

# DEFINICIÓN DE ÁREAS DE RIESGO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS POR APLICACIÓN DE NITRÓGENO

## INFORME FINAL

### CAPÍTULO 6 – CAMPAÑA TERRENO Y VALIDACIÓN METODOLOGÍA

CONTENIDOS	Página
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>183</b>
<b>2 DISEÑO DE LA CAMPAÑA DE TERRENO</b>	<b>185</b>
2.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS ÁREAS PILOTO	185
2.2 MUESTREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	190
2.3 ENCUESTAS AGROPECUARIAS	191
<b>3 RESULTADOS DE LA CAMPAÑA DE TERRENO</b>	<b>193</b>
3.1 CARACTERIZACIÓN AGROPECUARIA DE LOS SECTORES DE ESTUDIO DE CADA REGIÓN	193
3.2 RESULTADOS QUÍMICOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	198
3.2.1 Región del Bío Bío	198
3.2.2 Región de Valparaíso	201
3.2.3 Región Metropolitana	203
<b>4 VALIDACIÓN Y AJUSTE DE LA METODOLOGÍA</b>	<b>205</b>
4.1 DISCUSIÓN SOBRE LOS RANGOS DE CARGA Y SOBRE LA COHERENCIA ENTRE CONCENTRACIONES DE NITRATOS Y RIESGO EVALUADO CON METODOLOGÍA PRELIMINAR	206
4.2 AJUSTES EN LA METODOLOGÍA Y COMPARACIÓN DE MAPAS PRELIMINARES Y FINALES	213
4.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN ENTRE LA COHERENCIA DE LAS CONCENTRACIONES DE NITRATOS Y RIESGO EVALUADO CON LA METODOLOGÍA FINAL ADOPTADA	219
<b>5 CONCLUSIONES</b>	<b>226</b>

---

## 1 INTRODUCCIÓN

El diseño de un modelo o metodología para evaluar un riesgo, predicción de parámetros o de comportamiento de un sistema requiere siempre de una validación y calibración del mismo, ya sea aplicando datos antiguos conocidos, o con nuevos datos de terreno obtenidos para este fin.

En este sentido en este capítulo se presenta el trabajo realizado en el marco de este proyecto para validar y ajustar el diseño de la metodología elaborada para determinar el riesgo a la acumulación de nitrato en aguas subterráneas de origen agropecuario.

Esta validación se realizó a partir de la aplicación y validación de la metodología en tres regiones piloto definidas en el proyecto, la región del Bío Bío, la región de Valparaíso y la región Metropolitana. Para ello se elaboraron los mapas temáticos y de riesgo final con la metodología preliminar diseñada, para posteriormente realizar tres campañas de terreno para, por un lado, verificar la información de base utilizada para la obtención de los mapas, y por otro, validar si el riesgo obtenido en distintas áreas piloto seleccionadas de estas regiones se correlacionaba con los valores de concentración de nitratos obtenidos en sus aguas subterráneas. A partir de los resultados de estas campañas se procedió a evaluar los mapas y diseño de la metodología preliminar, para ajustar los parámetros y ponderación de las distintas variables consideradas y desarrollar la metodología final para la obtención del riesgo de acumulación de nitrógeno en aguas subterráneas de origen agropecuario propuesta en este proyecto.

El desarrollo de esta validación consistió, en primer lugar, seleccionar las áreas piloto para realizar la campaña de terreno en las tres regiones consideradas, posteriormente, realizar dichas campañas de terreno para muestrear las aguas subterráneas del sector y analizar las concentraciones de las especies nitrogenadas disueltas en las aguas ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$ ) y paralelamente, realizar unas encuestas similares a las del censo agropecuario para verificar la información de las bases de datos utilizadas en la aplicación de la metodología.

