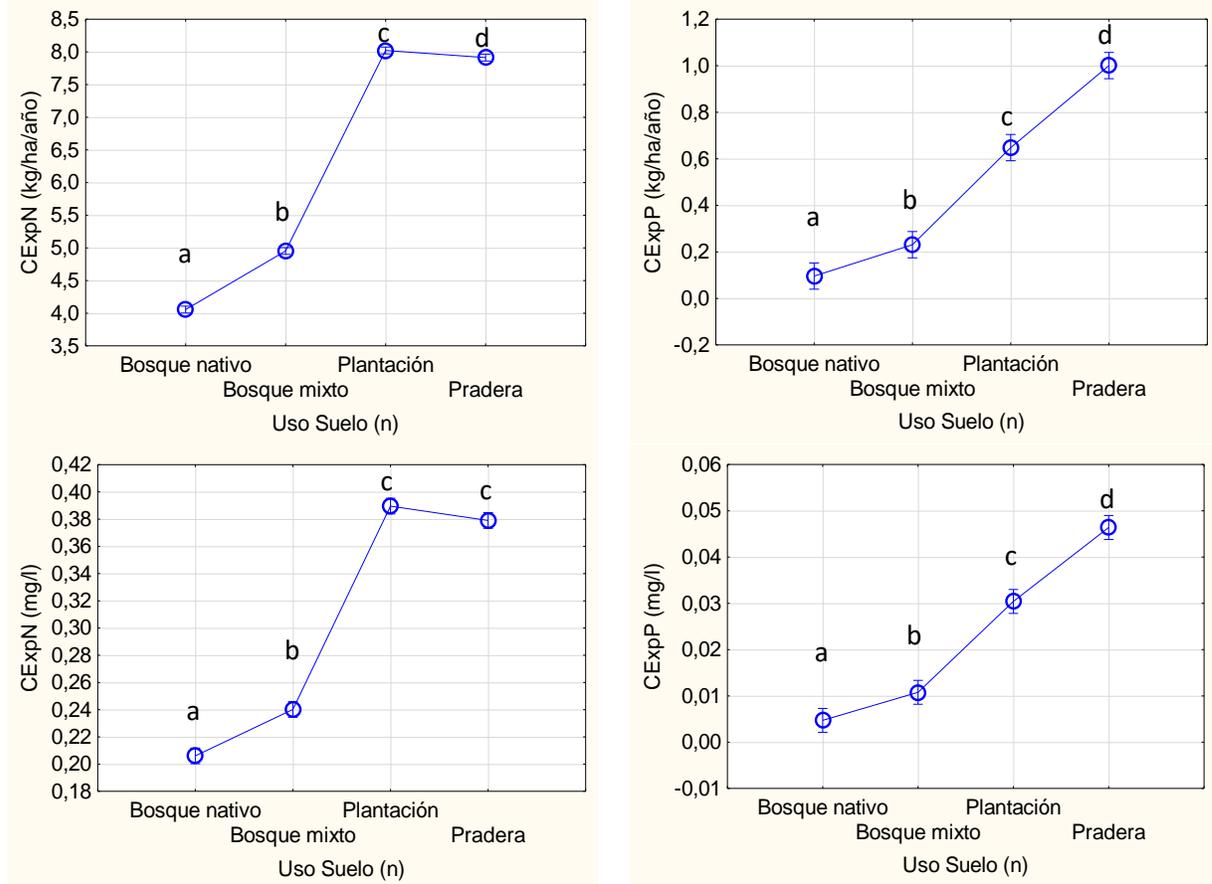
Figura 41. Comparación de medias mediante análisis de varianza de Coeficientes de exportación de N y P por pendiente. Las barras muestran el intervalo de confianza del 95% y las letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas.



4.6.8.3 Tipo de uso de suelo

En cuanto a la sensibilidad del modelo de acuerdo al tipo de uso de suelo, el bosque nativo y bosque mixto presentan valores significativamente más bajos que otros usos de suelo para la exportación de N, y bosque nativo valores significativamente más bajos para la exportación de P. Los valores de exportación más altos los presenta Plantación y Pradera, para N y P, respectivamente (Figura 42).

Figura 42. Comparación de medias mediante análisis de varianza de Coeficientes de exportación de N y P por uso de suelo. Las barras muestran el intervalo de confianza del 95% y las letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas.



4.6.9 Comparación con resultados de literatura

Los rangos de coeficientes de exportación para N y P obtenidos en el presente estudio se presentan en Cuadro 25 y Cuadro 26.

Cuadro 25. Rango de valores coeficientes de exportación N y P (kg/ha) Edáfica (2020).

Tipo de año	Uso Suelo (n)	Mín. de CExpN (kg/ha/año)	Máx. de CExpN (kg/ha/año)	Mín. de CExpP (kg/ha/año)	Máx. de CExpP (kg/ha/año)
Lluvioso	Bosque mixto	4,590	5,900	0,027	0,523
	Bosque nativo	3,847	4,762	0,012	0,298
	Plantación	7,636	8,908	0,086	2,076
	Pradera	7,446	9,135	0,131	3,376
Normal	Bosque mixto	4,377	5,667	0,024	0,515
	Bosque nativo	3,591	4,502	0,011	0,196
	Plantación	7,099	8,648	0,077	1,243
	Pradera	7,093	8,676	0,125	1,885
Seco	Bosque mixto	4,212	5,032	0,022	0,318
	Bosque nativo	3,302	4,372	0,009	0,201
	Plantación	6,644	8,422	0,064	1,296
	Pradera	6,484	8,915	0,099	1,939

Cuadro 26. Rango de valores coeficientes de exportación N y P (mg/L) Edáfica (2020).

Tipo de año	Uso Suelo (n)	Mín. de CExpN (mg/l)	Máx. de CExpN (mg/l)2	Mín. de CExpP (mg/l)	Máx. de CExpP (mg/l)2
Lluvioso	Bosque mixto	0,192	0,256	0,001	0,022
	Bosque nativo	0,158	0,187	0,001	0,011
	Plantación	0,290	0,354	0,004	0,077
	Pradera	0,280	0,336	0,005	0,123
Normal	Bosque mixto	0,209	0,289	0,001	0,025
	Bosque nativo	0,172	0,229	0,001	0,009
	Plantación	0,326	0,442	0,004	0,055
	Pradera	0,320	0,420	0,006	0,084
Seco	Bosque mixto	0,251	0,306	0,001	0,017
	Bosque nativo	0,211	0,298	0,001	0,013
	Plantación	0,404	0,567	0,004	0,081
	Pradera	0,375	0,542	0,006	0,115

Al comparar los valores promedio obtenidos en la investigación de fuentes secundarias y realizando las aproximaciones de tipos de uso de suelo se obtienen las diferencias que se exhiben en el Cuadro 27. En

promedio, los valores de coeficientes de exportación de NT son mayores a los informados por la literatura a excepción del uso Praderas que se observa ligeramente menor. En cuanto a coeficientes de exportación de PT, los resultados de la modelación con EPROaj indica que son mayores que la literatura en el uso Praderas y menores para el resto de los casos.

Cuadro 27. Comparación de coeficientes de exportación de Nitrógeno y Fósforo en microcuencas del Lago Villarrica y la literatura revisada (kg/ha/año)

	Uso de suelo	Nitrógeno			Fósforo		
		Promedio micro cuencas	Rango y Promedio literatura	Diferencia promedio	Promedio micro cuencas	Rango y Promedio literatura	Diferencia promedio
I	Bosque Nativo						
		4,04	0,69 -3,8	1,82	0,08	0,09 – 2,2	-0,60
			2,2			0,2	
II	Bosque Mixto						
		4,94	0,6 – 6,8	1,24	0,18	0,007–1,3	-0,40
			3,7			0,5	
III	Pradera (Extensiva)						
		7,89	Sin rango	-0,21	0,80	Sin rango	0,10
			8,1			0,7	
IV	Plantaciones (Pino)						
		8,01	1,4 – 7,3	3,98	0,52	0,2 - 0,9	-0,11
			3,7			0,7	

Fuente: Elaboración propia

4.7 Recomendaciones de monitoreo

4.7.1 Monitoreo puntual

De acuerdo con la literatura revisada (Oyarzún *et al*, 1997; Godoy *et al*, 2001) y los estudios realizados en la cuenca del lago Villarrica (UCT-MMA, 2012; UFRO-MMA, 2020), se desprende que las determinaciones de caudal y composición química de muestras de agua es útil si, los puntos de recolección coinciden con la salida de una cuenca en donde sea posible identificar la menor cantidad de usos-coberturas, con la mayor homogeneidad posible, y con la menor intervención antrópica. De esta forma, colecta de datos puntuales con registro de la coordenada, fecha y hora, y determinación de NT y PT pueden contribuir a generar una base de datos con validez estadística para la determinación de coeficientes de exportación por usos de suelos para fuentes difusas. Complementariamente, es requerida la identificación de la microcuenca, la caracterización geomorfológica (pendiente), y contar con ortofoto y modelo digital de elevación, de tal forma de generar un sistema de información cartográfica para el seguimiento y análisis de los datos.

Las investigaciones realizadas por Oyarzún, *et al* (1997) y Godoy, *et al* (2001), carecen de la información complementaria para lograr actualizar los valores de coeficientes de exportación, y trabajo con sistemas de información geográfica, de tal forma de replicar los análisis efectuados a otras cuencas o situaciones similares.

4.7.2 Monitoreo continuo

Una alternativa recomendada para la determinación de coeficientes de exportación por usos de suelos comprende una mejora a las determinaciones puntuales mediante la instalación de un caudalímetro automático y un analizador automático para determinaciones continuas, por ejemplo, a intervalos de 1 hora o de 1 día. Esta opción es la más recomendada para determinaciones precisas de las cargas de NT y PT desde calidad de aguas de escorrentía.

4.7.3 Monitoreo desde el suelo

Para la determinación de los coeficientes de exportación desde monitoreo de suelos se requiere identificar una condición de topografía en forma precisa, con un uso de suelo único, de forma tal de establecer una parcela experimental para instalación de lisímetros. Estos instrumentos consisten en un sistema de vacío que permite el ingreso de la solución suelo a un depósito desde el cual se puede recuperar para la determinación de NT y PT mediante un analizador automático o en laboratorio. La solución suelo corresponde al agua disponible en los poros del suelo y que contiene la composición química que efectivamente puede moverse por escurrimiento o lixiviación.

5 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados por microcuenca del presente estudio, existen diferencias en el coeficiente de exportación de Nitrógeno y Fósforo, según uso de suelo. Al mismo tiempo, existe una tendencia en todos los casos a aumentar el coeficiente de exportación de Nitrógeno y Fósforo en años lluviosos y a disminuir en años secos.

Según uso de suelo y por unidad de área (kg/ha/año), es el Bosque Nativo el que genera menor coeficiente de exportación de Nitrógeno y Fósforo. Por encima de estos valores se encuentran los demás usos de suelo estudiados, observándose que el mayor impacto en el aumento del coeficiente de exportación de Nitrógeno se obtiene en Plantaciones Forestales, y el de Fósforo en praderas, debido a la condición inicial de fertilización y degradación de las condiciones hidrológicas del suelo.

En cuanto a las concentraciones (mg/L), los mayores valores se presentan para plantaciones. Por otro lado los mayores valores de concentración de nutrientes se presentan en años secos, lo que se debe a que, si bien existe una menor exportación por unidad de superficie, esta se encuentra menos diluida en los cuerpos de agua.

La magnitud de la carga total es altamente dependiente de la superficie, es decir, si bien bosque nativo presenta valor por unidad de superficie significativamente más bajo que otros usos de suelo para N y P, debido a la gran diferencia en superficie de uso de suelo en las microcuencas del área de estudio, termina exportando una mayor carga total, al presentar una superficie significativamente mayor.

El caso de pradera resulta preocupante, puesto que presenta una superficie significativa al mismo tiempo que sus valores de exportación por unidad de superficie también son altos, presentando para P las cargas totales mayores.

En relación con la sensibilidad del modelo frente a los parámetros tipo de año climático, pendiente y tipo de uso de suelo, se observa que: la exportación de P y N por unidad de área (kg/ha/año) aumenta hacia años más lluviosos; la concentración de P y N (mg/L) exportado disminuye hacia años más lluviosos, lo que se debe a la mayor dilución en la solución de agua para estos últimos; la exportación de P y N por unidad de área (kg/ha/año) aumenta con la pendiente, si bien la exportación de P presenta un incremento mayor; la concentración de N (mg/L) exportado disminuye con la pendiente, lo que probablemente se debe a una mayor dilución, producto de un mayor escurrimiento superficial. El P presenta el caso contrario, probablemente debido a que el mayor escurrimiento superficial no es suficiente para neutralizar el gran efecto de la pendiente en la exportación de P por unidad de área; tanto para exportación de N en relación con unidad de área como para la concentración los mayores valores los presenta el uso de suelo Plantación y el menor Bosque Nativo. En el caso del P los mayores valores los presenta el uso de suelo Pradera y los menores Bosque Nativo.

Al comparar los valores promedio obtenidos en la investigación de fuentes secundarias y realizando las aproximaciones de tipos de uso de suelo se obtienen diferencias que, en promedio, los valores de coeficientes de exportación de NT son mayores a los informados por la literatura a excepción del uso Praderas que se observa ligeramente menor. En cuanto a coeficientes de exportación de PT, los resultados

de la modelación con EPROaj indica que son mayores que la literatura en el uso Praderas y menores para el resto de los casos. Los valores entregados por EPROaj son adecuados de acuerdo a literatura, si bien estudios que consideren el valor preciso de pendiente (composición y largo) podrían Incorporar un mayor grado de precisión al modelo. También se sugiere el estudio de variaciones en el factor K de erodabilidad desde el muestreo de distintos tipos de uso de suelo y la evaluación de prácticas concretas de conservación en el comportamiento del modelo, orientado al establecimiento de los mejores protocolos de conservación de suelo y de minimización de transporte de nutrientes en microcuencas.

Respecto de los valores de las curvas número, se requiere investigación en terreno para determinar en forma empírica los coeficientes de acuerdo con los tipos de suelos (grupos hidrológicos), pendientes y uso o cobertura, de tal forma de contar con valores propios de la realidad de las cuencas objeto de estudio, y no de aproximaciones basadas en otras latitudes y condiciones que pueden ser distintas en algunos aspectos a los ecosistemas de Chile.

En cuanto a los parámetros más sensibles al transporte de nutrientes, EPROaj solo aporta datos concluyentes en cuanto al tipo de uso de suelo, lo que implica que estudios futuros debiesen centrarse en el efecto diferenciado de prácticas de conservación de suelo en cada una de estas coberturas. La metodología de muestreo de calidad de aguas en forma continua, con identificación de una microcuenca con uniformidad o predominancia de un único Uso – Cobertura de suelo, se plantea como una forma empírica de obtener valores de coeficientes de exportación en el territorio, no solo de la cuenca de Villarrica, sino a nivel nacional, lo que se desprende del análisis de correlación de los parámetros medidos en el estudio de UFRO al relacionarlos con microcuencas más pequeñas y con mejor escala de identificación.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbaspour, K.C.; Rouholahnejad, E.; Vaghefi, S.; Srinivasan, R.; Yang, H. & Klove, B. (2015). "A continental-scale hydrology and water quality model for Europe. Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model". *Journal of Hydrology*, 524, 733-752.

Aranguren, I. 2018. Understanding nutrient (nitrate and phosphate) exportation processes in two agrarian watershed in Navarre. Agri-food and rural environment engineering degree. Universidad Pública de Navarra. España. 64 p.

Arnold, J.G.; J. Williams; A. Nicks & N. Sammons. (1990). "SWRRB: A basin scale simulation model for soil and water resources management". Texas A&M Univ. Press, College Station, TX

Behrends Kraemer; F.; C. Chagas; G. Vázquez Amábile; E. Palacín; O. Santanatoglia; M. Castiglioni & M. Massobrio. (2011). "Aplicación del modelo hidrológico SWAT en una microcuenca agrícola de la pampa ondulada". *CI. SUELO (ARGENTINA)* 29(1): 75-82.

Bonomelli, C., Henríquez, C., Giral, L. y Bescansa, P. 2003. *Disponibilidad de fósforo en un andisol, con distintas fuentes y dosis de fósforo, en condiciones controladas*. *Ciencia e investigación agraria, Chile* 30 (3): 186-192.

Borie, F. y Rubio, R. 2003. *Total and organic phosphorus in Chilean volcanic soils*. *Gayana Botánica* 60(1): 69-78.

Cárdenas, P. O. 2007. Cambios en la exportación y retención de nitrógeno y fósforo causado por la conversión de bosque nativo a plantaciones forestales en microcuencas de la Cordillera de la Costa en el sur de Chile. Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. 70 p.

Castillo, E.; Ávila, R.; Janssen, P. & Van Leeuwen, A. (2001). "Sistema de Información de Recursos de Tierras para la planificación. Una herramienta de apoyo para la planificación y ordenamiento del uso del territorio. Informe Técnico N°1 Volumen 2". FAO, Proyecto Regional "Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible.

Cazanga R. 1997. Correction et validation du Modele CERES-Maize. Une approche de la simulation de la croissance et du developpement du maïs au niveau de la parcelle. These Doctorat. Université Catholique de Louvain, 130 p.

Cazanga R. 2001. Construcción y Aplicación de un Modelo de Evaluación del Efecto de la Erosión sobre la Productividad de los Cultivos, EPRO. Proyecto de Evaluación de Tierras. FAO, Chile. 43 p.

CIREN, 2002. Estudio agrológico IX Región: descripciones de suelos, materiales y símbolos. (Pub. CIREN N°122/2002)

Contraloría General de la República de Chile. 2020. CONAF, plan de manejo de corta de bosque nativo, reforestación, imposibilidad recuperación de terrenos para cultivos agrícolas. Número Dictamen 006271N20. <https://www.contraloria.cl/pdfbuscador/dictamenes/006271N20/html>

Edáfica – CONADI, 2013. Estudio de aguas y suelos de valles cordilleranos con población indígena. Regiones del Biobío y La Araucanía.

Edáfica -MMA, 2018). Planificación ecológica de la infraestructura ecológica de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y programa regional de prioridades de restauración ecológica en el contexto de los incendios de la temporada 2016 – 2017: aplicación en región de la Araucanía.

Fernández de Villarán San Juan, R. (2017). "Utilización del programa "SWAT" para la estimación de la emisión de sedimentos en cuencas". *TRIM*, Vol. 12, pp. 21-32.

Flores López, M. (2016). "Metodología para la ordenación de cuencas hidrográficas en el ámbito biogeográfico árido sudcaliforniano". Tesis doctoral, Doctorado en Ingeniería del Agua y Medioambiente, Universitat de Valencia.

Forrester J. W. 1972. Dinámica Industrial. El Ateneo Buenos Aires. 449 p.

Fuentes, R., León-Muñoz, J., Echeverría, C. 2017. Spatially explicit modelling of the impacts of land-use and land-cover change on nutrient inputs to an oligotrophic lake. *International Journal of Remote Sensing* 38 (24): 7531 - 7550.

Galván, L., (2011). "Modelización hidrológica del río Odiel. Aplicación al estudio de la contaminación por drenaje ácido de minas". Tesis doctoral, Universidad de Huelva.

Gassman, P.W.; Reyes, M.R.; Green, C.H. & Arnold, J.G. (2007). "The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications and Future Research Directions". *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)*, 50(4), 1211-1250.

Godoy, R., Oyarzún, C., Gerding, V. 2001. Precipitation chemistry in deciduous and evergreen *Nothofagus* forests of southern Chile under a low-deposition climate. *Basic Appl. Ecol.* 2: 65 - 72.

<https://laderasur.com/estapasando/contraloria-declara-ilegales-planes-de-manejo-de-tala-de-bosque-nativo-con-fines-agricolas-aprobados-por-conaf-desde-2008/>

Jodar-Abellan, A; Ruiz, M. & Melgarejo, J. (2018). "Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT". *Revista mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 35 N°3.

Jones C. A., Kiniry J.R. 1986. CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A. & M University Press, College Station, TX. 139 p.

Ladera Sur. 2020. Contraloría declara ilegales planes de manejo de tala de bosque nativo con fines agrícolas aprobados por CONAF desde 2008.

Lin, J. P. 2004. Review of published export coefficient and event mean concentration (EMC) data. *Wetlands Regulatory Assistance Program*. 15 p.

Lisboa, M. 2016. Estudio de Nutrientes PAI – CERRO PELADO Departamento de Maldonado. Grupo Gesta. 20 p.

Litteboy M. Et al., 1989. PERFECT: A computer simulation model of productivity erosion runoff functions to evaluate conservation techniques. Queensland Departementa of Primary Industries. Bulletin QB89005. 189 p.

Luzio, W., Sadzawka, A., Besoain, E. Y Lara, P. 2001. *Inceptisos de la cordillera de la costa en la X región (40°15'-41°00'S) de Chile*. *Revista Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 1(2): 1-16.

Ma, C., Strokala, M., Kroezea, C., Wanga, M., Lib, X., Hofstrac, N. y Ma, L. 2020. Reducing river export of nutrients and eutrophication in Lake Dianchi in the future. *Blue-Green Systems* 2 (1): 73 - 90.

Matus J. F. 1994. Crop residue decomposition, residual soil organic matter and nitrogen mineralization in arable soils with contrasting textures. Thesis Ph. D. Wageningen University. The Netherlands. 141 p.

Méndez, L. S. 2018. Determinación de los coeficientes de exportación de nutrientes en la cuenca del Lago Lanalhue, Región del Biobío, Chile. Habilitación presentada para optar al título de Ingeniera Ambiental. Universidad de Concepción. 119 p.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y Universidad de la Frontera (UFRO). 2020. Informe final. Evaluación de medidas de reducción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en base al análisis de escenarios, como insumo para la

preparación del anteproyecto del plan de descontaminación de la cuenca del lago Villarrica (etapa 3). Temuco, Chile. 163 p.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2017. Informe técnico de antecedentes para declarar a la cuenca del Lago Villarrica como zona saturada por clorofila "a", transparencia y fósforo disuelto. SEREMI del Medio Ambiente, Región de La Araucanía. 158 p.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2014). "User's Manual for OpenNSPECT, Version 1.2". Coastal Service Center.

Orúe, M. E., Booman, G. C., Lattera, P. 2011. Capítulo 10. Uso de la tierra, configuración del paisaje y el filtrado de sedimentos y nutrientes por humedales y vegetación ribereña. En: Lattera, P., Jobbágy, E. y Paruelo, J. M. (eds.). 2011. Valoración de servicios ecosistémicos: Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. pp. 237 - 264.

Oyarzún, C. E., Campos, H. y Huber, A. 1997. Exportación de nutrientes en microcuencas con distinto uso del suelo en el sur de Chile (Lago Rupanco, X Región). Revista Chilena de Historia Natural 70: 507 - 519.

Pino, Sofia. 2008. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO EN TRES SITUACIONES DE MANEJO DE RESIDUOS POST-COSECHA, USANDO EL MODELO RUSLE, EN EL PREDIO PANTANILLOS, VII REGIÓN. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA.

Pizzolon, L. A. 1998. Flujo de nutrientes e iones principales en la cuenca del Lago Puelo (Arg.). Tesis de Magister Ecología Acuática Continental. Universidad Nacional de la Patagonia, Esquel, Argentina. 195 p.

Potter K.N. and Williams J.R. 1994. Predicting daily mean soil temperatures in the EPIC simulation model. Agron. J. 86: 1006-1011.

Rivera-Toral, F.; S. Pérez-Nieto; A. Ibáñez-Castillo, F. Hernández-Saucedo. (2012). "Aplicabilidad del modelo SWAT para la estimación de la erosión hídrica en las cuencas de México". Agrociencia vol.46 N°2.

Romero, I. 2019. Eutrofización. Carga crítica de fósforo. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/116293>

Sadzawka R., A., M.A. Carrasco R., R. Grez Z., M.L. Mora G., H. Flores P. y A. Neaman. 2006. Métodos de análisis de recomendados para los suelos de Chile. 164 p.

Sadzawka, A. 2006. *Propiedades físico-químicas de los suelos. I: Reacción (pH), acidez y alcalinidad*. pp: 91-127. In: Avances en el conocimiento de los suelos de Chile. Luzio W. y Casanova, M. (Eds.). Santiago-Chile 393 p.

Sadzawka, A., Carrasco, Ma., Grez, R. y Mora, Ma. 2004. *Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos* Comisión de normalización y acreditación (CNA). Sociedad Chilena de las ciencias del suelo. Revisión 2004. 113p.

Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C. Y Broderson, W.D. (editors), 2012. *Field book for describing and sampling soils*, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. Sharpley et al. 1994. A simplified soil and plant phosphorus model. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:805-809.

Silva, C. 2010. Agricultura limpia y la necesidad del uso racional de los fertilizantes. Idesia 28 (1): 5 - 7.

Soil Conservation Service 1985. National engineering handbook. Hidrología. Water Resources Publications. U.S.A.

UCT-MMA, 2012. Análisis de la Carga de Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) de las principales Subcuencas aportantes al Lago Villarrica.

Van Lierop, W. 1990. Soil pH and lime requirement determination. pp. 73-126. *In*: Westerman, R.L. (ed.). Soil testing and plant analysis. 3ª Edition. Nº 3 in the Soil Science Society of America. Book Series. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Vicente, I. y Cruz-Pizarro, L. 2003. Estudio de la carga externa e interna de fósforo y aplicación de modelos empíricos de eutrofización en las aguas de la Albufera de Adra. *Limnetica* 22 (1-2): 165 - 181.

Williams J. R. 1994. The EPIC model. U.S. Department of Agriculture. Temple Tx. 235 p.



ANEXO 1. Coeficientes de exportación, información secundaria

Cuadro 28. Valores mínimos, máximos y promedios de valores de coeficientes de exportación de nitrógeno total según uso de suelos

Uso de suelos	Promedio de N total (kg/ha/año)	Mínimo de N total (kg/ha/año)	Máximo de N total (kg/ha/año)
Bosque Nativo / Humedal	2,2	0,7	3,8
Plantación Forestal	3,7	3,5	7,3
Cultivos no en hileras	4,4	1,0	7,8
Residencial	6,2	5,0	7,3
Comercial	6,5	1,9	11,0
Bosque Nativo	6,8	2,5	5,6
Pradera	7,3	4,5	10,7
Industrial	8,0	1,9	14,0
Pradera con matorral	8,1		
Pradera con agricultura limitada	11,4		
Urbano	12,5	1,8	27,8
Agricultura	15,2	3,0	33,0
Agricultura mixta	22,2	2,8	41,5
Agropecuario	30,1		
Cultivo en hileras	40,9	2,1	79,6
Cultivos rurales	40,9	2,1	79,6
Total	11,4	2,9	20,7

Cuadro 29. Valores mínimos, máximos y promedios de valores de coeficientes de exportación de fósforo total según uso de suelos

Uso de suelos	Promedio de P total (kg/ha/año)	Mínimo de P total (kg/ha/año)	Máximo de P total (kg/ha/año)
Agropecuario	0,45		
Pradera con agricultura limitada	0,94		
Frutales (Citrus) (suelos ígneos)	0,18		
Pradera con matorral	0,66		
Bosque Nativo (suelos ígneos)	0,05	0,01	0,09
Bosque y praderas (suelos ígneos)	0,09	0,06	0,12
Bosque Nativo (suelos sedimentarios)	0,13	0,07	0,18
Bosque Nativo / Humedal	0,15	0,09	0,21
Residencial	0,50	0,22	0,77
Bosque y praderas (suelos sedimentarios)	0,24	0,11	0,37
Plantación Forestal	0,49	0,28	0,58
Bosque Nativo	0,50	0,22	0,71
Cultivos estacionales (Labranza) (suelos ígneos)	0,61	0,22	1,00
Pradera	1,35	0,35	2,48
Cultivos rurales	1,48	0,06	2,90
Cultivos no en hileras	1,50	0,10	2,90
Agricultura	0,75	0,31	3,08
Industrial	2,25	0,40	4,10
Urbano	1,92	0,20	6,22
Comercial	3,85	0,10	7,60
Cultivo en hileras	9,43	0,26	18,60
Total	1,1	0,2	2,7

Figura 43. Valores mínimos, máximos y promedios de valores de coeficientes de exportación de nitrógeno total según uso de suelos

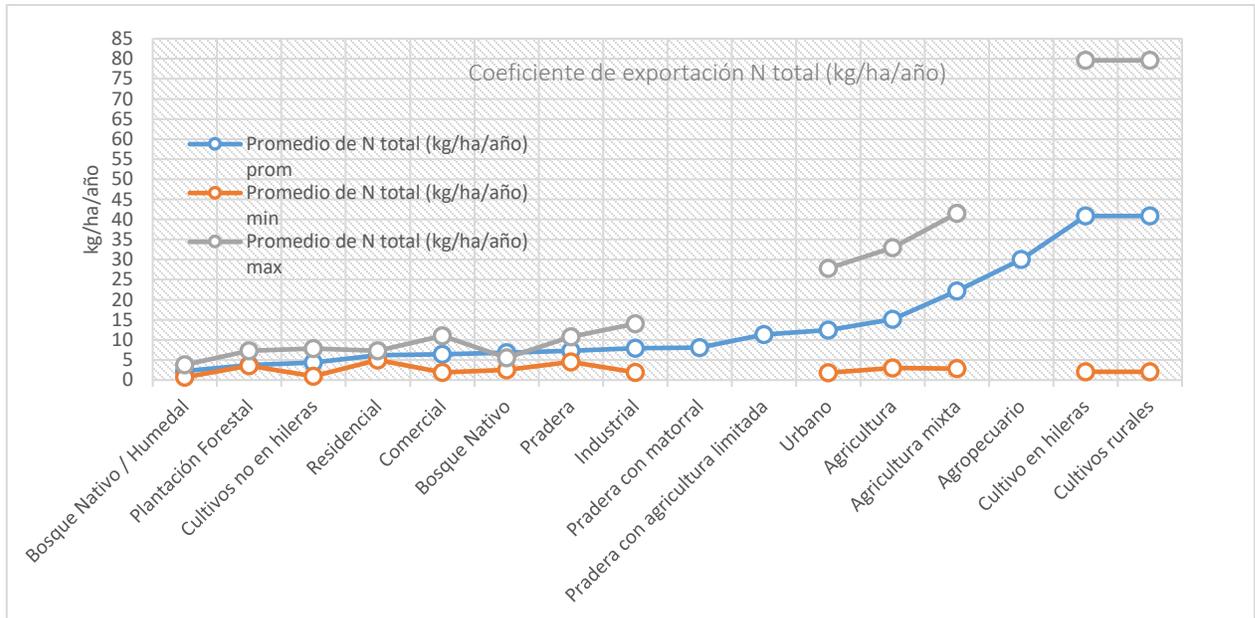
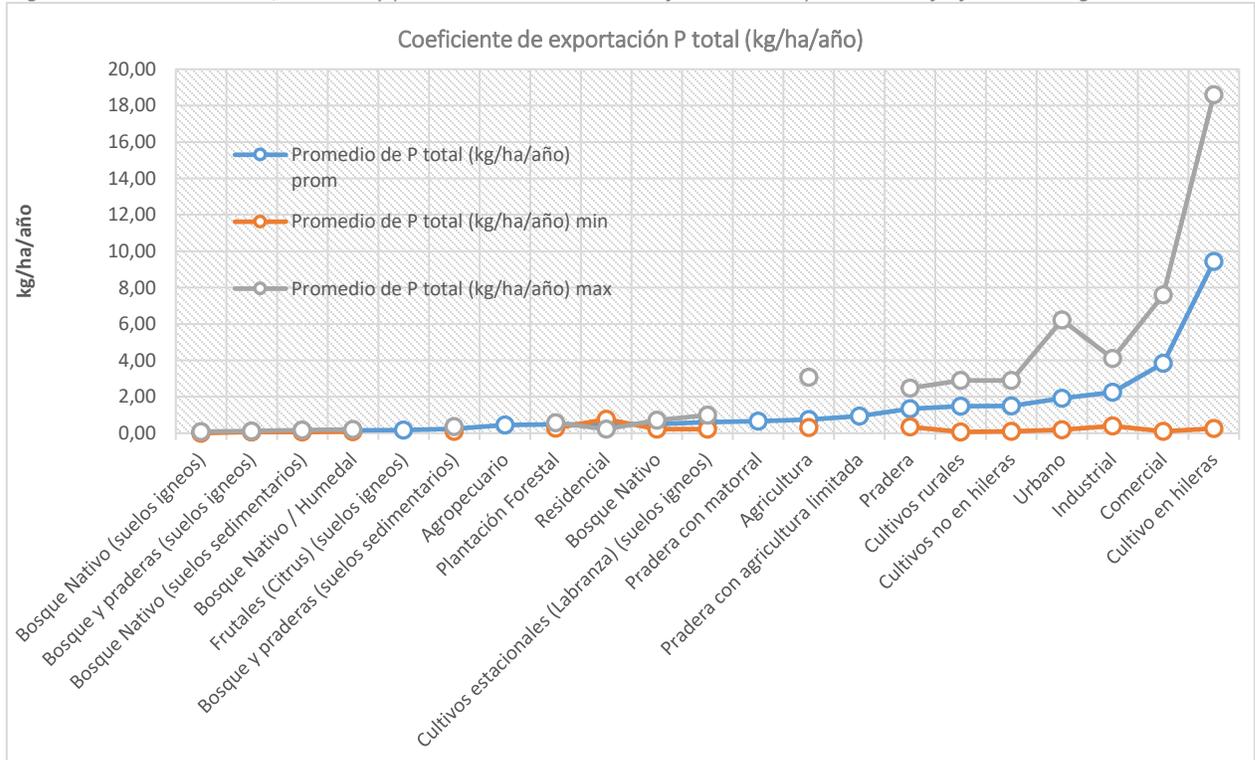


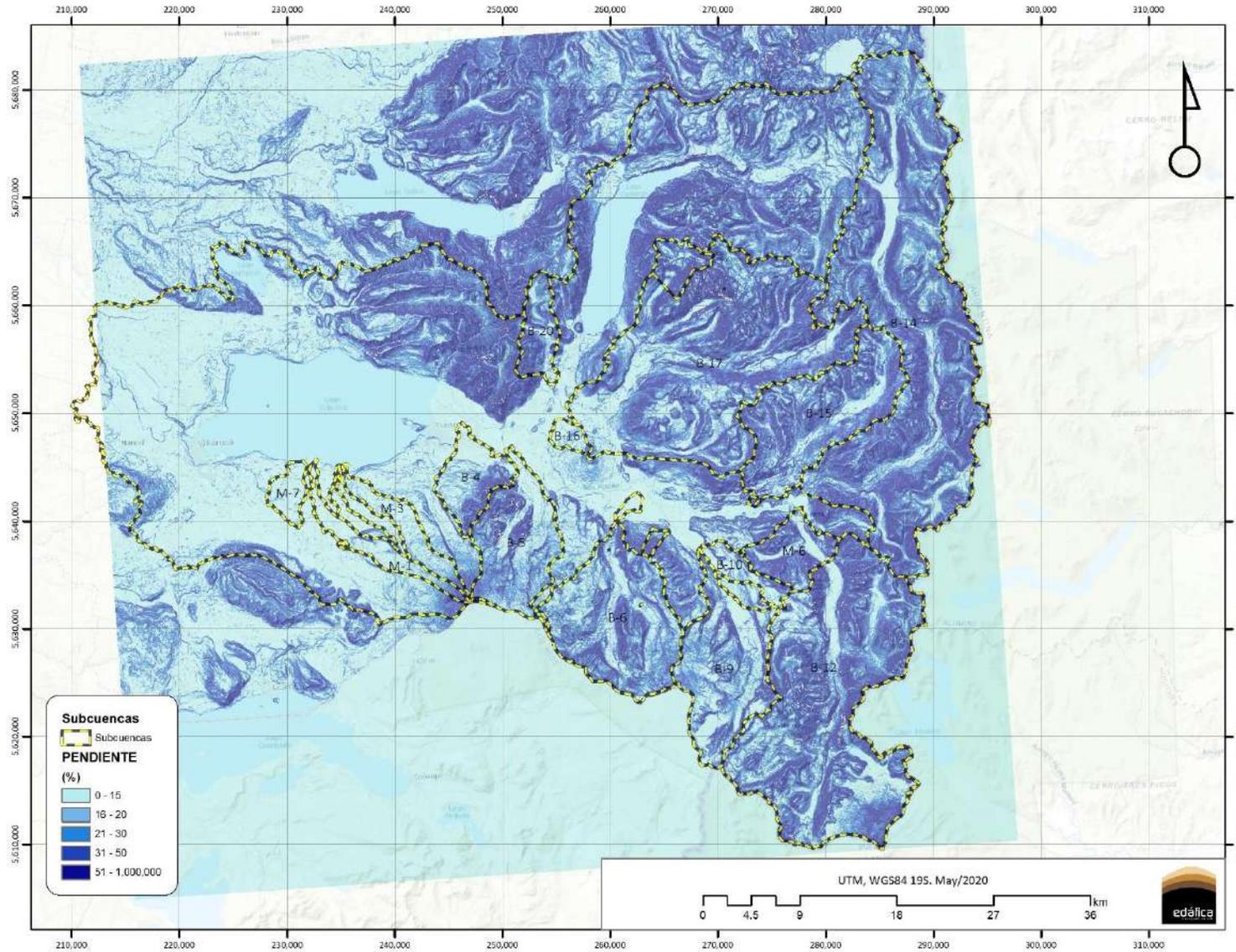
Figura 44. Valores mínimos, máximos y promedios de valores de coeficientes de exportación de fósforo total según uso de suelos





ANEXO 2. Mapa de pendientes

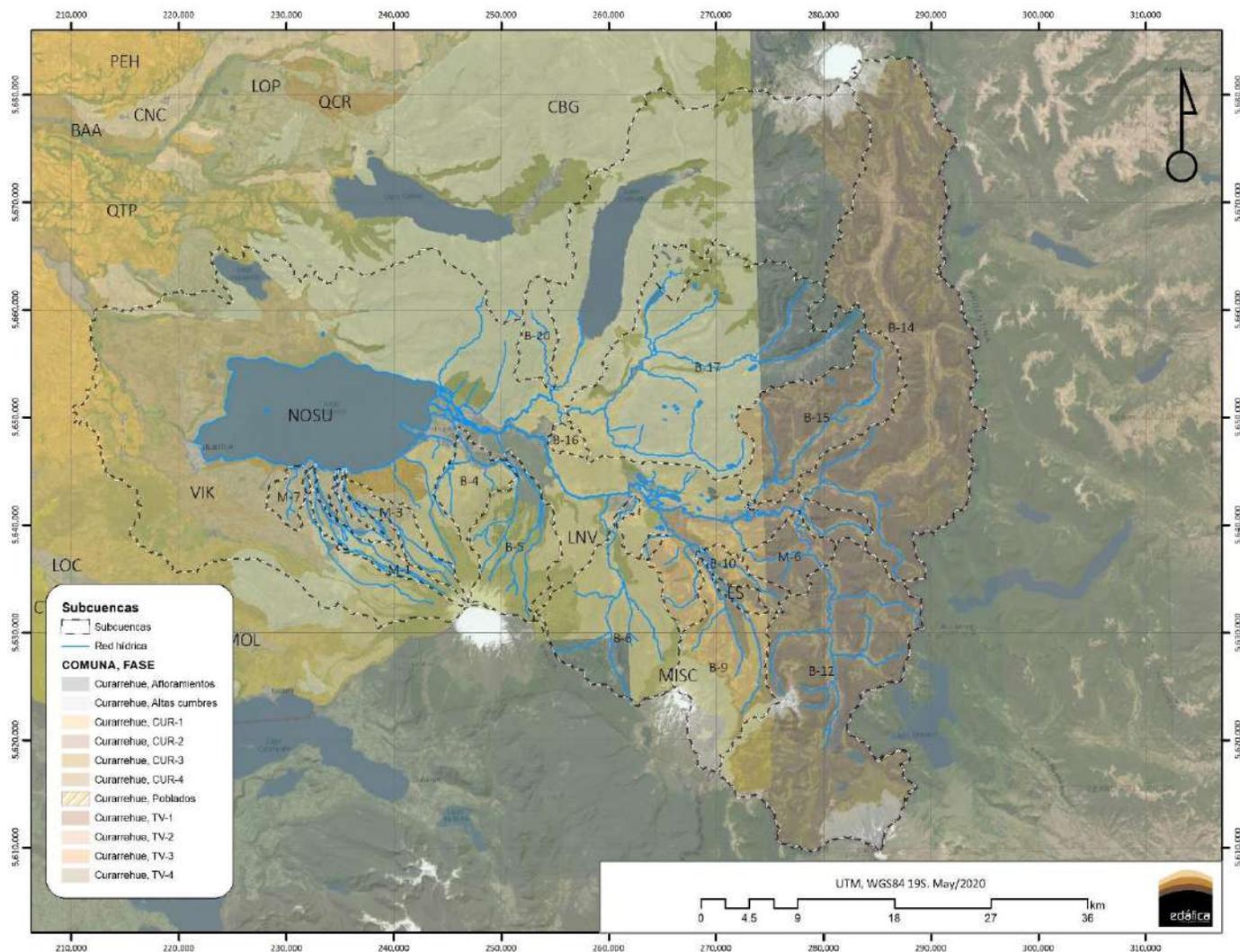
Figura 45. Mapa de pendientes (%)(Fuente: elaboración propia desde modelo digital Alos Palsar)