Cabe destacar que las encuestas se realizaron en los sectores y predios colindantes a los pozos muestreados y que en ningún caso pretenden elaborar una nueva base de datos para la aplicación de la metodología. Éstas pretenden ser solamente una herramienta para

entender las posibles discrepancias entre los valores de concentración encontrados con la valoración de riesgo obtenida en el punto, y en algunos casos, ser una herramienta local de ajuste de los resultados.

Además es importante destacar que los muestreos de aguas subterráneas se han realizado a partir de los pozos existentes en las áreas seleccionadas, los cuales son en algunos casos pozos someros, en otros casos se trata de pozos de más profundidad, existen pozos protegidos, pozos abiertos, habilitados (con bomba) o sin habilitar, de modo que los resultados químicos obtenidos son el reflejo de la concentración existente a una profundidad y en un tipo de pozo en particular, siendo a veces difícil de comparar los resultados de distintos pozos muestreados. Esta dificultad es intrínseca a los estudios de detección de nitratos de acuíferos cuando no existe disponibilidad de pozos con unas mismas características constructivas o de recursos para la ejecución de una red de monitoreo propia para los fines de un proyecto concreto.

Aún con las dificultades anteriormente señaladas, las campañas de terreno han sido para este proyecto una herramienta fundamental para la validación y ajuste del diseño metodológico propuesto y han permitido obtener una metodología final que, a nuestro juicio, es una muy buena herramienta de conocimiento del riesgo de acumulación de nitratos en las aguas por las actividades agropecuarias existentes y por lo tanto, que puede ser utilizada como instrumento de gestión y control de estas actividades.

---

## 2 DISEÑO DE LA CAMPAÑA DE TERRENO

A continuación se presenta el diseño de las tres campañas de terreno realizadas en el marco de este proyecto, cuyos resultados han sido utilizados para el ajuste y validación de la metodología propuesta para la evaluación del riesgo de acumulación de nitratos de las aguas subterráneas por nitrógeno de origen agropecuario. Se seleccionaron en cada región, las áreas piloto para la ejecución de los trabajos de terreno, los cuales consistieron por un lado, en el muestreo de aguas subterráneas y por el otro, en el levantamiento de encuestas agropecuarias a los dueños o administradores de los predios visitados durante el muestreo de pozos, como herramienta de caracterización de las actividades potencialmente contaminantes en nitrógeno situados alrededor de los puntos de muestreo.

---

### 2.1 Criterios de Selección de las Áreas Piloto

Para seleccionar objetivamente el área piloto de cada región de estudio, se utilizaron los mapas temáticos generados a partir de la información censal de los rubros agrícolas y pecuarios, los mapas de cargas y los mapas de riesgo obtenidos de la metodología preliminar diseñada. A partir de la definición de una macro área piloto regional, se trazaron micro-sectores para ejecución de los muestreos de aguas subterráneas y el levantamiento de encuestas en explotaciones agrícolas, pecuarias o agropecuarias, considerando:

- Mapas temáticos de carga de nitrógeno de origen agrícola, pecuaria o total agropecuaria por región originados desde bases de datos distritales.
- Mapas climáticos y consideraciones topográficas cuando fue aplicable a nivel micro-área.
- Inclusión de diferentes tipos de perfil de productor distribuidos al azar sobre el área piloto, asegurando la probabilidad de información en métodos de riego y fertilización primarios.
- Ubicación desde centros urbanos administrativos o comerciales agrícolas y desde cursos de agua principales y macro-cuencas.
- Ubicación y distanciamiento desde terrenos tipo vega o altamente inundables que pudieran distorsionar los resultados y su interpretación.

- Mapas temáticos de carga potencialmente lixiviable generados a partir de distintas valoraciones o rangos con límites máximos de carga de 120, 180, 240 y 360 KgN/ha (Tabla 2.1) obtenidos con la metodología preliminar diseñada. Se quería decidir cómo valorizar las cargas de nitrógeno potencialmente lixiviable, es decir determinar qué cantidad de N aplicado por hectárea y año podía representar un riesgo alto y qué cantidad un riesgo bajo. En base a esta discusión se aplicó la metodología preliminar considerando los cuatro rangos distintos de carga potencialmente lixiviable que se presentan a continuación.