ANEXO 3. Unidades edáficas

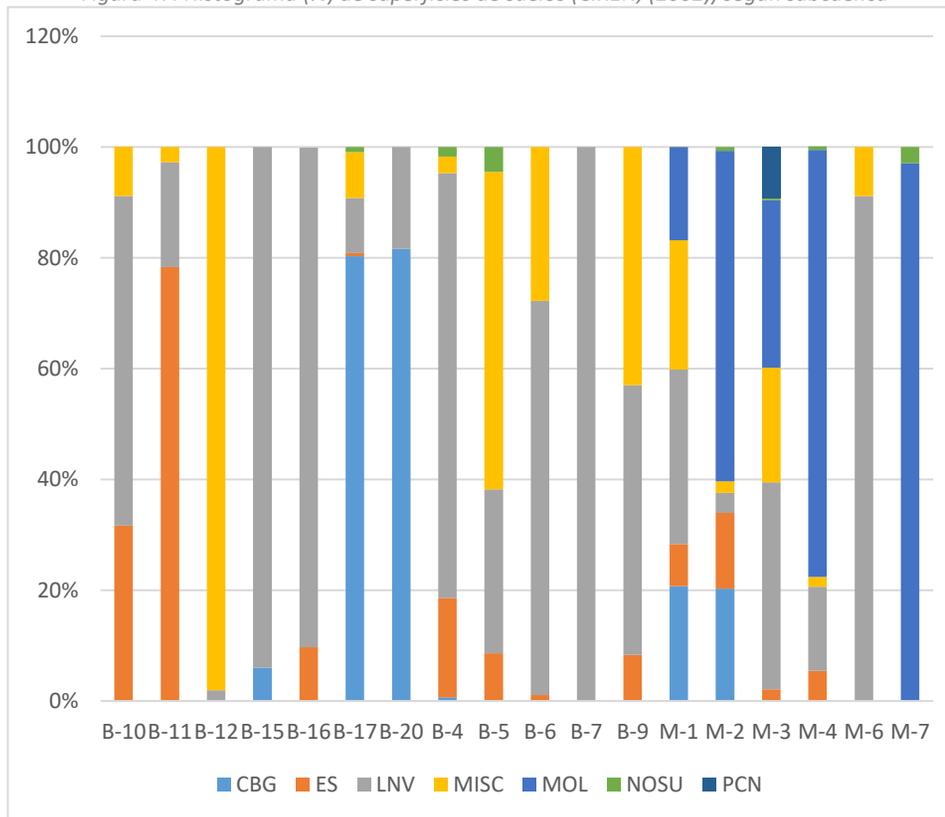
Figura 46. Mapa de Series y Fases de suelos (Fuente: elaboración propia con datos CIREN (2002) y Edáfica (2013))



Cuadro 30. Superficie (ha) según Serie de suelos (CIREN, 2002))

Subcuenca	CBG	ES	LNV	MISC	MOL	NOSU	PCN	Total
B-10		430	809	121				1,359
B-11		622	150	22				794
B-12			51	2,550				2,601
B-15	90		1,406					1,496
B-16		77	713					791
B-17	20,130	146	2,486	2,071		234		25,065
B-20	2,269		512					2,781
B-4	26	696	2,967	117		66		3,872
B-5	14	686	2,413	4,662		364		8,139
B-6		117	7,613	2,970				10,700
B-7			303					303
B-9		736	4,284	3,788				8,809
M-1	559	204	849	629	453	1		2,694
M-2	174	117	31	18	511	6		857
M-3		58	1,036	572	838	9	254	2,769
M-4		53	148	17	750	6		973
M-6			485	47				532
M-7		0			1,386	42		1,428
Total	23,262	3,943	26,255	17,583	3,938	727	254	75,962

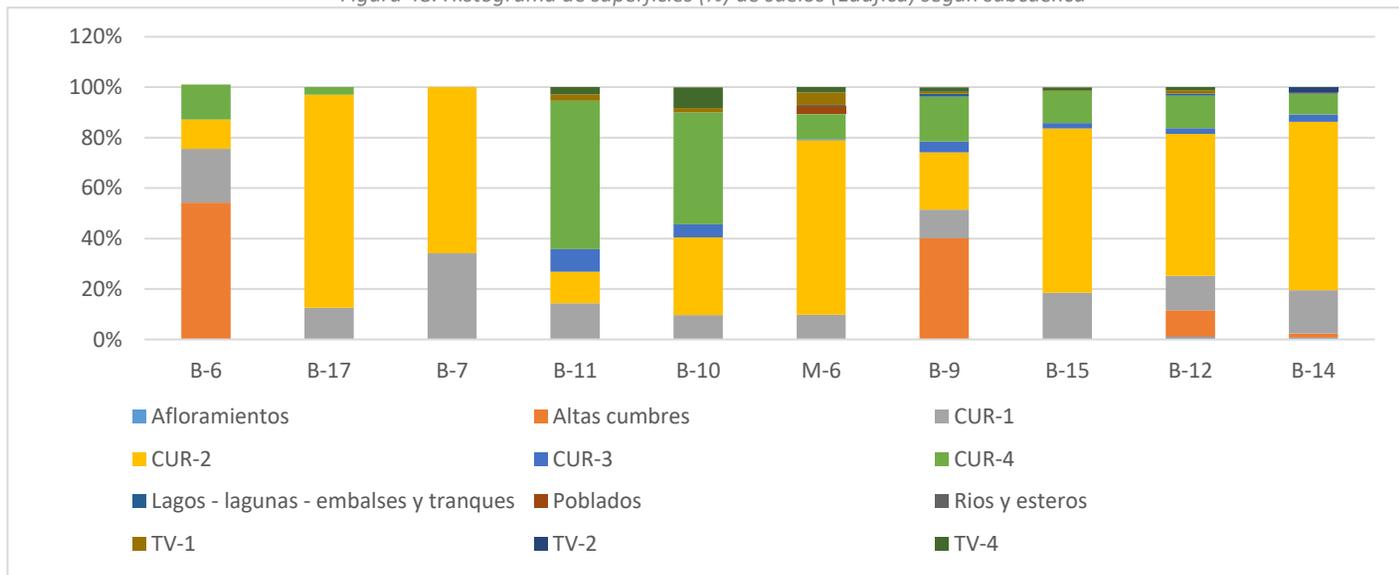
Figura 47. Histograma (%) de superficies de suelos (CIREN, (2002)) según subcuenca



Cuadro 31. Superficie (ha) según Serie de suelos (Edáfica)

Subcuenca	Afloramientos	Altas cumbres	CUR-1	CUR-2	CUR-3	CUR-4	Lagos - lagunas - embalses y tranques	Poblados	Rios y esteros	TV-1	TV-2	TV-4	Total
B-6		51	20	11		13				0			94
B-17			13	87		3							103
B-7			68	131									199
B-11			116	101	72	476				20		23	808
B-10			172	546	92	787			3	28		146	1,775
M-6			355	2,512	11	364		108	26	178		75	3,629
B-9	17	4,204	1,197	2,398	462	1,874	120			79		189	10,542
B-15			2,197	7,714	250	1,514	7			32		136	11,851
B-12	296	3,353	4,317	17,883	730	4,053	219		85	382		387	31,705
B-14	293	693	7,244	28,293	1,225	3,413	108		303	25	714	11	42,322
Total	606	8,301	15,700	59,676	2,843	12,499	454	108	417	745	714	967	103,029

Figura 48. Histograma de superficies (%) de suelos (Edáfica) según subcuenca



Suelos

Geomorfología y Suelos en Sectores de la Araucanía

En términos generales, en la Cordillera de Los Andes se pueden describir valles de altura, producto de las intensas etapas erosivas a las que ha estado sometido el Batolito, durante todo el Holoceno – Pleistoceno. Se estima que las etapas erosivas de importancia han estado dominadas por procesos glaciales que han determinado la existencia de numerosos valles con perfil en U. Posteriormente (Holoceno) la actividad fluvial ha influido en el cambio del perfil de numerosos de estos valles generando formas mixtas aluvial – glacial. Se puede decir que, casi paralelamente, la intensa actividad volcánica ha influido en forma significativa en la naturaleza de los sedimentos que constituyen el relleno actual de la mayoría de los valles.

La amplia difusión de los sedimentos volcánicos queda en evidencia por la abundancia de bloques, bombas y gruesas capas de cenizas, la mayor parte de las cuales, han constituido el material de partida para los suelos volcánicos de la Región. Durante el Cuaternario la actividad volcánica en Los Andes de Chile fue de gran intensidad con considerables volúmenes de materiales emitidos. Gran parte de los piroclastos más finos (cenizas y polvo volcánico) fueron transportados hacia territorio argentino por la acción de los vientos del oeste. Sin embargo, es necesario considerar que en esta zona hay una gran influencia de los vientos del este (*puelche*), cuyo efecto fue depositar tefras en los valles y flancos de la cordillera andina de Chile hasta la latitud 39º Sur. Así, se originaron gruesas capas de lapillis y cenizas en áreas interiores de la Cordillera, especialmente en las proximidades de los centros volcánicos más activos.

La superficie cubierta por los suelos de origen volcánico, en los sectores de Cordillera y pre - Cordillera de los Andes, es considerablemente superior a la superficie cubierta con otras clases de suelos, tales como aluviales o in-situ a partir de rocas basálticas, demostrando con ello la magnitud de los procesos de origen volcánico.

Suelos en la Cordillera de los Andes

Este sector comprende las áreas de la Cordillera de Los Andes en las zonas ubicadas entre el límite de las nieves eternas y la línea de la vegetación de altura. Geográficamente se puede asignar a este sector un área que va desde una línea imaginaria de norte a sur, más o menos a lo largo del meridiano 72º00' Oeste y que va desde Curacautín, Melipeuco, Cunco, Pucón y Villarrica hasta algunos sectores cordilleranos en los cuales existe información edáfica. Esta última solamente existe a nivel de Asociaciones de Suelos, en general debido a su escasa utilización agrícola y a la limitada accesibilidad de la mayoría de los sectores cordilleranos.

En todo este sector, entre los 600 y los 1.400 msnm, existe una dominancia de suelos derivados de tefras de granulometría gruesa y media, es decir, pumícea, cinerítica y fragmental. Se trata de suelos profundos

y moderadamente profundos, con clase textural que varía entre franco arenosa gruesa y franco limosa. Generalmente presentan colores pardos en superficie, que se encuentran en el matiz 10YR y que puede llegar a un color pardo amarillento, en el matiz 7.5YR, en profundidad. La mayor parte de los suelos tiene como sustrato, en límite abrupto, a gravas escoriáceas de origen volcánico cuyo tamaño puede variar entre 2 y 6 cm de diámetro. La topografía corresponde a la denominación de cerros, es decir, entre 30 y 50% de pendiente. La permeabilidad es de moderada a rápida y el drenaje es de bueno a excesivo.

No existen reconocimientos de suelos de estas áreas, por lo cual sólo se pueden establecer algunas generalizaciones provenientes de observaciones puntuales, pero que permiten formarse una idea aproximada de los suelos de estos sectores. En todo caso, los procesos pedogénicos no han tenido la intensidad suficiente para dar origen a suelos con una clara diferenciación de horizontes. La mayoría son suelos esqueléticos, con abundante pedregosidad en el perfil, de tipo angular. La granulometría está dominada por la fracción arena, cuyo origen se encuentra en rocas andesíticas y basálticas. Todas estas áreas debieran considerarse en Clases VII y VIII de Capacidad de Uso. La mayoría de estos suelos se pueden considerar como Entisols, incluso aquellos dominados por materiales volcánicos, a causa de la escasa o nula evolución de estos componentes.

Suelos en la Pre-cordillera de Los Andes

Corresponde a áreas ubicadas en los primeros cordones de la Cordillera de Los Andes y algunos cerros que se extienden, como prolongaciones de ella, hacia la Depresión Intermedia. En estas áreas dominan dos posiciones geomorfológicas en las que se han desarrollado suelos característicos: a) los cerros, piedmonts y planos aluvio-coluviales y b) las terrazas aluviales más o menos planas, asociadas a los valles de los ríos que bajan desde la Cordillera.

Los suelos de los que se tienen datos morfológicos y analíticos confiables son aquellos que se encuentran en posición de terrazas aluviales asociadas a los ríos importantes de la zona, tales como el Laja y el Duqueco. Se les reconoce un material parental de origen volcánico y ocupan posiciones de terrazas aluviales altas, con pendientes entre 1 y 3%. En su mayoría son suelos ligeramente profundos, es decir hasta 75 cm, sobre un sustrato de arenas y gravas de origen aluvial, pero también mezcladas con materiales gruesos de origen volcánico. Las clases texturales varían entre franco arenosa y franco limosa, con estructura de bloques subangulares; en cambio, en los sustratos las clases texturales son siempre arenosas y sin estructura (grano simple). El arraigamiento es moderado en el suelo, con un decrecimiento abrupto en el sustrato. El pH en todos los horizontes se mantiene alrededor de 6 y la saturación básica (SB) no es superior a 20% en todos los suelos. Algunos cumplen con los requerimientos de las propiedades vítricas, por lo que han sido clasificados como Andisols. Otros no han alcanzado la evolución ándica necesaria para ser considerados como tales. Presentan buen drenaje, aun cuando, en general su aptitud agrícola es limitada, por lo que las Fases de las distintas Series descritas varían entre IV y VII de Capacidad de Uso, dependiendo de la profundidad, cantidad de gravas y clases texturales (muy gruesas). Las Series

Antuco (Humic Vitrixerand, Cuadro 14) y Manquel (Humic Dystroxerept) se pueden considerar como representativas de este grupo.

Se podría considerar que los suelos pertenecientes a la Asociación Los Nevados, (Acrudoxic Hapludands, Cuadro 15) constituyen otro buen ejemplo de los suelos derivados de materiales volcánicos que se encuentran en amplios sectores de la pre – Cordillera de los Andes y que ocupan relieves de cerros y de lomeríos de pendientes fuertes. Son suelos moderadamente profundos de clases texturales gruesas, cuyo color se mantiene en el matiz 10YR a través del perfil. Puede presentarse sobre un sustrato de gravas escoriáceas. Presenta permeabilidad moderadamente rápida y drenaje excesivo. Las pendientes dominantes varían del 20% al 50%.

Cuadro 32. Propiedades Físicas y Químicas de la Serie Antuco (Humic Vitrixerand)

Profundidad (cm)	0 – 15	15 – 35	35 – 45	45 – 75	
Distribución partículas por tamaño (%)	A1	A2	AC	C1	
2-1	8,5	22,3	26,2	23	
1-0,5	11,1	19,3	28,5	31,6	
0,5-0,25	12,2	19,6	24,3	27,6	
0,25-0,10	14,8	20,3	15,3	14,2	
0,10-0,05	23,1	10,3	3,7	2,5	
2-0,05	69,7	91,8	98	98,9	
0,05-0,002	27,7	8	1,8	1	
< 0,002	2,6	0,2	0,2	0,1	
Clase textural	F.arenosa	arenosa	arenosa	Arenosa	
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	1,38	1,59	1,67	1,62	
Agua retenida 33 kPa (%)	11,9	8,8	5,8	5,8	
Agua retenida 1.500 kPa (%)	5,8	4,7	2,3	2,3	
Carbono orgánico (%)	2,47	0,88	0,32	0,16	
pH _{agua}	5,8	6	6,3	6,3	
Retención de P (%)	35	43	22	18	
Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹)	Ca	1,28	0,61	0,64	0,49
	Mg	0,15	0,11	0,11	0,09
	K	0,13	0,06	0,03	0,03
	Na	0,03	0,01	0	0,01
	Al	0,03	0,07	0	0
Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹)	1,59	0,79	0,78	0,61	
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	7,75	3,17	3,45	1,49	
CICE (CIC efectiva) (cmol _c kg ⁻¹)	1,62	0,86	0,78	0,61	
Vidrio (Fracción 0,02 - 2 mm) (%)	68	40	34	32	
Al ox + ½Fe ox (%)	0,8	1,06	0,62	0,56	
Saturación de bases (%)	21	25	23	41	

Cuadro 33. Propiedades Físicas y Químicas de un Perfil de la Asociación Los Nevados (Acrudoxic Hapludands)

Profundidad (cm)	0 - 20	20 - 42	42 - 80	80 +
Distribución de partículas por tamaño (%)	A1	AC1	AC2	C
2-1	2,9	2,7	20,9	43,2
1-0,5	7,8	2,9	12,7	18,8
0,5-0,25	11,9	9,0	10,7	6,2
0,25-0,10	23,5	22,0	15,9	6,9
0,10-0,05	15,8	19,9	11,3	9,2
2-0,05	62,1	56,6	71,6	84,3
0,05-0,002	25,2	36,0	21,0	15,0
< 0,002	12,6	7,3	7,4	0,7
Clase textural	F. arenosa	F. arenosa	F. arenosa	Areno Francosa
Agua retenida 33 kPa (%)	34,6	30,6	24,8	18,2
Agua retenida 1.500 kPa (%)	31,2	21,6	16,3	8,5
Carbono orgánico (%)	9,28	4,19	1,55	0,30
pH _{agua}	5,9	6,1	6,1	6,1
Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹)	Ca	0,65	0,29	0,24
	Mg	0,25	0,10	0,06
	K	0,11	0,03	0,01
	Na	0,08	0,04	0,02
Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹)	1,29	0,46	0,33	0,32
Capacidad total intercambio	26,9	22,1	10,2	6,2
CICE	1,51	0,46	0,33	0,32
Retención de P (%)	97	100	97	81
Al ox + ½Fe ox (%)	2,31	4,11	3,31	2,60
Saturación de bases (%)	4,0	2,0	3,0	5,0

Suelos en la Pre-cordillera de Los Andes e Inicios de la Depresión Intermedia

En una posición más próxima a la Depresión Intermedia, pero siempre dentro del concepto de pre-cordillera (Curacautín, Lonquimay, Melipeuco, Cunco, Pucón, Villarrica), alcanzan su máxima expresión los suelos derivados de cenizas volcánicas: los Typic Hapludands. Se trata de suelos generalmente profundos y más raramente moderadamente profundos que se ubican en posición de terrazas aluviales, como producto de re-transporte aluvial de las cenizas volcánicas; también se ubican en planos de origen fluvio-glacial o bien sobre conglomerados de origen volcánico compactado y cementado.

Los suelos de origen volcánico que se encuentran ocupando una posición de terrazas aluviales, presentan un sustrato generalmente constituido por gravas y piedras redondeadas y subredondeadas alrededor de

los 100 cm de profundidad y con una matriz que puede variar desde franco arcillosa hasta arenosa. Las Fases planas (0 – 1% de pendiente) o casi planas (1 – 3%) pueden presentar drenaje moderado a imperfecto, aun cuando el suelo pueda tener permeabilidad moderadamente rápida. Las Fases ligeramente onduladas (2 a 5% de pendiente) generalmente tienen buen drenaje. Algunos suelos tienen como sustrato un conglomerado fluvio-glacial (Series Quintrilpe y Rarirruca) en los que la presencia de pómez es frecuente. Sin embargo, debido a la profundidad a la que se presenta, no constituiría un impedimento serio a la penetración radical de la mayoría de los cultivos.

En el caso de los suelos clasificados como Hapludands (Series Cunco, Melipeuco, Molco, Quintrilpe) el contenido de CO es alto (sobre 5,5%) en el horizonte superficial y decrece regularmente en profundidad, a excepción de aquellos casos que tienen un suelo enterrado bajo los 50 cm de profundidad. En estos, al mismo tiempo de aumentar el contenido de carbono orgánico, disminuye el croma y valor (Munsell). Otros suelos pueden tener contenidos de CO mayor en los horizontes superficiales, esto es 10 ó 14%, en cuyos casos dominan los epipedones melánicos o similares. El pH se encuentra en el rango entre débilmente ácido a fuertemente ácido (6,6 y 5,2). La CICE se mantiene entre 3 y 10 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para la mayoría de los suelos del sector y con una saturación de aluminio (Al) inferior a 5%. Solamente la Serie Villarrica manifiesta una saturación de Al superior a 30%. La CICE inferior a 2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ caracteriza a los Sub Grupos Acrudoxic, en la mayoría de los cuales la saturación de Al en el complejo de intercambio es inferior a 1% y, en muchos horizontes es 0%.

El contenido de agua retenida a 33 kPa se mantiene sobre 50% para todos los horizontes de la mayoría los suelos y, en algunos de ellos puede alcanzar 80%, cifra que es concordante con las propiedades ándicas que caracterizan a estos suelos.

Todos los suelos de estas áreas cumplen con las propiedades ándicas en la mayoría de los horizontes. Solamente algunas capas, probablemente producto de sedimentaciones más recientes, no alcanzan los valores mínimos para estos requerimientos. Éstas se encuentran generalmente en superficie, sin embargo, su espesor no es suficiente para cambiar las características ni el comportamiento de los suelos.

Los suelos que se encuentran en la pre-Cordillera y más próximos a la Depresión Intermedia tienen las mejores aptitudes agrícolas, principalmente debido a que se presentan en una posición topográfica más adecuada, esto es como terrazas aluviales, terrazas remanentes o bien sobre depósitos fluvio-glaciales de escasa gradiente. De esta manera, es posible encontrar Fases de Series, con Clases de Capacidad de Uso II y III y con 1 a 3% de pendiente (Series Cunco, Los Prados, Molco, Rarirruca) y algunas que, si bien tienen escasa gradiente, presentan drenajes imperfectos como ocurre en algunas Fases de las Series Melipeuco y Quintrilpe.

En el Cuadro 16, se presentan las principales propiedades físicas y químicas de un perfil de la Serie Cunco (Acrudoxic Hapludands), que se considera representativa de los suelos de este sector.

Cuadro 34. Propiedades Físicas y Químicas de un Perfil de la Serie Cunco (Acruodoxic Hapludands)

Profundidad (cm)	0 – 19	19 – 30	30 – 59	59 – 86	86 – 100	
Distribución de partículas por tamaño (%)	Ap	2Bw ₁	3Bw ₂	3Bw ₃	3BC	
2-1	1,0	1,2	1,0	0,2	0,8	
1-0,5	2,7	2,1	1,8	0,3	1,1	
0,5-0,25	5,2	4,1	5,3	3,8	2,7	
0,25-0,10	11,6	10,7	9,2	12,5	4,4	
0,10-0,05	32,1	13,8	16,6	23,6	14,0	
2-0,05	52,7	32,0	33,9	40,4	23,1	
0,05-0,002	31,6	43,6	39,9	39,1	44,6	
< 0,002	15,7	24,4	26,2	20,5	32,3	
Clase textural	Franco arenosa	Franca	Franca	Franca	Franco arcillosa	
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	1,05	0,81	0,73	0,78	0,67	
Agua retenida 33 kPa (%)	26,5	41,0	50,8	47,2	56,3	
Agua retenida 1500 kPa (%)	12,4	28,4	28,5	27,1	43,8	
Carbono orgánico (%)	3,29	3,26	5,86	5,78	2,67	
pHagua	6,0	6,3	5,4	5,9	6,0	
Complejo de cambio (cmolc kg ⁻¹)	Ca	3,96	1,70	0,90	0,93	0,56
	Mg	1,52	1,23	0,25	0,32	0,26
	K	0,08	0,04	0,04	0,02	0,01
	Na	0,09	0,06	0,07	0,08	0,06
Suma de bases (cmolc kg ⁻¹)	5,65	3,03	1,26	1,35	0,89	
Capacidad total intercambio (cmolc kg ⁻¹)	21,5	41,8	42,9	37,0	39,7	
CICE (cmolc kg ⁻¹)	5,65	3,03	1,31	1,38	0,89	
Retención de P (%)	76,0	99,0	98,0	96,0	99,0	
Al ox + ½Fe ox (%)	2,27	4,28	3,82	3,27	3,53	
Saturación de bases (%)	26,0	7,0	3,0	4,0	2,0	

Suelos de la Comuna de Curarrehue

Asociación Curarrehue, franco arenosa

Símbolo cartográfico: CUR

Caracterización general

El pedón representativo de uno de los componentes de la Asociación Curarrehue es un miembro de los Dystrudepts (Inceptisol).

Suelo moderadamente profundo, desarrollado a partir de tefras de granulometría fina y media (cenizas y lapillis), de composición basáltica. Ocupa una posición dominante de lomeríos y cerros, que constituyen las vertientes de los valles fluvioglaciales de la Cordillera de los Andes. También puede presentar sectores de topografía ondulada con pendientes menores al 20% y mayores a 50%. Suelos de textura superficial franco limosa y color pardo oscuro en el matiz 10YR y textura franco arenosa gruesa y color pardo amarillento oscuro en el matiz 10YR en profundidad. Presenta buena estructura a través de perfil y buen arraigamiento hasta los 85 cm, donde limita en forma abrupta con el substrato compuesto por gravas escoriáceas de origen volcánico (lapillis), cuyo tamaño puede variar entre 0,5 y 4 cm de diámetro. La permeabilidad es rápida a excesivamente rápida.

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0-30 A	Pardo muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; franco limosa; plástico y adhesivo, friable; bloques angulares finos fuertes. Poros muy finos y finos abundantes. Raíces finas y medias abundantes. Grava fina angular, de origen volcánico, ocasional. Límite lineal claro.
30-62 B ₁	Pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo; franco arenosa gruesa; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo, friable; bloques subangulares gruesos muy débiles, que rompen a bloques subangulares finos muy débiles. Poros finos y muy finos abundantes. Raíces finas abundantes, medias y gruesas comunes. Grava fina angular, de origen volcánico, común. Actividad biológica común. Límite lineal gradual.
62-85 B ₂	Pardo amarillento oscuro (10YR3/4) en húmedo; franco arenosa gruesa; no plástico y no adhesivo, friable; bloques subangulares gruesos moderados. Poros finos y medios muy abundantes. Raíces finas comunes y gruesas escasas. Grava media subangular, común. Límite lineal abrupto.
85-105 2C	Estrata de bombas volcánicas basálticas (lapillis) angulares y subangulares, de 0,5 a 4 cm de diámetro. Límite lineal abrupto.
105-110+ 3C	Pardo oscuro (10YR3/3) dominante en húmedo; areno francosa gruesa; no plástico y no adhesivo; maciza. Material de origen volcánico (escoriáceo).

Rango de variaciones

La profundidad efectiva del suelo varía entre 85 y más de 115 cm, pudiendo incluir sectores delgados a ligeramente profundos. Descansa sobre un substrato constituido por gravas escoriáceas de origen volcánico (lapillis), que limita el desarrollo de raíces en profundidad.

La textura del horizonte superficial es franco limosa, pudiendo variar entre franca a franco arenosa; el color es pardo muy oscuro a negro en matices que pueden variar de 7.5YR al 10YR. El horizonte puede o no presentar hidrofobia.

Los horizontes B presentan habitualmente textura franco arenosa gruesa que puede variar a franca; el color puede variar de pardo oscuro a pardo amarillento oscuro o negro en matices que van desde 7.5YR al 10YR.

Todo el perfil presenta un contenido de grava fina y media, de origen volcánico, que varía entre ocasional a común en profundidad.

En sectores de lomeríos la erosión es nula a ligera incrementando con la pendiente y en sectores que han sido habilitados para el desarrollo de ganadería y que se encuentran sometidos a una elevada presión de pastoreo.

Existen restricciones climáticas para el uso de estos suelos.

Ubicación

El perfil representativo de uno de los componentes de la Asociación Curarrehue fue descrito en las coordenadas UTM 5643898 mN, 2791322 mE (WGS84 19S), sector Machín Bajo, comuna de Curarrehue, región de la Araucanía.

Para la caracterización de esta Asociación fueron considerados los perfiles 1 y 2 ubicados en el sector Trancura, el perfil 4 sector Huirilil, perfil 6 sector Huampoe Alto, perfil 8 sector Machín Bajo y perfil 9 Maite Bajo.

Posición

Suelo en posición dominante de lomeríos y cerros dentro de la Cordillera de los Andes, con pendientes complejas de 20 a 50%. Incluye sectores de topografía ondulada con pendientes de 2 a 20% y de topografía de cerros con pendientes mayores al 50%.

Uso actual

Pradera natural, cultivos forrajeros, plantaciones forestales y bosque nativo.

Variaciones de la Asociación Curarrehue

CUR-1	Representa a la Asociación y corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa, moderadamente profundos, en topografía de lomeríos y cerros con pendientes complejas de 20 a 30%, con nula a ligera erosión laminar y bien drenados.									
	<table> <tbody> <tr> <td>Capacidad de Uso: VIIe1</td> <td></td> <td>Clase de Drenaje : 5</td> </tr> <tr> <td>Categoría de Riego : 5</td> <td></td> <td>Aptitud Frutal : D</td> </tr> <tr> <td>Erosión : 0</td> <td></td> <td>Aptitud Agrícola : 7</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad de Uso: VIIe1		Clase de Drenaje : 5	Categoría de Riego : 5		Aptitud Frutal : D	Erosión : 0		Aptitud Agrícola : 7
Capacidad de Uso: VIIe1		Clase de Drenaje : 5								
Categoría de Riego : 5		Aptitud Frutal : D								
Erosión : 0		Aptitud Agrícola : 7								
CUR-2	Corresponde a suelos de textura superficial franco limosa a franco arenosa, moderadamente profundos a profundos, con inclusiones escasas de sectores delgados a ligeramente profundos asociados a la presencia de afloramientos rocosos, ubicados en topografía de cerros con pendientes complejas > 30%. Puede presentar erosión laminar ligera. Suelos bien drenados.									
	<table> <tbody> <tr> <td>Capacidad de Uso: VIIIe1</td> <td></td> <td>Clase de Drenaje: 5</td> </tr> <tr> <td>Categoría de Riego : 6</td> <td></td> <td>Aptitud Frutal : E</td> </tr> <tr> <td>Erosión : 1</td> <td></td> <td>Aptitud Agrícola : 8</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad de Uso: VIIIe1		Clase de Drenaje: 5	Categoría de Riego : 6		Aptitud Frutal : E	Erosión : 1		Aptitud Agrícola : 8
Capacidad de Uso: VIIIe1		Clase de Drenaje: 5								
Categoría de Riego : 6		Aptitud Frutal : E								
Erosión : 1		Aptitud Agrícola : 8								
CUR-3	Corresponde a suelos de textura superficial franco limosa a franco arenosa, moderadamente profundos a profundos, en topografía fuertemente ondulada 15 a 20% y bien drenados. Presentan alta retención de fósforo.									
	<table> <tbody> <tr> <td>Capacidad de Uso: VIe1</td> <td></td> <td>Clase de Drenaje : 5</td> </tr> <tr> <td>Categoría de Riego : 5</td> <td></td> <td>Aptitud Frutal : D</td> </tr> <tr> <td>Erosión : 0</td> <td></td> <td>Aptitud Agrícola : 6</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad de Uso: VIe1		Clase de Drenaje : 5	Categoría de Riego : 5		Aptitud Frutal : D	Erosión : 0		Aptitud Agrícola : 6
Capacidad de Uso: VIe1		Clase de Drenaje : 5								
Categoría de Riego : 5		Aptitud Frutal : D								
Erosión : 0		Aptitud Agrícola : 6								
CUR-4	Corresponde a suelos de textura superficial franco limosa a franco arenosa, moderadamente profundos a profundos, en topografía suavemente ondulada 5 a 8% y bien drenados. Incluye sectores con pendiente de 8-15%. Puede incluir suelos clase IVw2.									
	<table> <tbody> <tr> <td>Capacidad de Uso: IVe1</td> <td></td> <td>Clase de Drenaje : 5</td> </tr> <tr> <td>Categoría de Riego : 4</td> <td></td> <td>Aptitud Frutal : C</td> </tr> <tr> <td>Erosión : 0</td> <td></td> <td>Aptitud Agrícola : 4</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad de Uso: IVe1		Clase de Drenaje : 5	Categoría de Riego : 4		Aptitud Frutal : C	Erosión : 0		Aptitud Agrícola : 4
Capacidad de Uso: IVe1		Clase de Drenaje : 5								
Categoría de Riego : 4		Aptitud Frutal : C								
Erosión : 0		Aptitud Agrícola : 4								

Cuadro 35. Propiedades Físicas, Químicas y Físico-Químicas del Suelo Asociación Curarrehue³

VARIABLE	VALOR
Profundidad (cm)	0-30
Distribución de partículas por tamaño (%)	
0,05 – 2 (mm)	61,1
0,002 - 0,05 (mm)	31,9
< 0,002 (mm)	7,0
Textura	Fa
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	0,8
Densidad real (Mg m ⁻³)	2,4
Conductividad hidráulica saturada estabilizada (k _e)	11,1
Humedad retenida a 33 kpa (%)	46,7
Humedad retenida a 1500 kpa (%)	21,8
Humedad aprovechable (cm)	5,3
Materia orgánica (%)	12,5
pH-H ₂ O	6,0
pH- cacl ₂	5,2
Complejo de cambio (meq 100g ⁻¹)	
Ca	3,5
Mg	0,6
K	0,3
Na	0,1
Al	0,2
Suma de bases (meq 100g ⁻¹)	4,4
Capacidad total de intercambio (CIC) (meq 100g ⁻¹)	35,1
Capacidad de intercambio efectiva (CICE) (meq 100g ⁻¹)	4,6
Saturación de bases (%)	12,5
Saturación de Al (%)	1,4
Macronutrientes	
Nitrógeno total (N _t) (%)	0,5
Nitrógeno disponible (N) (mg kg ⁻¹)	60
Fósforo disponible (P) (mg kg ⁻¹)	10,3
Potasio disponible (K) (mg kg ⁻¹)	101,8
Azufre extractable (mg kg ⁻¹)	3,8
Micronutrientes	
Hierro (mg kg ⁻¹)	96
Manganeso (mg kg ⁻¹)	13,6
Cinc (mg kg ⁻¹)	3,5
Cobre (mg kg ⁻¹)	2,7
Boro (mg kg ⁻¹)	0,1
Otras determinaciones	
Aluminio extractable (mg kg ⁻¹)	1159,5
Retención de fósforo (%) (estimado del Al extractable)	Alta
Capacidad tampón del P (mg kg ⁻¹)	255

³ Se excluyeron aquellos valores de saturación de aluminio y zinc disponible que se encontraron fuera del rango normal de datos.

Análisis de Propiedades Químicas, Asociación Curarrehue

En el Cuadro 36 se presenta el análisis de los resultados de los 3 perfiles utilizados para caracterizar químicamente los suelos que constituyen la Asociación Curarrehue.

Cuadro 36. Caracterización química de la Asociación Curarrehue

	pH (agua)	pH (CaCl ₂)	MO	N total	N disponible	P disponible	K disponible	S extraíble
	1:2,5		(%)		(mg/kg)			
Máximo	6,4	5,4	14,9	0,6	75,0	15,0	165,0	5,0
Mínimo	5,8	5,1	9,8	0,3	52,0	7,0	53,0	3,0
Promedio	6,0	5,2	12,5	0,5	60,0	10,3	101,8	3,8
Desvest	0,2	0,1	2,1	0,1	8,6	2,7	45,0	0,8

	Ca	Mg	K	Na	Suma de bases	CIC	Al intercambio	CICE	Sat. Al	Sat. de Bases
	(meq/100g)							(%)		
Máximo	8,0	0,8	0,4	0,2	9,4	39,8	0,5	9,5	18,5	25,5
Mínimo	1,6	0,4	0,1	0,1	2,3	30,1	0,1	2,8	0,6	5,9
Promedio	3,5	0,6	0,3	0,1	4,4	35,1	0,2	4,6	1,4	12,4
Desvest	2,4	0,2	0,1	0,0	2,7	4,0	0,2	2,6	0,7	6,9

	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Al extractable	Cap. Tampón de P	Retención de P
	mg/kg							
Máximo	154,0	20,3	18,9	3,5	0,4	1480,0	357,0	Alta
Mínimo	68,7	5,9	2,8	2,1	0,1	899,0	145,0	Alta
Promedio	96,0	13,6	3,5	2,7	0,1	1159,5	255,0	Alta
Desvest	31,5	6,0	0,9	0,5	0,1	200,0	71,0	Alta

El pH-H₂O del suelo Curarrehue se encuentra entre el rango moderada (5,8) a débilmente ácido (6,4) (Schoeneberger *et al.*, 2002), siendo su valor promedio de 6,0. El pH-CaCl₂ es menor que el pH-H₂O entre 0,7 y 1,0 unidades.

El porcentaje de saturación de bases calculado en base a la CIC se encuentra entre los niveles muy bajo y bajo, presentando variaciones desde 5,9 a 25,5%. Esto implica que el complejo de cambio se encuentra dominado por H y Al. Este último a pesar de presentar una alta variabilidad (0,6 a 18,5%) ha sido detectado en cantidades elevadas en algunas localidades, con niveles de saturación de aluminio iguales o superiores a 6%, con cantidades absolutas de Al intercambiable en promedio bajas de 0,2 meq 100g⁻¹.

De acuerdo a estos resultados y según lo señalado por el SIRSD (Sistema de Incentivo para la Recuperación de Suelos Degradados) del Ministerio de Agricultura, el límite para optar a la bonificación por encalado para la corrección de problemas de acidez corresponde a valores de pH-H₂O menor a 5,8. En este sentido,

los resultados del análisis químico de los suelos de la Asociación Curarrehue no presenta valores sobre este límite; sin embargo, los resultados muestran niveles de saturación del Al sobre el 5%, valor correspondiente al límite máximo establecido por el SIRDS para la región, sobre el cual se indica una alta probabilidad de respuesta al encalado. De acuerdo con la analítica química los valores de saturación de aluminio calculados en base a la CICE indica problemas de toxicidad por aluminio en el 50% de los casos evaluados (Cuadro 37). Probablemente los altos niveles de materia orgánica permiten que el Al intercambiable se manifieste en forma importante en la CICE, sin que se vea reflejado en los valores de pH debido al efecto tamponante de la materia orgánica. En Anexo 3 se señalan niveles críticos y sensibilidad de plantas al aluminio.

Cuadro 37. Suelos de la Asociación Curarrehue en posición de lomaje con saturación de Al > 5%

Sector	Perfil N°	Saturación de Al
		(%)
Trancura	1	6,9
Trancura	2	18,5
Huampo Alto	6	6,0

En términos generales el pH de los suelos de la Asociación Curarrehue (5,8–6,4) es considerado óptimo para el desarrollo de cultivos tales como, Ballica híbrida (*L. Perenne* x *L. Multiflorum*) que puede presentar respuesta óptima a pH 6,0-7,5. Cultivos como la alfalfa (*Medicago sativa*), podrían verse ligeramente afectados debido a que el rango de pH óptimo para no afectar su desarrollo se encuentra en rango 6,5-7,5. Cultivos con mayor tolerancia a la acidez como la Avena (*Avena sativa*), Ballica (*Lolium perenne*), Maíz (*Zea mays*), Trébol blanco (*Trifolium repens*), Trébol rosado (*Trifolium pratense*) y el Trigo (*Triticum sp.*) aceptan un rango comparativamente más amplio de pH, manteniendo un comportamiento óptimo en el rango entre fuertemente ácido a débilmente alcalino, equivalente a un pH entre 5,3-7,5.

Como fue señalado anteriormente, la materia orgánica del suelo presenta valores considerados muy altos, con un promedio de 12,5%, indicando la existencia de fuertes procesos de adición. En efecto, los suelos muestreados presentan una nula o baja intervención antrópica en cuanto a prácticas de laboreo y fertilización, manteniendo históricamente una cobertura de tipo pradera natural que ha aportado biomasa radical en forma permanente y ha propiciado su acumulación, transformándola en la principal fuente nutricional del sistema. El contenido de N disponible es adecuado, alcanzando niveles del orden de 60 mg kg⁻¹ en promedio. El fósforo disponible se encuentra entre los niveles medio (67%) y bajo (33%), presentando un promedio de 10,3 mg kg⁻¹, muy cercano al nivel crítico (10 mg kg⁻¹) establecido para la mayoría de los cultivos (Montenegro y Mera, 2009). De acuerdo con Sadzawka (2006), el fósforo disminuye su disponibilidad con valores de pH que se alejan de 6,5, siendo el promedio de pH del suelo igual a 6,0. El nivel de Al extractable puede ser utilizado como indicador de la retención de fósforo en el suelo debido a su alta correlación con la mineralogía de las arcillas, de esta manera los altos a muy altos niveles de Al extractable arrojados por el análisis químico, cuyo valor medio alcanza los 1.159,5 mg kg⁻¹ (Alto), siendo el valor mínimo de 899 mg kg⁻¹ (Alto), explicaría la alta retención de fósforo existente en estos suelos.

La capacidad tampón de fósforo (CP) presentó variaciones entre 145 y 357, indicando que, dependiendo del suelo, deben ser agregados entre 145 y 357 kg ha⁻¹ de fósforo para subir en 1 mg kg⁻¹ el fósforo Olsen del suelo considerando los primeros 20 cm.

Debido a que el nivel de fósforo estimado por el método de Olsen en los suelos de la Asociación se encuentra bajo el nivel mínimo señalado por el Ministerio de Agricultura, el que a través del subprograma incorporación de fertilizantes de base fosforada del SIRDS, establece como deficitario a aquellos suelos cuyos niveles de fósforo sean inferiores a 20 mg kg⁻¹, los suelos de la Asociación deben realizar aplicaciones de corrección de fertilizantes para restablecer el nivel mínimo técnico de éste nutriente en el suelo y pueden adscribirse para la bonificación de una fertilización de corrección basal de acuerdo al plan de manejo propuesto.

El potasio disponible presenta valores bajos en el 67% de los casos y se encuentra asociado a los sectores Trancura, Machín Bajo y Maite Bajo, perfiles 1, 2, 8 y 9 respectivamente. El valor promedio para este parámetro es de 101,8 mg kg⁻¹ cercano al límite de la deficiencia (100 mg kg⁻¹), indicando la necesidad de aplicación de fertilizantes potásicos en dosis de mantención, de manera tal de mantener los niveles adecuados en 101-150 mg kg⁻¹ (Rodríguez, 1993). No obstante, esto dependerá de los niveles críticos que presente cada cultivo. En términos generales, el nivel crítico para alfalfa es de 140 mg kg⁻¹, mientras que para cereales y praderas mixtas se encuentra en 110 mg kg⁻¹ y 100 mg kg⁻¹ respectivamente (Matus, 2006).