Tabla 2.1. Distintos rangos considerados para las cargas potencialmente lixiviables.

<b>Rango de las cargas</b>	<b>Caso hasta 120 KgN/ha/año</b>	<b>Caso hasta 180 KgN/ha/año</b>	<b>Caso hasta 240 KgN/ha/año</b>	<b>Caso hasta 360 kgN/ha/año</b>
Muy Alta (MA)	> 120	> 180	> 240	> 360
Alta (A)	90 - 120	135 - 180	180 - 240	270-360
Media (M)	60 - 90	90 - 135	120 - 180	180-270
Baja (B)	30 - 60	45 - 90	60 - 120	90-180
Muy Baja (MB)	0 - 30	0 - 45	0 - 60	0-90

Con estos rangos de cargas potencialmente lixiviables se realizaron los mapas de riesgo final con la metodología preliminar y se escogieron los sectores de muestreo a partir de la información anteriormente estudiada y considerando las siguientes premisas:

- que se muestrearan sectores con distinta clasificación de riesgo para corroborar que estos se correlacionaran con distintos valores de concentraciones de nitratos en las aguas.
- que los sectores escogidos no fueran muy alejados de alguna capital regional para poder enviar cada noche las muestras al laboratorio de análisis para que la determinación de bicarbonatos se realizara dentro las primeras 24 horas.
- que se muestrearan sectores que, según el rango de cargas considerado, el valor del riesgo final obtenido fuera distinto. Esto con el objetivo de encontrar el mejor rango de trabajo.

A partir de estas premisas y de los mapas que se muestran a continuación (con los cuatro rangos de cargas considerados) se escogieron los sectores piloto marcados con recuadros en Figura 2.1 y Figura 2.2.

En estos mapas se dibujaron las captaciones (pozos y norias) de riego y de riego sin uso, procedentes de los archivos de CIREN, para con algunas referencias de ubicación de posibles puntos de muestreo sobre las diferentes zonas de riesgo definidas según la guía metodológica propuesta y desarrollada en este estudio.