El azufre extractable (S) se presenta en todas las evaluaciones en niveles muy bajos y bajos, con un valor máximo de 5 mg kg⁻¹, indicando que los niveles se encuentran bajo lo recomendado para una óptima nutrición de azufre, por lo tanto, se requiere realizar aplicaciones que permitan alcanzar niveles adecuados de 8,1 a 12,0 mg kg⁻¹ (Rodríguez, 1993). Los valores de la CIC del suelo presentaron una baja desviación (0,4 meq 100g⁻¹) con un promedio de 35,1 meq 100g⁻¹ (Alta), lo que se explica por los altos contenidos de materia orgánica que muestra el suelo. Así mismo la CICE presentó mayor variación en sus valores con un mínimo de 2,8 meq 100g⁻¹ y un máximo de 9,5 meq 100g⁻¹. La carga variable del suelo es alta y fluctúa entre 74,2 y 92,5%, lo cual indica que el complejo de intercambio probablemente se encuentra dominado por coloides orgánicos o bien por la presencia de minerales de ordenamiento de corto rango (Sadzawka *et al.*, 1995).

El promedio de los cationes intercambiables se encuentra entre valores muy bajo y bajo para el Na y Ca, respectivamente. Este último se encuentra bajo el nivel crítico de 4,0 meq 100g⁻¹ señalado por Rodríguez (1993) y sólo ocupa como máximo el 22% de la CIC, porcentaje muy inferior a lo recomendado por INIA (2000). Los cationes Mg y K, en promedio, se encuentran en niveles medios. El nivel crítico de magnesio intercambiable para la mayoría de las plantas es de 0,4 meq 100g⁻¹ (Rodríguez, 1993) y entre 10 y 20% de saturación dependiendo del cultivo (INIA, 2000), encontrándose éste entre los valores de 0,4 y 0,8 meq 100g⁻¹, ocupando en promedio sólo el 1,7 % de la CIC. En el caso del K, los valores varían entre 0,1 y 0,4 meq 100g⁻¹ y ocupa menos del 2% de la CIC. En consecuencia, los suelos de la Asociación Curarrehue no presentan niveles adecuados de micronutrientes y requieren de su aplicación para alcanzar niveles adecuados para la nutrición de los cultivos.

Si bien los niveles de Ca y Mg son bajos la relación entre ambos Ca/Mg no interfieren su absorción presentando valores ≤10. Lo mismo ocurre para la relación entre K/Mg que presenta valores ≤5, no

existiendo efectos antagónicos entre ambos elementos. Los niveles de sodio (Na) son muy bajos y no inciden en los cationes Ca y Mg.

De acuerdo a lo señalado por el Ministerio de Agricultura a través del SIRDS, a nivel promedio, los elementos químicos esenciales, calcio (Ca), potasio (K) y azufre (S) presentan niveles deficientes en relación a los niveles mínimos técnicos, la tendencia se mantiene al comparar éstos con los niveles máximos alcanzados en cada sector evaluado. De acuerdo con lo anterior se presenta a continuación (Cuadro 38), la comparación entre los niveles actuales de los elementos señalados y los niveles mínimos indicados por el programa.

Cuadro 38. Comparación entre niveles máximos de los elementos químicos esenciales presentes en el suelo y niveles críticos señalados por el SIRSD, Asociación Curarrehue

Elemento	Unidad	Nivel actual del suelo	Nivel crítico según SIRDS
Ca	meq/100g	8,0	≤10
K	meq/100g	0,4	≤0,52
S	mg kg ⁻¹	5,0	≤20

Los micro nutrientes Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) se encuentran, en términos generales, entre los niveles adecuados a altos, a excepción del Boro (B) que presentó niveles deficientes alcanzando un valor promedio de 0,1 mg kg⁻¹, considerando como adecuado el rango entre 1,2 y 4,0 mg kg⁻¹ (Pinochet, 2011), fenómeno común en suelos de origen volcánico. Las especies que podrían verse afectadas por la deficiencia de este elemento corresponde a la alfalfa, col forrajera, raps, brócoli, coliflor, apio, maravilla, entre otros (Rodríguez, 1993). Por lo tanto, se espera una respuesta probable a la fertilización de B.

El Fe presentó valores altos, muy superiores a los contenidos adecuados > 4,5 mg kg⁻¹ (Pinochet, 2011) alcanzando valores superiores a 68,7 mg kg⁻¹. Tanto el Mn como el Cu presentaron niveles dentro del rango adecuado, > 1 mg kg⁻¹ (Pinochet, 2011), con valores que van desde 5,9 mg kg⁻¹ hasta valores considerados altos entre 11,2 a 20 mg kg⁻¹, para el primer caso y entre 2,1 y 3,5 mg kg⁻¹ para el segundo caso.

Por su parte el Zn presentó niveles sobre 2,8 mg kg⁻¹ llegando a un máximo de 18,9 mg kg⁻¹, superando ampliamente el valor adecuado, mayor a 1 mg kg⁻¹.

Terrazas Aluviales de Ceniza Volcánica Curarrehue

Símbolo cartográfico: TV

Caracterización general

Corresponde suelos en posición de terraza aluvial, estratificados, probablemente generados a partir de la redepositación de cenizas volcánicas provenientes de los cerros y lomeríos que albergan angostos valles cordilleranos. Presentan una topografía plana a ligeramente ondulada con pendientes que varían entre 1 a 3% y ocasionalmente 5%. Son suelos de textura superficial que varía entre franca a franco limosa, pudiendo presentar textura franco-arenosa en profundidad. En superficie el color es pardo amarillento oscuro a negro en matices que van desde 7.5YR a 10YR, en profundidad el color varía entre pardo oscuro a negro en los mismos matices anteriores. La profundidad puede variar entre muy delgado a profundo dependiendo, generalmente, de su cercanía al nacimiento del valle. El drenaje es moderadamente bueno a bueno, en las zonas altas y progresivamente se puede tornar imperfecto hacia la parte baja del valle. La condición climática restringe el uso de estos suelos.

Ubicación

Los perfiles utilizados para la caracterización de esta Unidad No Diferenciada corresponden a los perfiles 3, 5, 7 y 9, ubicados en los sectores de Trancura, Puala Alto, Los Sauces y Reigolil respectivamente, todos ellos pertenecientes a la comuna de Curarrehue, región de la Araucanía.

Posición

Suelos en posición de terraza aluvial con una topografía plana a ligeramente ondulada, con pendientes que van de 1 a 3% y ocasionalmente 5%, y que se encuentran ocupando el fondo de antiguos valles fluvio-glaciales de la Cordillera de los Andes.

Uso actual

Pradera natural, empastadas y cultivos forrajeros.

Variaciones de la Unidad No Diferenciada Terraza Aluvial de Cenizas Volcánicas Curarrehue

TV-1	Corresponde a terrenos planos 1 a 3% de pendiente, de textura superficial franca a franco limosa, moderadamente profundos a profundos y bien drenados. Alta retención de fósforo.						
	<table> <tbody> <tr> <td>Capacidad de Uso : IIs9</td> <td>Clase de Drenaje : 5</td> </tr> <tr> <td>Categoría de Riego : 2</td> <td>Aptitud Frutal : B</td> </tr> <tr> <td>Erosión : 0</td> <td>Aptitud Agrícola : 2</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad de Uso : IIs9	Clase de Drenaje : 5	Categoría de Riego : 2	Aptitud Frutal : B	Erosión : 0	Aptitud Agrícola : 2
Capacidad de Uso : IIs9	Clase de Drenaje : 5						
Categoría de Riego : 2	Aptitud Frutal : B						
Erosión : 0	Aptitud Agrícola : 2						
TV-3	Corresponde a terrenos planos a ligeramente ondulados de pendiente, de textura superficial franca a franco limosa. Los suelos moderadamente profundos a profundos y moderadamente bien drenados. Incluye sectores con drenaje imperfecto. Alta retención de fósforo.						
	<table> <tbody> <tr> <td>Capacidad de Uso : IVw2</td> <td>Clase de Drenaje : 4</td> </tr> <tr> <td>Categoría de Riego : 3</td> <td>Aptitud Frutal : D</td> </tr> <tr> <td>Erosión : 0</td> <td>Aptitud Agrícola : 4</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad de Uso : IVw2	Clase de Drenaje : 4	Categoría de Riego : 3	Aptitud Frutal : D	Erosión : 0	Aptitud Agrícola : 4
Capacidad de Uso : IVw2	Clase de Drenaje : 4						
Categoría de Riego : 3	Aptitud Frutal : D						
Erosión : 0	Aptitud Agrícola : 4						
TV-4	Corresponde a terrazas más altas y/o más antiguas, que pueden estar cubiertas por cenizas antiguas o recientes de espesor variable y que han sido parcialmente disectadas por diferentes cursos de agua. Suelos modernamente profundos a profundos, ligeramente ondulados con 2 a 5% de pendiente. Bien drenado. Alta retención de fósforo.						
	<table> <tbody> <tr> <td>Capacidad de Uso : IIs9</td> <td>Clase de Drenaje : 5</td> </tr> <tr> <td>Categoría de Riego : 3</td> <td>Aptitud Frutal : B</td> </tr> <tr> <td>Erosión : 0</td> <td>Aptitud Agrícola : 2</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad de Uso : IIs9	Clase de Drenaje : 5	Categoría de Riego : 3	Aptitud Frutal : B	Erosión : 0	Aptitud Agrícola : 2
Capacidad de Uso : IIs9	Clase de Drenaje : 5						
Categoría de Riego : 3	Aptitud Frutal : B						
Erosión : 0	Aptitud Agrícola : 2						

Cuadro 39. Propiedades Físicas, Químicas y Físico-Químicas del Suelo Unidad No Diferenciada Terraza Aluvial De Cenizas Volcánicas Curarrehue

VARIABLE	
Profundidad (cm)	0-30
Distribución de partículas por tamaño %	
0,05 – 2 (mm)	51,1
0,002 - 0,05 (mm)	42,7
< 0,002 (mm)	6,2
Textura	aF - FL
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	0,9
Densidad real (Mg m ⁻³)	2,5
Conductividad hidráulica saturada estabilizada (k _e)	15,5
Humedad retenida a 33 kpa (%)	42,1
Humedad retenida a 1500 kpa (%)	20,6
Humedad aprovechable (cm)	5,3
Materia orgánica (%)	11,1
pH-H ₂ O	6,0
pH- cacl ₂	5,1
Complejo de cambio (meq 100g ⁻¹)	
Ca	4,5
Mg	0,7
K	0,3
Na	0,1
Al	0,1
Suma de bases (meq 100g ⁻¹)	5,6
Capacidad total de intercambio (CIC) (meq 100g ⁻¹)	30,3
Capacidad de intercambio efectiva (CICE) (meq 100g ⁻¹)	5,8
Saturación de bases (%)	18,5
Saturación de Al (%)	2,7
Macronutrientes	
Nitrógeno total (N _t) %	0,5
Nitrógeno disponible (N) (mg kg ⁻¹)	54,3
Fósforo disponible (P) (mg kg ⁻¹)	8,3
Potasio disponible (K) (mg kg ⁻¹)	114,8
Azufre extractable (mg kg ⁻¹)	4,5
Micronutrientes	
Hierro (mg kg ⁻¹)	92,0
Manganeso (mg kg ⁻¹)	9,9
Cinc (mg kg ⁻¹)	2,5
Cobre (mg kg ⁻¹)	2,9
Boro (mg kg ⁻¹)	0,1
Otras determinaciones	
Aluminio extractable (mg kg ⁻¹)	917,8
Retención de fósforo (%) (estimado del Al extractable)	Alta
Capacidad tampón del P	317,8

6.1.1.1 Análisis de Propiedades Químicas Unidad No Diferenciada Terraza Aluvial Curarrehue

En el Cuadro 40, se presenta el análisis de los resultados de los 4 perfiles utilizados para caracterizar químicamente los suelos que constituyen la Unidad no Diferenciada Terraza Aluvial.

Cuadro 40. Caracterización química de la Unidades no Diferenciada Terraza Aluvial de Cenizas Volcánicas Curarrehue

	pH (agua)	pH (CaCl ₂)	MO	N total	N disponible	P disponible	K disponible	S extraíble
	1:2,5		(%)		(mg/kg)			
Máximo	6,1	5,3	15,2	0,6	64,0	9,0	154,0	6,0
Mínimo	5,9	5,0	7,0	0,3	48,0	8,0	59,0	3,0
Promedio	6,0	5,1	11,1	0,5	54,3	8,3	114,8	4,5
Desvest	0,1	0,1	3,6	0,1	6,9	0,5	46,0	1,3

	Ca	Mg	K	Na	Suma de bases	CIC	Al intercambio	CICE	Sat. Al	Sat. de Bases
	(meq/100g)							(%)		
Máximo	8,1	0,9	0,4	0,1	9,2	36,4	0,2	9,3	3,9	25,3
Mínimo	2,2	0,5	0,2	0,1	3,0	24,3	0,1	3,1	0,5	12,3
Promedio	4,5	0,7	0,3	0,1	5,6	30,3	0,13	5,8	2,7	17,9
Desvest	2,5	0,2	0,1	0,0	2,6	5,6	0,08	2,6	1,5	5,6

	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Al extractable	Cap. Tampón de P	Retención de P
	(mg/kg)							-
Máximo	115,0	13,2	5,1	4,0	0,2	1052,0	417,0	Alta
Mínimo	72,4	6,6	1,2	1,8	0,05	807,0	184,0	Alta
Promedio	92,0	9,9	2,5	2,9	0,12	917,8	317,8	Alta
Desvest	20,0	2,8	1,8	0,9	0,06	101,1	101,3	Alta

El valor de pH-H₂O de las Unidades no Diferenciadas se encuentra en el rango moderadamente ácido (5,9) a débilmente ácido (6,1), con un valor promedio igual a 6,0. El pH-CaCl₂ es menor que el pH-H₂O en 0,9 unidades.

El porcentaje de saturación de bases calculado en base a la CIC se encuentra entre los niveles muy bajo y bajo, presentando variaciones desde 12,3% a 25,3%. Esto implica que los suelos han sido sometidos a fuertes procesos de lixiviación, producto de los niveles de precipitación de la zona resultando en el dominio de H y Al en el complejo de intercambio.

De acuerdo con Luzio *et al.* (2001) el nivel crítico de toxicidad de Al en los suelos es de 0,2 meq 100g⁻¹ de Al intercambiable, estrechándose a 0,1 meq 100g⁻¹ (Van Lierop, 1990) para plantas sensibles. De acuerdo con los niveles críticos señalados, estos suelos presentan toxicidad por aluminio debido a que tienen cantidades absolutas de Al intercambiable que varía entre 0,1 y 0,2 meq 100g⁻¹. Sin embargo, Sadzawka (2006) señala que el mejor índice para estimar toxicidad por aluminio corresponde a la saturación del Al de la CICE. De acuerdo con la analítica de suelos, el porcentaje de saturación de aluminio alcanza valores

máximos de 3,9% siendo inferior al límite crítico (5%) señalado por el Ministerio de Agricultura a través del SIRDS. Los resultados indicarían que no existen antecedentes que permitan establecer la existencia de toxicidad por Al y por lo tanto, la necesidad de manejos para corregir la acidez del suelo, ya que resultaría en una baja respuesta al encalado.

La materia orgánica del suelo (MO) presenta valores altos a muy altos, con un promedio de 11,1% (muy alto), indicando la existencia de fuertes procesos de adición, esto es debido a la permanente cubierta vegetal, generalmente de tipo pradera natural, que han sostenido históricamente estos suelos y al bajo o inexistente laboreo del suelo que ha propiciado su acumulación en el tiempo.

El contenido de nitrógeno disponible (N_d) disponible se mantuvo en todos los casos dentro del rango adecuado, alcanzando un promedio del orden de $54,3 \text{ mg kg}^{-1}$, a diferencia del fósforo disponible (P), cuyos valores mostraron niveles inferiores al nivel crítico de 10 mg kg^{-1} (Montenegro y Mera, 2009), con un valor promedio de $8,3 \text{ mg kg}^{-1}$.

El nivel de Al extractable, el cual es utilizado como indicador de la retención de fósforo en el suelo se encontró en los niveles medio ($807,0 \text{ mg kg}^{-1}$) a altos ($1052,0 \text{ mg kg}^{-1}$), dando cuenta de la alta retención de fósforo presente en todos los casos analizados. La capacidad tampón del fósforo varió entre 184,0 y 417,0, indicando que deben ser agregados entre 184,0 y 417,0 kg ha^{-1} de fósforo para aumentar en 1 mg kg^{-1} el P-Olsen del suelo en los primeros 20 cm, en forma adicional a la dosis de corrección.

Debido a que el nivel de fósforo estimado por el método de Olsen en los suelos de las Unidades no Diferenciadas se encuentra bajo el nivel mínimo señalado por el Ministerio de Agricultura, el que a través del subprograma incorporación de fertilizantes de base fosforada del SIRDS, establece como deficitario a aquellos suelos cuyos niveles de fósforo sean inferiores a 20 mg kg^{-1} , los suelos de las Unidades no Diferenciadas deben realizar aplicaciones de corrección de fertilizantes para restablecer el nivel mínimo técnico de éste nutriente en el suelo y pueden adscribirse para la bonificación de una fertilización de corrección basal de acuerdo al plan de manejo propuesto.

El potasio disponible en los primeros centímetros de suelo presentó una alta variación encontrándose entre 59 (bajo) y 154 mg kg^{-1} (alto). Los niveles bajos se presentaron en los sectores Puala Alto y Reigolil Centro, mientras que los niveles altos se observaron en los sectores de Trancura y Los Sauces. Se considera que un nivel adecuado de potasio disponible se encuentra entre 101 y 150 mg kg^{-1} (Sierra, 2012). Tomando en cuenta este límite se considera que algunos sectores de estas unidades de suelo pueden presentar un déficit de potasio disponible y por tanto requieren de la aplicación de este nutriente en dosis de corrección. Aquellos sectores que presenten niveles adecuados sólo requerirán la aplicación de dosis de mantención. Esto último dependerá de los niveles críticos que presente el cultivo a utilizar.

El azufre extractable (S) se presenta en todas las evaluaciones en niveles muy bajos y bajos, con valores que no superan los 6 mg kg^{-1} . Debido a la deficiencia de este nutriente producto de las condiciones de precipitación y probablemente nula incorporación de este nutriente al suelo se requiere realizar aplicaciones que permitan alcanzar niveles adecuados de $8,1$ a $12,0 \text{ mg kg}^{-1}$ (Rodríguez, 1993).

Los valores de la CIC del suelo presentaron una variación entre 24,3 y $36,4 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, siempre dentro de un nivel alto, alcanzando un promedio de $30,3 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ (Alta). La CICE presentó variación entre sus

valores con un mínimo de 3,1 meq 100g⁻¹ y un máximo de 9,3 meq 100g⁻¹. La carga variable del suelo es alta y fluctúa entre 74,5 y 87,2%, lo cual indica que el complejo de intercambio probablemente se encuentra dominado por coloides orgánicos y probable presencia de minerales de ordenamiento de corto rango.

En relación a los cationes de intercambio, la distribución de los cationes Calcio (Ca) y el Sodio (Na) presentaron valores entre los niveles medio y muy bajo. El Ca de intercambio se mantuvo entre 2,2 y 8,1 meq 100g⁻¹, presentando en el 75% de los casos valores inferiores a 4,0 meq 100g⁻¹, nivel crítico señalado por Rodríguez (1993) y sólo ocupó en el mejor de los casos el 22% de la CIC, porcentaje muy inferior a lo recomendado por INIA (2000). De acuerdo con lo anterior los suelos con contenidos de Ca intercambiable inferiores a 0,4 meq 100g⁻¹ pueden ser considerados deficitarios de este elemento y deben ser corregidos mediante aplicación de Ca, preferentemente como enmienda (Sierra, 2012). Los niveles de Na en todos los casos son inferiores a 0,2 meq 100g⁻¹ (adecuado).

El magnesio de intercambio presentó menor variabilidad encontrándose entre 0,5 y 0,9 meq 100g⁻¹, ocupando sólo un 2 a 3% de la CIC. El nivel crítico para la mayor parte de las plantas es de 0,4 meq 100g⁻¹ (Rodríguez, 1993), esto indica que los suelos no debieran considerarse como deficitarios en este elemento.

El potasio intercambiable se encuentra entre 0,2 y 0,4 meq 100g⁻¹ y entre 0,3% y 1,3% de saturación de la CIC. Se considera como un adecuado suministro de K para las plantas cuando existe en el suelo un nivel superior a 0,3 meq 100g⁻¹ y entre 2 a 6% de saturación de la CIC para que exista un suministro balanceado de cationes (INIA, 2000). Considerando estos límites los sectores Puala Alto y Reigolil Centro presentan deficiencias de K.

La relación Ca/Mg es menor a 10, indicando que no existe interferencia entre ambos nutrientes. La relación entre K/Mg presenta valores entre 0,2 y 0,3 no existiendo efectos antagónicos entre ambos elementos. Los niveles de sodio (Na) son muy bajos y no inciden en los cationes Ca y Mg.

De acuerdo a lo señalado por el Ministerio de Agricultura a través del SIRDS, a nivel promedio, los elementos químicos esenciales, calcio (Ca), potasio (K) y azufre (S) presentan niveles deficientes en relación a los niveles mínimos técnicos, la tendencia se mantiene al comparar éstos con los niveles máximos alcanzados en cada sector evaluado. De acuerdo con lo anterior se presenta a continuación un cuadro comparativo (Cuadro 41), con los niveles actuales de los elementos señalados y los niveles mínimos indicados por el programa.

Cuadro 41. Comparación entre niveles máximos de los elementos químicos esenciales presentes en el suelo y niveles críticos señalados por el SIRSD

Elemento	Unidad	Nivel actual del suelo	Nivel crítico según SIRDS
Ca	meq/100g	4,5	≤10
K	meq/100g	0,3	≤0,52
S	mg kg ⁻¹	4,5	≤20

Los micro nutrientes Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) se encuentran en términos generales entre los niveles adecuados a altos, a excepción del Boro (B) que presentó niveles deficientes en todos los casos alcanzando un valor promedio de 0,12mg kg⁻¹, considerando como adecuado el rango

entre 1,2 y 4,0 mg kg⁻¹ (Pinochet, 2011), fenómeno común en suelos de origen volcánico. Las especies que podrían verse afectadas por la deficiencia de este elemento corresponde a la alfalfa, col forrajera, raps, brócoli, coliflor, apio, maravilla, entre otros (Rodríguez, 1993). Por lo tanto, se espera una respuesta probable a la fertilización de B.

Tanto para el Zn como el Cu los valores siempre se encontraron en el rango adecuado, con valores promedio de 2,5 y 2,9 mg kg⁻¹ respectivamente.

El Fe presentó, en todos los casos, valores altos, muy superiores a los contenidos adecuados de 4,5 mg kg⁻¹ (Pinochet, 2011) alcanzando niveles superiores a 72,4 mg kg⁻¹. Por su parte el Mn presentó niveles adecuados a altos con una concentración mínima de 6,6 mg kg⁻¹ y una máxima de 13,2 mg kg⁻¹.

Análisis de Propiedades Físicas de Suelos Comuna de Curarrehue

El Cuadro 42 presenta el análisis de los resultados de los 6 perfiles utilizados para caracterizar físicamente los suelos que constituyen la Asociación Curarrehue.

El cuadro 43 presenta el análisis de los resultados de los 4 perfiles utilizados para caracterizar físicamente los suelos que constituyen la Unidad no Diferenciada Terraza Aluvial de Cenizas Volcánicas Curarrehue.

En ambos cuadros se excluyeron aquellos valores de conductividad hidráulica saturada que se encontraron fuera del rango normal de datos.

Cuadro 42. Caracterización física de la Asociación Curarrehue

	GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL (USDA)	Db	Da	K SAT.	RETENCIÓN DE AGUA		HA
	A	L	a				6h	33	1500	
	(%)						(Mg m ⁻³)	(cm h ⁻¹)	(kPa)	
Máximo	9,5	38,4	69,5	Fa	0,9	2,6	35,5	49,7	25,2	7,7
Mínimo	5,1	25,3	54,2		0,7	2,3	1,3	41,9	17,9	4,8
Promedio	7,0	31,9	61,1		0,8	2,4	6,2	46,7	21,8	5,9
Desvest	2,1	4,6	6,3		0,1	0,1	4,4	2,7	2,6	1,0

Db: Densidad aparente; Da: Densidad real; K SAT.: Conductividad hidráulica saturada; HA: Humedad aprovechable.

Cuadro 43. Caracterización física de la Unidad no Diferenciada Terraza Aluvial de Ceniza Volcánica Curarrehue

	GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL (USDA)	Db	Da	K SAT.	RETENCIÓN DE AGUA		HA
	A	L	a				6h	33	1500	
	(%)						(Mg m ⁻³)	(cm h ⁻¹)	(kPa)	
Máximo	7,2	59,2	78,7	FL-Fa-aF	1,2	2,5	48,9	52,1	26,3	7,5
Mínimo	5,0	16,3	33,6		0,8	2,4	1,1	20,7	16,5	1,5
Promedio	6,2	42,7	51,1		0,9	2,5	4,3	42,1	20,6	5,3
Desvest	1,2	20,7	21,9		0,2	0,0	3,5	14,5	4,1	2,7

Db: Densidad aparente; Da: Densidad real; K SAT.: Conductividad hidráulica saturada; HA: Humedad aprovechable.

Estos suelos presentan muy bajos contenidos de arcilla, los cuales no superan el 10% del total de la fracción mineral del suelo.

La capacidad de retención de agua o humedad aprovechable (HA) calculada, si bien presentó variación en sus resultados promedio entre 5,3 a 5,9 cm, estos se consideran altos para suelos de textura dominante media a moderadamente gruesa (Israelsen y Hansen, 1979). Esto se logra gracias a los elevados contenidos de materia orgánica presentes y a la capacidad de los componentes minerales de retener grandes cantidades de agua.

Lo anterior implica realizar aplicaciones de cargas de agua con menor frecuencia y en mayores cantidades durante cada aplicación.

La conductividad hidráulica saturada, en los sectores Trancura y Machín bajo presentaron valores menores a 2 cm h⁻¹, lo cual podría restringir la elección del sistema de riego a uno de aspersión de baja precipitación a fin de no provocar condiciones de anegamiento.

La densidad aparente de los suelos se mantuvo entre los valores 0,8 a 1,2 Mg m⁻³ frecuentes en suelos originados a partir de materiales volcánicos, mostrando una baja susceptibilidad problemas de compactación.

En base a estos resultados el cálculo de lámina referencial de riego para el mes de máxima demanda, Enero, con una eficiencia del 75% se mantendrá entre los 4,9 y 7,3 mm d⁻¹. Si, los primeros 30 cm de suelo presentan una capacidad de almacenamiento que varía en promedio entre 53 a 55 mm y se considera un umbral de riego igual al 40% se puede obtener una frecuencia de reposición de agua que varía entre 3 a 5 días.

Descripciones de suelos Estudio Agrológico CIREN

TERRAZAS ALUVIALES RECIENTES DE LOS RÍOS DE LA PRECORDILLERA

Suelos estratificados, de texturas gruesas y muy gruesas, con gravilla de escoria volcánica.

ES - 1 Corresponde a suelos de arenas gruesas, contaminados con cenizas volcánicas, de textura superficial areno francosa, profundos, casi planos con 1 a 3% de pendiente y bien drenados. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: IIIs0	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 3s	Aptitud Frutal	: C
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 3

ES - 2 Corresponde a suelos de arenas basálticas gruesas, de textura superficial areno francosa, ligeramente profundos, planos y de drenaje excesivo. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: IVs0	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 4s	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 4

ES - 3 Corresponde a suelos de arenas basálticas gruesas, de textura superficial areno francosa, ligeramente profundos, casi planos con 1 a 3% de pendiente, disectados, con ligera rocosidad y drenaje excesivo. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIIs0	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 6

ES - 4 Corresponde a suelos de textura superficial arenosa, ligeramente profundos, ligeramente ondulados con 2 a 5% de pendiente, con abundante rocosidad y drenaje excesivo. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIIIs0	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 7

1. ASOCIACIÓN CABURGA, franco limoso

Símbolo Cartográfico : CBG

Caracterización General

El pedón representativo de uno de los componentes de la Asociación Caburga es un miembro de la Familia medial, métrica de los Typic Hapludands (Andisol).

Estos suelos se ubican en la zona de la Cordillera Andina en alturas de 600 a 1.400 msnm. Profundos, desarrollados a partir de cenizas volcánicas. De textura superficial franco limosa y color pardo muy oscuro en el matiz 10YR; de textura franco limosa, de color pardo oscuro a pardo amarillento oscuro en matices 7.5YR a 10YR en profundidad. La permeabilidad es moderada, en topografía de montañas con pendientes de 30 a 50% y bien drenados.

Características Físicas y Morfológicas del Pedón

Profundidad (cm.)

0 - 28 A ₁	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; franco limosa; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; suelto, muy friable; estructura granular fina y media, moderada. Raíces finas y medias abundantes. Límite lineal, claro.
28 - 65 B ₁	Pardo oscuro (7.5YR 3/2 a 3/3) en húmedo; franco limosa; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; suelto, muy friable; estructura granular fina y media, moderada. Raíces finas y medias abundantes. Límite lineal, claro.
65 - 120 y más B ₂	Pardo oscuro a pardo amarillento oscuro (7.5YR 3/4 a 10YR 3/4) en húmedo; franco limosa; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; suelto, muy friable; estructura de bloques subangulares medios y gruesos, débiles. Raíces finas escasas.

Rango de Variaciones

En el horizonte A₁ el color puede variar a pardo grisáceo muy oscuro en matices 10YR; la textura puede ser franco arenosa fina.

En el horizonte B₁ el color puede ser pardo amarillento oscuro o pardo oscuro en matices 10YR ; la textura puede variar a franco arenosa.

En el horizonte B₂ el color puede variar a pardo oscuro o pardo amarillento oscuro en matices 10YR, con valores 3 ó 4 y cromas 3 a 4; la textura puede ser franco arcillo limosa. Esta estrata puede ser más delgada, descansando a 90 cm. sobre grava escoriaza de origen volcánico.

Ubicación

El pedón representativo de uno de los componentes de la Asociación se describió en la Ortofoto N° 3823 - 7137, Manzanar, a 5.736,9 Km. Lat. UTM. y a 701,9 Km. Long. UTM.

Posición

Se ubican en la zona de precordillera y cordillera Andina, en topografías de lomajes y cerros, generalmente con pendientes mayores de 15%.

Variaciones de la Asociación Caburga

CBG - 1 Representa a la Asociación y corresponde a suelos de textura superficial franco limosa, profundos, en topografía de cerros con de 30 a 50% de pendiente y bien drenados. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIIe1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 7

CBG - 2 Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, ligeramente ondulada con 2 a 5% de pendiente y bien drenada. Suelos que se ubican en la parte alta de lomajes y cerros. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: IIIe1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 3t	Aptitud Frutal	: C
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 3

CBG - 3 Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, suavemente ondulada con 5 a 8% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: IVe1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 4t	Aptitud Frutal	: D
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 4

CBG - 4 Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, moderadamente ondulada con 8 a 15% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIe1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: D
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 6

CBG - 5 Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, fuertemente ondulada con 15 a 20% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIe1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 6

CBG - 6 Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, en topografía de lomajes con 20 a 30% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIe1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 6

CBG - 7 Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, muy delgada, ligeramente ondulada con 2 a 5% de pendiente y excesivamente drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIIs8	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 6

CBG - 8 Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, en topografía de lomajes con de 20 a 30% de pendiente, con severa erosión y bien drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIIe1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión Actual	: 3	Aptitud Agrícola	: 7

CBG - 9 Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, en topografía de cerros con de 30 a 50% de pendiente, con severa erosión y bien drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIIe1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión Actual	: 3	Aptitud Agrícola	: 7

PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO

ASOCIACIÓN : CABURGA

PROFUNDIDAD cm.	0 - 28	28 - 65	65 - 120		
DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS POR TAMAÑO %					
< 2					
2-1	1.4	3.7	8.5		
1-0,5	1.7	3.3	6.2		
0,5-0,25	2.6	4.1	3.8		
0,25-0,10	11.8	18.2	7.7		
0,10-0,05	21.1	9.8	9.6		
2-0,05	38.7	39.1	35.9		
0,05-0,002	43.3	39.9	49.7		
< 0,002	17.9	21.0	14.5		
TEXTURA	F	F	F - FL		
DENSIDAD APARENTE g./cm ³	0.76	0.82	0.73		
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm. %	47.5	48.8	53.9		
HUMEDAD RETENIDA 15 atm. %	26.5	24.6	34.3		
HUMEDAD APROVECHABLE %	21.0	24.2	19.6		
CARBONO ORGÁNICO %	6.17	3.98	2.44		
MATERIA ORGÁNICA %					
pH H ₂ O	6.3	6.6	6.6		
RETENCIÓN DE P %	89	94	98		
COMPLEJO DE CAMBIO (cmol+/kg.)					
Ca	5.12	5.15	4.66		
Mg	1.17	0.58	0.51		
K	0.29	0.13	0.18		
Na	0.06	0.04	0.05		
Al	0.00	0.00	0.00		
SUMA DE BASES	6.64	5.90	5.40		
CAPACIDAD TOTAL INTERCAMBIO (CIC)	24.3	22.8	26.9		
CICE (CIC Efectiva)	6.64	5.90	5.40		
SATURACIÓN DE BASES %	27	26	20		
SATURACIÓN DE Al %	0.00	0.00	0.00		
Al _{ox}	2.02	2.42	3.03		
Fe _{ox}	0.71	0.93	1.02		
Al _{ox} + ½ Fe _{ox}	2.38	2.88	3.54		

2. ASOCIACIÓN LOS NEVADOS, franco arenoso grueso

Símbolo Cartográfico : LNV

Caracterización General

El pedón representativo de uno de los componentes de la Asociación Los Nevados es un miembro de la Familia cinerítica, mélica de los Acrudoxic Hapludands (Andisol).

Suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas, moderadamente profundos, que se ubican en la zona de la Cordillera Andina a alturas de 900 a 1.200 msnm. De textura superficial franco arenosa y color pardo grisáceo muy oscuro en el matiz 10YR; de textura arenosa y color pardo oscuro en el matiz 10YR en profundidad. Substrato de gravas escoriáceas. Suelo en topografía de cerros con pendientes dominantes de 30 a 50%, permeabilidad moderadamente rápida y drenaje excesivo.

Características Físicas y Morfológicas del Pedón

Profundidad (cm.)

0 - 20 A ₁	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco arenosa gruesa; no plástico y no adhesivo; suelto, muy friable; estructura de bloques subangulares medios, débiles. Raíces finas abundantes. Límite lineal, claro.
20 - 42 AC ₁	Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; franco arenosa gruesa; no plástico y no adhesivo; suelto, muy friable; grano simple. Raíces finas abundantes. Gravas gruesas y medias escasas. Límite ondulado, gradual.
42 - 80 AC ₂	Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; areno francosa; no plástico y no adhesivo; suelto, muy friable; grano simple. Raíces finas aisladas. Gravas finas y medias escasas. Límite lineal, abrupto.
80 y más C	Grava escoriácea de origen volcánico.

Rango de Variaciones

En el horizonte A₁ el color puede variar a pardo muy oscuro o negro en el matiz 10YR; la textura puede ser areno francosa o franco arenosa fina.

En el horizonte AC₁ el color puede ser pardo oscuro en el matiz 7.5YR, pardo amarillento oscuro o pardo grisáceo muy oscuro en el matiz 10YR, ocasionalmente en el sector sureste de la hoya del río Pucón es de color gris muy oscuro en el matiz 10YR. La textura puede variar a franco arenosa o franco limosa, variando su estructura a bloques subangulares medios y gruesos.

En el horizonte AC₂ la textura puede variar a franco arenosa o franco limosa; pudiendo además existir una mayor abundancia de grava escoriácea. El color puede variar de pardo a pardo oscuro en el matiz 7.5 o pardo amarillento oscuro en el matiz 10YR. Cuando la textura es media, la estructura es de bloques subangulares.

En sectores se encuentra un depósito superficial de grava escoriácea fina de hasta 20 cm. En el perfil el suelo puede presentar estratas intermedias de gravas escoriáceas de 10 a 15 cm. El substrato puede ser arenisca o arcilla con gravas.

Ubicación

El pedón representativo de uno de los componentes de la Asociación Los Nevados se describió en la Ortofoto N° 3919 - 7155, Volcán Villarrica, a 5.638,45 Km. Lat. UTM. y a 242,85 Km. Long. UTM.

Posición

Suelos en posición de lomajes y cerros con pendientes dominantes de 20 a 50%.

Variaciones de la Asociación Los Nevados

LNV - 1 Representa a la Asociación y corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa gruesa, moderadamente profundos, en topografía de cerros con 30 a 50% de pendiente y de drenaje excesivo. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIIe1	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión Actua l	: 0	Aptitud Agrícola	: 7

LNV - 2 Corresponde a la Fase de textura superficial franco arenosa gruesa, moderadamente profunda, suavemente ondulada con 5 a 8% de pendiente y excesivamente drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: IVe1	Clase de Drenaje	: 6
------------------	--------	------------------	-----

Categoría de Riego	: 4t	Aptitud Frutal	: E
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 4

LNV - 3 Corresponde a la Fase de textura superficial franco arenosa gruesa, moderadamente profunda, en topografía de lomajes con 20 a 30% de pendiente y excesivamente drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIe1	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 6

LNV - 4 Corresponde a la Fase de textura superficial franco arenosa gruesa, moderadamente profunda, en topografía de cerro con 30 a 50% de pendiente, severamente erosionada y excesivamente drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIIe1	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión Actual	: 3	Aptitud Agrícola	: 7

LNV - 5 Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, suavemente ondulada con 2 a 5% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: IVe1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 4t	Aptitud Frutal	: E
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 4

PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO

ASOCIACIÓN : LOS NEVADOS

PROFUNDIDAD cm.	0 - 20	20 - 42	42 - 80	80 y más
DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS POR TAMAÑO %				
< 2				
2-1	2.9	2.7	20.9	43.2
1-0,5	7.8	2.9	12.7	18.8
0,5-0,25	11.9	9.0	10.7	6.2
0,25-0,10	23.5	22.0	15.9	6.9
0,10-0,05	15.8	19.9	11.3	9.2
2-0,05	62.1	56.6	71.6	84.3
0,05-0,002	25.2	36.0	21.0	15.0
< 0,002	12.6	7.3	7.4	0.7
TEXTURA	Fa	Fa	Fa	aF
DENSIDAD APARENTE g./cm ³	0.72	0.76	1.05	1.14
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm. %	34.6	30.6	24.8	18.2
HUMEDAD RETENIDA 15 atm. %	31.2	21.6	16.3	8.5
HUMEDAD APROVECHABLE %	3.4	9.0	8.5	9.7
CARBONO ORGÁNICO %	9.28	4.19	1.55	0.30
MATERIA ORGÁNICA %				
pH H ₂ O	5.9	6.1	6.1	6.1
RETENCIÓN DE P %	97	100	97	81
COMPLEJO DE CAMBIO (cmol+/kg.)				
Ca	0.65	0.29	0.24	0.24
Mg	0.25	0.10	0.06	0.05
K	0.11	0.03	0.01	0.01
Na	0.08	0.04	0.02	0.02
Al	0.42	0.00	0.00	0.00
SUMA DE BASES	1.09	0.46	0.33	0.32
CAPACIDAD TOTAL INTERCAMBIO (CIC)	26.9	22.1	10.2	6.2
CICE (CIC Efectiva)	1051	0.46	0.33	0.32
SATURACIÓN DE BASES %	4	2	3	5
SATURACIÓN DE Al %	27.8	0.00	0.00	0.00
Al _{ox}	1.77	3.45	2.85	2.01
Fe _{ox}	1.09	1.32	0.92	1.18
Al _{ox} + ½ Fe _{ox}	2.31	4.11	3.31	2.60

29. SERIE MOLCO, franco limoso

Símbolo Cartográfico : MOL

Caracterización General

La Serie Molco es un miembro de la Familia medial, métrica de los Typic Hapludands (Andisol).

Suelo profundo, formado por cenizas volcánicas, de textura superficial franco limosa y de color pardo oscuro en matices 7.5YR; de textura franco limosa y color pardo a pardo oscuro en el matiz 7.5YR, en profundidad. El substrato se presenta a más de 100 cm. de profundidad, es de origen fluvioglacial y aparecen gravas redondeadas, piedras y bolones ocasionalmente, no está compactado. La topografía es suavemente ondulada con pendientes de 5 a 8%, de permeabilidad moderada y buen drenaje.

Características Físicas y Morfológicas del Pedón

Profundidad (cm.)

0 - 25 A ₁	Pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; franco limosa; no plástico y no adhesivo; friable, suelto; estructura granular fina y media. Límite lineal, claro.
25 - 55 B ₁	Pardo oscuro (7.5YR 3/3) en húmedo; franco a franco limosa; no plástico y adhesivo; friable; estructura de bloques subangulares finos, moderados.
55 - 120 y más B ₂	Pardo (7YR 4/3 a 4/4) en húmedo; franco limosa; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; friable; estructura de bloques subangulares gruesos, moderados. Límite ondulado a quebrado, claro.

Observaciones

Se observan gravas y piedras (bolones) de origen fluvioglacial en la superficie y/o perfil, escasos.

Rango de Variaciones

En el horizonte A₁ el color puede variar a pardo muy oscuro en matices 10YR.

En el horizonte B₁ la textura puede variar a franco arenosa, con gravilla fina común. El color varía a pardo oscuro en el matiz 7.5YR con valor 3 y croma 2.

En el horizonte B₂ la textura es franco limosa, con gravilla fina común, varía a franco arenosa.

Substrato puede ser de escoria volcánica.

Este suelo se presenta en topografía con pendientes de 5 a 30%; también se presenta en topografía casi plana con pendientes de 1 a 3% y se ubica al sur del Lago Villarrica y frente a él en posición alta.

Ubicación

La Serie Molco se describió en la Ortofoto N° 3919 - 7155, Volcán Villarrica, a 5641,15 Km. Lat. UTM. y a 236,2 Km. Long. UTM.

Posición

Ocupa una posición de piedmonts y lomajes suaves con pendientes de 5 a 30%

Variaciones de la Serie Molco

MOL - 1 Representa a la Serie y corresponde a suelos de textura superficial franco limosa, profunda, suavemente ondulada con 5 a 8% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: Ille1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 3t	Aptitud Frutal	: C
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 3

MOL - 2 Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, moderadamente ondulada con 8 a 15% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: IVe1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 4t	Aptitud Frutal	: D
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 4

MOL - 3 Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, de topografía de lomajes con 20 a 30% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIe1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión Actual	: 0	Aptitud Agrícola	: 6

PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO

SERIE : MOLCO

PROFUNDIDAD cm.	0 - 25	25 - 55	55 - 120		
DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS POR TAMAÑO %					
< 2					
2-1	7.1	6.4	1.6		
1-0,5	7.3	5.9	1.8		
0,5-0,25	8.1	5.7	3.0		
0,25-0,10	15.4	12.4	8.1		
0,10-0,05	14.7	15.5	20.0		
2-0,05	52.6	46.0	34.5		
0,05-0,002	29.2	37.2	51.4		
< 0,002	18.1	16.8	14.1		
TEXTURA	Fa - F	F	FL		
DENSIDAD APARENTE g./cm ³	0.61	0.77	0.68		
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm. %	54.7	43.0	56.9		
HUMEDAD RETENIDA 15 atm. %	42.8	31.3	44.9		
HUMEDAD APROVECHABLE %	11.9	11.7	12.0		
CARBONO ORGÁNICO %	10.42	3.53	2.55		
MATERIA ORGÁNICA %					
pH H ₂ O	5.8	6.3	6.4		
RETENCIÓN DE P %	95	98	99		
COMPLEJO DE CAMBIO (cmol+/kg.)					
Ca	6.75	1.64	1.38		
Mg	2.78	0.56	1.05		
K	0.87	0.13	0.07		
Na	0.11	0.04	0.04		
Al	0.17	0.00	0.00		
SUMA DE BASES	10.51	2.37	2.54		
CAPACIDAD TOTAL INTERCAMBIO	45.9	22.7	33.0		
CICE (CIC Efectiva)	10.68	2.37	2.54		
SATURACIÓN DE BASES %	23	10	8		
SATURACIÓN DE Al %	1.6	0.0	0.0		
Al _{ox}	2.32	2.89	4.04		
Fe _{ox}	1.01	1.12	1.11		
Al _{ox} + ½ Fe _{ox}	2.82	3.45	4.60		

TIPOS MISCELÁNEOS DE TERRENOS

MISCELÁNEO DUNA

MD - 1 Corresponde a terrenos litorales arenosos, constituidos por arenas de tipo andesítico-basáltico, de topografía ondulada pero que han sido estabilizados y/o mantiene cubierta herbácea pobre. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIIe1	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 7

MD - 2 Corresponde a terrenos litorales, constituidos por arenas sueltas de tipo andesítico-basáltico, sin vegetación y de topografía ondulada. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIII	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 3	Aptitud Agrícola	: 8

MISCELÁNEO ESTERO

ME Corresponde a terrenos existentes en el cauce y bordes de cursos menores de agua, muy delgados, de topografía irregular, de drenaje pobre y sometido a inundaciones ocasionales. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIII	Clase de Drenaje	: 2
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 8

MISCELÁNEO ESCARPE

E Corresponde a quiebres abruptos, de pendientes superiores a 60 %; gran parte de esta unidad está cubierta de vegetación arbustiva, especialmente en los sectores con influencia de clima marítimo. Debe conservarse la vegetación a objeto de evitar procesos erosivos acelerados. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIII	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 2	Aptitud Agrícola	: 8

MISCELÁNEO PANTANO

MP Corresponde a terrenos húmedos, de topografía plana y ligeramente cóncava, con agua superficial o nivel freático cercano a la superficie durante todo el año, la vegetación es hidromórfica. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIII	Clase de Drenaje	: 1
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 8

MP - 1 Corresponde a terrenos húmedos, con nivel freático superficial, con vegetación hidromórfica, pero que en los meses de verano mantiene una cubierta herbácea que permite un talajeo directo. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIIw2	Clase de Drenaje	: 1
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 7

MISCELÁNEO QUEBRADA

MQ Corresponde a terrenos de pendientes abruptas, susceptibles a erosionarse y presentar en su cauce piedras y bolones abundantes. Presenta generalmente una buena a regular vegetación arbustiva que evita los procesos erosivos y que deben mantenerse como terrenos de protección. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIIe1	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 2	Aptitud Agrícola	: 7

MQ - 1 Corresponde a terrenos de pendientes abruptas por donde escurren los cursos de agua, muy abundantes piedras y rocas y con erosión activa. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIII	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 2	Aptitud Agrícola	: 8

MISCELÁNEO RÍO

MR Corresponde a los sectores cubiertos por el río o el cauce que cubre en sus crecidas y que no tiene ningún uso. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIII	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 8

MR - 1 Corresponde a terrenos pedregosos, con matriz arenosa, que se ubican en las terrazas bajas y recientes de los ríos y en parte cubiertos de vegetación rala de pastos y arbustos. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIIs0	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 7

TERRENOS ROCOSOS

R Corresponde a terrenos con afloramientos rocosos y cubiertos de bolones y piedras, dejando entre ellos suelos delgados y de texturas gruesas. Ocupa una topografía variable de lomajes a cerros y montañas, con pendientes de 20 a más de 50%. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIII	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 1	Aptitud Agrícola	: 8

MISCELÁNEO SUELO

MS Corresponde a terrenos muy delgados, de texturas franco arenosa a arena francosa y de drenaje excesivo. Ocupan una posición plana y con microrrelieve. Se clasifica en:

Capacidad de Uso	: VIIs0	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 6

MISCELÁNEO ESCORIA VOLCÁNICA

MV Corresponde a campos o flujos de lavas, generalmente desprovistos de vegetación, aunque existen sectores recubiertos por una capa de cenizas volcánicas recientes, cuyo espesor fluctúa desde unos pocos cm hasta 40 cm. Donde existe ceniza se presenta una vegetación arbórea. Se clasifica en :

Capacidad de Uso	: VIII	Clase de Drenaje	: 6
Categoría de Riego	: 6	Aptitud Frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 8



ANEXO 4. Coeficientes de correlación de Pearson

Correlations: Areas sin ve; Bosque; Bosque mixto; Cuerpos de a; Cultivos; ...

	Areas sin ve	Bosque	Bosque mixto	Cuerpos de a
Bosque	0.107			
Bosque mixto	-0.166	0.096		
Cuerpos de a	0.163	0.961	0.187	
Cultivos	*	*	*	*
Estepa	-1.000	1.000	*	-1.000
Glaciares y	0.434	0.594	0.863	0.634
Matorral	-0.262	0.868	0.103	0.790
Plantaciones	-0.486	-0.091	-0.105	-0.087
Praderas	-0.291	0.829	0.170	0.797
Terrenos hum	0.255	0.548	-0.261	0.495
Urbano-indus	-0.503	-0.119	0.132	-0.043
Total genera	0.126	0.997	0.109	0.961
Fecha	*	*	*	*
Flow (m3/s)	-0.026	0.793	-0.203	0.784
T (°C)	-0.661	-0.347	0.092	-0.325
pH	-0.157	-0.115	-0.265	-0.422
Cond. (uS/cm	-0.361	-0.304	0.214	-0.276
DO (ppm)	-0.456	-0.369	0.386	-0.328
Fósforo Disu	-0.316	-0.446	0.181	-0.433
Fósforo Tota	-0.327	-0.272	0.097	-0.283
Nitrato [NO3	-0.357	-0.264	0.341	-0.206
Nitrito [NO2	-0.275	-0.203	-0.062	-0.213
Nitrógeno Am	-0.258	-0.261	0.147	-0.271
Nitrógeno To	-0.258	-0.261	0.147	-0.271
Nitrógeno Di	-0.335	-0.267	0.270	-0.224
Nitrógeno To	-0.327	-0.266	0.264	-0.222
Fecha_1	-0.185	-0.166	-0.047	-0.162
Flow (m3/s)_	0.014	0.804	-0.112	0.827
T (°C)_1	-0.541	-0.363	0.234	-0.301
pH_1	-0.026	-0.142	0.048	-0.240
Cond. (uS/cm	-0.571	-0.316	0.475	-0.286
DO (ppm)_1	0.341	0.538	-0.256	0.463
Fósforo Disu	-0.234	-0.314	0.159	-0.331
Fósforo Tota	-0.285	-0.386	0.145	-0.368
Nitrato [NO3	-0.452	-0.309	0.131	-0.288
Nitrito [NO2	-0.274	-0.173	-0.025	-0.192
Nitrógeno Am	-0.334	-0.153	0.234	-0.121
Nitrógeno To	-0.334	-0.153	0.234	-0.121
Nitrógeno Di	-0.433	-0.288	0.142	-0.267
Nitrógeno To	-0.433	-0.300	0.148	-0.277
Clorofila a	0.089	0.136	-0.022	0.284
Fecha_2	-0.002	0.209	0.346	0.180
Flow (m3/s)_	0.040	0.724	-0.157	0.716
T (°C)_2	-0.012	0.344	-0.327	0.368
pH_2	-0.472	-0.092	0.193	-0.213
Cond. (uS/cm	-0.385	-0.215	0.350	-0.192
DO (ppm)_2	0.305	0.477	-0.059	0.389
Fósforo Disu	-0.106	-0.237	0.119	-0.183
Fósforo Tota	0.142	0.080	0.131	0.207
Nitrato [NO3	-0.405	-0.255	0.209	-0.235
Nitrito [NO2	-0.457	-0.132	0.449	-0.132
Nitrógeno Am	-0.099	-0.100	0.245	-0.135
Nitrógeno To	-0.107	-0.098	0.241	-0.132
Nitrógeno Di	-0.359	-0.235	0.233	-0.227
Nitrógeno To	-0.357	-0.231	0.234	-0.224
Clorofila a	-0.232	-0.090	-0.050	-0.096

APORTE PT (K	-0.336	-0.352	0.032	-0.350
APORTE PT (K	-0.361	-0.319	-0.183	-0.327
APORTE PT (K	-0.029	-0.230	0.206	-0.124
APORTE NT (K	-0.267	-0.261	0.363	-0.197
APORTE NT (K	-0.506	-0.341	-0.164	-0.306
APORTE NT (K	-0.305	-0.305	0.261	-0.277
APORTE PT (K	-0.251	-0.336	0.034	-0.301
APORTE NT (K	-0.431	-0.375	0.198	-0.323
Rural	-0.322	0.779	0.172	0.749
Urbano	*	*	*	*
Total genera	-0.396	0.652	0.249	0.631
fuentes punt	-0.026	0.186	-0.043	-0.013
CBG	-0.209	0.911	-0.076	0.944
ES	0.557	-0.035	-0.075	-0.080
LNv	0.337	0.215	0.061	0.058
MISC	0.857	0.461	-0.168	0.391
MOL	-0.184	-0.395	-0.364	0.435
NOSU	0.798	0.572	-0.060	0.555
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	-0.267	0.896	0.825	0.800
0 - 0	0.190	0.911	0.175	0.956
0-3	0.219	0.900	0.120	0.926
3 a 5	0.236	0.868	0.160	0.891
5 a 8	0.302	0.851	0.062	0.890
8 a 15	0.328	0.905	0.024	0.915
15 a 20	0.308	0.959	0.052	0.932
20 - 30	0.216	0.986	0.073	0.936
30 - 50	0.064	0.995	0.071	0.941
>50	0.074	0.995	0.079	0.969

	Cultivos	Estepa	Glaciares y	Matorral
Estepa	*			
Glaciares y	*	-1.000		
Matorral	*	1.000	0.109	
Plantaciones	*	1.000	-0.594	0.056
Praderas	*	1.000	0.119	0.932
Terrenos hum	*	*	1.000	0.727
Urbano-indus	*	*	-1.000	-0.161
Total genera	*	1.000	0.566	0.879
Fecha	*	*	*	*
Flow (m3/s)	*	1.000	0.123	0.833
T (°C)	*	1.000	-0.449	-0.146
pH	*	1.000	-0.462	0.066
Cond. (uS/cm	*	-1.000	-0.547	-0.268
DO (ppm)	*	1.000	-0.650	-0.181
Fósforo Disu	*	-1.000	-0.430	-0.417
Fósforo Tota	*	-1.000	-0.464	-0.254
Nitrato [NO3	*	-1.000	-0.405	-0.158
Nitrito [NO2	*	*	-0.413	-0.189
Nitrógeno Am	*	*	-0.378	-0.225
Nitrógeno To	*	*	-0.378	-0.225
Nitrógeno Di	*	-1.000	-0.407	-0.179
Nitrógeno To	*	-1.000	-0.400	-0.183
Fecha_1	*	*	-0.732	-0.018
Flow (m3/s)_	*	1.000	0.092	0.820
T (°C)_1	*	1.000	-0.613	-0.146
pH_1	*	1.000	-0.445	-0.075
Cond. (uS/cm	*	1.000	-0.429	-0.223
DO (ppm)_1	*	1.000	0.234	0.516
Fósforo Disu	*	-1.000	-0.486	-0.281

Fósforo Tota	*	-1.000	-0.435	-0.343
Nitrato [NO3	*	1.000	-0.464	-0.210
Nitrito [NO2	*	1.000	-0.261	-0.163
Nitrógeno Am	*	1.000	-0.260	-0.064
Nitrógeno To	*	1.000	-0.260	-0.064
Nitrógeno Di	*	1.000	-0.432	-0.191
Nitrógeno To	*	1.000	-0.422	-0.204
Clorofila a	*	-1.000	0.657	-0.124
Fecha_2	*	*	-0.503	0.368
Flow (m3/s)_	*	-1.000	-0.025	0.783
T (°C)_2	*	1.000	0.446	0.341
pH_2	*	1.000	-0.275	0.018
Cond. (uS/cm	*	1.000	-0.438	-0.098
DO (ppm)_2	*	1.000	0.033	0.474
Fósforo Disu	*	-1.000	-0.183	-0.303
Fósforo Tota	*	-1.000	0.345	-0.190
Nitrato [NO3	*	-1.000	-0.463	-0.143
Nitrito [NO2	*	1.000	-0.548	-0.085
Nitrógeno Am	*	-1.000	-0.367	-0.086
Nitrógeno To	*	-1.000	-0.381	-0.083
Nitrógeno Di	*	-1.000	-0.480	-0.137
Nitrógeno To	*	-1.000	-0.477	-0.136
Clorofila a	*	1.000	-0.306	-0.053
APORTE PT (K	*	-1.000	-0.460	-0.346
APORTE PT (K	*	-1.000	-0.606	-0.321
APORTE PT (K	*	-1.000	0.213	-0.349
APORTE NT (K	*	-1.000	-0.361	-0.199
APORTE NT (K	*	1.000	-0.590	-0.288
APORTE NT (K	*	-1.000	-0.667	-0.231
APORTE PT (K	*	-1.000	-0.308	-0.380
APORTE NT (K	*	-1.000	-0.582	-0.299
Rural	*	1.000	0.087	0.881
Urbano	*	*	*	*
Total genera	*	1.000	0.087	0.736
fuentes punt	*	*	-0.409	0.688
CBG	*	*	-0.610	0.877
ES	*	*	0.888	-0.228
LNV	*	*	-0.434	0.250
MISC	*	*	0.363	0.279
MOL	*	*	-1.000	-0.794
NOSU	*	*	0.738	0.471
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	*	1.000	0.701	0.594
0 - 0	*	-1.000	0.670	0.703
0-3	*	-1.000	0.459	0.782
3 a 5	*	1.000	0.461	0.742
5 a 8	*	-1.000	0.375	0.741
8 a 15	*	-1.000	0.415	0.794
15 a 20	*	1.000	0.525	0.826
20 - 30	*	1.000	0.554	0.860
30 - 50	*	1.000	0.551	0.893
>50	*	1.000	0.616	0.860
Plantaciones				
Praderas	0.064			
Terrenos hum	-0.994	0.717		
Urbano-indus	-0.085	-0.076	1.000	
Total genera	-0.073	0.845	0.528	-0.116
Fecha	*	*	*	*
Flow (m3/s)	-0.017	0.749	0.754	-0.109
Terrenos hum				
Urbano-indus				

T (°C)	0.203	0.033	-0.957	0.398
pH	-0.009	-0.121	-0.096	-0.629
Cond. (uS/cm)	-0.079	-0.135	-0.997	-0.274
DO (ppm)	0.467	-0.056	-0.868	-0.095
Fósforo Disu	0.471	-0.273	-0.965	-0.494
Fósforo Tota	-0.035	-0.171	-0.955	-0.364
Nitrato [NO3	0.666	-0.056	-0.944	-0.305
Nitrito [NO2	0.863	-0.120	-0.959	-0.243
Nitrógeno Am	0.647	-0.147	-0.957	-0.334
Nitrógeno To	0.647	-0.147	-0.957	-0.334
Nitrógeno Di	0.703	-0.081	-0.948	-0.309
Nitrógeno To	0.703	-0.083	-0.951	-0.311
Fecha_1	0.328	0.031	-0.748	-0.537
Flow (m3/s)_	-0.007	0.839	0.417	-0.160
T (°C)_1	0.430	0.017	-0.962	0.017
pH_1	0.331	-0.081	-0.968	-0.559
Cond. (uS/cm)	0.228	-0.091	-0.976	-0.513
DO (ppm)_1	-0.307	0.331	0.996	-0.199
Fósforo Disu	0.586	-0.209	-0.964	-0.460
Fósforo Tota	0.592	-0.226	-0.969	-0.489
Nitrato [NO3	0.711	-0.067	-0.954	-0.321
Nitrito [NO2	0.680	-0.118	-0.955	-0.300
Nitrógeno Am	0.529	0.007	-0.980	-0.544
Nitrógeno To	0.529	0.007	-0.980	-0.544
Nitrógeno Di	0.709	-0.061	-0.959	-0.361
Nitrógeno To	0.708	-0.074	-0.955	-0.354
Clorofila a	-0.141	0.014	0.287	0.917
Fecha_2	0.015	0.316	*	-0.339
Flow (m3/s)_	-0.031	0.651	0.968	-0.150
T (°C)_2	0.173	0.353	0.855	0.578
pH_2	0.305	0.059	-0.856	0.072
Cond. (uS/cm)	0.588	-0.006	-0.943	-0.398
DO (ppm)_2	-0.278	0.311	0.940	-0.283
Fósforo Disu	0.507	-0.188	-0.913	-0.516
Fósforo Tota	0.246	-0.100	-0.495	-0.503
Nitrato [NO3	0.552	-0.010	-0.961	-0.521
Nitrito [NO2	-0.113	-0.026	-0.957	-0.264
Nitrógeno Am	0.256	-0.119	-0.968	-0.582
Nitrógeno To	0.273	-0.116	-0.967	-0.594
Nitrógeno Di	0.507	-0.037	-0.966	-0.544
Nitrógeno To	0.507	-0.037	-0.967	-0.547
Clorofila a	0.778	-0.017	-0.956	-0.224
APORTE PT (K	0.018	-0.245	-0.985	-0.571
APORTE PT (K	-0.054	-0.202	-0.835	-0.541
APORTE PT (K	-0.191	-0.240	-0.145	-0.572
APORTE NT (K	0.607	-0.113	-0.967	-0.363
APORTE NT (K	0.047	-0.116	-0.628	-0.739
APORTE NT (K	-0.126	-0.141	-0.755	-0.667
APORTE PT (K	-0.079	-0.257	-0.930	-0.605
APORTE NT (K	0.212	-0.153	-0.930	-0.836
Rural	0.154	0.969	-0.566	0.098
Urbano	*	*	*	*
Total genera	0.152	0.857	-0.566	0.504
fuentes punt	0.011	-0.124	*	*
CBG	0.136	0.964	-1.000	-0.325
ES	-0.147	-0.228	*	0.852
LNV	-0.074	0.126	0.066	0.727
MISC	-0.182	0.105	1.000	-0.192
MOL	-0.456	0.937	*	-0.899
NOSU	-0.045	0.323	*	0.052

PCN	*	*	*	*
(en blanco)	-0.246	0.604	-1.000	1.000
0 - 0	-0.113	0.775	0.287	0.199
0-3	-0.041	0.821	0.332	0.119
3 a 5	-0.018	0.803	0.171	0.149
5 a 8	0.067	0.770	0.170	-0.032
8 a 15	0.027	0.769	0.431	-0.082
15 a 20	-0.077	0.781	0.586	-0.060
20 - 30	-0.132	0.806	0.683	-0.084
30 - 50	-0.121	0.849	0.752	-0.128
>50	-0.118	0.844	0.630	-0.107

	Total genera	Fecha	Flow (m3/s)	T (°C)
Fecha	*			
Flow (m3/s)	0.798	*		
T (°C)	-0.343	*	-0.373	
pH	-0.124	*	-0.211	0.040
Cond. (uS/cm)	-0.301	*	-0.336	0.221
DO (ppm)	-0.337	*	-0.369	0.571
Fósforo Disu	-0.443	*	-0.421	0.312
Fósforo Tota	-0.275	*	-0.295	0.068
Nitrato [NO3	-0.249	*	-0.270	0.439
Nitrito [NO2	-0.192	*	-0.212	0.246
Nitrógeno Am	-0.253	*	-0.286	0.413
Nitrógeno To	-0.253	*	-0.286	0.413
Nitrógeno Di	-0.253	*	-0.278	0.433
Nitrógeno To	-0.252	*	-0.276	0.428
Fecha_1	-0.134	*	0.137	0.218
Flow (m3/s)_	0.818	*	0.934	-0.234
T (°C)_1	-0.335	*	-0.270	0.808
pH_1	-0.116	*	-0.189	0.254
Cond. (uS/cm)	-0.314	*	-0.304	0.454
DO (ppm)_1	0.527	*	0.581	-0.629
Fósforo Disu	-0.307	*	-0.233	0.126
Fósforo Tota	-0.377	*	-0.331	0.238
Nitrato [NO3	-0.292	*	-0.318	0.519
Nitrito [NO2	-0.166	*	-0.186	0.118
Nitrógeno Am	-0.141	*	-0.078	0.302
Nitrógeno To	-0.141	*	-0.078	0.302
Nitrógeno Di	-0.272	*	-0.284	0.479
Nitrógeno To	-0.285	*	-0.306	0.474
Clorofila a	0.121	*	0.178	0.082
Fecha_2	0.229	*	0.438	0.033
Flow (m3/s)_	0.731	*	0.946	-0.438
T (°C)_2	0.363	*	0.200	0.066
pH_2	-0.085	*	-0.302	0.635
Cond. (uS/cm)	-0.202	*	-0.192	0.437
DO (ppm)_2	0.475	*	0.537	-0.615
Fósforo Disu	-0.234	*	-0.284	0.203
Fósforo Tota	0.065	*	-0.089	-0.030
Nitrato [NO3	-0.236	*	-0.262	0.512
Nitrito [NO2	-0.130	*	-0.141	0.394
Nitrógeno Am	-0.102	*	0.017	0.067
Nitrógeno To	-0.100	*	0.017	0.072
Nitrógeno Di	-0.220	*	-0.213	0.444
Nitrógeno To	-0.216	*	-0.209	0.441
Clorofila a	-0.078	*	-0.070	0.133
APORTE PT (K	-0.362	*	-0.236	0.022
APORTE PT (K	-0.330	*	-0.120	0.093
APORTE PT (K	-0.252	*	-0.136	-0.225

APORTE NT (K	-0.253	*	-0.211	0.229
APORTE NT (K	-0.347	*	-0.060	0.298
APORTE NT (K	-0.308	*	-0.099	0.073
APORTE PT (K	-0.351	*	-0.190	-0.048
APORTE NT (K	-0.376	*	-0.149	0.246
Rural	0.797	*	0.697	0.149
Urbano	*	*	*	*
Total genera	0.669	*	0.552	0.257
fuentes punt	0.194	*	0.690	-0.512
CBG	0.916	*	0.920	0.045
ES	-0.009	*	-0.195	-0.320
LNV	0.255	*	0.407	-0.386
MISC	0.506	*	0.396	-0.653
MOL	-0.131	*	-0.584	0.580
NOSU	0.601	*	0.545	-0.600
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	0.864	*	0.527	-0.003
0 - 0	0.914	*	0.731	-0.175
0-3	0.921	*	0.808	-0.230
3 a 5	0.892	*	0.754	-0.201
5 a 8	0.880	*	0.798	-0.277
8 a 15	0.929	*	0.867	-0.398
15 a 20	0.973	*	0.878	-0.444
20 - 30	0.991	*	0.882	-0.430
30 - 50	0.993	*	0.871	-0.354
>50	0.991	*	0.845	-0.314

	pH	Cond. (uS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disu
Cond. (uS/cm)	-0.077			
DO (ppm)	-0.131	0.506		
Fósforo Disu	-0.011	0.465	0.488	
Fósforo Tota	0.050	0.962	0.372	0.520
Nitrato [NO3	-0.100	0.239	0.544	0.831
Nitrito [NO2	0.063	0.082	0.338	0.700
Nitrógeno Am	0.100	0.124	0.396	0.740
Nitrógeno To	0.100	0.124	0.396	0.740
Nitrógeno Di	-0.047	0.209	0.514	0.825
Nitrógeno To	-0.052	0.205	0.508	0.826
Fecha_1	-0.056	0.365	0.453	0.372
Flow (m3/s)_	-0.269	-0.241	-0.259	-0.371
T (°C)_1	-0.227	0.391	0.828	0.460
pH_1	0.290	0.201	0.353	0.163
Cond. (uS/cm)	-0.084	0.712	0.593	0.728
DO (ppm)_1	0.230	-0.524	-0.847	-0.512
Fósforo Disu	0.050	0.331	0.379	0.940
Fósforo Tota	-0.024	0.396	0.446	0.971
Nitrato [NO3	0.016	0.366	0.580	0.835
Nitrito [NO2	0.045	0.303	0.298	0.762
Nitrógeno Am	-0.119	0.311	0.438	0.724
Nitrógeno To	-0.119	0.311	0.438	0.724
Nitrógeno Di	-0.003	0.367	0.561	0.844
Nitrógeno To	0.008	0.359	0.553	0.853
Clorofila a	-0.590	-0.108	-0.235	-0.233
Fecha_2	0.055	-0.050	0.172	-0.004
Flow (m3/s)_	-0.150	-0.305	-0.334	-0.393
T (°C)_2	-0.073	-0.309	-0.152	-0.385
pH_2	0.349	0.241	0.616	0.269
Cond. (uS/cm)	-0.043	0.232	0.460	0.783
DO (ppm)_2	0.208	-0.405	-0.681	-0.364
Fósforo Disu	-0.070	0.364	0.339	0.911

Fósforo Tota	-0.293	0.251	0.064	0.588
Nitrato [NO3	0.018	0.490	0.588	0.832
Nitrito [NO2	0.052	0.117	0.266	0.202
Nitrógeno Am	0.100	0.396	0.254	0.610
Nitrógeno To	0.096	0.403	0.265	0.612
Nitrógeno Di	0.040	0.494	0.545	0.825
Nitrógeno To	0.039	0.494	0.544	0.823
Clorofila a	0.006	0.054	0.252	0.687
APORTE PT (K	-0.156	0.746	0.301	0.683
APORTE PT (K	-0.118	0.315	0.031	0.534
APORTE PT (K	-0.402	0.468	0.065	0.485
APORTE NT (K	-0.222	0.160	0.438	0.791
APORTE NT (K	-0.181	0.455	0.163	0.544
APORTE NT (K	-0.163	0.779	0.361	0.573
APORTE PT (K	-0.255	0.593	0.166	0.637
APORTE NT (K	-0.230	0.585	0.391	0.777
Rural	-0.124	-0.137	0.042	-0.211
Urbano	*	*	*	*
Total genera	-0.194	-0.116	0.107	-0.229
fuentes punt	0.384	-0.467	-0.187	-0.148
CBG	-0.425	-0.053	0.188	-0.237
ES	0.038	-0.424	-0.450	-0.517
LNV	0.171	-0.274	-0.115	-0.223
MISC	-0.164	-0.403	-0.196	-0.545
MOL	0.894	-0.063	-0.591	-0.404
NOSU	-0.681	-0.421	0.387	-0.660
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	-0.136	-0.376	-0.440	-0.456
0 - 0	-0.370	-0.232	-0.331	-0.331
0-3	-0.297	-0.261	-0.286	-0.352
3 a 5	-0.299	-0.224	-0.247	-0.294
5 a 8	-0.311	-0.227	-0.216	-0.303
8 a 15	-0.246	-0.299	-0.299	-0.419
15 a 20	-0.171	-0.348	-0.399	-0.500
20 - 30	-0.119	-0.350	-0.444	-0.510
30 - 50	-0.104	-0.318	-0.438	-0.482
>50	-0.182	-0.295	-0.418	-0.469

	Fósforo Tota	Nitrato [NO3	Nitrito [NO2	Nitrógeno Am
Nitrato [NO3	0.227			
Nitrito [NO2	0.149	0.822		
Nitrógeno Am	0.143	0.901	0.888	
Nitrógeno To	0.143	0.901	0.888	1.000
Nitrógeno Di	0.209	0.992	0.876	0.944
Nitrógeno To	0.206	0.991	0.878	0.946
Fecha_1	0.343	0.409	0.387	0.464
Flow (m3/s)_	-0.234	-0.224	-0.204	-0.266
T (°C)_1	0.231	0.557	0.369	0.479
pH_1	0.183	0.269	0.423	0.499
Cond. (uS/cm	0.660	0.706	0.439	0.665
DO (ppm)_1	-0.377	-0.540	-0.372	-0.463
Fósforo Disu	0.435	0.819	0.766	0.763
Fósforo Tota	0.470	0.875	0.793	0.811
Nitrato [NO3	0.367	0.918	0.884	0.901
Nitrito [NO2	0.416	0.792	0.860	0.776
Nitrógeno Am	0.325	0.863	0.705	0.859
Nitrógeno To	0.325	0.863	0.705	0.859
Nitrógeno Di	0.377	0.935	0.887	0.920
Nitrógeno To	0.373	0.938	0.891	0.920
Clorofila a	-0.185	-0.103	-0.085	-0.075

Fecha_2	-0.078	0.120	-0.081	0.143
Flow (m3/s)_	-0.249	-0.282	-0.250	-0.325
T (°C)_2	-0.327	-0.152	0.088	-0.096
pH_2	0.158	0.421	0.375	0.469
Cond. (uS/cm	0.227	0.946	0.760	0.912
DO (ppm)_2	-0.260	-0.468	-0.350	-0.406
Fósforo Disu	0.450	0.840	0.761	0.795
Fósforo Tota	0.332	0.544	0.493	0.497
Nitrato [NO3	0.490	0.891	0.757	0.865
Nitrito [NO2	0.011	0.357	0.070	0.493
Nitrógeno Am	0.471	0.598	0.471	0.618
Nitrógeno To	0.475	0.604	0.486	0.626
Nitrógeno Di	0.508	0.876	0.727	0.863
Nitrógeno To	0.507	0.875	0.728	0.865
Clorofila a	0.160	0.813	0.893	0.794
APORTE PT (K	0.796	0.311	0.193	0.188
APORTE PT (K	0.372	0.161	0.124	0.197
APORTE PT (K	0.497	0.130	-0.081	-0.081
APORTE NT (K	0.158	0.933	0.735	0.804
APORTE NT (K	0.448	0.350	0.263	0.413
APORTE NT (K	0.770	0.301	0.043	0.173
APORTE PT (K	0.643	0.230	0.089	0.107
APORTE NT (K	0.577	0.633	0.411	0.557
Rural	-0.181	0.040	-0.025	-0.044
Urbano	*	*	*	*
Total genera	-0.190	0.019	-0.052	-0.076
fuentes punt	-0.113	-0.242	-0.131	-0.234
CBG	-0.205	-0.088	-0.171	-0.256
ES	-0.387	-0.485	-0.255	-0.342
LNV	-0.222	-0.231	-0.137	-0.217
MISC	-0.389	-0.345	-0.256	-0.338
MOL	-0.122	-0.473	-0.490	-0.627
NOSU	-0.413	-0.521	-0.411	-0.524
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	-0.520	0.023	-0.485	*
0 - 0	-0.240	-0.127	-0.124	-0.166
0-3	-0.263	-0.125	-0.097	-0.157
3 a 5	-0.230	-0.065	-0.039	-0.095
5 a 8	-0.221	-0.075	-0.006	-0.088
8 a 15	-0.277	-0.208	-0.093	-0.197
15 a 20	-0.319	-0.306	-0.189	-0.280
20 - 30	-0.315	-0.324	-0.235	-0.303
30 - 50	-0.288	-0.288	-0.226	-0.280
>50	-0.276	-0.267	-0.217	-0.268

	Nitrógeno To	Nitrógeno Di	Nitrógeno To	Fecha_1
Nitrógeno Di	0.944			
Nitrógeno To	0.946	1.000		
Fecha_1	0.464	0.432	0.433	
Flow (m3/s)_	-0.266	-0.238	-0.237	0.130
T (°C)_1	0.479	0.544	0.540	0.552
pH_1	0.499	0.340	0.341	0.697
Cond. (uS/cm	0.665	0.690	0.688	0.524
DO (ppm)_1	-0.463	-0.527	-0.525	-0.386
Fósforo Disu	0.763	0.825	0.826	0.421
Fósforo Tota	0.811	0.879	0.881	0.407
Nitrato [NO3	0.901	0.941	0.941	0.544
Nitrito [NO2	0.776	0.815	0.817	0.315
Nitrógeno Am	0.859	0.868	0.871	0.573
Nitrógeno To	0.859	0.868	0.871	0.573

Nitrógeno Di	0.920	0.956	0.956	0.554
Nitrógeno To	0.920	0.958	0.959	0.526
Clorofila a	-0.075	-0.100	-0.096	-0.037
Fecha_2	0.143	0.105	0.101	0.456
Flow (m3/s)_	-0.325	-0.297	-0.298	0.125
T (°C)_2	-0.096	-0.118	-0.113	-0.024
pH_2	0.469	0.442	0.436	0.331
Cond. (uS/cm	0.912	0.946	0.945	0.401
DO (ppm)_2	-0.406	-0.461	-0.460	-0.264
Fósforo Disu	0.795	0.846	0.849	0.365
Fósforo Tota	0.497	0.545	0.549	0.160
Nitrato [NO3	0.865	0.900	0.899	0.622
Nitrito [NO2	0.493	0.363	0.361	0.322
Nitrógeno Am	0.618	0.603	0.601	0.585
Nitrógeno To	0.626	0.610	0.608	0.600
Nitrógeno Di	0.863	0.884	0.883	0.653
Nitrógeno To	0.865	0.884	0.883	0.653
Clorofila a	0.794	0.837	0.840	0.279
APORTE PT (K	0.188	0.282	0.283	0.214
APORTE PT (K	0.197	0.167	0.172	0.130
APORTE PT (K	-0.081	0.070	0.073	-0.039
APORTE NT (K	0.804	0.912	0.913	0.276
APORTE NT (K	0.413	0.362	0.367	0.442
APORTE NT (K	0.173	0.258	0.256	0.456
APORTE PT (K	0.107	0.196	0.199	0.119
APORTE NT (K	0.557	0.612	0.614	0.487
Rural	-0.044	0.019	0.017	0.091
Urbano	*	*	*	*
Total genera	-0.076	-0.006	-0.008	0.001
fuentes punt	-0.234	-0.235	-0.240	0.372
CBG	-0.256	-0.129	-0.131	0.317
ES	-0.342	-0.454	-0.447	-0.603
LNV	-0.217	-0.226	-0.228	0.220
MISC	-0.338	-0.341	-0.338	0.077
MOL	-0.627	-0.507	-0.507	*
NOSU	-0.524	-0.526	-0.519	0.075
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	*	0.009	0.006	-0.321
0 - 0	-0.166	-0.139	-0.136	-0.095
0-3	-0.157	-0.133	-0.131	0.001
3 a 5	-0.095	-0.071	-0.069	0.029
5 a 8	-0.088	-0.074	-0.071	0.118
8 a 15	-0.197	-0.202	-0.199	0.073
15 a 20	-0.280	-0.300	-0.297	-0.041
20 - 30	-0.303	-0.323	-0.320	-0.111
30 - 50	-0.280	-0.291	-0.289	-0.157
>50	-0.268	-0.272	-0.270	-0.167
	Flow (m3/s)_	T (°C)_1	pH_1	Cond. (uS/cm
T (°C)_1	-0.153			
pH_1	-0.141	0.426		
Cond. (uS/cm	-0.227	0.607	0.370	
DO (ppm)_1	0.531	-0.773	-0.325	-0.605
Fósforo Disu	-0.222	0.320	0.180	0.645
Fósforo Tota	-0.287	0.412	0.201	0.716
Nitrato [NO3	-0.259	0.643	0.470	0.702
Nitrito [NO2	-0.186	0.238	0.206	0.538
Nitrógeno Am	-0.066	0.484	0.385	0.794
Nitrógeno To	-0.066	0.484	0.385	0.794
Nitrógeno Di	-0.234	0.617	0.458	0.732

Nitrógeno To	-0.253	0.597	0.443	0.726
Clorofila a	0.171	-0.001	-0.191	-0.088
Fecha_2	0.482	0.197	0.237	0.293
Flow (m3/s)_	0.885	-0.291	-0.201	-0.308
T (°C)_2	0.186	-0.012	0.182	-0.457
pH_2	-0.284	0.580	0.504	0.385
Cond. (uS/cm	-0.135	0.538	0.275	0.774
DO (ppm)_2	0.513	-0.627	-0.238	-0.449
Fósforo Disu	-0.208	0.326	0.224	0.667
Fósforo Tota	-0.022	0.041	0.073	0.414
Nitrato [NO3	-0.165	0.655	0.505	0.824
Nitrito [NO2	-0.086	0.375	0.389	0.637
Nitrógeno Am	-0.001	0.244	0.338	0.704
Nitrógeno To	-0.001	0.260	0.361	0.709
Nitrógeno Di	-0.137	0.601	0.501	0.854
Nitrógeno To	-0.135	0.599	0.502	0.857
Clorofila a	-0.071	0.234	0.166	0.395
APORTE PT (K	-0.202	0.258	-0.110	0.632
APORTE PT (K	-0.068	0.223	-0.101	0.431
APORTE PT (K	-0.104	-0.055	-0.398	0.359
APORTE NT (K	-0.202	0.389	0.060	0.643
APORTE NT (K	0.000	0.407	0.137	0.675
APORTE NT (K	-0.060	0.327	0.044	0.750
APORTE PT (K	-0.147	0.160	-0.225	0.535
APORTE NT (K	-0.104	0.461	0.101	0.851
Rural	0.795	0.112	-0.040	-0.044
Urbano	*	*	*	*
Total genera	0.652	0.191	-0.110	-0.052
fuentes punt	0.483	-0.306	0.071	-0.225
CBG	0.996	0.254	-0.063	-0.100
ES	-0.158	-0.472	-0.209	-0.604
LNV	0.298	-0.163	-0.003	-0.364
MISC	0.306	-0.326	0.072	-0.582
MOL	-0.670	0.472	-0.173	-0.734
NOSU	0.449	-0.415	0.018	-0.655
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	0.434	-0.294	-0.277	0.011
0 - 0	0.785	-0.209	-0.148	-0.234
0-3	0.855	-0.187	-0.100	-0.268
3 a 5	0.812	-0.152	-0.069	-0.222
5 a 8	0.853	-0.148	0.011	-0.230
8 a 15	0.881	-0.260	0.001	-0.333
15 a 20	0.862	-0.368	-0.067	-0.397
20 - 30	0.844	-0.410	-0.129	-0.387
30 - 50	0.832	-0.386	-0.166	-0.331
>50	0.830	-0.355	-0.165	-0.305
	DO (ppm)_1	Fósforo Disu	Fósforo Tota	Nitrato [NO3
Fósforo Disu	-0.328			
Fósforo Tota	-0.446	0.966		
Nitrato [NO3	-0.606	0.795	0.863	
Nitrito [NO2	-0.324	0.834	0.866	0.801
Nitrógeno Am	-0.454	0.739	0.815	0.804
Nitrógeno To	-0.454	0.739	0.815	0.804
Nitrógeno Di	-0.587	0.818	0.887	0.994
Nitrógeno To	-0.581	0.823	0.895	0.993
Clorofila a	-0.043	-0.218	-0.209	-0.102
Fecha_2	0.169	0.157	0.041	0.008
Flow (m3/s)_	0.628	-0.182	-0.318	-0.347
T (°C)_2	0.045	-0.406	-0.323	0.010

pH_2	-0.630	0.210	0.217	0.524
Cond. (uS/cm	-0.423	0.801	0.851	0.852
DO (ppm)_2	0.930	-0.175	-0.317	-0.519
Fósforo Disu	-0.374	0.903	0.939	0.827
Fósforo Tota	-0.185	0.579	0.600	0.510
Nitrato [NO3	-0.564	0.790	0.858	0.947
Nitrito [NO2	-0.282	0.163	0.209	0.263
Nitrógeno Am	-0.185	0.742	0.651	0.535
Nitrógeno To	-0.197	0.741	0.652	0.548
Nitrógeno Di	-0.511	0.821	0.856	0.903
Nitrógeno To	-0.511	0.821	0.855	0.901
Clorofila a	-0.236	0.791	0.815	0.784
APORTE PT (K	-0.301	0.599	0.625	0.342
APORTE PT (K	-0.053	0.455	0.493	0.209
APORTE PT (K	-0.102	0.388	0.393	0.031
APORTE NT (K	-0.443	0.805	0.852	0.759
APORTE NT (K	-0.250	0.462	0.546	0.414
APORTE NT (K	-0.302	0.514	0.508	0.290
APORTE PT (K	-0.185	0.540	0.564	0.222
APORTE NT (K	-0.405	0.722	0.773	0.589
Rural	0.210	-0.134	-0.153	0.035
Urbano	*	*	*	*
Total genera	0.095	-0.165	-0.184	0.025
fuentes punt	0.469	0.153	-0.141	-0.262
CBG	0.575	-0.161	-0.158	-0.110
ES	0.274	-0.455	-0.418	-0.485
LNV	0.362	0.025	-0.189	-0.242
MISC	0.316	-0.366	-0.445	-0.437
MOL	0.088	-0.563	-0.564	-0.351
NOSU	0.422	-0.546	-0.533	-0.634
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	0.293	-0.388	-0.604	-0.244
0 - 0	0.382	-0.245	-0.281	-0.162
0-3	0.440	-0.216	-0.270	-0.148
3 a 5	0.386	-0.163	-0.210	-0.080
5 a 8	0.403	-0.148	-0.197	-0.081
8 a 15	0.501	-0.237	-0.315	-0.218
15 a 20	0.566	-0.319	-0.410	-0.332
20 - 30	0.588	-0.342	-0.431	-0.367
30 - 50	0.562	-0.344	-0.411	-0.333
>50	0.517	-0.354	-0.401	-0.313