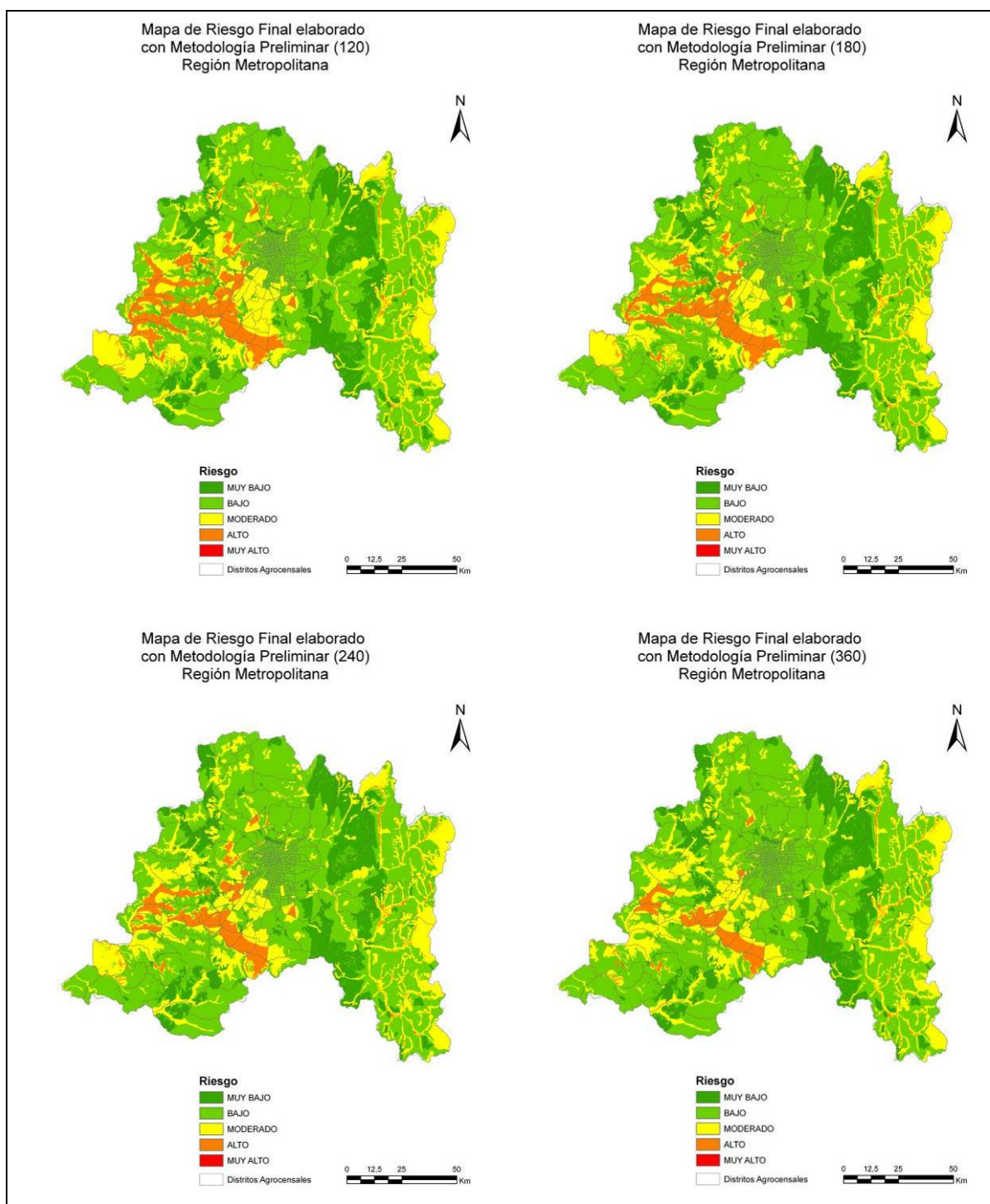


Figura 2.1. Mapas Finales de riesgo de acumulación de nitrato elaborados con la metodología preliminar para la Región Metropolitana considerando los distintos rangos de cargas de la Tabla 2.1: a) hasta 120 kg N/ha/año; b) hasta 180 kg N/ha/año; c) hasta 240 kg N/ha/año; y d) hasta 360 kg N/ha/año. Estos mapas fueron utilizados para definir los sectores para la campaña de terreno.