	Nitrito [NO2	Nitrógeno Am	Nitrógeno To	Nitrógeno Di
Nitrógeno Am	0.789			
Nitrógeno To	0.789	1.000		
Nitrógeno Di	0.840	0.863	0.863	
Nitrógeno To	0.844	0.856	0.856	0.999
Clorofila a	-0.113	-0.090	-0.090	-0.104
Fecha_2	-0.117	0.240	0.240	0.037
Flow (m3/s)_	-0.226	-0.156	-0.156	-0.322
T (°C)_2	-0.017	-0.145	-0.145	-0.016
pH_2	0.260	0.309	0.309	0.493
Cond. (uS/cm	0.768	0.904	0.904	0.886
DO (ppm)_2	-0.305	-0.387	-0.387	-0.504
Fósforo Disu	0.848	0.788	0.788	0.852
Fósforo Tota	0.584	0.516	0.516	0.534
Nitrato [NO3	0.771	0.872	0.872	0.959
Nitrito [NO2	0.004	0.509	0.509	0.295
Nitrógeno Am	0.600	0.692	0.692	0.583
Nitrógeno To	0.600	0.694	0.694	0.594

Nitrógeno Di	0.767	0.887	0.887	0.925
Nitrógeno To	0.767	0.889	0.889	0.923
Clorofila a	0.958	0.765	0.765	0.820
APORTE PT (K	0.435	0.389	0.389	0.368
APORTE PT (K	0.226	0.307	0.307	0.233
APORTE PT (K	0.094	0.119	0.119	0.050
APORTE NT (K	0.750	0.832	0.832	0.797
APORTE NT (K	0.326	0.564	0.564	0.447
APORTE NT (K	0.236	0.415	0.415	0.317
APORTE PT (K	0.287	0.301	0.301	0.246
APORTE NT (K	0.524	0.734	0.734	0.630
Rural	-0.015	0.088	0.088	0.041
Urbano	*	*	*	*
Total genera	-0.040	0.007	0.007	0.019
fuentes punt	-0.161	-0.256	-0.256	-0.262
CBG	-0.179	-0.051	-0.051	-0.107
ES	-0.183	-0.413	-0.413	-0.471
LNV	-0.167	-0.297	-0.297	-0.253
MISC	-0.245	-0.269	-0.269	-0.411
MOL	-0.558	-0.715	-0.715	-0.464
NOSU	-0.354	-0.266	-0.266	-0.582
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	0.500	0.072	0.072	-0.164
0 - 0	-0.104	-0.079	-0.079	-0.151
0-3	-0.088	-0.074	-0.074	-0.138
3 a 5	-0.029	-0.027	-0.027	-0.072
5 a 8	-0.010	0.002	0.002	-0.067
8 a 15	-0.115	-0.106	-0.106	-0.202
15 a 20	-0.195	-0.189	-0.189	-0.313
20 - 30	-0.209	-0.191	-0.191	-0.342
30 - 50	-0.189	-0.151	-0.151	-0.308
>50	-0.179	-0.129	-0.129	-0.287

	Nitrógeno To	Clorofila a	Fecha_2	Flow (m3/s)_
Clorofila a	-0.112			
Fecha_2	0.019	-0.074		
Flow (m3/s)_	-0.342	0.120	0.560	
T (°C)_2	-0.021	0.235	-0.477	0.034
pH_2	0.478	-0.207	0.019	-0.367
Cond. (uS/cm	0.884	-0.101	0.285	-0.207
DO (ppm)_2	-0.499	-0.099	0.354	0.653
Fósforo Disu	0.861	-0.077	0.030	-0.258
Fósforo Tota	0.544	0.242	-0.063	-0.053
Nitrato [NO3	0.954	-0.142	0.182	-0.273
Nitrito [NO2	0.288	0.017	0.587	-0.146
Nitrógeno Am	0.569	-0.063	0.536	0.097
Nitrógeno To	0.579	-0.072	0.531	0.096
Nitrógeno Di	0.917	-0.130	0.292	-0.203
Nitrógeno To	0.915	-0.130	0.295	-0.201
Clorofila a	0.825	-0.076	-0.055	-0.117
APORTE PT (K	0.365	-0.232	-0.043	-0.202
APORTE PT (K	0.233	-0.133	0.079	-0.126
APORTE PT (K	0.063	-0.054	-0.046	-0.068
APORTE NT (K	0.802	-0.125	0.110	-0.236
APORTE NT (K	0.439	0.021	0.203	-0.132
APORTE NT (K	0.306	-0.173	0.328	-0.031
APORTE PT (K	0.250	-0.162	-0.011	-0.149
APORTE NT (K	0.623	-0.113	0.268	-0.160
Rural	0.028	0.109	0.324	0.585
Urbano	*	*	*	*

Total genera	0.008	0.308	0.250	0.456
fuentes punt	-0.276	-0.127	0.634	0.787
CBG	-0.116	-0.170	0.626	0.885
ES	-0.454	0.282	-0.353	-0.220
LNV	-0.275	-0.008	0.445	0.504
MISC	-0.434	-0.106	0.085	0.388
MOL	-0.461	-0.275	-0.417	-0.075
NOSU	-0.587	-0.170	0.133	0.474
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	-0.221	0.438	-0.160	0.309
0 - 0	-0.163	0.482	0.142	0.626
0-3	-0.155	0.367	0.267	0.730
3 a 5	-0.089	0.373	0.241	0.670
5 a 8	-0.086	0.307	0.305	0.734
8 a 15	-0.222	0.231	0.324	0.805
15 a 20	-0.331	0.197	0.277	0.794
20 - 30	-0.358	0.160	0.245	0.776
30 - 50	-0.321	0.141	0.198	0.741
>50	-0.299	0.213	0.162	0.707
	T (°C)_2	pH_2	Cond. (uS/cm	DO (ppm)_2
pH_2	0.136			
Cond. (uS/cm	-0.268	0.360		
DO (ppm)_2	-0.122	-0.630	-0.326	
Fósforo Disu	-0.246	0.176	0.804	-0.269
Fósforo Tota	-0.110	-0.037	0.468	-0.143
Nitrato [NO3	-0.110	0.490	0.881	-0.446
Nitrito [NO2	-0.418	0.272	0.531	-0.168
Nitrógeno Am	-0.538	0.260	0.681	-0.059
Nitrógeno To	-0.529	0.274	0.682	-0.070
Nitrógeno Di	-0.229	0.467	0.892	-0.381
Nitrógeno To	-0.236	0.471	0.894	-0.383
Clorofila a	0.082	0.223	0.781	-0.234
APORTE PT (K	-0.565	-0.074	0.358	-0.152
APORTE PT (K	-0.496	-0.277	0.313	0.105
APORTE PT (K	-0.634	-0.417	0.093	0.009
APORTE NT (K	-0.304	0.217	0.897	-0.393
APORTE NT (K	-0.416	-0.093	0.502	-0.157
APORTE NT (K	-0.705	-0.014	0.369	-0.125
APORTE PT (K	-0.632	-0.273	0.281	-0.030
APORTE NT (K	-0.593	0.038	0.713	-0.270
Rural	0.393	0.184	0.080	0.190
Urbano	*	*	*	*
Total genera	0.408	0.212	0.056	0.105
fuentes punt	-0.482	-0.076	-0.229	0.564
CBG	0.113	-0.526	-0.045	0.587
ES	0.388	-0.393	-0.438	0.213
LNV	-0.073	-0.032	-0.199	0.477
MISC	0.375	-0.160	-0.391	0.255
MOL	0.620	0.552	-0.682	-0.400
NOSU	0.531	-0.601	-0.515	0.409
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	0.399	0.474	-0.007	-0.032
0 - 0	0.423	-0.107	-0.117	0.322
0-3	0.425	-0.128	-0.091	0.417
3 a 5	0.436	-0.079	-0.034	0.368
5 a 8	0.418	-0.143	-0.041	0.401
8 a 15	0.391	-0.182	-0.171	0.487
15 a 20	0.379	-0.166	-0.259	0.523
20 - 30	0.361	-0.141	-0.268	0.523

30 - 50	0.368	-0.107	-0.230	0.476
>50	0.391	-0.117	-0.219	0.424

	Fósforo Disu	Fósforo Tota	Nitrato [NO3	Nitrito [NO2
Fósforo Tota	0.819			
Nitrato [NO3	0.857	0.553		
Nitrito [NO2	0.207	0.069	0.408	
Nitrógeno Am	0.677	0.512	0.675	0.438
Nitrógeno To	0.677	0.512	0.683	0.435
Nitrógeno Di	0.861	0.571	0.983	0.466
Nitrógeno To	0.859	0.570	0.981	0.472
Clorofila a	0.799	0.537	0.720	-0.013
APORTE PT (K	0.530	0.324	0.433	0.023
APORTE PT (K	0.402	0.176	0.286	0.201
APORTE PT (K	0.370	0.416	0.093	-0.046
APORTE NT (K	0.774	0.493	0.726	0.329
APORTE NT (K	0.458	0.209	0.511	0.447
APORTE NT (K	0.422	0.247	0.452	0.310
APORTE PT (K	0.488	0.349	0.307	0.050
APORTE NT (K	0.669	0.381	0.687	0.449
Rural	-0.113	-0.057	0.081	0.002
Urbano	*	*	*	*
Total genera	-0.163	-0.111	0.036	-0.017
fuentes punt	-0.232	-0.230	-0.271	-0.166
CBG	-0.123	-0.125	0.021	-0.093
ES	-0.417	-0.466	-0.563	-0.251
LNV	-0.261	-0.335	-0.245	-0.200
MISC	-0.373	-0.179	-0.416	-0.284
MOL	-0.476	-0.402	-0.467	-0.399
NOSU	-0.532	-0.548	-0.608	-0.252
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	-0.150	0.302	-0.169	-0.030
0 - 0	-0.070	0.301	-0.108	-0.115
0-3	-0.109	0.164	-0.093	-0.120
3 a 5	-0.056	0.187	-0.030	-0.102
5 a 8	-0.041	0.199	-0.021	-0.113
8 a 15	-0.173	0.101	-0.168	-0.162
15 a 20	-0.277	0.022	-0.285	-0.174
20 - 30	-0.307	-0.007	-0.315	-0.159
30 - 50	-0.293	0.001	-0.285	-0.133
>50	-0.255	0.077	-0.261	-0.123

	Nitrógeno Am	Nitrógeno To	Nitrógeno Di	Nitrógeno To
Nitrógeno To	0.999			
Nitrógeno Di	0.796	0.803		
Nitrógeno To	0.802	0.809	1.000	
Clorofila a	0.513	0.512	0.705	0.704
APORTE PT (K	0.462	0.465	0.461	0.463
APORTE PT (K	0.266	0.263	0.301	0.303
APORTE PT (K	0.233	0.230	0.129	0.130
APORTE NT (K	0.562	0.565	0.732	0.735
APORTE NT (K	0.431	0.433	0.531	0.534
APORTE NT (K	0.622	0.625	0.523	0.526
APORTE PT (K	0.365	0.365	0.336	0.338
APORTE NT (K	0.662	0.665	0.727	0.731
Rural	-0.052	-0.054	0.053	0.052
Urbano	*	*	*	*
Total genera	-0.120	-0.127	0.000	-0.002
fuentes punt	0.448	0.453	-0.127	-0.123
CBG	-0.076	-0.072	-0.003	-0.009

ES	-0.585	-0.608	-0.607	-0.609
LNV	0.155	0.149	-0.164	-0.163
MISC	-0.167	-0.164	-0.383	-0.379
MOL	-0.778	-0.804	-0.602	-0.623
NOSU	-0.541	-0.551	-0.609	-0.609
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	0.056	0.069	-0.099	-0.067
0 - 0	-0.070	-0.071	-0.108	-0.107
0-3	-0.055	-0.056	-0.093	-0.092
3 a 5	-0.030	-0.031	-0.035	-0.035
5 a 8	0.004	0.007	-0.020	-0.020
8 a 15	-0.040	-0.035	-0.151	-0.148
15 a 20	-0.094	-0.091	-0.259	-0.255
20 - 30	-0.105	-0.104	-0.286	-0.281
30 - 50	-0.125	-0.124	-0.265	-0.260
>50	-0.137	-0.135	-0.248	-0.243

	Clorofila a	APORTE PT (K	APORTE PT (K	APORTE PT (K
APORTE PT (K	0.243			
APORTE PT (K	0.141	0.773		
APORTE PT (K	-0.034	0.764	0.587	
APORTE NT (K	0.776	0.387	0.245	0.308
APORTE NT (K	0.231	0.692	0.846	0.452
APORTE NT (K	0.050	0.867	0.619	0.729
APORTE PT (K	0.131	0.951	0.854	0.884
APORTE NT (K	0.416	0.809	0.716	0.618
Rural	0.096	-0.286	-0.253	-0.327
Urbano	*	*	*	*
Total genera	0.067	-0.312	-0.281	-0.368
fuentes punt	-0.148	-0.041	-0.132	0.076
CBG	-0.073	-0.187	-0.056	0.044
ES	-0.127	-0.420	-0.178	-0.384
LNV	-0.088	-0.218	-0.206	-0.259
MISC	-0.153	-0.457	-0.497	-0.446
MOL	-0.495	-0.364	-0.724	-0.185
NOSU	-0.242	-0.458	-0.558	-0.450
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	0.012	-0.304	-0.333	-0.187
0 - 0	-0.013	-0.338	-0.301	-0.170
0-3	0.026	-0.359	-0.306	-0.267
3 a 5	0.079	-0.336	-0.298	-0.274
5 a 8	0.102	-0.321	-0.279	-0.270
8 a 15	-0.003	-0.368	-0.321	-0.277
15 a 20	-0.092	-0.403	-0.352	-0.286
20 - 30	-0.116	-0.389	-0.343	-0.271
30 - 50	-0.104	-0.357	-0.315	-0.247
>50	-0.097	-0.351	-0.309	-0.218

	APORTE NT (K	APORTE NT (K	APORTE NT (K	APORTE PT (K
APORTE NT (K	0.384			
APORTE NT (K	0.354	0.702		
APORTE PT (K	0.354	0.721	0.835	
APORTE NT (K	0.696	0.870	0.858	0.795
Rural	-0.049	-0.129	-0.185	-0.324
Urbano	*	*	*	*
Total genera	-0.088	-0.183	-0.240	-0.359
fuentes punt	-0.211	-0.300	0.337	-0.044
CBG	-0.130	0.113	0.198	-0.089
ES	-0.404	-0.438	-0.677	-0.383
LNV	-0.230	-0.366	-0.089	-0.252

MISC	-0.292	-0.639	-0.418	-0.507
MOL	-0.655	-0.791	-0.288	-0.386
NOSU	-0.401	-0.578	-0.450	-0.491
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	-0.137	-0.301	-0.323	-0.304
0 - 0	-0.176	-0.282	-0.283	-0.301
0-3	-0.178	-0.287	-0.285	-0.347
3 a 5	-0.127	-0.264	-0.271	-0.338
5 a 8	-0.126	-0.239	-0.249	-0.324
8 a 15	-0.225	-0.320	-0.283	-0.358
15 a 20	-0.295	-0.384	-0.324	-0.387
20 - 30	-0.300	-0.382	-0.318	-0.373
30 - 50	-0.267	-0.331	-0.300	-0.343
>50	-0.253	-0.310	-0.302	-0.328

	APORTE NT (K	Rural	Urbano	Total genera
Rural	-0.153			
Urbano	*	*		
Total genera	-0.214	0.935	*	
fuentes punt	-0.129	-0.104	*	-0.104
CBG	0.039	0.934	*	0.685
ES	-0.647	-0.154	*	0.048
LNV	-0.276	0.170	*	0.209
MISC	-0.563	0.078	*	-0.045
MOL	-0.807	0.431	*	0.431
NOSU	-0.584	0.314	*	0.226
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	-0.334	0.595	*	0.595
0 - 0	-0.304	0.771	*	0.706
0-3	-0.307	0.814	*	0.740
3 a 5	-0.272	0.807	*	0.742
5 a 8	-0.252	0.763	*	0.667
8 a 15	-0.337	0.737	*	0.619
15 a 20	-0.408	0.737	*	0.615
20 - 30	-0.407	0.757	*	0.627
30 - 50	-0.366	0.793	*	0.657
>50	-0.353	0.793	*	0.664

	fuentes punt	CBG	ES	LNV
CBG	*			
ES	-0.259	-0.439		
LNV	0.864	0.329	0.145	
MISC	0.384	0.155	0.341	0.562
MOL	0.064	-1.000	-0.866	0.226
NOSU	-0.197	0.337	0.575	0.673
PCN	*	*	*	*
(en blanco)	-0.173	0.229	-0.857	-0.254
0 - 0	-0.060	0.893	-0.037	0.120
0-3	0.094	0.901	0.041	0.335
3 a 5	0.040	0.863	0.060	0.341
5 a 8	0.115	0.898	0.044	0.349
8 a 15	0.308	0.903	0.051	0.414
15 a 20	0.353	0.889	0.094	0.436
20 - 30	0.341	0.882	0.067	0.395
30 - 50	0.204	0.889	-0.039	0.233
>50	0.039	0.926	-0.041	0.104

	MISC	MOL	NOSU	PCN
MOL	-0.013			
NOSU	0.952	0.950		

PCN	*	*	*	
(en blanco)	0.096	*	-1.000	*
0 - 0	0.332	0.651	0.376	*
0-3	0.469	0.416	0.443	*
3 a 5	0.474	0.263	0.402	*
5 a 8	0.550	-0.084	0.527	*
8 a 15	0.629	-0.135	0.629	*
15 a 20	0.660	-0.092	0.685	*
20 - 30	0.623	-0.152	0.681	*
30 - 50	0.479	-0.573	0.574	*
>50	0.411	-0.514	0.570	*
	(en blanco)	0 - 0	0-3	3 a 5
0 - 0	0.809			
0-3	0.685	0.954		
3 a 5	0.679	0.942	0.994	
5 a 8	0.555	0.901	0.979	0.977
8 a 15	0.613	0.882	0.958	0.941
15 a 20	0.763	0.886	0.937	0.914
20 - 30	0.854	0.882	0.909	0.881
30 - 50	0.896	0.880	0.879	0.848
>50	0.897	0.916	0.889	0.857
	5 a 8	8 a 15	15 a 20	20 - 30
8 a 15	0.977			
15 a 20	0.927	0.979		
20 - 30	0.874	0.936	0.986	
30 - 50	0.825	0.884	0.948	0.984
>50	0.834	0.881	0.937	0.970
	30 - 50			
>50	0.992			

Cell Contents: Pearson correlation

* NOTE * Not enough data in column.

* NOTE * All values in column are identical.



ANEXO 5. Certificados de análisis de laboratorio



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso,
 Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos, Escuela de Agronomía
 Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar
 Calle San Francisco s/n, La Palma, Casilla 4-D, Quillota, Chile
 Fonos: 56-32-2274556; Fono Fax: 56-32-2274523; E-mail: labsuelo@pucv.cl



Laboratorio acreditado por INN, Instituto Nacional de Normalización (Norma Chilena ISO 17025)

Informe ensayo
 Varios en suelo
 RG-7.8.2-P

Nº informe: 8 083/20

Nombre cliente: Edáfica EIRL
 Dirección cliente: Serrano 958, Valdivia

Fecha muestreo: 01.07.20
 Fecha ingreso muestra(s): 07.07.20
 Fecha inicio análisis: 13.07.20
 Fecha término análisis: 21.07.20
 Fecha elaboración informe: 23.07.20

Tipo de muestra: Suelo orgánico
 Muestreado por: Cliente

Nº del laboratorio	Identificación muestra	Nitrógeno disponible (mg/kg)	Fósforo disponible (mg/kg)	Nitrógeno soluble (mg/kg)	Fósforo soluble (mg/kg)	Nitrógeno total (mg/kg)	Fósforo total (mg/kg)	Carbono orgánico (%)	Relación C/N	Densidad aparente (g/cm³)
Nº de método		8.3*	8.1**	---	4500-PE****	3.18.1*****	1.102.105.3*****	7.1**	14.1***	8.0****
Condición Acreditación INN NCh ISO 17025 Cf. 2005 según LE-790		Si	Si	No	No	No	Si	No	No	No
Incertidumbre expandida		0,2	0,0007	---	---	---	---	---	---	---
Rango medido		21 - 35	10,1 - 20,0	---	---	---	---	---	---	---
362 S20	Punto 1 Bosque 0-12cm	24,0	10,4	6,13	0,36	0,49	0,09	9,41	19,2	0,80
363 S20	Punto 1 Bosque 12-30cm	13,0	5,89	2,17	0,16	0,24	0,06	2,89	12,2	0,88
364 S20	Punto 2 Pradera 0-22 cm	16,1	8,55	3,78	0,11	0,30	0,07	3,21	10,5	1,12
365 S20	Punto 2 F Pradera 22-40cm	41,7	6,62	3,81	0,12	0,28	0,05	0,71	5,29	1,43

Observaciones: ppm = mg/kg

Referencia método:

- * Sadzawka A. 1990. Métodos de Análisis de Suelos. INIA, Santiago.
- ** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., Mora M. L., Flores H., Neaman A. 2006. Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile. INIA, Santiago.
- *** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., y Mora M. L., 2005. Métodos de Análisis de Compost. INIA, Santiago.
- **** Soriano M. y Pons V. 2001. Prácticas de Edafología y Climatología. P. 63, p 67. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- ***** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition. 2007.
- ***** Método validado. Sadzawka A., Grez R., Carrasco M. A., Mora M. L. 2004. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.
- ***** Sadzawka A., Carrasco M. A., Demanet R., Flores H., Grez R., Mora M. L. Neaman A. 2007. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.

Según la Norma Chilena 17025, no se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados informados son válidos sólo para la(s) muestra(s) analizada(s).

En el caso de subcontratación de ensayos, el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar es responsable de los análisis subcontratados.

NOTA: El Laboratorio sólo se responsabiliza por el Análisis Químico efectuado a la muestra, no así de la representatividad del material proporcionado por el interesado.

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.

Yasna Andrea Peña Plaza
 Analista Químico
 Jefe de Laboratorio

Timbre digitalizado por Yasna Andrea Peña Plaza
 Fecha: 2020-07-24
 10:27:03 -05:00'



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso,
 Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos, Escuela de Agronomía
 Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar
 Calle San Francisco s/n, La Palma, Casilla 4-D, Quillota, Chile
 Fonos: 56-32-2274556; Fono Fax: 56-32-2274523; E-mail: labsuelo@pucv.cl



Laboratorio acreditado por INN, Instituto Nacional de Normalización (Norma Chilena ISO 17025)

Informe ensayo
 Varios en suelo
 RG-7.8.2-P

Nº informe: 8 083/20

Nombre cliente: Edáfica EIRL
 Dirección cliente: Serrano 958, Valdivia

Fecha muestreo: 01.07.20
 Fecha ingreso muestra(s): 07.07.20
 Fecha inicio análisis: 13.07.20
 Fecha término análisis: 21.07.20
 Fecha elaboración informe: 23.07.20

Tipo de muestra: Suelo orgánico
 Muestreado por: Cliente

Nº del laboratorio	Identificación muestra	Nitrógeno disponible (mg/kg)	Fósforo disponible (mg/kg)	Nitrógeno soluble (mg/kg)	Fósforo soluble (mg/kg)	Nitrógeno total (mg/kg)	Fósforo total (mg/kg)	Carbono orgánico (%)	Relación C/N	Densidad aparente (g/cm³)
Nº de método		8.3*	8.3**	---	4500-PE*****	3.18, 1.1*****	1.102.105.3*****	7.1**	14.1***	8.0****
Condición Acreditación INN NCh ISO 17025 Cf. 2005 según LE-790		Si	Si	No	No	No	Si	No	No	No
Incertidumbre expandida		0,2	0,0007	---	---	---	---	---	---	---
Rango medio		21 - 35	10,1 - 20,0	---	---	---	---	---	---	---
366 S20	Punto 3 P Forestal 0-30cm	25,7	12,4	3,25	0,17	0,55	0,11	11,2	20,4	0,77
367 S20	Punto 3 P Forestal 30-50cm	11,8	2,18	1,79	0,18	0,28	0,10	2,95	10,5	0,82
368 S20	Punto 4 Humedad 0-10cm	36,5	23,5	5,48	0,40	1,51	0,11	24,5	15,3	0,38
369 S20	Punto 4 Humedad 12-40cm	19,8	13,5	9,23	0,08	1,83	0,04	18,7	11,5	0,41

Observaciones: ppm = mg/kg

- Referencia método:
- * Sadzawka A. 1990. Métodos de Análisis de Suelos. INIA, Santiago.
 - ** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., Mora M. L., Flores H., Neaman A. 2006. Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile. INIA, Santiago.
 - *** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., y Mora M. L., 2005. Métodos de Análisis de Compost. INIA, Santiago.
 - **** Soriano M. y Pons V. 2001. Prácticas de Edafología y Climatología. P. 53, p 67. Universidad Politécnica de Valencia, España.
 - ***** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition. 2007.
 - ***** Método validado. Sadzawka A., Grez R., Carrasco M. A., Mora M. L. 2004. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.
 - ***** Sadzawka A., Carrasco M. A., Demanet R., Flores H., Grez R., Mora M. L. Neaman A. 2007. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.

Según la Norma Chilena 17025, no se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados informados son válidos sólo para la(s) muestra(s) analizada(s).
 En el caso de subcontratación de ensayos, el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar es responsable de los análisis subcontratados.

NOTA: El Laboratorio sólo se responsabiliza por el Análisis Químico efectuado a la muestra, no así de la representatividad del material proporcionado por el interesado.
 Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.

Yasna Andrea Peña Plaza
 Analista Químico
 Jefe de Laboratorio

Laboratorio acreditado por INN, Instituto Nacional de Normalización (Norma Chilena ISO 17025)

Informe ensayo
Varios en suelo
RG-7.8.2-P

Nº informe: 8 083/20

Nombre cliente: Edáfica EIRL
Dirección cliente: Serrano 958, Valdivia

Fecha muestreo: 01.07.20
Fecha ingreso muestra(s): 07.07.20
Fecha inicio análisis: 13.07.20
Fecha término análisis: 21.07.20
Fecha elaboración informe: 23.07.20

Tipo de muestra: Suelo orgánico
Muestreado por: Cliente

Nº del laboratorio	Identificación muestra	Nitrógeno disponible (mg/kg)	Fósforo disponible (mg/kg)	Nitrógeno soluble (mg/kg)	Fósforo soluble (mg/kg)	Nitrógeno total (mg/kg)	Fósforo total (mg/kg)	Carbono orgánico (%)	Relación C/N	Densidad aparente (g/cm ³)
Nº de método		8.3 [*]	8.1 ^{**}	—	4500-PE ^{****}	3.18.1 ^{*****}	1.102.105.3 ^{*****}	7.1 ^{**}	14.1 ^{**}	8.0 ^{****}
Condición Acreditación INN NCh ISO 17025 Of. 2005 según LE-790		Si	Si	No	No	No	Si	No	No	No
Incertidumbre expandida		0,2	0,0007	—	—	—	—	—	—	—
Rango medio		21 - 35	10,1 - 20,0	—	—	—	—	—	—	—
370 S20	Punto 5 P Forestal 0-19cm	9,87	13,5	2,09	6,75	0,41	0,09	6,64	16,3	1,01
371 S20	Punto 6 Pradera 0-29cm	10,6	13,1	3,39	9,83	0,57	0,09	9,02	15,8	0,81
372 S20	Punto 6 Pradera 29-60cm	37,5	6,24	1,40	0,13	0,20	0,05	2,93	14,5	0,94
373 S20	Punto 7 P Forestal 0-22cm	10,3	10,9	3,47	0,30	0,39	0,07	14,5	37,6	0,87

Observaciones: ppm = mg/kg

Referencia método:

- * Sadzawka A. 1990. Métodos de Análisis de Suelos. INIA, Santiago.
 ** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., Mora M. L., Flores H., Neaman A. 2006. Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile. INIA, Santiago.
 *** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., y Mora M. L., 2005. Métodos de Análisis de Compost. INIA, Santiago.
 **** Soriano M. y Pons V. 2001. Prácticas de Edafología y Climatología. P. 53, p 67. Universidad Politécnica de Valencia, España.
 ***** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition. 2007.
 ***** Método validado. Sadzawka A., Grez R., Carrasco M. A., Mora M. L. 2004. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.
 ***** Sadzawka A., Carrasco M. A., Demanet R., Flores H., Grez R., Mora M. L. Neaman A. 2007. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.

Según la Norma Chilena 17025, no se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados informados son válidos sólo para la(s) muestra(s) analizada(s).

En el caso de subcontratación de ensayos, el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar es responsable de los análisis subcontratados.

NOTA: El Laboratorio sólo se responsabiliza por el Análisis Químico efectuado a la muestra, no así de la representatividad del material proporcionado por el interesado. Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.

Yasna Andrea
Peña Plaza
Analista Químico
Jefe de Laboratorio

Vinculo digitalizado por
Yasna Andrea Peña Plaza
Fecha de inicio de trabajo
02/07/2020



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso,
 Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos, Escuela de Agronomía
 Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar
 Calle San Francisco s/n, La Palma, Casilla 4-D, Quilicura, Chile
 Fonos: 56-32-2274556; Fono Fax: 56-32-2274523; E-mail: labsuelo@pucv.cl



Laboratorio acreditado por INN, Instituto Nacional de Normalización (Norma Chilena ISO 17025)

Informe ensayo
 Varios en suelo
 RG-7.8.2-P

Nº informe: 8 083/20

Nombre cliente: Edáfica EIRL
 Dirección cliente: Serrano 958, Valdivia

Fecha muestreo: 01.07.20
 Fecha ingreso muestra(s): 07.07.20
 Fecha inicio análisis: 13.07.20
 Fecha término análisis: 21.07.20
 Fecha elaboración informe: 23.07.20

Tipo de muestra: Suelo orgánico
 Muestreado por: Cliente

Nº del laboratorio	Identificación muestra	Nitrógeno disponible (mg/kg)	Fósforo disponible (mg/kg)	Nitrógeno soluble (mg/kg)	Fósforo soluble (mg/kg)	Nitrógeno total (mg/kg)	Fósforo total (mg/kg)	Carbono orgánico (%)	Relación C/N	Densidad aparente (g/cm³)
Nº de método		8.3*	8.3**	---	4500-PE****	3.18, 1.1****	1.102, 0.5.3****	7.1**	14.1**	8.0****
Condición Acreditación INN NCh ISO 17025 Cf. 2005 según LE-790		Si	Si	No	No	No	Si	No	No	No
Incertidumbre expandida		0,2	0,0007	---	---	---	---	---	---	---
Rango medido		21 - 35	10,1 - 20,0	---	---	---	---	---	---	---
374 S20	Punto 7 P Forestal 22-50cm	9,17	6,97	1,39	0,08	0,15	0,05	2,15	13,9	0,97
375 S20	Punto 8 Nativo 0-12cm	9,45	25,9	2,13	0,15	0,40	0,08	11,0	27,5	0,78
376 S20	Punto 8 Nativo 12-45cm	8,75	11,5	1,35	0,33	0,21	0,06	2,88	11,5	1,01
377 S20	Punto 9 Pradera 0-18cm	14,4	85,9	3,28	0,36	0,34	0,12	10,5	15,6	0,77

Observaciones: ppm = mg/kg

- Referencia método:
- * Sadzawka A. 1990. Métodos de Análisis de Suelos. INIA, Santiago.
 - ** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., Mora M. L., Flores H., Neaman A. 2006. Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile. INIA, Santiago.
 - *** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., y Mora M. L., 2005. Métodos de Análisis de Compost. INIA, Santiago.
 - **** Soriano M. y Pons V. 2001. Prácticas de Edafología y Climatología. P. 53, p 67. Universidad Politécnica de Valencia, España.
 - ***** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition. 2007.
 - ***** Método validado. Sadzawka A., Grez R., Carrasco M. A., Mora M. L. 2004. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.
 - ***** Sadzawka A., Carrasco M. A., Demanet R., Flores H., Grez R., Mora M. L. Neaman A. 2007. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.

Según la Norma Chilena 17025, no se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados informados son válidos sólo para la(s) muestra(s) analizada(s).

En el caso de subcontratación de ensayos, el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar es responsable de los análisis subcontratados.

NOTA: El Laboratorio sólo se responsabiliza por el Análisis Químico efectuado a la muestra, no así de la representatividad del material proporcionado por el interesado.

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.

Yasna Andrea
 Peña Plaza
 Analista Químico
 Jefe de Laboratorio



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso,
 Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos, Escuela de Agronomía
 Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar
 Calle San Francisco s/n, La Palma, Casilla 4-D, Quilicura, Chile
 Fonos: 56-32-2274556; Fono Fax: 56-32-2274523; E-mail: labsuelo@pucv.cl



Laboratorio acreditado por INN, Instituto Nacional de Normalización (Norma Chilena ISO 17025)

Informe ensayo
 Varios en suelo
 RG-7.8.2-P

Nº Informe: 8 083/20

Nombre cliente: Edáfica EIRL
 Dirección cliente: Serrano 958, Valdivia
 Tipo de muestra: Suelo orgánico
 Muestreado por: Cliente

Fecha muestreo: 01.07.20
 Fecha ingreso muestra(s): 07.07.20
 Fecha inicio análisis: 13.07.20
 Fecha término análisis: 21.07.20
 Fecha elaboración informe: 23.07.20

Nº del laboratorio	Identificación muestra	Nitrógeno disponible (mg/kg)	Fósforo disponible (mg/kg)	Nitrógeno soluble (mg/kg)	Fósforo soluble (mg/kg)	Nitrógeno total (mg/kg)	Fósforo total (mg/kg)	Carbono orgánico (%)	Relación C/N	Densidad aparente (g/cm³)
Nº de método		8.3*	8.1**	—	4500-PE****	3.1/5.1****	1.1/2.1/5.6****	7.1**	14.1**	8.0****
Condición Acreditación INN NCH ISO 17025 Cf. 2005 según LE-790		SI	SI	No	No	No	SI	No	No	No
Incertidumbre expandida		0.2	0.0007	—	—	—	—	—	—	—
Rango medido		21 - 35	10.1 - 20.0	—	—	—	—	—	—	—
378 S20	Punto 10 B Nativo 0-15cm	9.17	17.5	2.10	0.31	0.50	0.09	12.8	25.6	0.76
379 S20	Punto 10 B Nativo 15-45cm	7.45	12.5	1.65	0.15	0.23	0.06	4.13	17.3	0.88
380 S20	Punto 11 Humedal 0-25cm	10.7	8.23	1.74	0.10	0.45	0.06	5.72	12.3	0.77
381 S20	Punto 11 Humedal 25-45cm	6.37	5.43	0.57	1.49	0.14	0.02	1.38	9.74	1.05

Observaciones: ppm = mg/kg

Referencia método:
 * Sadzawka A. 1990. Métodos de Análisis de Suelos. INIA, Santiago.
 ** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., Mora M. L., Flores H., Neaman A. 2006. Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile. INIA, Santiago.
 *** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., y Mora M. L., 2005. Métodos de Análisis de Compost. INIA, Santiago.
 **** Soriano M. y Pons V. 2001. Prácticas de Edafología y Climatología. P. 63, p 67. Universidad Politécnica de Valencia, España.
 ***** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, 2007.
 ***** Método validado. Sadzawka A., Grez R., Carrasco M. A., Mora M. L. 2004. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.
 ***** Sadzawka A., Carrasco M. A., Demanet R., Flores H., Grez R., Mora M. L. Neaman A. 2007. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.

Según la Norma Chilena 17025, no se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados informados son válidos sólo para la(s) muestra(s) analizada(s).
 En el caso de subcontratación de ensayos, el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar es responsable de los análisis subcontratados.

NOTA: El Laboratorio sólo se responsabiliza por el Análisis Químico efectuado a la muestra, no así de la representatividad del material proporcionado por el interesado.
 Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.

Yasna Andrea Formado digitalmente en:
 Peña Plaza
 Fecha: 2020.07.24 10:24:17
 CDFE
 Peña Plaza
 Analista Químico
 Jefe de Laboratorio



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso,
 Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos, Escuela de Agronomía
 Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar
 Calle San Francisco s/n, La Palma, Casilla 4-D, Quilicura, Chile
 Fonos: 56-32-2274556; Fono Fax: 56-32-2274523; E-mail: labsuelo@pucv.cl



Laboratorio acreditado por INN, Instituto Nacional de Normalización (Norma Chilena ISO 17025)

Informe ensayo
 Varios en suelo
 RG-7.8.2-P

Nº Informe: 8 083/20

Nombre cliente: Edáfica EIRL
 Dirección cliente: Serrano 958, Valdivia
 Tipo de muestra: Suelo orgánico
 Muestreado por: Cliente

Fecha muestreo: 01.07.20
 Fecha ingreso muestra(s): 07.07.20
 Fecha inicio análisis: 13.07.20
 Fecha término análisis: 21.07.20
 Fecha elaboración informe: 23.07.20

Nº del laboratorio	Identificación muestra	Nitrógeno disponible (mg/kg)	Fósforo disponible (mg/kg)	Nitrógeno soluble (mg/kg)	Fósforo soluble (mg/kg)	Nitrógeno total (mg/kg)	Fósforo total (mg/kg)	Carbono orgánico (%)	Relación C/N	Densidad aparente (g/cm³)
Nº de método		8.3*	8.1**	—	4500-PE*****	3.1/5.1*****	1.1/2.1/5.6*****	7.1**	14.1**	8.0****
Condición Acreditación INN NCh ISO 17025 Cf. 2005 según LE-790		SI	SI	No	No	No	SI	No	No	No
Incertidumbre expandida		0,2	0,0007	—	—	—	—	—	—	—
Rango medido		21 - 35	10,1 - 20,0	—	—	—	—	—	—	—
382 S20	Punto 12 Pradera 0-15cm	14,9	7,00	9,73	0,27	0,41	0,07	4,36	10,7	1,03
383 S20	Punto 12 Pradera 16-35cm	7,07	2,18	2,31	0,29	0,28	0,06	4,08	14,5	1,07
384 S20	Punto 13 B Nativo 0-10cm	15,8	11,7	4,91	0,41	0,24	0,07	10,3	42,6	0,91
385 S20	Punto 13 B Nativo 10-40cm	10,3	3,84	2,44	0,10	0,23	0,04	2,91	12,5	1,10

Observaciones: ppm = mg/kg

Referencia método:
 * Sadzawka A. 1990. Métodos de Análisis de Suelos. INIA, Santiago.
 ** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., Mora M. L., Flores H., Neaman A. 2006. Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile. INIA, Santiago.
 *** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., y Mora M. L., 2005. Métodos de Análisis de Compost. INIA, Santiago.
 **** Soriano M. y Pons V. 2001. Prácticas de Edafología y Climatología. P. 63, p 67. Universidad Politécnica de Valencia. España.
 ***** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition. 2007.
 ***** Método validado. Sadzawka A., Grez R., Carrasco M. A., Mora M. L. 2004. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.
 ***** Sadzawka A., Carrasco M. A., Demanet R., Flores H., Grez R., Mora M. L. Neaman A. 2007. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.

Según la Norma Chilena 17025, no se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados informados son válidos sólo para la(s) muestra(s) analizada(s).
 En el caso de subcontratación de ensayos, el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar es responsable de los análisis subcontratados.

NOTA: El Laboratorio sólo se responsabiliza por el Análisis Químico efectuado a la muestra, no así de la representatividad del material proporcionado por el interesado.
 Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.

Yasna Andrea
 Peña Plaza
 Analista Químico
 Jefe de Laboratorio



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso,
 Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos, Escuela de Agronomía
 Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar
 Calle San Francisco s/n, La Palma, Casilla 4-D, Quilicura, Chile
 Fonos: 56-32-2274556; Fono Fax: 56-32-2274523; E-mail: labsuelo@pucv.cl



Laboratorio acreditado por INN, Instituto Nacional de Normalización (Norma Chilena ISO 17025)

Informe ensayo
 Varios en suelo
 RG-7.8.2-P

Nº informe: 8 083/20

Nombre cliente: Edáfica EIRL
 Dirección cliente: Serrano 958, Valdivia

Fecha muestreo: 01.07.20
 Fecha ingreso muestra(s): 07.07.20
 Fecha inicio análisis: 13.07.20
 Fecha término análisis: 21.07.20
 Fecha elaboración informe: 23.07.20

Tipo de muestra: Suelo orgánico
 Muestreado por: Cliente

Nº del laboratorio	Identificación muestra	Nitrógeno disponible (mg/kg)	Fósforo disponible (mg/kg)	Nitrógeno soluble (mg/kg)	Fósforo soluble (mg/kg)	Nitrógeno total (mg/kg)	Fósforo total (mg/kg)	Carbono orgánico (%)	Relación C/N	Densidad aparente (g/cm³)
Nº de método		8.3*	8.1**	—	4500-PE*****	3.18, 1*****	1.12, 0.53*****	7.1**	14.1**	8.0****
Condición Acreditación INN NCh ISO 17025 Cf. 2005 según LE-790		Si	Si	No	No	No	Si	No	No	No
Incertidumbre expandida		0,2	0,0007	—	—	—	—	—	—	—
Rango medio		21 - 35	10,1 - 20,0	—	—	—	—	—	—	—
386 S20	Punto 14 P Forestal 0-12cm	14,9	30,5	2,11	14,6	0,48	0,11	21,8	45,1	0,86
387 S20	Punto 14 P Forestal 12-30cm	53,6	3,52	2,55	0,25	0,25	0,05	4,26	17,1	1,00
Observaciones: ppm = mg/kg										

Referencia método:

- * Sadzawka A. 1990. Métodos de Análisis de Suelos. INIA, Santiago.
- ** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., Mora M. L., Flores H., Neaman A. 2006. Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile. INIA, Santiago.
- *** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., y Mora M. L., 2005. Métodos de Análisis de Compost. INIA, Santiago.
- **** Soriano M. y Pons V. 2001. Prácticas de Edafología y Climatología. P. 53, p 67. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- ***** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition. 2007.
- ***** Método validado. Sadzawka A., Grez R., Carrasco M. A., Mora M. L. 2004. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.
- ***** Sadzawka A., Carrasco M. A., Demanet R., Flores H., Grez R., Mora M. L. Neaman A. 2007. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.

Según la Norma Chilena 17025, no se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados informados son válidos sólo para la(s) muestra(s) analizada(s).
 En el caso de subcontratación de ensayos, el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar es responsable de los análisis subcontratados.

NOTA: El Laboratorio sólo se responsabiliza por el Análisis Químico efectuado a la muestra, no así de la representatividad del material proporcionado por el interesado.
 Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.

Yasna Andrea Peña Plaza
 Analista Químico
 Jefe de Laboratorio

Laboratorio acreditado por INN, Instituto Nacional de Normalización (Norma Chilena ISO 17025)

Informe ensayo
Varios en suelo
RG-7.8.2-P

N° Informe: S 084/20

Nombre cliente: Edáfica EIRL
Dirección cliente: Semano 958, Valdivia

Fecha muestreo: Sin información
Fecha ingreso muestra(s): 10.07.20
Fecha inicio análisis: 13.07.20
Fecha término análisis: 21.07.20
Fecha elaboración informe: 23.07.20

Tipo de muestra: Suelo orgánico
Muestreado por: Cliente

Nº del laboratorio	Identificación muestra	Nitrógeno disponible (mg/kg)	Fósforo disponible (mg/kg)	Nitrógeno soluble (mg/kg)	Fósforo soluble (mg/kg)	Nitrógeno total (mg/kg)	Fósforo total (mg/kg)	Carbono orgánico (%)	Relación C/N	Densidad aparente (g/cm ³)
Nº de método		6.3*	6.1**	—	450-PP***	3.1/5.1****	1.1/2.1/5.8*****	7.1**	14.1***	6.0****
Condición Acreditación INN NCh ISO 17025 Cf. 2005 según LE-790		SI	SI	No	No	No	SI	No	No	No
Incertidumbre expandida		0,2	0,0007	—	—	—	—	—	—	—
Rango medio		21 - 35	10,1 - 20,0	—	—	—	—	—	—	—
388 S20	Punto 9, Pradera 18-40cm	8,33	9,83	1,47	4,23	0,30	0,09	4,86	16,4	0,92
389 S20	Punto 5, P. Forestal 19-40cm	5,25	5,58	0,77	16,5	0,07	0,07	0,44	5,99	1,51

Observaciones: ppm = mg/kg

Referencia método:

- * Sadzawka A. 1990. Métodos de Análisis de Suelos. INIA, Santiago.
 ** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., Mora M. L., Flores H., Neaman A. 2006. Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile. INIA, Santiago.
 *** Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., y Mora M. L., 2005. Métodos de Análisis de Compost. INIA, Santiago.
 **** Soriano M. y Pons V. 2001. Prácticas de Edafología y Climatología. P. 63, p 67. Universidad Politécnica de Valencia. España.
 ***** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition. 2007.
 ***** Método validado. Sadzawka A., Grez R., Carrasco M. A., Mora M. L. 2004. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.
 ***** Sadzawka A., Carrasco M. A., Demaret R., Flores H., Grez R., Mora M. L. Neaman A. 2007. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. INIA, Santiago.

Según la Norma Chilena 17025, no se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados informados son válidos sólo para la(s) muestra(s) analizada(s).

En el caso de subcontratación de ensayos, el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar es responsable de los análisis subcontratados.

NOTA: El Laboratorio sólo se responsabiliza por el Análisis Químico efectuado a la muestra, no así de la representatividad del material proporcionado por el interesado. Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.

Yasna Andrea Peña Plaza
Analista Químico
Jefe de Laboratorio

Firmado digitalmente por
Yasna Andrea Peña Plaza
Fecha: 2020.07.23
17:38:57 -0400

ANEXO 6. Guía de variables y descriptores de suelos

Clases de capacidad de uso (SAG, 2016)

Clase de Capacidad de Uso	Descripción	Atributos Críticos
Clase I	Tienen pocas limitaciones que restrinjan su uso. Los rendimientos que se obtienen, utilizando prácticas convenientes de cultivo y manejo, son altos en relación con los de la zona. Para ser usados agrícolamente, se necesitan prácticas de manejo simples con el fin de mantener la productividad.	<p>No existe atributo crítico por tratarse de suelos con las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suelos planos o casi planos. • Profundos. • Sin pedregosidad superficial y subsuperficial. • Texturas medias. • Bien drenados. • Erosión no aparente.
Clase II	Presentan ligeras limitaciones que Pueden afectar el desarrollo de los cultivos, por lo que podría requerir algunas prácticas de conservación. Las restricciones más frecuentes son: pendientes hasta 5%, profundidad no inferior a 70 cm o drenaje moderado.	<ul style="list-style-type: none"> • Suelos suavemente inclinados o ligeramente ondulados. • moderadamente profundos. • Texturas medias, que pueden variar a extremos más arcillosos o arenosos que la clase anterior. • drenaje moderado. • ligeramente pedregosos en el perfil. • ligera erosión.
Clase III	Presentan limitaciones al laboreo en el caso de suelos con pendientes cercanas a 8% o en por presentar hasta un 15% de pedregosidad en superficie. También puede presentar limitaciones de arraigamiento para especies con raíces profundas. Los suelos de esta clase requieren prácticas de conservación de suelo.	<ul style="list-style-type: none"> • moderadamente inclinados o suavemente ondulados. • ligeramente pedregosos y gravosos y ligeramente profundos. • Texturas finas a gruesas. • drenaje imperfecto. • moderada pedregosidad en el perfil. • moderada erosión. • inundación frecuente. • ligeramente sódicos. • ligeramente salinos.
Clase IV	Terrenos que pueden presentar riesgo de erosión por pendientes, por lo que requiere prácticas de conservación en el laboreo del suelo. Estos suelos corresponden a la última categoría de suelos arables sin grandes riesgos de erosión con un manejo adecuado. Aun cuando pueden presentar otras limitaciones, poseen pendientes de hasta un 15% o bien una profundidad no superior a 40 cm.	<ul style="list-style-type: none"> • fuertemente inclinado o moderadamente ondulado. • abundante pedregosidad superficial. • delgados. • Texturas finas a muy gruesas. • drenaje imperfecto • moderada pedregosidad en el perfil. • erosión moderada. • inundaciones frecuentes. • moderadamente sódico. • moderadamente salino.
Clase V	Suelos inundados con presencia de especies vegetales de características de hidromórficas. Por lo general corresponden a suelos depresionales, sin cota suficiente para evacuar exceso de agua. Presentan generalmente una estrata impermeable como por ejemplo un horizonte plácico o una estrata arcillosa. Regularmente presenta una estrata superior con un alto contenido de materia orgánica (sobre 20%)	Pobrementemente drenados a muy pobrementemente drenados, con inundación permanente.

Clase de Capacidad de Uso	Descripción	Atributos Críticos
Clase VI	Corresponden a suelos no aptos para laboreo cuando el parámetro de restrictivo es la pendiente. Su uso normal es ganadería y forestal, salvo cuando han sido clasificado en esta categoría por condiciones de salinidad (> a 4 dS/m), situación en la cual su uso está dado por la adaptabilidad de ciertas especies a suelos salinos.	moderadamente escarpados o de lomajes. abundante pedregosidad superficial. Profundos a delgados. Texturas finas a muy gruesas. excesivamente drenado. abundante pedregosidad en el perfil erosión severa. fuertemente sódicos. muy salino.
Clase VII	Son suelos con limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para los cultivos. Su uso fundamental es pastoreo y para explotación forestal. Las restricciones de suelos son más severas que en la Clase VI.	escarpados o de cerros. Muy delgados. muy abundante pedregosidad superficial Texturas finas a muy gruesas. excesivamente drenado. muy severa erosión. inundaciones muy frecuentes. muy fuertemente sódico. Extremadamente salinos.
Clase VIII	Corresponde a suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal. Su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación o protección de hoyas hidrográficas.	Dos a o más atributos críticos de la clase VII a la vez.

CLASIFICACIONES INTERPRETATIVAS (CIREN)

a) Capacidad de Uso de los Suelos

La agrupación de los Suelos en Clase, Subclase y Unidades de Capacidad de Uso es una ordenación de los suelos existentes para señalar su relativa adaptabilidad a ciertos cultivos. Además, indica las dificultades y riesgos que se pueden presentar al usarlos. Está basada en la Capacidad de la Tierra para producir, señalando las limitaciones naturales de los suelos.

Las clases convencionales para definir las Clases de Capacidad de Uso son ocho, designándose con números romanos del I al VIII, ordenadas según sus crecientes limitaciones y riesgos en el uso.

a.1. Clases de Capacidad de Uso

Tierras adaptadas para cultivos

CLASE I

Los suelos clase I tienen pocas limitaciones que restrinjan su uso. Son suelos casi planos, profundos, bien drenados, fáciles de trabajar, poseen buena capacidad de retención de humedad y la fertilidad natural es buena o responden en muy buena forma a las aplicaciones de fertilizantes. Los rendimientos que se obtienen, utilizando prácticas convenientes de cultivo y manejo, son altos en relación con los de la zona. Los suelos se adaptan para cultivos intensivos. En su uso se necesitan prácticas de manejo simples para mantener su productividad y conservar su fertilidad natural.

CLASE II

Los suelos Clase II presentan algunas limitaciones que reducen la elección de los cultivos o requieren moderadas prácticas de conservación. Corresponden a suelos planos con ligeras pendientes. Son suelos profundos o moderadamente profundos, de buena permeabilidad y drenaje, presentan texturas favorables, que pueden variar a extremos más arcillosos o arenosos que la Clase anterior.

Las limitaciones más corrientes son :

- Pendiente suave.
- Moderada susceptibilidad a la erosión por agua o viento o efecto adverso moderado de erosión pasada.
- Profundidad menor que la ideal.

- Estructura y facilidad de laboreo desfavorable.
- Ligera a moderada salinidad o sodicidad fácilmente corregible pero con posibilidad de recurrencia.
- Humedad corregible por drenaje, pero existe siempre como una limitación moderada.
- Limitaciones climáticas ligeras.

Estas limitaciones pueden presentarse solas o combinadas.

CLASE III

Los suelos de la Clase III presentan moderadas limitaciones en su uso y restringen la elección de cultivos, aunque pueden ser buenas para ciertos cultivos. Tienen severas limitaciones que reducen la elección de plantas o requieren de prácticas especiales de conservación o de ambas.

Las limitaciones más corrientes para esta Clase pueden resultar del efecto de una o más de las siguientes condiciones:

- Relieve moderadamente inclinado a suavemente ondulado.
- Alta susceptibilidad a la erosión por agua o vientos o severos efectos adversos de erosiones pasadas.
- Suelo delgado sobre un lecho rocoso, hardpan, fragipán, etc., que limita la zona de arraigamiento y almacenamiento de agua.
- Permeabilidad muy lenta en el subsuelo
- Baja capacidad de retención de agua
- Baja fertilidad no fácil de corregir
- Humedad excesiva o algún anegamiento continuo después de drenaje
- Limitaciones climáticas moderadas
- Inundación frecuente acompañada a algún daño a los cultivos.

Los suelos de esta Clase requieren prácticas moderadas de conservación y manejo.

CLASE IV

Los suelos de la Clase IV presentan severas limitaciones de uso que restringen la elección de cultivos. Estos suelos al ser cultivados, requieren muy cuidadosas prácticas de manejo y de conservación, más difíciles de aplicar y mantener que las de la Clase III. Los suelos en Clase IV pueden usarse para cultivos, praderas, frutales, praderas de secano, etc. Los suelos de esta clase pueden estar adaptados sólo para dos o tres de los cultivos comunes y la cosecha producida puede ser baja en relación a los gastos sobre un período largo de tiempo.

Las limitaciones más usuales para los cultivos de esta Clase se refieren a :

- Suelos delgados
- Pendientes pronunciadas
- Relieve moderadamente ondulado y disectado
- Baja capacidad de retención de agua
- Humedad excesiva con riesgos continuos de anegamiento después del drenaje
- Severa susceptibilidad a la erosión por agua o viento o severa erosión efectiva.

Tierras de uso limitado; generalmente no adaptadas para cultivos

CLASE V

Los suelos de Clase V tienen escaso o ningún riesgo de erosión, pero presentan otras limitaciones que no pueden removerse en forma práctica y que limitan su uso a empastadas, praderas naturales de secano (range) o forestales.

Los suelos de esta Clase son casi planos, demasiado húmedos o pedregosos y/o rocosos para ser cultivados. Están condicionados a inundaciones frecuentes y prolongadas o salinidad excesiva.

Los suelos son planos o plano inclinado (piedmont) y que por efectos climáticos no tienen posibilidad de cultivarse, pero poseen buena aptitud para la producción de praderas todo el año o parte de él; como ejemplo puede citarse: turbas, pantanos, mallines, ñadis, etc.; es decir suelos demasiado húmedos o inundados pero susceptibles de ser drenados, no para cultivos sino para producción de pasto. Otros suelos en posición de piedmont en valles andinos y/o costinos por razones de clima (pluviometría o estación de crecimiento demasiado corta, etc.), no pueden ser cultivados pero donde los suelos pueden emplearse en la producción de praderas o forestal.

CLASE VI

Los suelos Clase VI corresponden a suelos inadecuados para los cultivos y su uso está limitado a pastos y forestales. Los suelos tienen limitaciones continuas que no pueden ser corregidas, tales como: pendientes pronunciadas, susceptibles a severa erosión; efectos de erosión antigua, pedregosidad excesiva, zona radicular poco profunda, excesiva humedad o anegamientos, clima severo, baja retención de humedad, alto contenido de sales o sodio.

CLASE VII

Son suelos con limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para los cultivos. Su uso fundamental es pastoreo y forestal. Las restricciones de suelos son más severas que en la Clase VI por una o más de las limitaciones siguientes que no pueden corregirse: pendientes muy pronunciadas, erosión, suelo delgado, piedras, humedad, sales o sodio, clima no favorable, etc.

CLASE VIII

Corresponde a suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal. Su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación o protección de hoyas hidrográficas.

a.2. Sub-clase de Capacidad de Uso

Está constituida por un grupo de suelos dentro de una Clase que posee el mismo tipo de limitaciones que se reconocen a este nivel y son :

s :	suelo
w :	humedad, drenaje o inundación
e :	riesgo de erosión o efectos de antiguas erosiones
cl:	clima

a.3. Unidades de Capacidad de Uso

En Chile se utilizan las siguientes unidades :

0. Suelos que presentan una estrata arenosa gruesa o con muchas gravas que limitan la retención de humedad y la penetración de las raíces.

1. Erosión actual o potencial por agua o viento.
2. Drenaje o riesgos de inundación.
3. Subsuelo o substrato de permeabilidad lenta o muy lenta.
4. Texturas gruesas o con gravas en todo el pedón.
5. Texturas finas en todo el pedón.
6. Salinidad o sodicidad suficiente para constituir una limitación o riesgo permanente.
7. Suficientes fragmentos de rocas superficiales para interferir en las labores actuales.
8. Hardpán, fragipán o lecho rocoso en la zona de arraigamiento.
9. Baja fertilidad inherente al suelo.

b) Categorías de Suelos para Regadío

Una Categoría de Suelos para Regadío consiste en una agrupación de suelos con estos fines que se asemejan con respecto al grado de sus limitaciones y riesgos en su uso.

No puede establecerse una delimitación muy exacta entre las Categorías de Suelos para Regadío, sin embargo, hay ciertas características inherentes a cada una de ellas. A continuación se define brevemente cada una de las seis Categorías.

b.1. Categorías

CATEGORÍA 1

Muy bien adaptada. Los suelos de esta Categoría son muy apropiados para el regadío y tienen escasas limitaciones que restringen su uso. Son suelos planos, profundos a moderadamente profundos, permeables y bien drenados a drenaje moderado, con una buena capacidad de retención de agua.

CATEGORÍA 2

Moderadamente bien adaptada. Los suelos de esta Categoría son moderadamente apropiados para el regadío y poseen algunas limitaciones que reducen la elección de cultivos y/o requieren prácticas especiales de conservación; una pequeña limitación con respecto a cualquiera de las características de los suelos mencionados bajo la Categoría 1ª, coloca generalmente los suelos en Categoría 2.

CATEGORÍA 3

Pobremente adaptada. Los suelos de esta Categoría son poco apropiados para el regadío y poseen serias limitaciones que reducen la elección de cultivos y requieren de prácticas de conservación.

CATEGORÍA 4

Muy pobremente adaptada. Los suelos de esta Categoría son muy poco apropiados para el regadío y tienen limitaciones muy serias que restringen la elección de los cultivos. Requieren un manejo muy cuidadoso y/o prácticas especiales de conservación.

CATEGORÍA 5

Esta es la Categoría de condiciones especiales. Los suelos de la Categoría 5 no cumplen con los requerimientos mínimos para las Categorías 1 a 4. Con condiciones climáticas favorables y prácticas especiales de tratamiento, manejo y conservación pueden ser aptos para ser usados en cultivos especiales.

CATEGORÍA 6

No apta. Los suelos de esta Categoría no son apropiados para el regadío y corresponden a aquellos que no cumplen con los requerimientos mínimos para ser incluidos en las Categorías 1 a 5.

b.2. Subcategorías

Son agrupaciones dentro de cada Categoría en las cuales se indica la causa por la que una superficie determinada se considera inferior a la primera Categoría, éstas deben indicarse colocando como subíndice las letras "s", "t" o "w" al número de la Categoría, si la deficiencia es por "suelo", "topografía" o "drenaje". La Subcategoría refleja el factor más limitante para la condición de riego; sólo en forma muy ocasional y siempre que ello se justifique se podrá usar más de un subíndice.

c) Clases de Drenaje

Sobre la base de las observaciones e inferencias usadas para la obtención del drenaje externo, permeabilidad y drenaje interno se obtienen las Clases de Drenaje.

Seis Clases de Drenaje son usadas en la descripción de los suelos y su definición es como sigue:

Clase 1. Muy pobremente drenado

El agua es removida del suelo tan lentamente que el nivel freático permanece en o sobre la superficie en la mayor parte del tiempo. Los suelos generalmente ocupan lugares planos o deprimidos y están frecuentemente inundados.

Los suelos son suficientemente húmedos para impedir el crecimiento de los cultivos (excepto el arroz), a menos que se les provea de un drenaje artificial.

Clase 2. Pobremente drenado

El agua es removida tan lentamente que el suelo permanece húmedo una gran parte del tiempo. El nivel freático está comúnmente en o cerca de la superficie durante una parte considerable del año. Las condiciones de pobremente drenado son debidas al nivel freático alto, o capas lentamente permeables en el pedón, al escurrimiento o a alguna combinación de estas condiciones.

La gran cantidad de agua que permanece en y sobre los suelos pobremente drenados impide el crecimiento de los cultivos bajo condiciones naturales en la mayoría de los años. El drenaje artificial es generalmente necesario para la producción de cultivo.

Clase 3. Drenaje imperfecto

El agua es removida del suelo lentamente, suficiente para mantenerlo húmedo por períodos, pero no durante todo el tiempo. Los suelos de drenaje imperfecto comúnmente tienen capas lentamente permeables dentro del pedón, niveles freáticos altos, suplementados a través del escurrimiento, o una combinación de estas condiciones. El crecimiento de los cultivos es restringido a menos que se provea un drenaje artificial.

Clase 4. Drenaje moderado

El agua es removida algo lentamente, de tal forma que el pedón está húmedo por poca pero significativa parte del tiempo. Los suelos de drenaje moderado comúnmente tienen capas lentamente permeables dentro o inmediatamente bajo el "solum", un nivel freático relativamente alto, sumado al agua a través del escurrimiento, o alguna combinación de estas condiciones.

Clase 5. Bien drenado

El agua es removida del suelo fácilmente pero no rápidamente. Los suelos bien drenados comúnmente tienen texturas intermedias, aunque los suelos de otras clases texturales pueden también estar bien drenados. Los suelos bien drenados retienen cantidades óptimas de humedad para el crecimiento de las plantas después de lluvias o adiciones de agua de riego.

Clase 6. Excesivamente drenado

El agua es removida del suelo muy rápidamente. Los suelos excesivamente drenados son comúnmente litosoles o litosólicos y pueden ser inclinados, muy porosos o ambos. El agua proveniente de las precipitaciones no es suficiente en estos suelos para la producción de cultivos comunes, por lo que necesitan de riego e incluso así, no pueden lograrse rendimientos máximos en la mayoría de los casos.

Cuando la estructura y porosidad son muy favorables, se puede subir en una clase la aptitud del suelo. A la inversa, cuando estos factores están limitados se puede bajar la aptitud a la clase siguiente. En los suelos estratificados, un quiebre abrupto de textura que provoca un nivel freático suspendido, permite castigar la aptitud del suelo hasta la clase siguiente.

d) Clase de Aptitud Frutal

Uno de los principales problemas que presenta cualquier clasificación, es que sólo considera factores inherentes al suelo y no toma en consideración otros factores como ser climáticos, de fertilidad del suelo, disponibilidad, manejo y calidad de las aguas de riego, etc. que están incidiendo directamente en la productividad de ellos.

En el presente estudio se ha utilizado una pauta elaborada por la Asociación de Especialistas en Agrología, basada en una anterior del DIPROREN-SAG y que consta de cinco clases de aptitudes de acuerdo a las limitaciones que presentan los suelos en relación a los frutales.

Clase A. Sin limitaciones

Suelos cuya profundidad efectiva es superior a 100 cm., textura superficial que varía de areno francosa fina a franco arcillosa y cuyos subsuelos varían de franco arenoso a franco arcilloso; de buen drenaje, pero que pueden presentar moteados escasos, finos, débiles, a más de 100 cm. de profundidad, permeabilidad moderada a moderadamente rápida (2 a 12.5 cm./hora); pendientes entre 0 y 1% y libres de erosión, salinidad inferior a 2 dS/m. y escasos carbonatos (ligera reacción al ácido clorhídrico 1/3).

Clase B. Ligeras limitaciones

Suelos cuya profundidad varía entre 75 y 100 cm., la textura superficial varía entre areno francosa fina y arcillosa y la textura de los subsuelos varía entre franco arenosa y franco arcillosa; el drenaje puede ser bueno a moderado pudiendo presentar moteados escasos, finos, débiles, a más de 75 cm. de profundidad; la permeabilidad varía entre moderada y moderadamente rápida (2 a 12,5 cm/hora); la pendiente debe ser inferior a 3% y la erosión ligera o no existir; la salinidad inferior a 4 dS/m. y escasos carbonatos (ligera reacción al ácido clorhídrico 1/3).

Clase C. Moderadas limitaciones

Suelos cuya profundidad efectiva varía entre 40 y 75 cm.; tanto la textura superficial como la del subsuelo varían entre arenosa fina y arcillosa; el drenaje es excesivo a moderadamente bueno; puede presentar moteado común, medio, distinto, a más de 75 cm. de profundidad; la permeabilidad varía de moderadamente lenta a rápida (0.5 a 25 cm/hora); la pendiente es inferior a 6% y la erosión puede ser moderada; la salinidad inferior a 6 dS/m. y los carbonatos moderados (reacción moderada al ácido clorhídrico 1/3).

Clase D. Severas limitaciones

Suelos cuya profundidad efectiva puede ser inferior a 30 cm., la textura superficial y del subsuelo puede ser cualquiera; el drenaje puede ser imperfecto hacia abajo y presentar cualquier tipo de moteados; permeabilidad varía desde muy lenta a muy rápida (< 0,5 a 25 cm./hora); la pendiente puede ser superior a 6% y la erosión llega hasta severa; la salinidad superior a 8 dS/m.; el contenido de carbonato elevado (fuerte reacción al ácido clorhídrico 1/3).

Clase E. Sin aptitud frutal.

Todos los suelos que por sus características negativas no permiten el desarrollo de las especies frutales.

e) Aptitud Agrícola o Forestal

Es una agrupación convencional de los suelos que presentan características similares en cuanto a su aptitud para el crecimiento de las plantas y se representa bajo un mismo tipo de manejo y está basada en un conjunto de alternativas que relacionan suelo-agua-planta.

Grupo de Aptitud 1:

Corresponde a suelos que no presentan limitaciones para todos los cultivos de la zona. Se incluyen dentro de este grupo los suelos clasificados en Clase I de Capacidad de Uso.

Grupo de Aptitud 2 :

Corresponde a suelos que presentan ligeras limitaciones para todos los cultivos de la zona. Se incluyen en este grupo los suelos clasificados en Clase II de Capacidad de Uso.

Grupo de Aptitud 3 :

Corresponde a suelos que presentan moderadas limitaciones para todos los cultivos de la zona. Se incluyen en este grupo los suelos clasificados en Clase IIIs, IIIe y IIIw de Capacidad de Uso.

Grupo de Aptitud 4 :

Corresponde a suelos que presentan severas limitaciones para los cultivos de la zona. Se incluyen los suelos de Clase IVs, IVw y IVe de Capacidad de Uso.

Grupo de Aptitud 5 :

En este grupo se incluyen preferentemente los suelos de mal drenaje, aptos para maravilla, arroz y pastos. Corresponden a suelos con características especiales, de Clase IIIw, IVw y VIw de Capacidad de Uso.

Grupo de Aptitud 6 :

En este grupo se incluyen los suelos preferentemente para praderas. Corresponden a las Clases VI, VIw y VIe de Capacidad de Uso. Se incluyen también los suelos de Clase VII mal drenados o delgados.

Grupo de Aptitud 7 :

Suelos de aptitud preferentemente forestal, de Clase VII de Capacidad de Uso.

Grupo de Aptitud 8 :

Sin aptitud agrícola ni forestal. Clase VIII de Capacidad de Uso.

f) Situación Actual de Erosión

Erosión es el movimiento de arrastre de las partículas del suelo por los agentes naturales: viento, agua, hielo, etc., indica los daños que se han producido o pueden producirse en el futuro. Al mismo tiempo indica los cambios que se han operado o se están operando en el suelo.

La medida de los fenómenos de la erosión es sólo estimativa, ya que la mayoría de las veces es imposible relacionar los datos con un suelo virgen. La estimación se basa en la remoción efectiva del suelo o de parte de él, en las pérdidas de fertilidad del suelo, cambios de color, afloramiento de materiales parentales, pérdida de vegetación, colores del suelo más claro que lo habitual, pavimento de piedras o "pavimento de erosión", plantas en pedestal e indicadores como cantidad y magnitud de zanjas y surcos.

Las clases de erosión han servido como orientadoras para definir fases de erosión dentro de cada Serie en donde existen problemas, las fases de erosión reflejan la situación actual de deterioro y la forma de utilizar el suelo en un futuro inmediato y se basan en lo que queda del suelo, suelo remanente, y no en la estimación del porcentaje del suelo perdido, lo que tiene demasiadas limitaciones.

Las formas en que se manifiesta la erosión son laminar o de manto, en surcos y en cárcavas:

Erosión Laminar o de Manto: La tierra se va en forma pareja, se elimina más o menos uniformemente toda la extensión del declive. Este tipo de erosión no se percibe fácilmente. Una evidencia de esta erosión son los llamados "pedestales de erosión" que consisten en montículos que quedan ya sea debajo de una piedra o vegetación, que protegen al suelo del impacto de la gota de lluvia.

Erosión en Surcos: Se produce frecuentemente en terrenos nuevos, recién cultivados o en barbecho, descubiertos, consiste en pequeñísimos canales o surcos dispersos irregularmente que va formando el agua al escurrir.

Erosión en Zanjas: Se produce cuando el volumen de agua se concentra, se produce una socavación que corta el terreno en profundidad. La zanja puede tener forma de V que corresponde a la erosión activa o puede tomar la forma de U que corresponde a una erosión que está estabilizándose.

Las Clases de Erosión usadas habitualmente son:

1 Erosión Ligera Existen signos de erosión ligera o de manto. Es difícil explicar en detalle cuales son las características de un suelo con erosión ligera, pero sería significativo observar los cambios de color del suelo superficial, las diferencias en el desarrollo de las plantas que forman la cobertura vegetal, la presencia de piedras en la superficie del suelo o de algunos pedestales de erosión, etc.

2 Erosión Moderada Existen signos claros de erosión de manto y de surcos. Las características señaladas para la erosión ligera se acentúan y por los cambios de color del suelo se puede determinar la definitiva exposición del subsuelo. El desarrollo de la vegetación se observa notoriamente afectado en superficies amplias, luego los pedestales de erosión y pavimento de erosión son bien visibles.

3 Erosión Severa Existe un proceso activo de erosión de manto y cárcavas. Se podría señalar que sólo pequeñas áreas presentan el horizonte superior a la vista, siempre bastante erosionado y el subsuelo es visible en gran parte. La vegetación está seriamente afectada y todos los indicadores de erosión de manto están presentes.

4 Erosión Muy Severa Superficie cubierta por cárcavas profundas. En éstas áreas sólo retazos mínimos revelan que hubo suelo en la zona. Sólo se presenta a la vista el subsuelo y en muchas áreas es visible el material de origen.



ANEXO 7. Especificaciones año climático (resultados EPROaj)

Cuadro 44. Especificaciones clasificación de tipo de año climático según precipitaciones.

Parámetro	Valor (mm)
Media	2880
Desv est	365
Seco ($\leq 1/2$ Desv est)	Valores menores o iguales a 2697
Lluvioso ($\geq 1/2$ Desv est)	Valores mayores o iguales a 3062
Normal	Valores entre 2697 y 3062

Fuente: Resultado modelamiento EPROaj (Edáfica -MMA, 2020)

ANEXO 8. Coeficientes de exportación modelados por EPRO aj según microcuenca

Cuadro 45. Pendiente, promedio de precipitación, escurrimiento superficial y coeficientes de exportación N y P (kg/ha/año y mg/L), por tipo de uso de suelo y tipo de año climático en microcuencas área de estudio.

Microcuenca (n)	Pendiente (%)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Precipitación (mm/año)	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
B-10	23,7	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2401,552	5,176	0,145	0,216	0,006
			Normal	2898,837	2059,993	4,825	0,131	0,234	0,006
			Seco	2554,814	1767,797	4,616	0,097	0,262	0,005
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2648,185	4,344	0,065	0,164	0,002
			Normal	2889,121	2107,796	4,056	0,051	0,193	0,002
			Seco	2430,622	1656,243	3,843	0,049	0,234	0,003
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2753,157	8,443	0,459	0,307	0,017
			Normal	2889,121	2232,675	8,129	0,363	0,365	0,016
			Seco	2430,622	1775,531	7,697	0,346	0,438	0,020
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2744,177	8,255	0,706	0,301	0,026
			Normal	2889,121	2208,705	7,810	0,553	0,354	0,025
			Seco	2430,622	1749,081	7,528	0,528	0,434	0,031
B-11	18,4	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2383,294	5,168	0,101	0,217	0,004
			Normal	2898,837	2042,861	4,817	0,091	0,236	0,004
			Seco	2554,814	1749,420	4,607	0,066	0,264	0,004
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2580,786	4,264	0,044	0,165	0,002
			Normal	2889,121	2050,731	3,988	0,036	0,195	0,002
			Seco	2430,622	1581,848	3,765	0,032	0,241	0,002
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2699,974	8,313	0,316	0,309	0,012
			Normal	2889,121	2170,995	8,000	0,251	0,369	0,012
			Seco	2430,622	1700,612	7,551	0,234	0,449	0,014
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2946,012	8,676	0,486	0,295	0,016
			Normal	2889,121	2405,497	8,305	0,423	0,346	0,018
			Seco	2430,622	1960,091	8,149	0,403	0,419	0,021
B-12	42,1	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2423,345	5,295	0,341	0,219	0,014
			Normal	2898,837	2092,488	4,945	0,313	0,236	0,015
			Seco	2554,814	1795,034	4,740	0,221	0,265	0,012

Microcuenca (n)	Pendiente (%)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Precipitación (mm/año)	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2681,776	4,469	0,154	0,167	0,006
			Normal	2889,121	2155,665	4,178	0,122	0,194	0,006
			Seco	2430,622	1712,153	3,978	0,124	0,235	0,007
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2720,862	8,483	1,023	0,312	0,038
			Normal	2889,121	2204,451	8,188	0,829	0,372	0,038
			Seco	2430,622	1753,428	7,754	0,799	0,446	0,046
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2766,346	8,447	1,619	0,306	0,058
			Normal	2889,121	2237,306	8,016	1,286	0,359	0,058
			Seco	2430,622	1791,810	7,767	1,235	0,437	0,070
B-14	51,4	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2431,856	5,333	0,456	0,220	0,019
			Normal	2898,837	2105,031	4,981	0,420	0,237	0,020
			Seco	2554,814	1801,828	4,769	0,298	0,265	0,017
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2656,838	4,453	0,207	0,168	0,008
			Normal	2889,121	2132,500	4,174	0,167	0,196	0,008
			Seco	2430,622	1687,851	3,979	0,158	0,238	0,010
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2741,693	8,534	1,420	0,312	0,052
			Normal	2889,121	2213,856	8,283	1,082	0,375	0,049
			Seco	2430,622	1769,193	7,870	1,076	0,449	0,062
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2779,803	8,549	2,248	0,308	0,081
			Normal	2889,121	2250,090	8,138	1,693	0,362	0,075
			Seco	2430,622	1811,158	7,915	1,663	0,441	0,093
B-15	39,3	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2438,634	5,295	0,313	0,217	0,013
			Normal	2898,837	2103,305	4,942	0,283	0,235	0,013
			Seco	2554,814	1797,310	4,746	0,199	0,265	0,011
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2648,723	4,416	0,138	0,167	0,005
			Normal	2889,121	2127,357	4,119	0,113	0,194	0,005
			Seco	2430,622	1680,822	3,909	0,104	0,235	0,006
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2736,206	8,500	0,936	0,311	0,034

Microcuenca (n)	Pendiente (%)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Precipitación (mm/año)	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
			Normal	2889,121	2216,165	8,200	0,750	0,371	0,034
			Seco	2430,622	1771,117	7,756	0,736	0,442	0,042
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2772,410	8,445	1,472	0,305	0,053
			Normal	2889,121	2242,544	8,017	1,169	0,358	0,052
			Seco	2430,622	1798,723	7,769	1,117	0,435	0,063
B-16	13,8	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2258,176	5,100	0,065	0,226	0,003
			Normal	2898,837	1931,173	4,739	0,059	0,246	0,003
			Seco	2554,814	1649,691	4,529	0,043	0,275	0,003
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2453,809	4,213	0,029	0,172	0,001
			Normal	2889,121	1949,984	3,943	0,023	0,203	0,001
			Seco	2430,622	1494,763	3,711	0,021	0,251	0,001
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2559,326	8,212	0,209	0,321	0,008
			Normal	2889,121	2056,142	7,897	0,164	0,385	0,008
			Seco	2430,622	1598,885	7,434	0,153	0,470	0,010
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2595,900	8,129	0,321	0,314	0,012
			Normal	2889,121	2078,010	7,702	0,249	0,371	0,012
			Seco	2430,622	1628,245	7,407	0,235	0,459	0,015
B-17	39,2	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2413,892	5,264	0,305	0,218	0,013
			Normal	2898,837	2078,546	4,909	0,278	0,236	0,013
			Seco	2554,814	1782,745	4,695	0,200	0,264	0,011
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2650,241	4,418	0,138	0,167	0,005
			Normal	2889,121	2128,617	4,121	0,113	0,194	0,005
			Seco	2430,622	1682,248	3,911	0,104	0,235	0,006
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2721,675	8,474	0,925	0,312	0,034
			Normal	2889,121	2206,319	8,164	0,747	0,371	0,034
			Seco	2430,622	1758,577	7,718	0,744	0,443	0,043
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2756,585	8,414	1,457	0,306	0,053
			Normal	2889,121	2228,838	7,978	1,159	0,359	0,052

Microcuenca (n)	Pendiente (%)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Precipitación (mm/año)	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
			Seco	2430,622	1782,849	7,719	1,107	0,436	0,063
B-20	38,3	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2428,305	5,284	0,298	0,218	0,012
			Normal	2898,837	2094,349	4,934	0,272	0,236	0,013
			Seco	2554,814	1793,770	4,724	0,193	0,264	0,011
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2615,107	4,366	0,129	0,167	0,005
			Normal	2889,121	2095,072	4,068	0,110	0,195	0,005
			Seco	2430,622	1643,736	3,857	0,099	0,237	0,006
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2736,524	8,499	0,902	0,311	0,033
			Normal	2889,121	2217,488	8,188	0,722	0,370	0,033
			Seco	2430,622	1768,678	7,749	0,711	0,442	0,041
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2739,963	8,373	1,397	0,306	0,051
			Normal	2889,121	2215,473	7,922	1,104	0,358	0,050
			Seco	2430,622	1767,070	7,643	1,092	0,436	0,063
B-4	26,8	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2413,232	5,196	0,174	0,216	0,007
			Normal	2898,837	2070,129	4,844	0,157	0,234	0,008
			Seco	2554,814	1776,084	4,638	0,116	0,262	0,007
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2638,710	4,344	0,077	0,165	0,003
			Normal	2889,121	2102,895	4,054	0,065	0,193	0,003
			Seco	2430,622	1650,855	3,835	0,059	0,235	0,004
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2745,508	8,439	0,548	0,308	0,020
			Normal	2889,121	2225,477	8,123	0,431	0,366	0,019
			Seco	2430,622	1769,235	7,686	0,409	0,439	0,023
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2746,927	8,277	0,846	0,302	0,031
			Normal	2889,121	2208,969	7,825	0,664	0,355	0,030
			Seco	2430,622	1753,077	7,543	0,627	0,434	0,036
B-5	34,7	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2429,062	5,268	0,258	0,217	0,011
			Normal	2898,837	2091,865	4,917	0,233	0,235	0,011
			Seco	2554,814	1794,957	4,708	0,168	0,263	0,009

Microcuenca (n)	Pendiente (%)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Precipitación (mm/año)	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2706,934	4,469	0,117	0,165	0,004
			Normal	2889,121	2173,091	4,177	0,093	0,193	0,004
			Seco	2430,622	1731,141	3,970	0,088	0,231	0,005
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2748,992	8,507	0,790	0,310	0,029
			Normal	2889,121	2227,895	8,202	0,622	0,369	0,028
			Seco	2430,622	1780,717	7,756	0,599	0,440	0,034
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2752,794	8,367	1,225	0,304	0,044
			Normal	2889,121	2223,000	7,917	0,958	0,357	0,043
			Seco	2430,622	1773,139	7,646	0,922	0,435	0,053
B-6	32,4	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2426,759	5,255	0,234	0,217	0,010
			Normal	2898,837	2089,393	4,903	0,210	0,235	0,010
			Seco	2554,814	1795,978	4,698	0,152	0,262	0,008
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2654,925	4,401	0,103	0,166	0,004
			Normal	2889,121	2127,247	4,105	0,082	0,193	0,004
			Seco	2430,622	1681,635	3,902	0,079	0,234	0,005
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2760,368	8,524	0,721	0,309	0,026
			Normal	2889,121	2242,025	8,217	0,568	0,367	0,025
			Seco	2430,622	1794,572	7,783	0,544	0,438	0,031
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2759,159	8,357	1,114	0,303	0,040
			Normal	2889,121	2227,863	7,909	0,876	0,356	0,039
			Seco	2430,622	1777,683	7,628	0,841	0,433	0,048
B-7	44,2	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2422,913	5,305	0,368	0,219	0,015
			Normal	2898,837	2091,671	4,956	0,333	0,237	0,016
			Seco	2554,814	1791,234	4,746	0,239	0,265	0,013
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2609,368	4,381	0,160	0,168	0,006
			Normal	2889,121	2094,475	4,083	0,133	0,195	0,006
			Seco	2430,622	1650,240	3,869	0,123	0,237	0,008
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2731,195	8,516	1,107	0,312	0,040

Microcuenca (n)	Pendiente (%)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Precipitación (mm/año)	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
			Normal	2889,121	2212,519	8,222	0,891	0,372	0,040
			Seco	2430,622	1766,953	7,788	0,864	0,445	0,050
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2738,293	8,388	1,724	0,307	0,063
			Normal	2889,121	2210,104	7,963	1,361	0,361	0,062
			Seco	2430,622	1763,106	7,708	1,306	0,440	0,075
B-9	29,4	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2425,167	5,237	0,204	0,216	0,008
			Normal	2898,837	2089,658	4,885	0,182	0,234	0,009
			Seco	2554,814	1795,889	4,682	0,133	0,261	0,007
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2662,915	4,395	0,090	0,165	0,003
			Normal	2889,121	2135,478	4,104	0,071	0,193	0,003
			Seco	2430,622	1688,717	3,901	0,069	0,233	0,004
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2725,991	8,438	0,615	0,310	0,023
			Normal	2889,121	2217,281	8,120	0,494	0,367	0,022
			Seco	2430,622	1764,481	7,677	0,467	0,439	0,027
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2753,033	8,324	0,968	0,303	0,035
			Normal	2889,121	2223,565	7,872	0,766	0,355	0,035
			Seco	2430,622	1769,860	7,599	0,731	0,433	0,042
M-1	15	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2291,698	5,112	0,074	0,224	0,003
			Normal	2898,837	1960,250	4,754	0,066	0,243	0,003
			Seco	2554,814	1674,301	4,543	0,049	0,272	0,003
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2491,277	4,226	0,033	0,170	0,001
			Normal	2889,121	1979,688	3,956	0,026	0,200	0,001
			Seco	2430,622	1518,985	3,726	0,024	0,248	0,002
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2597,958	8,234	0,236	0,318	0,009
			Normal	2889,121	2086,602	7,917	0,185	0,380	0,009
			Seco	2430,622	1623,650	7,457	0,173	0,464	0,011
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2631,661	8,143	0,362	0,310	0,014
			Normal	2889,121	2105,488	7,714	0,281	0,367	0,013

Microcuenca (n)	Pendiente (%)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Precipitación (mm/año)	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
			Seco	2430,622	1650,081	7,421	0,266	0,454	0,016
M-2	12,4	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2293,104	5,203	0,058	0,227	0,003
			Normal	2898,837	1976,885	4,863	0,051	0,246	0,003
			Seco	2554,814	1688,767	4,663	0,038	0,277	0,002
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2416,065	4,206	0,025	0,174	0,001
			Normal	2889,121	1921,126	3,937	0,020	0,205	0,001
			Seco	2430,622	1473,048	3,703	0,018	0,254	0,001
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2526,396	8,214	0,181	0,326	0,007
			Normal	2889,121	2031,144	7,901	0,141	0,390	0,007
			Seco	2430,622	1581,664	7,439	0,132	0,475	0,008
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2555,101	8,113	0,276	0,318	0,011
			Normal	2889,121	2046,999	7,690	0,214	0,377	0,010
			Seco	2430,622	1603,893	7,393	0,202	0,465	0,013
M-3	15,4	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2302,761	5,116	0,077	0,223	0,003
			Normal	2898,837	1969,858	4,758	0,070	0,242	0,004
			Seco	2554,814	1682,452	4,547	0,051	0,271	0,003
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2503,565	4,230	0,034	0,169	0,001
			Normal	2889,121	1989,069	3,959	0,027	0,200	0,001
			Seco	2430,622	1526,402	3,730	0,025	0,247	0,002
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2610,797	8,240	0,245	0,316	0,009
			Normal	2889,121	2096,747	7,924	0,192	0,379	0,009
			Seco	2430,622	1631,834	7,464	0,179	0,462	0,011
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2643,580	8,147	0,377	0,309	0,014
			Normal	2889,121	2114,414	7,718	0,293	0,366	0,014
			Seco	2430,622	1657,006	7,425	0,276	0,453	0,017
M-4	10,1	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2224,502	5,170	0,043	0,233	0,002
			Normal	2898,837	1916,358	4,827	0,039	0,252	0,002
			Seco	2554,814	1636,549	4,625	0,029	0,283	0,002

Microcuenca (n)	Pendiente (%)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Precipitación (mm/año)	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2340,305	4,171	0,019	0,178	0,001
			Normal	2889,121	1860,941	3,905	0,015	0,210	0,001
			Seco	2430,622	1422,543	3,666	0,014	0,261	0,001
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2451,867	8,167	0,136	0,334	0,006
			Normal	2889,121	1971,176	7,851	0,107	0,399	0,005
			Seco	2430,622	1531,834	7,382	0,099	0,487	0,007
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2483,315	8,075	0,209	0,326	0,008
			Normal	2889,121	1992,279	7,656	0,162	0,385	0,008
			Seco	2430,622	1559,612	7,353	0,153	0,476	0,010
M-6	41,5	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2420,218	5,273	0,335	0,218	0,014
			Normal	2898,837	2081,520	4,922	0,303	0,237	0,015
			Seco	2554,814	1784,226	4,717	0,216	0,265	0,012
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2667,735	4,449	0,149	0,167	0,006
			Normal	2889,121	2143,296	4,157	0,118	0,194	0,006
			Seco	2430,622	1699,601	3,951	0,116	0,235	0,007
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2721,484	8,477	1,004	0,312	0,037
			Normal	2889,121	2203,059	8,181	0,812	0,372	0,037
			Seco	2430,622	1757,623	7,737	0,810	0,444	0,047
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2770,774	8,445	1,594	0,305	0,057
			Normal	2889,121	2241,737	8,025	1,264	0,359	0,057
			Seco	2430,622	1796,948	7,769	1,212	0,435	0,068
M-7	8,8	Bosque mixto	Lluvioso	3212,088	2112,716	5,028	0,036	0,238	0,002
			Normal	2898,837	1805,198	4,660	0,031	0,259	0,002
			Seco	2554,814	1542,876	4,452	0,023	0,289	0,002
		Bosque nativo	Lluvioso	3428,757	2302,775	4,157	0,016	0,181	0,001
			Normal	2889,121	1831,535	3,893	0,013	0,213	0,001
			Seco	2430,622	1399,440	3,652	0,011	0,264	0,001
		Plantación	Lluvioso	3428,757	2396,864	8,104	0,113	0,339	0,005

Microcuenca (n)	Pendiente (%)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Precipitación (mm/año)	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
			Normal	2889,121	1925,358	7,787	0,089	0,406	0,005
			Seco	2430,622	1490,605	7,309	0,083	0,495	0,006
		Pradera	Lluvioso	3428,757	2442,540	8,050	0,174	0,330	0,007
			Normal	2889,121	1960,682	7,633	0,136	0,390	0,007
			Seco	2430,622	1533,908	7,328	0,129	0,482	0,009

ANEXO 9. Detalle resultados modelamiento coeficientes de exportación en microcuencas estándar (pendiente y curva número)

Cuadro 46. Esguerrimiento superficial y coeficientes de exportación N y P (kg/ha/año y mg/L), por pendiente, curva número y tipo de uso de suelo por tipo de año climático en microcuencas estándar.

Pendiente (%)	Curva N° (n)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
5	37,8	Bosque mixto	Lluvioso	2012,190	4,976	0,019	0,248	0,001
			Normal	1719,785	4,607	0,016	0,268	0,001
			Seco	1469,335	4,402	0,012	0,300	0,001
	39,2	Bosque nativo	Lluvioso	2202,351	4,119	0,008	0,187	0,000
			Normal	1752,920	3,863	0,007	0,221	0,000
			Seco	1339,635	3,621	0,006	0,273	0,000
	47,7	Plantación	Lluvioso	2282,726	8,019	0,059	0,352	0,003
			Normal	1833,349	7,707	0,046	0,422	0,003
			Seco	1416,603	7,222	0,043	0,515	0,003
52,5	Pradera	Lluvioso	2340,726	8,008	0,092	0,343	0,004	
		Normal	1882,201	7,598	0,071	0,405	0,004	
		Seco	1473,370	7,291	0,067	0,500	0,005	
10	37,8	Bosque mixto	Lluvioso	2167,916	5,080	0,042	0,235	0,002
			Normal	1856,460	4,720	0,038	0,255	0,002
			Seco	1585,819	4,511	0,028	0,285	0,002
	39,2	Bosque nativo	Lluvioso	2370,075	4,217	0,019	0,178	0,001
			Normal	1887,094	3,948	0,015	0,210	0,001
			Seco	1453,211	3,718	0,014	0,259	0,001
	47,7	Plantación	Lluvioso	2452,283	8,173	0,135	0,334	0,005
			Normal	1971,907	7,858	0,106	0,400	0,005
			Seco	1533,367	7,391	0,098	0,487	0,007
52,5	Pradera	Lluvioso	2503,716	8,129	0,209	0,325	0,008	
		Normal	2009,466	7,709	0,162	0,384	0,008	
		Seco	1580,300	7,418	0,153	0,474	0,010	
15	37,8	Bosque mixto	Lluvioso	2310,030	5,141	0,075	0,223	0,003
			Normal	1979,791	4,789	0,067	0,242	0,003
			Seco	1690,959	4,578	0,049	0,271	0,003
	39,2	Bosque nativo	Lluvioso	2600,665	4,273	0,033	0,169	0,001
			Normal	2008,281	3,998	0,026	0,200	0,001
			Seco	1552,162	3,776	0,024	0,246	0,002
	47,7	Plantación	Lluvioso	2613,928	8,270	0,235	0,317	0,009
			Normal	2100,682	7,955	0,185	0,380	0,009
			Seco	1639,521	7,501	0,172	0,462	0,011
52,5	Pradera	Lluvioso	2656,490	8,201	0,367	0,309	0,014	
		Normal	2127,369	7,772	0,285	0,366	0,013	
		Seco	1675,350	7,492	0,270	0,452	0,016	
20	37,8	Bosque mixto	Lluvioso	2402,937	5,179	0,114	0,216	0,005
			Normal	2059,344	4,826	0,103	0,235	0,005
			Seco	1760,167	4,620	0,075	0,263	0,004

Pendiente (%)	Curva N° (n)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
	39,2	Bosque nativo	Lluvioso	2623,946	4,304	0,051	0,164	0,002
			Normal	2083,792	4,026	0,040	0,194	0,002
			Seco	1623,167	3,810	0,038	0,237	0,002
	47,7	Plantación	Lluvioso	2712,816	8,331	0,356	0,308	0,013
			Normal	2186,681	8,019	0,284	0,368	0,013
			Seco	1717,264	7,575	0,264	0,446	0,016
	52,5	Pradera	Lluvioso	2748,788	8,245	0,555	0,300	0,020
			Normal	2202,831	7,808	0,434	0,355	0,020
			Seco	1743,945	7,533	0,413	0,436	0,024
25	37,8	Bosque mixto	Lluvioso	2422,319	5,209	0,158	0,215	0,007
			Normal	2080,647	4,860	0,143	0,234	0,007
			Seco	1787,801	4,654	0,105	0,261	0,006
	39,2	Bosque nativo	Lluvioso	2643,071	4,338	0,070	0,164	0,003
			Normal	2104,426	4,054	0,058	0,193	0,003
			Seco	1718,773	3,837	0,054	0,234	0,003
	47,7	Plantación	Lluvioso	2726,129	8,392	0,487	0,308	0,018
			Normal	2193,527	8,071	0,391	0,366	0,018
			Seco	1752,254	7,633	0,372	0,440	0,022
	52,5	Pradera	Lluvioso	2761,928	8,307	0,761	0,301	0,027
			Normal	2225,449	7,854	0,601	0,354	0,027
			Seco	1769,809	7,586	0,572	0,432	0,033
30	37,8	Bosque mixto	Lluvioso	2424,466	5,242	0,209	0,217	0,009
			Normal	2089,731	4,889	0,188	0,234	0,009
			Seco	1795,971	4,685	0,136	0,261	0,008
	39,2	Bosque nativo	Lluvioso	2640,718	4,366	0,092	0,166	0,003
			Normal	2114,914	4,076	0,075	0,193	0,004
			Seco	1666,999	3,866	0,070	0,234	0,004
	47,7	Plantación	Lluvioso	2728,574	8,443	0,634	0,310	0,023
			Normal	2216,584	8,124	0,508	0,367	0,023
			Seco	1766,750	7,680	0,481	0,439	0,028
	52,5	Pradera	Lluvioso	2764,498	8,358	0,997	0,303	0,036
			Normal	2236,287	7,908	0,793	0,354	0,036
			Seco	1786,668	7,638	0,752	0,431	0,043
35	37,8	Bosque mixto	Lluvioso	2428,091	5,269	0,261	0,217	0,011
			Normal	2091,980	4,918	0,236	0,235	0,011
			Seco	1796,852	4,709	0,170	0,263	0,009
	39,2	Bosque nativo	Lluvioso	2644,386	4,392	0,116	0,166	0,004
			Normal	2117,362	4,094	0,095	0,194	0,005
			Seco	1667,328	3,891	0,088	0,236	0,005
	47,7	Plantación	Lluvioso	2736,192	8,480	0,795	0,311	0,029
			Normal	2217,296	8,171	0,634	0,369	0,029

Pendiente (%)	Curva N° (n)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
			Seco	1766,682	7,726	0,601	0,442	0,035
	52,5	Pradera	Lluvioso	2764,919	8,399	1,242	0,304	0,045
			Normal	2236,594	7,957	0,976	0,356	0,044
			Seco	1790,161	7,694	0,945	0,433	0,054
40	37,8	Bosque mixto	Lluvioso	2430,683	5,289	0,319	0,218	0,013
			Normal	2094,713	4,937	0,291	0,236	0,014
			Seco	1792,634	4,735	0,205	0,265	0,011
	39,2	Bosque nativo	Lluvioso	2641,829	4,409	0,142	0,167	0,005
			Normal	2121,916	4,113	0,115	0,194	0,005
			Seco	1674,883	3,902	0,106	0,235	0,006
	47,7	Plantación	Lluvioso	2735,821	8,502	0,961	0,311	0,035
			Normal	2215,835	8,205	0,771	0,371	0,035
			Seco	1770,016	7,767	0,754	0,443	0,043
	52,5	Pradera	Lluvioso	2763,001	8,429	1,504	0,306	0,054
			Normal	2235,086	8,000	1,200	0,359	0,054
			Seco	1789,308	7,748	1,150	0,436	0,065
45	37,8	Bosque mixto	Lluvioso	2424,549	5,306	0,378	0,219	0,016
			Normal	2092,692	4,959	0,344	0,237	0,016
			Seco	1790,193	4,748	0,245	0,266	0,014
	39,2	Bosque nativo	Lluvioso	2635,588	4,422	0,167	0,168	0,006
			Normal	2117,329	4,127	0,137	0,195	0,006
			Seco	1670,372	3,923	0,128	0,237	0,008
	47,7	Plantación	Lluvioso	2731,728	8,513	1,137	0,312	0,042
			Normal	2212,362	8,224	0,914	0,373	0,041
			Seco	1759,573	7,804	0,882	0,447	0,051
	52,5	Pradera	Lluvioso	2760,358	8,456	1,780	0,307	0,064
			Normal	2229,038	8,023	1,400	0,361	0,063
			Seco	1790,335	7,776	1,368	0,437	0,077
50	37,8	Bosque mixto	Lluvioso	2427,138	5,320	0,443	0,219	0,018
			Normal	2098,299	4,968	0,404	0,237	0,019
			Seco	1794,997	4,749	0,291	0,265	0,016
	39,2	Bosque nativo	Lluvioso	2637,976	4,427	0,197	0,168	0,007
			Normal	2115,057	4,140	0,161	0,196	0,008
			Seco	1666,663	3,941	0,149	0,239	0,009
	47,7	Plantación	Lluvioso	2734,915	8,518	1,356	0,312	0,049
			Normal	2206,187	8,244	1,047	0,375	0,048
			Seco	1757,080	7,838	1,026	0,450	0,059
	52,5	Pradera	Lluvioso	2750,701	8,481	2,110	0,309	0,076
			Normal	2225,462	8,062	1,612	0,363	0,073
			Seco	1783,483	7,815	1,585	0,442	0,090
55	37,8	Bosque mixto	Lluvioso	2419,280	5,327	0,512	0,220	0,021

Pendiente (%)	Curva N° (n)	Uso Suelo (n)	Tipo de año	Esc. Sup. (mm/año)	CExpN (kg/ha/año)	CExpP (kg/ha/año)	CExpN (mg/l)	CExpP (mg/l)
			Normal	2092,331	4,984	0,464	0,238	0,022
			Seco	1790,854	4,756	0,328	0,266	0,018
	39,2	Bosque nativo	Lluvioso	2633,477	4,429	0,230	0,168	0,009
			Normal	2110,182	4,158	0,184	0,197	0,009
			Seco	1662,731	3,957	0,172	0,240	0,011
	47,7	Plantación	Lluvioso	2724,690	8,525	1,555	0,313	0,057
			Normal	2203,276	8,270	1,193	0,376	0,054
			Seco	1754,962	7,861	1,179	0,452	0,068
	52,5	Pradera	Lluvioso	2751,034	8,494	2,434	0,309	0,088
			Normal	2223,113	8,085	1,860	0,364	0,084
			Seco	1782,416	7,852	1,802	0,444	0,102
60	37,8	Bosque mixto	Lluvioso	2410,303	5,350	0,580	0,222	0,024
			Normal	2093,160	4,991	0,541	0,239	0,026
			Seco	1787,868	4,778	0,383	0,268	0,021
	39,2	Bosque nativo	Lluvioso	2632,927	4,435	0,262	0,169	0,010
			Normal	2113,195	4,165	0,210	0,198	0,010
			Seco	1665,689	3,955	0,199	0,239	0,012
	47,7	Plantación	Lluvioso	2712,534	8,544	1,746	0,316	0,064
			Normal	2203,716	8,287	1,366	0,377	0,062
			Seco	1748,771	7,852	1,337	0,453	0,078
	52,5	Pradera	Lluvioso	2748,668	8,502	2,622	0,310	0,095
			Normal	2220,735	8,113	2,092	0,366	0,094
			Seco	1779,403	7,866	2,023	0,446	0,115

ANEXO 10. Especialización Coeficientes de exportación modelados por EPRO aj

Cuadro 47. Diccionario de coberturas

Capa	Nombre columna	Significado	Unidades	
Cuencas	MAP_NAME	Nombre completo cuenca		
	MICROCUENC	Código microcuenca		
	Shp_Area	Área del polígono (microcuenca)	ha	
UsosCoefExp = Usos de suelo y Coeficientes de Exportación	USO_REV	Usos de suelo revisados	Usos de suelo revisados por Edáfica en 2018	
	Area_ha	Área del polígono	ha	
	Shape_Area	Área del polígono	m ²	
	GH	Grupo hidrológico		
	CN_1	Curva número		
	Pend_prom	Pendiente promedio	%	
	CExp_N_ll	Coeficiente de Exportación de Nitrógeno año lluvioso	kg/ha/año	
	CExp_N_n	Coeficiente de Exportación de Nitrógeno año normal	kg/ha/año	
	CExp_N_s	Coeficiente de Exportación de Nitrógeno año seco	kg/ha/año	
	CExp_P_ll	Coeficiente de Exportación de Fósforo año lluvioso	kg/ha/año	
	CExp_P_n	Coeficiente de Exportación de Fósforo año normal	kg/ha/año	
	CExp_P_s	Coeficiente de Exportación de Fósforo año seco	kg/ha/año	
	CExp_N_ll	Coeficiente de Exportación de Nitrógeno año lluvioso	mg/l	
	CExp_N_n	Coeficiente de Exportación de Nitrógeno año normal	mg/l	
	CExp_N_s	Coeficiente de Exportación de Nitrógeno año seco	mg/l	
	CExp_P_ll	Coeficiente de Exportación de Fósforo año lluvioso	mg/l	
	CExp_P_n	Coeficiente de Exportación de Fósforo año normal	mg/l	
	CExp_P_s	Coeficiente de Exportación de Fósforo año seco	mg/l	
	EscSup_llu	Escurrimiento superficial año lluvioso	mm/año	
	EscSup_nor	Escurrimiento superficial año normal	mm/año	
	EscSup_sec	Escurrimiento superficial año seco	mm/año	
	UsosPendientes = Usos de suelo y pendientes cada 5%	Pend	Pendiente	%
		EscuSupLlu	Escurrimiento superficial año lluvioso	mm/año
EscuSupNor		Escurrimiento superficial año normal	mm/año	
EscuSupSec		Escurrimiento superficial año seco	mm/año	
CExpN_Lluv		Coeficiente de Exportación de Nitrógeno año lluvioso	kg/ha/año	
CExpN_Nor		Coeficiente de Exportación de Nitrógeno año normal	kg/ha/año	
CExpN_Sec		Coeficiente de Exportación de Nitrógeno año seco	kg/ha/año	
CExpP_Lluv		Coeficiente de Exportación de Fósforo año lluvioso	kg/ha/año	
CExpP_Nor		Coeficiente de Exportación de Fósforo año normal	kg/ha/año	
CExpP_Sec		Coeficiente de Exportación de Fósforo año seco	kg/ha/año	
CExpN_Ll_1		Coeficiente de Exportación de Nitrógeno año lluvioso	mg/l	
CExpN_Norm		Coeficiente de Exportación de Nitrógeno año normal	mg/l	
CExpN_Sec1		Coeficiente de Exportación de Nitrógeno año seco	mg/l	
CExpP_Ll_1		Coeficiente de Exportación de Fósforo año lluvioso	mg/l	
CExpP_No_1		Coeficiente de Exportación de Fósforo año normal	mg/l	
CExpP_Sec1		Coeficiente de Exportación de Fósforo año seco	mg/l	

Figura 49. Coeficiente de exportación de N, año normal (kg/ha/año) (EPROaj)

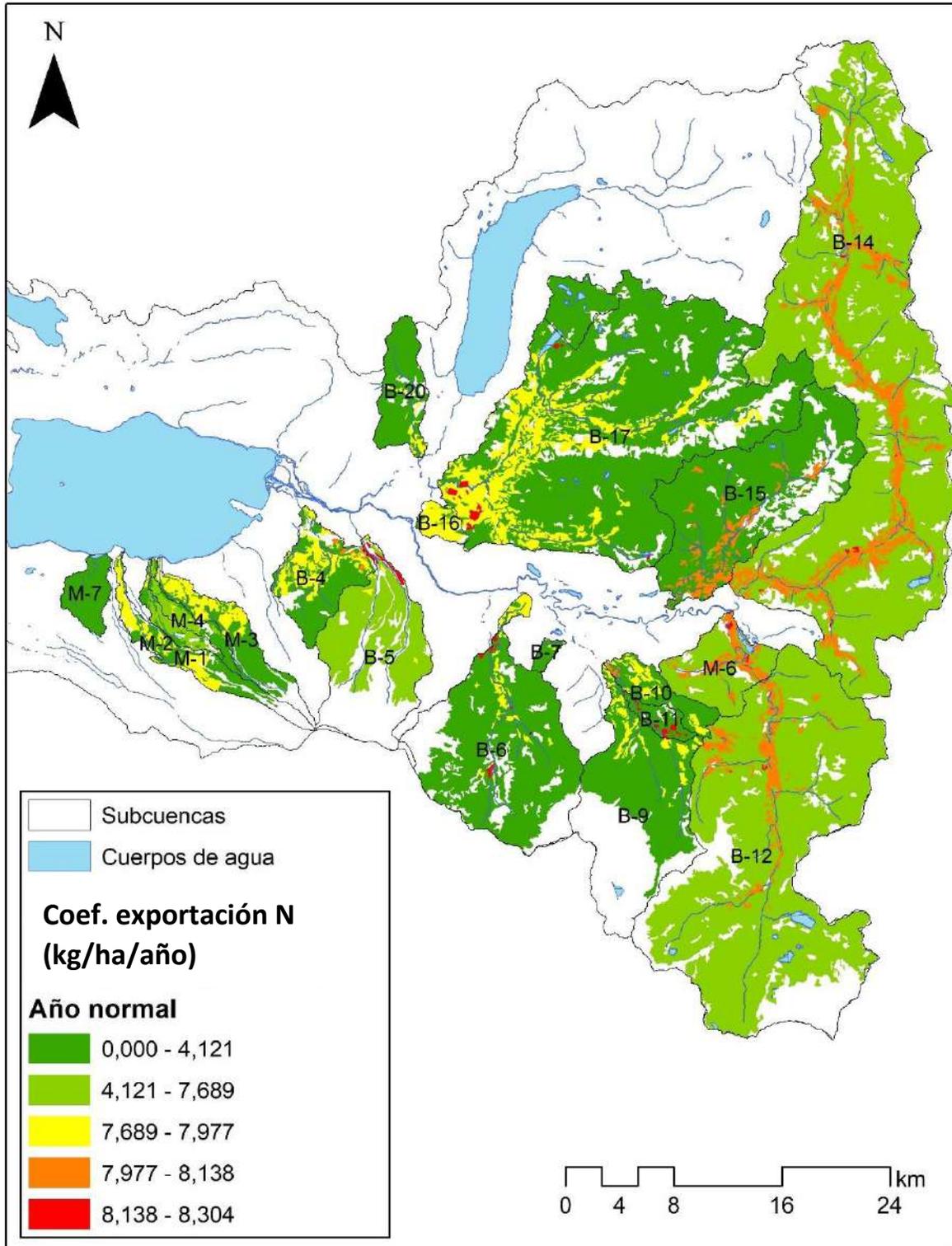


Figura 50. Coeficiente de exportación de N, año lluvioso (kg/ha/año) (EPROaj)

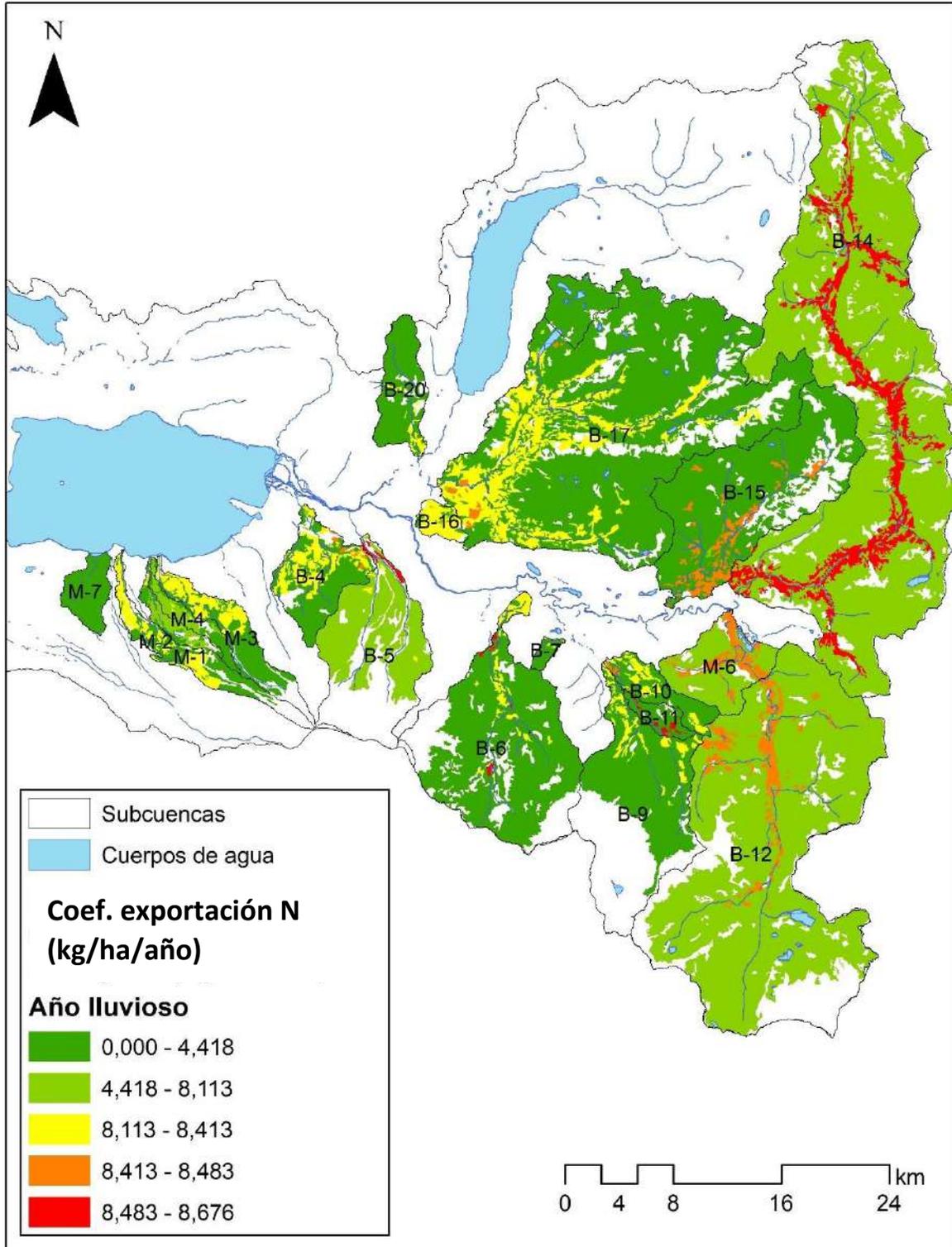


Figura 51. Coeficiente de exportación de N, año seco (kg/ha/año) (EPROaj)

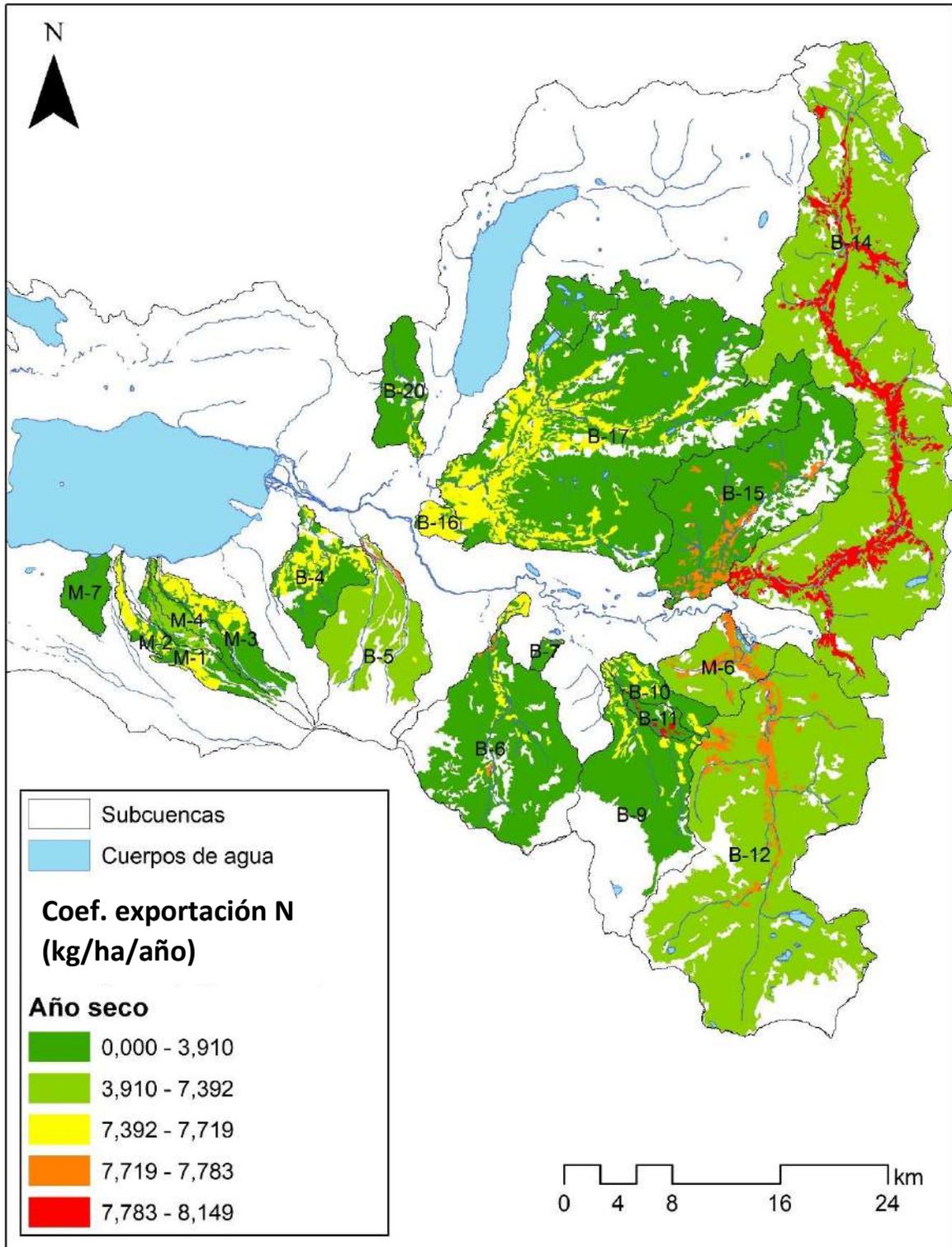


Figura 52. Coeficiente de exportación de N, año normal (mg/l) (EPROaj)

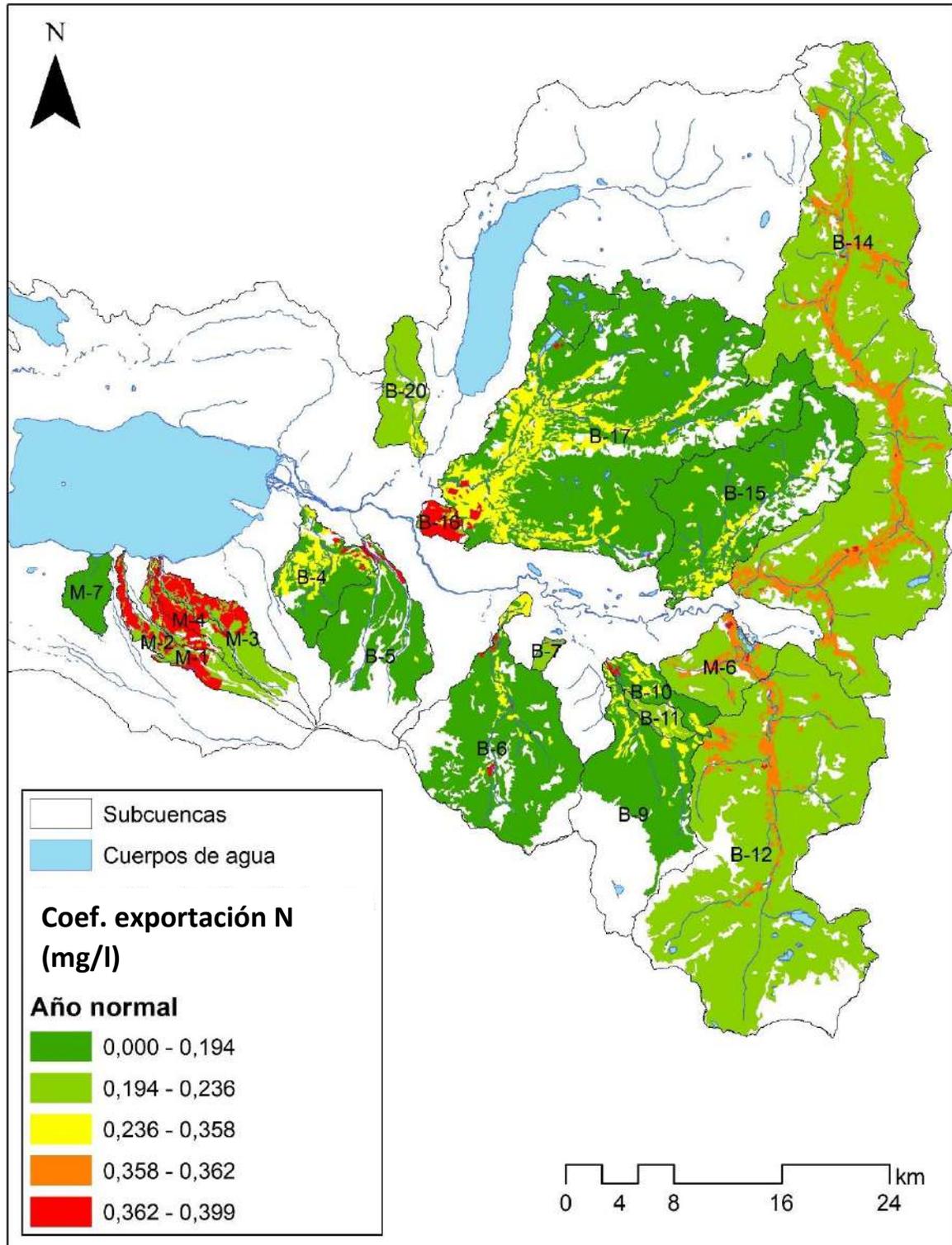


Figura 53. Coeficiente de exportación de N, año lluvioso (mg/l) (EPROaj)

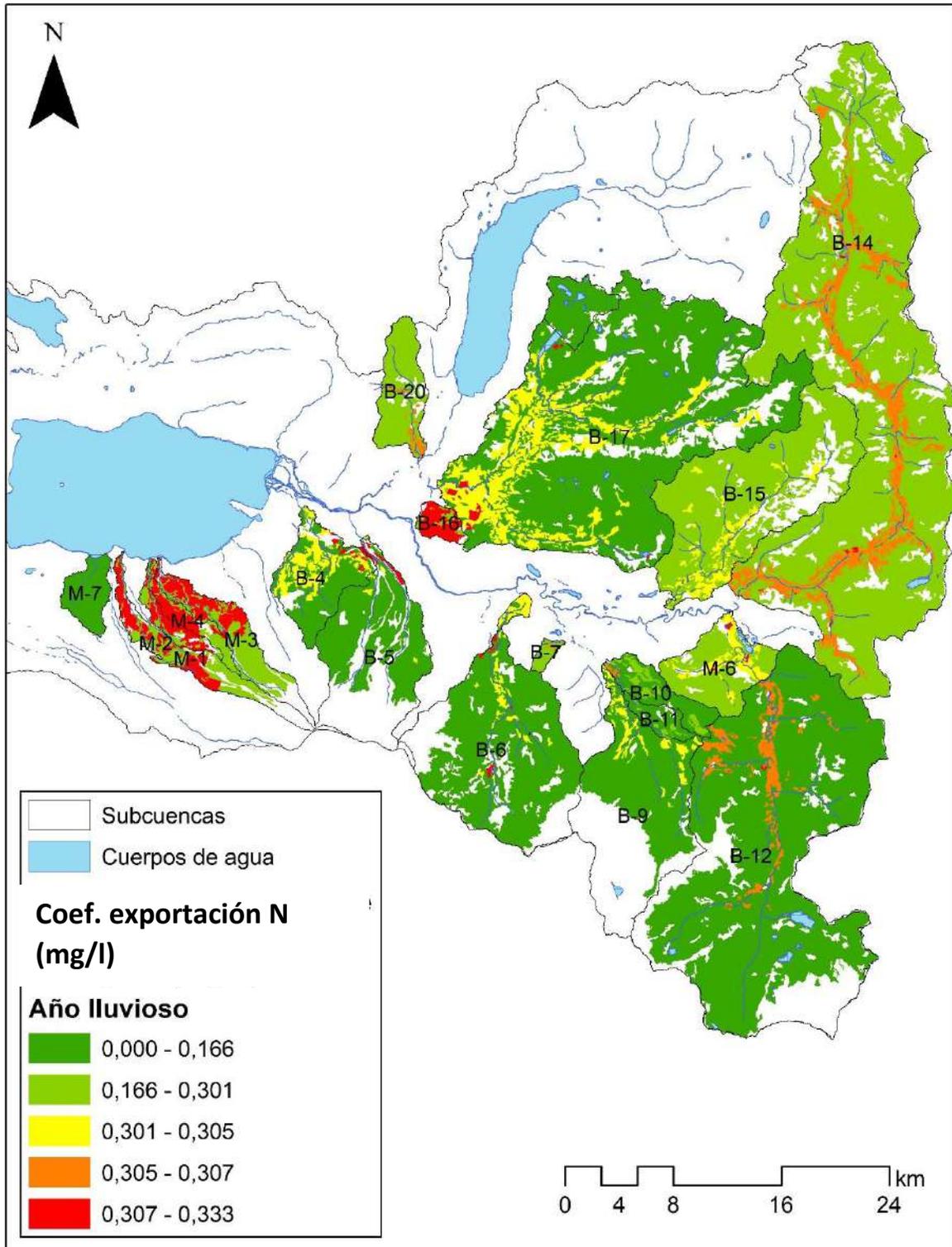


Figura 54. Coeficiente de exportación de N, año seco (mg/l) (EPROaj)

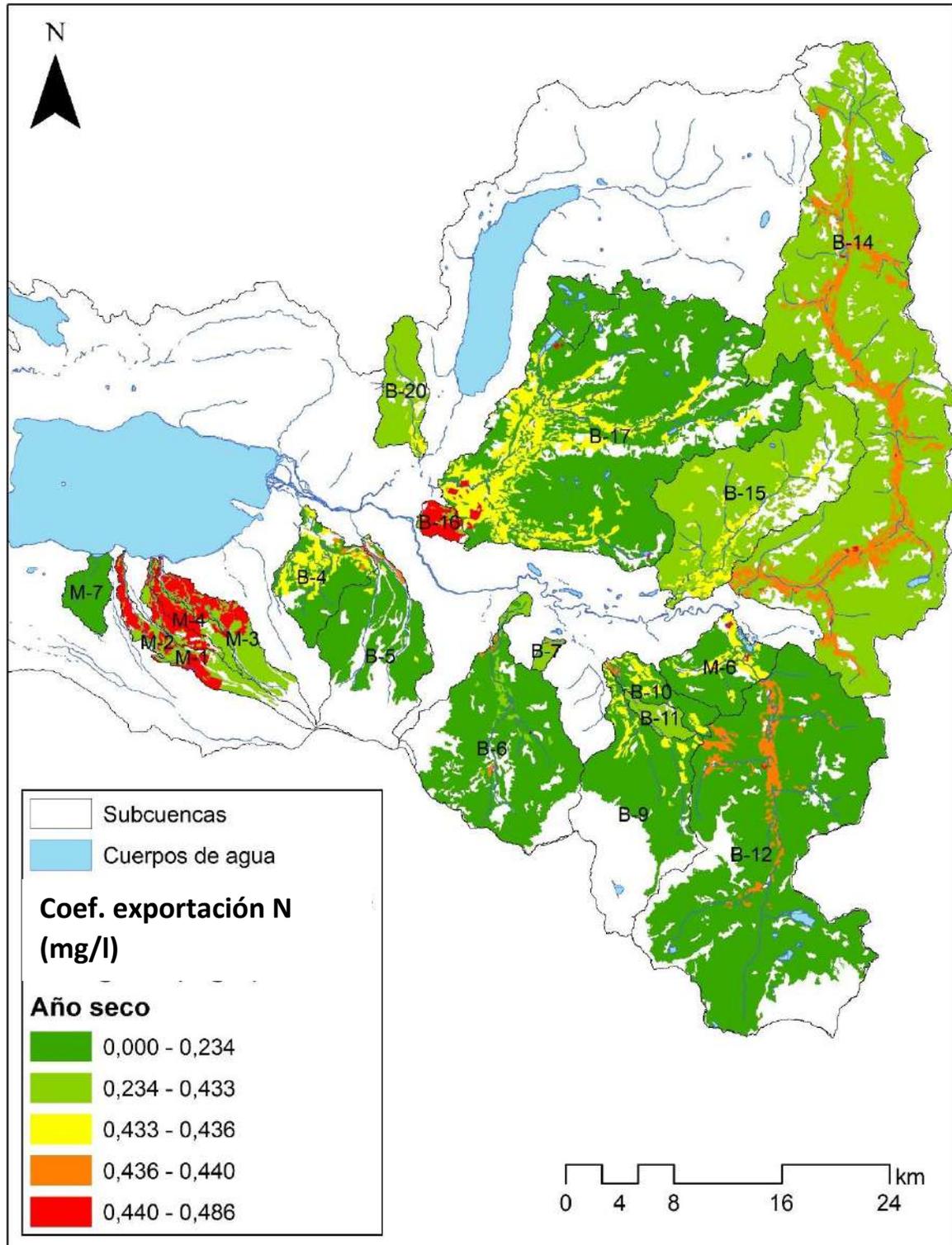


Figura 55. Coeficiente de exportación de P, año normal (kg/ha/año) (EPROaj)

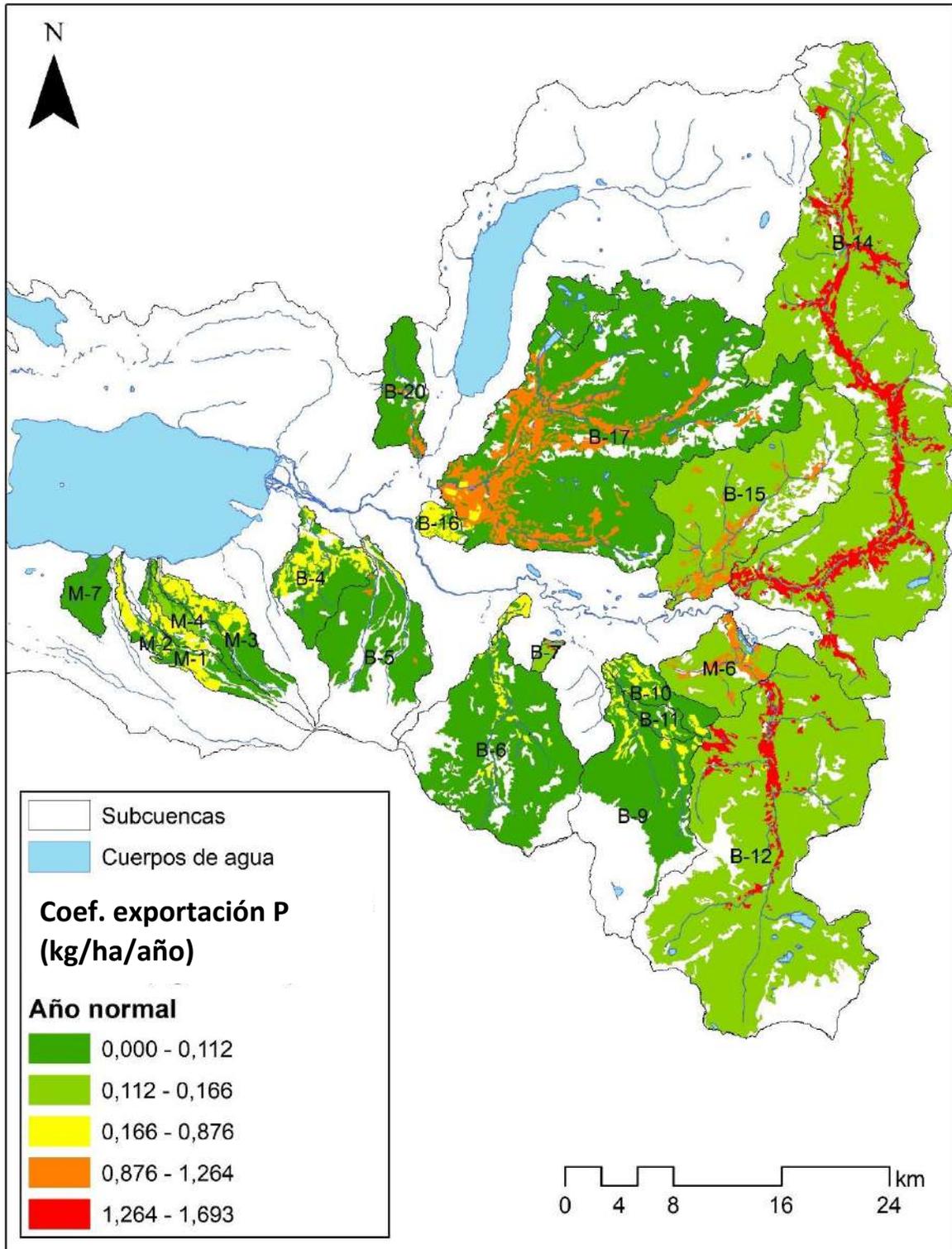


Figura 56. Coeficiente de exportación de P, año lluvioso (kg/ha/año) (EPROaj)

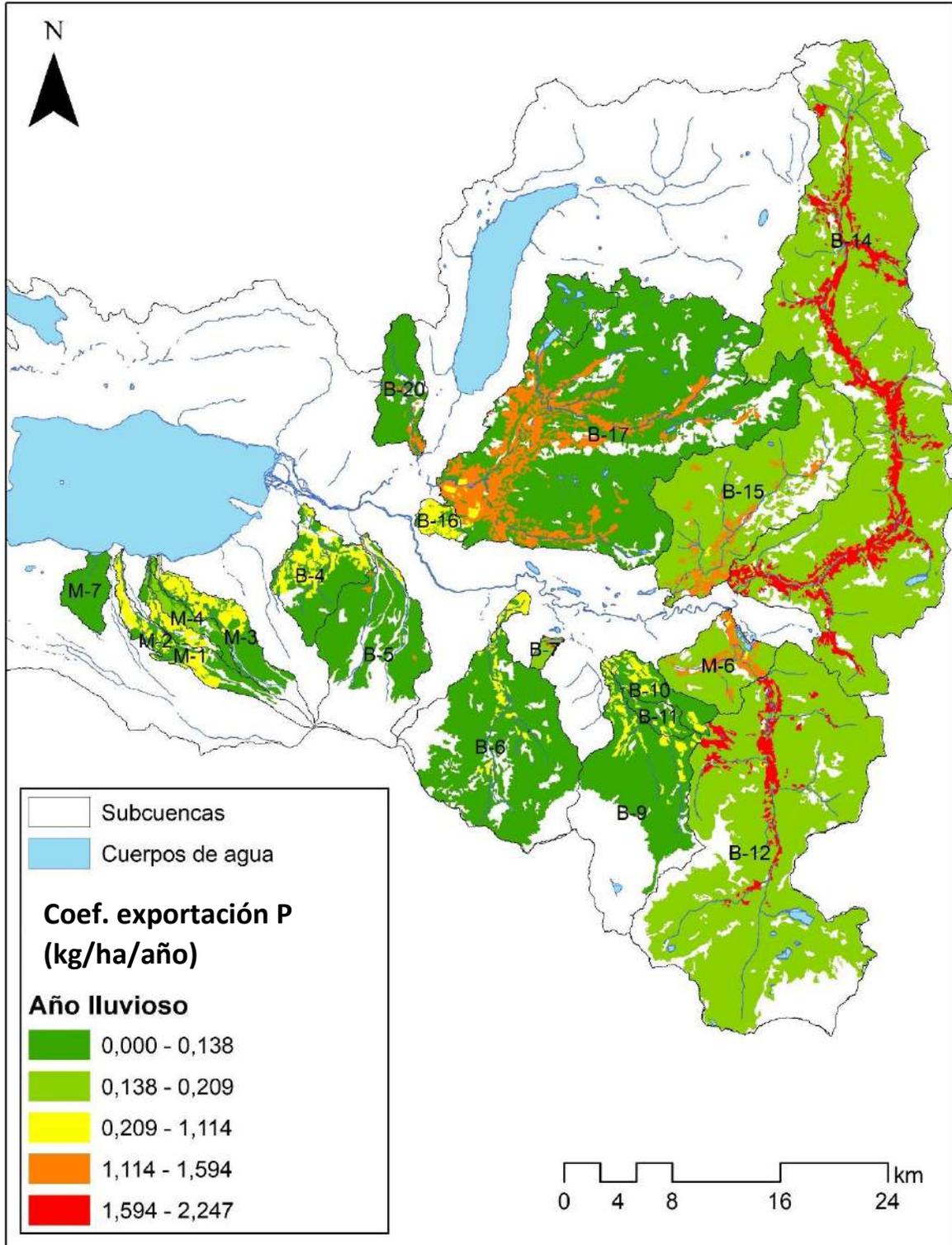


Figura 57. Coeficiente de exportación de P, año seco (kg/ha/año) (EPROaj)

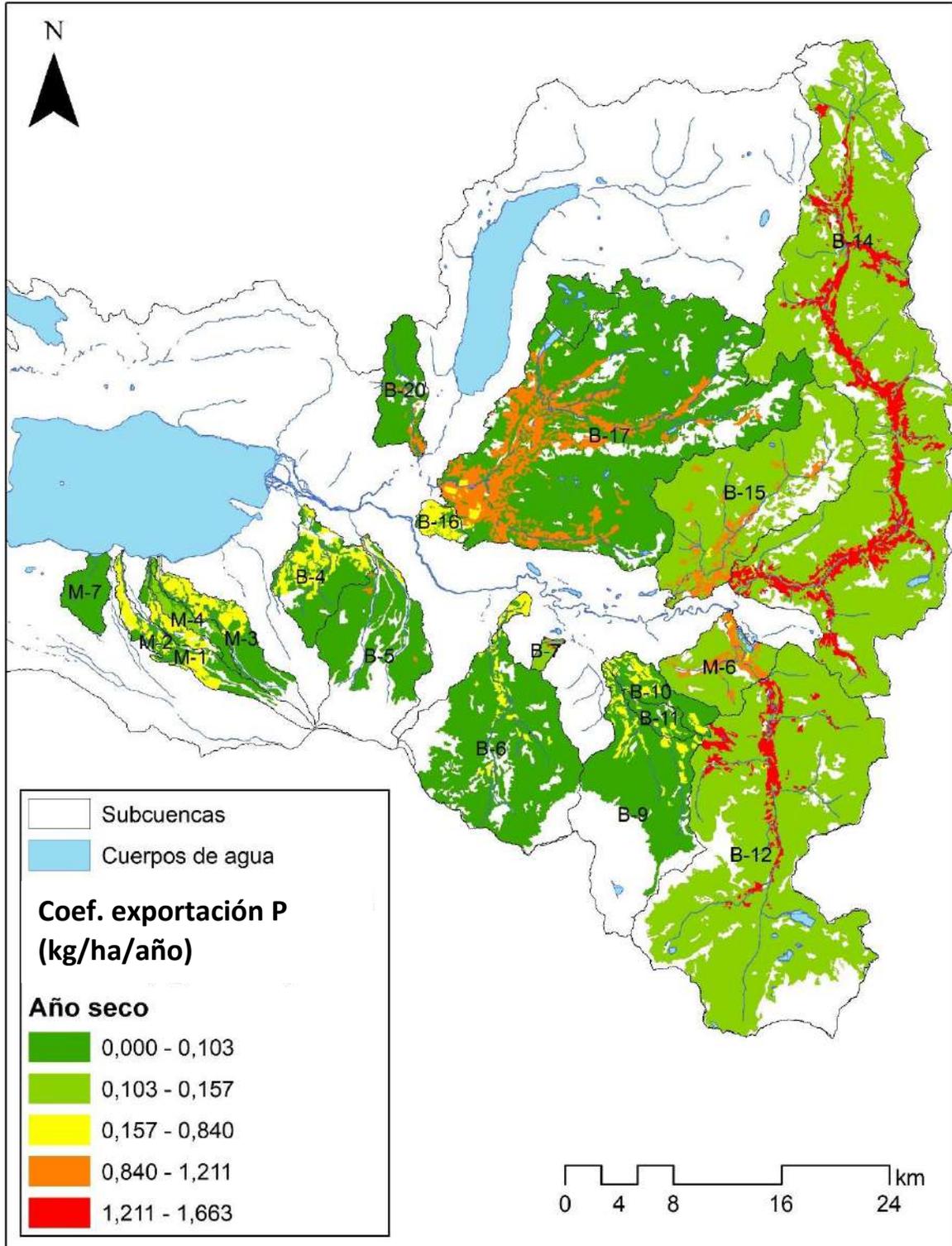


Figura 58. Coeficiente de exportación de P, año normal (mg/l) (EPROaj)

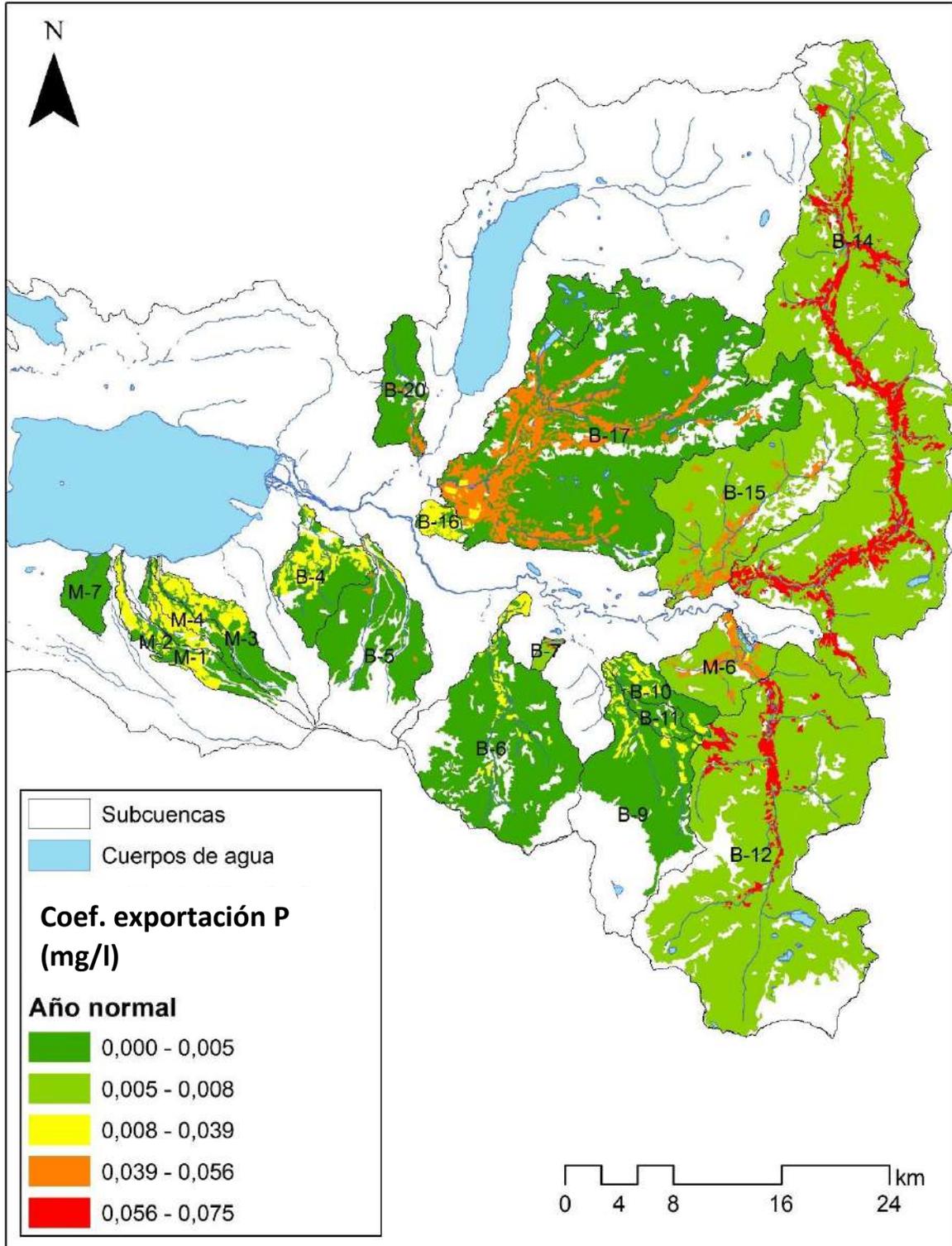


Figura 59. Coeficiente de exportación de P, año lluvioso (mg/l) (EPROaj)

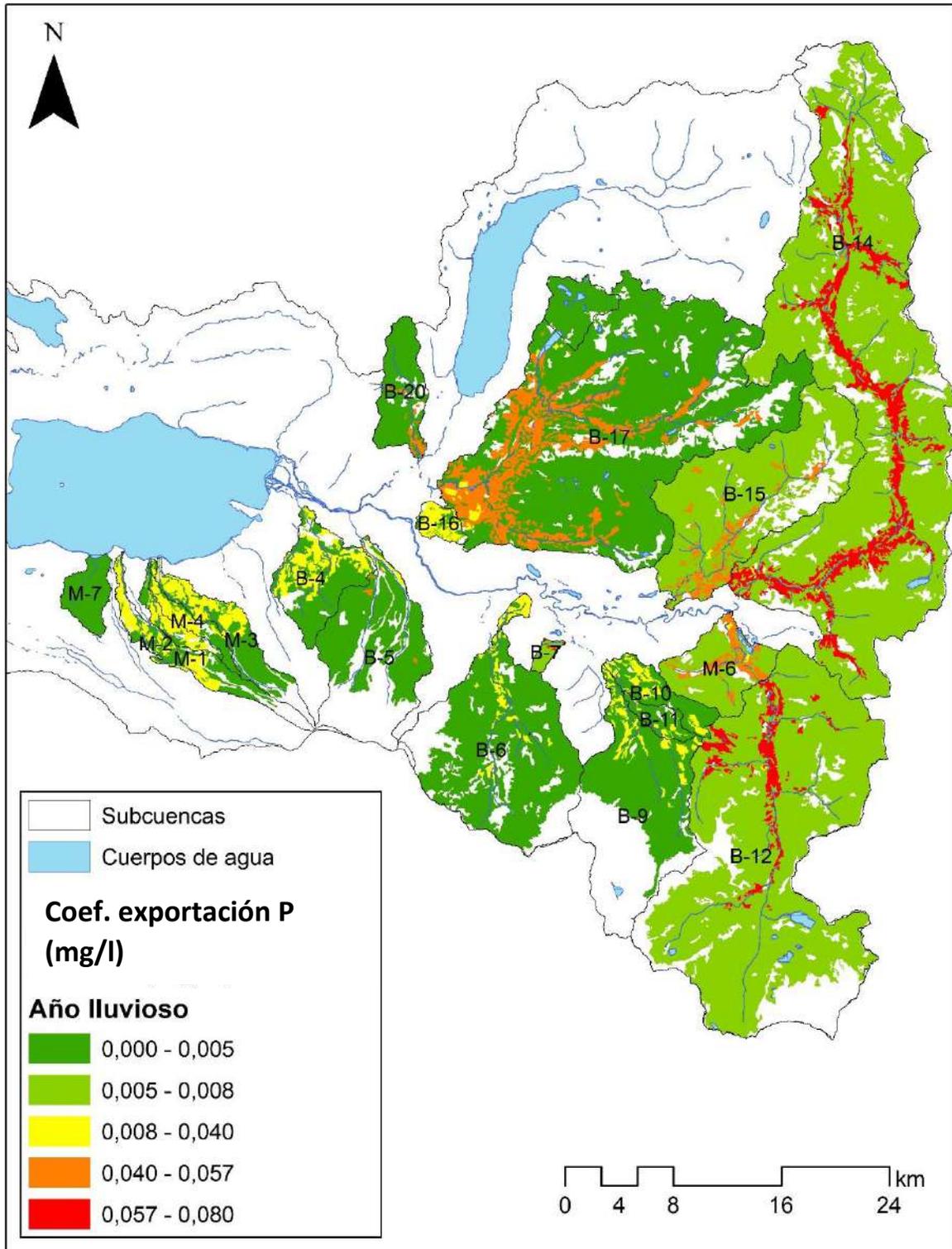
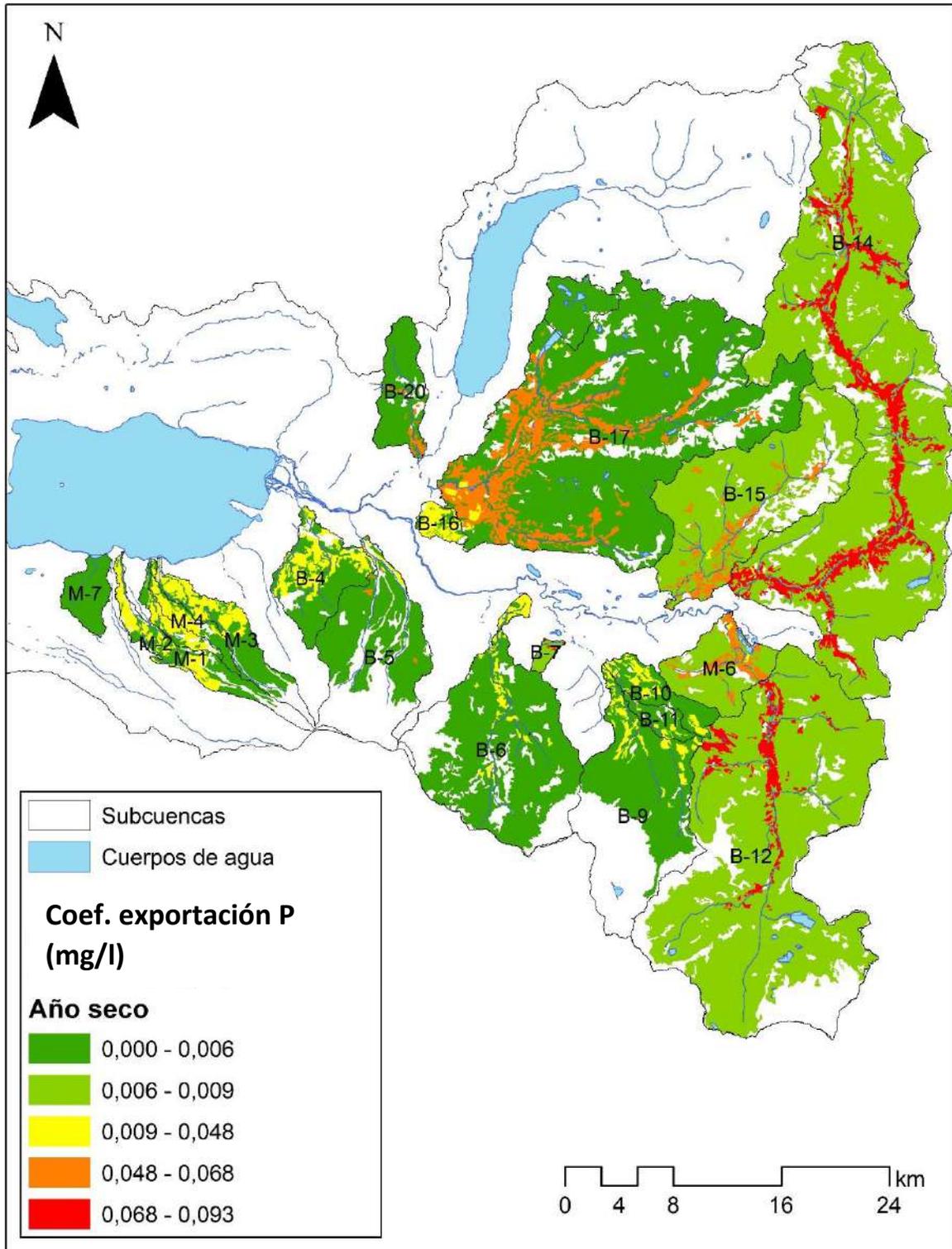


Figura 60. Coeficiente de exportación de P, año seco (mg/l) (EPROaj)



ANEXO 11. Descripciones morfológicas de suelos (mayo 2020)

Descripciones morfológicas

Sitio 1 - Bosque nativo

Geomorfología	Faldeo bajo de cerro de exposición este
Pendiente	30 a 50 %
Erosión	Evidencias de huellas de ganado y remociones de suelo por efecto de pastoreo extensivo
Drenaje	Bien drenado

Características Generales

Suelo de origen volcánico, profundo, con presencia de bloques y afloramientos rocosos escasos, ladera de exposición este, con abundantes depósitos de hojarasca y desarrollo de mantillo.

Cobertura vegetal arbórea en torno al 80 % dominada por mañío de hoja corta (*Saxegothaea conspicua*), acompañada de coihue (*Nothofagus dombeyi*) y roble (*Nothofagus obliqua*). Presencia de repu (*Rhaphitamnus spinosus*).

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 - 12 A	Negro (5YR 2.5/1) en húmedo; franco limosa; plástico, adhesivo. Estructura de bloques subangulares finos moderados que parten a granular fino moderado; friable. Poros finos abundantes. Raíces muy finas, finas y medias comunes, gruesas escasas. Sin pedregosidad. Límite lineal claro.
12 – 60 B	Pardo oscuro (7.5YR 2/2) en húmedo; franco limosa; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo. Estructura de bloques subangulares finos débiles; muy friable. Poros finos y medios comunes. Raíces finas comunes, medias escasas. Gravilla muy fina común.

Fotografía 1. Paisaje asociado a sitio 1



Fotografía 2. Detalle uso de suelo cobertura de bosque nativo



Fotografía 3. Sección de control corte 1



Sitio 2 - Pradera

Geomorfología	Terraza aluvial del río Machín
Pendiente	1 a 3 %
Erosión	Sin erosión
Drenaje	Bien drenado

Características Generales

Suelo en posición de terraza aluvial del río Machín. Suelo ligeramente profundo, de texturas gruesas con presencia de gravas finas, con uso de pradera y ganadería extensiva descrito en una propiedad particular. Cobertura vegetal de herbáceas en torno al 95%, dominando las especies de la familia *Poaceae*.

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 - 22 A	Pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/2) en húmedo; franco arenosa; ligeramente plástico, no adhesivo. Estructura de bloques subangulares medios moderados; friable. Poros finos comunes. Raíces muy finas y finas abundantes. Sin pedregosidad. Límite lineal abrupto.
22 – 50 B	Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franco areno gravosa; no plástico, no adhesivo. Sin estructura; muy friable. Poros finos abundantes. Raíces muy finas comunes. Gravas de hasta 1 cm subangulares escasas.

Fotografía 4. Paisaje asociado a sitio 2



Fotografía 5. Paisaje asociado a sitio 2



Fotografía 6. Sección de control sitio 2



Sitio 3 – Plantación forestal de pino

Geomorfología	Faldeo bajo de cerro de exposición este
Pendiente	15 a 20 %
Erosión	Sin erosión
Drenaje	Bien drenado

Características Generales

Suelo derivado de depósitos volcánicos en posición de piedmont. Suelo profundo, se encuentra ligeramente húmedo a una profundidad de 15 cm. Mantillo de acículas de pino de al menos 2 cm de espesor formando una cubierta hidrófoba.

Plantación forestal de pino con una cobertura vegetal arbórea en torno al 60 %. La vegetación arbustiva está representada principalmente por zarzamora (*Rubus ulmifolius*). Escasa regeneración natural de mañío de hoja corta (*Saxegothea conspicua*), arrayán (*Luma apiculata*) y michay (*Berberis serrato-dentata*).

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 - 2	Mantillo
2 – 50 A	Negro (5YR 2.5/1) en húmedo; franco limosa; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo. Estructura de bloques subangulares medios moderados; ligeramente duro, friable. Poros finos abundantes. Raíces muy finas abundantes hasta los 9 cm de profundidad, luego finas y medias comunes. Sin pedregosidad.

Nota: se tomaron 2 muestras dentro del mismo horizonte a distintas profundidades; de 2 a 30 cm y de 30 a 50 cm

Fotografía 7. Paisaje asociado a sitio 3



Fotografía 8. Sección de control corte 3



Sitio 4 - Humedal

Geomorfología	Fondo de valle; plano de sedimentación
Pendiente	Ondulada variando entre 2 y 5 %
Erosión	Sin erosión
Drenaje	Pobremente drenado

Características Generales

Suelo en posición de piedmont aluvio coluvial. Suelo saturado con nivel freático en superficie. De color pardo en superficie en el matiz 7.5 YR, y negro en profundidad en el matiz 5 YR. La muestra de suelo se obtuvo al borde del humedal palustre emergente, en un sector de pradera rodeada de bosque pantanoso. En el sitio se observó pastoreo extensivo.

Humedal con una cobertura vegetal cercana al 95 %, dominado por juncos (*Juncus procerus*), donde acompaña zarzamora (*Rubus ulmifolius*). Destacan pequeños bosquetes pantanosos de canelo (*Drimys winteri*) y pitra (*Myrceugenia exsucca*). Presencia de aroma (*Acacia dealbata*).

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 - 14 A	Pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; franco limosa; no plástico, no adhesivo. Sin estructura. Raíces muy finas y finas abundantes. Sin pedregosidad. Límite lineal claro.
14 - 40 A2	Negro (5YR 2.5/1) en húmedo; franco limosa; no plástico, no adhesivo. Estructura de bloques angulares medios débiles; friable. Poros finos y medios abundantes. Raíces muy finas, finas y medias abundantes. Sin pedregosidad.

Fotografía 9. Paisaje asociado a sitio 4



Fotografía 10. Sección de control corte 4



Sitio 5 - Plantación forestal de eucalipto recientemente cosechada

Geomorfología	Terraza fluvial
Pendiente	1 a 3 %
Erosión	Suelo intervenido por cosecha forestal
Drenaje	Bien drenado

Características Generales

Suelo en posición de lomaje suave, en piedmont distal sobre fondo de valle. Cosecha forestal con intervención del horizonte superficial.

Sin cobertura vegetal luego de la cosecha. No se aprecia cobertura herbácea o regeneración natural de especies nativas.

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 – 19 A	Negro (5YR 2.5/1) en húmedo; franco arenosa; no plástico, no adhesivo. Estructura de bloques angulares medios moderados; ligeramente firme. Poros finos comunes. Raíces finas y medias comunes. Sin pedregosidad. Ligeramente compactado. Límite lineal abrupto.
19 – 40 B	Variegado en húmedo. Sustrato aluvial de arenas y gravas finas; sin estructura. Sin raíces.

Fotografía 11. Paisaje asociado a sitio 5



Fotografía 12. Sección de control corte 5



Sitio 6 - Pradera

Geomorfología	Lomaje de exposición noreste
Pendiente	20 % ladera (cerca de 8 % en sitio toma de muestra)
Erosión	Sin erosión
Drenaje	Bien drenado

Características Generales

Suelo derivado de depósitos volcánicos en posición de lomaje suave.

Cobertura vegetal herbácea cubierta de nieve al momento de la visita y una cobertura arbórea en torno al 15 % dominada por manzano (*Malus domestica*) y roble (*Nothofagus obliqua*).

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 – 29 A	Negro (5YR 2.5/1) en húmedo; franco arenosa; no plástico, no adhesivo. Estructura de bloques angulares medios débiles; friable. Poros finos comunes. Raíces finas comunes. Sin pedregosidad. Límite lineal abrupto.
29 – 60 B	Pardo rojizo oscuro (5YR 3/3) en húmedo; areno francosa; no plástico, no adhesivo. Sin estructura; suelto. Raíces muy finas y finas comunes. Gravitas muy finas comunes.

Fotografía 13. Paisaje asociado a sitio 6



Fotografía 14. Sección de control corte 6



Sitio 7 – Plantación forestal de eucalipto

Geomorfología	Ladera de exposición noreste
Pendiente	20 a 30 %
Erosión	Sin erosión
Drenaje	Bien drenado

Características Generales

Plantación de eucalipto de unos 15 años de antigüedad con una cobertura vegetal arbórea en torno al 65 %. Importante regeneración natural de arrayán (*Luma apiculata*).

Suelo derivado de depósitos volcánicos, profundo, en ladera de exposición noreste. Presenta un mantillo de hojas de eucalipto, bajo el cual el suelo se encuentra seco, a pesar de que en la zona las precipitaciones se habían extendido por al menos 2 semanas. Es de alto interés este registro, puesto que es manifiesto que los suelos bajo este tipo de coberturas favorecen el escurrimiento superficial en desmedro de la infiltración, siendo un factor relevante en la contribución a los aportes de nitrógeno y fósforo a los cuerpos de agua.

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 - 22 A	Pardo oscuro (7.5YR 3/3) en seco, pardo rojizo oscuro (5YR 2.5/2) en húmedo; franco arenosa; no plástico, no adhesivo. Estructura de bloques angulares medios débiles; ligeramente duro, friable. Poros finos comunes. Raíces finas comunes. Sin pedregosidad. Límite lineal abrupto.
22 – 60 B	Pardo oscuro (7.5YR 3/3) en húmedo; franco arenosa; no plástico, no adhesivo. Sin estructura. Sin raíces. Sin pedregosidad.

Nota: suelo seco bajo la cobertura de hojarasca

Fotografía 15. Paisaje asociado a sitio 7



Fotografía 16. Sección de control corte 7



Sitio 8 – Bosque nativo

Geomorfología	Lomajes suaves
Pendiente	2 a 5 %
Erosión	Sin erosión
Drenaje	Bien drenado

Características Generales

Suelo derivado de depósitos volcánicos, en posición de lomaje suave. Ligeramente profundo, con mantillo de 2 cm aproximadamente y horizonte superficial de color negro en el matiz 5 YR.

Cobertura vegetal arbórea en torno al 70 % dominada por lingue (*Persea lingue*), avellano (*Gevuina avellana*) y coihue (*Nothofagus dombeyi*), acompañada por maqui (*Aristotelia chilensis*), arrayán (*Luma apiculata*) y radial (*Lomatia hirsuta*).

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 - 12 A	Negro (5YR 2.5/1) en húmedo; franco limosa; ligeramente plástico, no adhesivo. Estructura granular muy fina débil; friable. Poros finos y medios abundantes. Raíces muy finas, finas y medias abundantes. Sin pedregosidad. Límite lineal claro.
12 – 45 B	Pardo oscuro (7.5YR 3/3) en húmedo; franco arenosa; no plástico, no adhesivo. Estructura de bloques subangulares medios moderados; friable. Poros finos comunes. Raíces finas y medias comunes. Sin pedregosidad.

Fotografía 17. Paisaje asociado a sitio 8



Fotografía 18. Sección de control corte 8



Sitio 9 - Pradera

Geomorfología	Lomajes suaves
Pendiente	2 a 5 %
Erosión	Sin erosión
Drenaje	Bien drenado

Características Generales

Suelo derivado de depósitos volcánicos en posición de lomaje suave, moderadamente profundo. Pradera con pastoreo extensivo.

Cobertura vegetal herbácea cubierta de nieve al momento de la visita. Cobertura arbórea en torno al 15 %, dominada por roble (*Nothofagus obliqua*).

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 – 18 A	Negro (5YR 2.5/1) en húmedo; franco limosa; ligeramente plástico, no adhesivo. Estructura de bloques finos débiles; friable. Poros finos abundantes. Raíces muy finas y finas comunes. Sin pedregosidad. Límite lineal claro.
18 – 45 B	Pardo rojizo oscuro (5YR 2.5/2) en húmedo; franco arenosa; no plástico, no adhesivo. Estructura de bloque angulares medios moderados; friable. Poros finos abundantes. Raíces muy finas escasas. Sin pedregosidad.

Fotografía 17. Paisaje asociado a sitio 9



Fotografía 19. Sección de control corte 9



Fotografía 20. Corte de camino en donde se aprecia la secuencia de horizontes y de depósitos volcánicos del material parental



Sitio 10 - Bosque nativo

Geomorfología	Lomaje
Pendiente	8 a 15 %
Erosión	Sin erosión
Drenaje	Bien drenado

Características Generales

Suelo derivado de depósitos volcánicos en posición de lomaje suave, moderadamente profundo. Evidencias de presencia de ganado.

Bosque nativo con una cobertura vegetal arbórea en torno al 85 %, dominada por roble (*Nothofagus obliqua*), coihue (*Nothofagus dombeyi*) y avellano (*Gevuina avellana*), acompañando maqui (*Aristotelia chilensis*).

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 – 15 A	Negro (5YR 2.5/1) en húmedo; franco limosa; ligeramente plástico, no adhesivo. Estructura de bloques subangulares finos débiles; friable. Poros finos abundantes. Raíces muy finas y finas abundantes, medias comunes. Sin pedregosidad. Límite lineal claro.
15 – 45 B	Pardo rojizo oscuro (5YR 2.5/2) en húmedo; franco arenosa; no plástico, no adhesivo. Estructura de bloques subangulares finos débiles; friable. Poros finos abundantes. Raíces muy finas y finas comunes. Sin pedregosidad.

Fotografía 21. Paisaje asociado a sitio 10



Fotografía 22. Sección de control corte 10



Sitio 11 - Humedal

Geomorfología	Planicie fondo de valle
Pendiente	1 a 2 %
Erosión	Sin erosión
Drenaje	Pobremente drenado

Características Generales

Humedal palustre emergente, nivel freático en superficie, y transición a bosque pantanoso. Suelo con estratificaciones y evidencias redoximórficas, pero en ausencia de coloraciones gley en matices 7.5 YR y 10 YR.

Humedal dominado por juncos (*Juncus procerus*) donde acompaña cortadera (*Cyperus eragrostis*). Ejemplares aislados de canelo (*Drimys winteri*) de tamaño pequeño. Destaca pequeño bosque de pitra (*Myrceugenia exsucca*).

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 – 25 A	Pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; franco arcillo limosa; plástico, adhesivo. Estructura de bloques angulares medios moderados; firme. Poros finos escasos. Raíces muy finas abundantes. Sin pedregosidad. Límite lineal abrupto.
25 – 45 B	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; areno francosa; no plástico, no adhesivo. Estructura masiva; firme. Poros finos escasos. Raíces medias escasas. Sin pedregosidad. Condición redox.

Fotografía 23. Paisaje asociado a sitio 11



Fotografía 24. Sección de control corte 11



Sitio 12 - Pradera

Geomorfología	Lomajes suaves
Pendiente	2 a 5 %
Erosión	Sin erosión
Drenaje	Bien drenado

Características Generales

Suelo derivado de depósitos volcánicos, moderadamente profundo, en ladera de exposición norte del volcán Llaima, en posición de plano inclinado.

Cobertura vegetal herbácea cercana al 95 % dominada por especies de la familia Poaceae. Cobertura arbórea en torno al 15 %, donde destacan pequeños bosquetes de roble (*Nothofagus obliqua*) y ejemplares en mayor densidad en el entorno de la pradera. Presencia de zarzamora (*Rubus ulmifolius*).

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 – 16 A	Pardo rojizo oscuro (5YR 2.5/2) en húmedo; franco arenosa; ligeramente plástico, no adhesivo. Estructura de bloques subangulares finos débiles; friable. Poros finos comunes. Raíces muy finas y finas comunes. Sin pedregosidad. Límite lineal claro.
16 – 35 B	Pardo rojizo oscuro (5YR 2.5/2) en húmedo; franco limosa; ligeramente plástico, no adhesivo. Estructura de bloques angulares finos débiles; friable. Poros finos comunes. Raíces muy finas escasas. Sin pedregosidad.

Fotografía 25. Paisaje asociado a sitio 12



Fotografía 26. Sección de corte calicata 12



Sitio 13 – Bosque nativo

Geomorfología	Lomaje
Pendiente	5 a 8 %
Erosión	Sin erosión
Drenaje	Bien drenado

Características Generales

Suelo derivado de depósitos volcánicos, moderadamente profundo, en ladera de exposición norte del volcán Llaima, en posición de plano inclinado. Sector intervenido por corta y presencia de ganado.

Bosque nativo con una cobertura vegetal arbórea cercana al 65 %, dominada por radial (*Lomatia hirsuta*), coihue (*Nothofagus dombeyi*) y maqui (*Aristotelia chilensis*), acompañada de arrayán (*Luma apiculata*). Presencia de zarzamora (*Rubus ulmifolius*) entre las especies arbustivas.

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 – 10 A	Pardo rojizo oscuro (5YR 2.5/2) en húmedo; franco arcillo arenosa; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo. Estructura de bloques angulares finos débiles; friable. Poros finos comunes. Raíces muy finas y finas comunes, medias escasas. Sin pedregosidad. Límite lineal claro.
10 – 30 B	Pardo rojizo oscuro (5YR 2/2) en húmedo; franco arcillo arenosa; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo. Estructura de bloques angulares medios moderados; friable. Poros finos abundantes. Raíces muy finas y finas comunes. Sin pedregosidad.

Fotografía 27. Paisaje asociado a sitio 13



Fotografía 28. Sección de corte calicata 13



Sitio 14 - Plantación forestal de pino

Localización	
Geomorfología	Lomajes suaves
Pendiente	2 a 5 %
Erosión	Sin erosión
Drenaje	Bien drenado

Características Generales

Suelo derivado de depósitos volcánicos, moderadamente profundo, en ladera de exposición norte del volcán Llaima, en posición de plano inclinado. Sector intervenido para acceso a condominio privado.

Cobertura vegetal arbórea cercana al 60 % compuesta en su totalidad por pino.

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm)	Descripción
0 – 12 A	Negro (5YR 2.5/1) en húmedo; franco arcillo arenosa; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo. Estructura de bloques angulares finos débiles; friable. Poros finos abundantes. Raíces muy finas y finas escasas. Sin pedregosidad. Límite lineal claro.
12 – 30 B	Pardo rojizo oscuro (5YR 2.5/2) en húmedo; franco arcillo arenosa; ligeramente plástico, no adhesivo. Estructura de bloques subangulares finos débiles; friable. Poros finos comunes. Raíces finas ocasionales. Sin pedregosidad.

Fotografía 29. Paisaje asociado a sitio 14



Estado del documento

Revisión	Fecha	Autor	Revisado	Comentarios
0	4 de diciembre de 2020	PV / FM / RC	PNV	Para publicación en SINIA
D	4 de diciembre de 2020	PV / FM / RC	PNV	
C	20 de noviembre de 2020	PV / FM / RC	PNV	
B	6 de noviembre de 2020	RCS / PNV		
A	9 de octubre de 2020	RCS/COG/PNV	PNV	