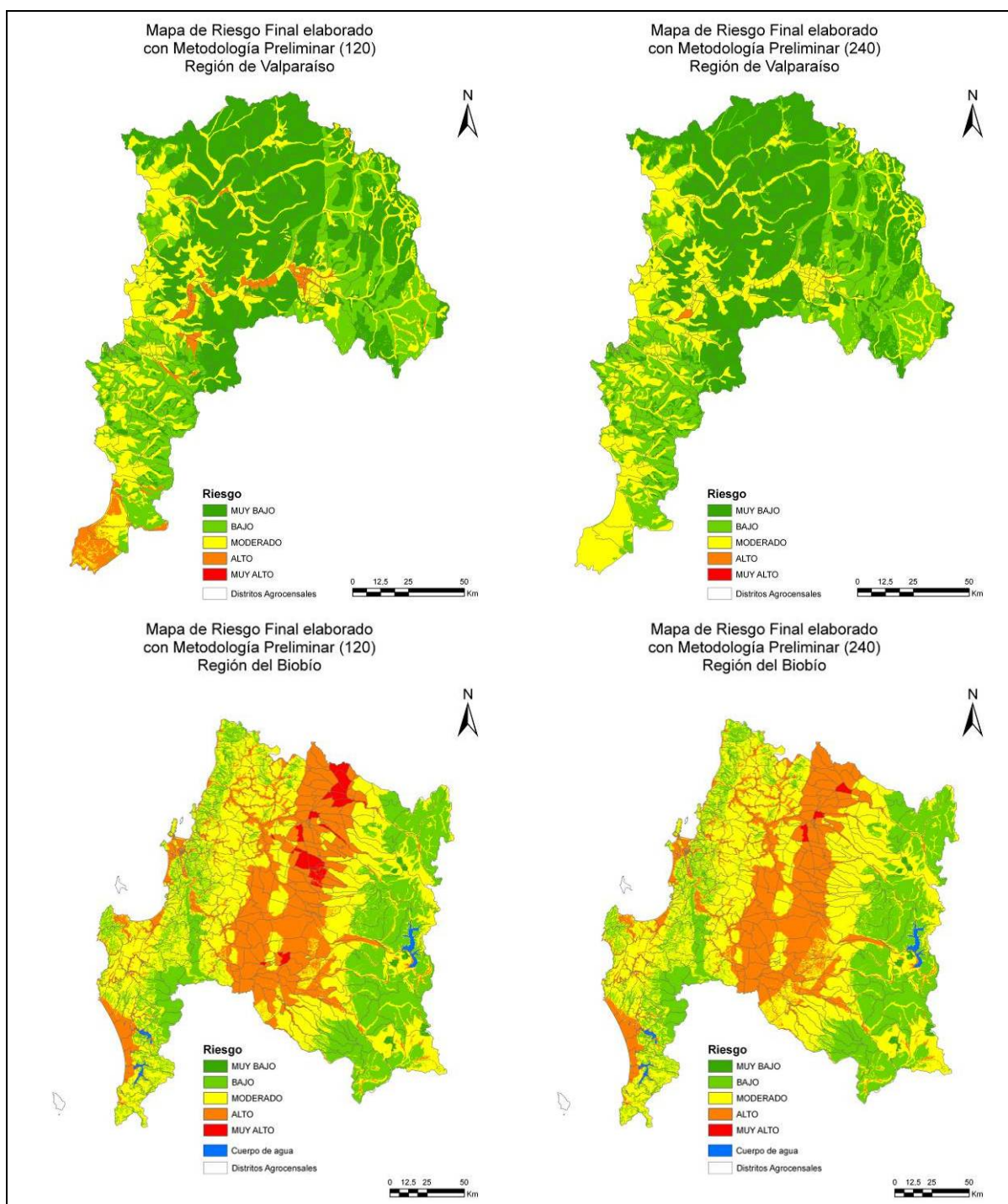


Figura 2.2. Algunos de los mapas finales de riesgo elaborados con la metodología preliminar para las regiones del Bío Bío y Valparaíso, utilizados para definir los sectores para la campaña de terreno. a) y b) Región de Valparaíso con rangos de carga hasta 120 y 240 kg N/ha/año, respectivamente; c) y d) Región del Bío Bío con rangos de carga hasta 120 y 240 kg N/ha/año.



## 2.2 Muestreo de Aguas Subterráneas

El diseño del muestreo de aguas subterráneas realizado entre los meses de Julio y Agosto 2007 contempló el muestreo de alrededor de 15 puntos en cada región, dentro de los sectores pilotos seleccionados. Se realizó la extracción de aguas mediante las bombas ya instaladas en las captaciones mediante la renovación del agua del interior de los pozos y posterior muestreo de agua. En el caso de no existir bomba instalada en las captaciones se realizó el muestreo mediante un tomamuestras manual. En cada punto se toman las coordenadas geográficas mediante un GPS (con las coordenadas UTM del datum sudamericano 1956) y se obtiene una fotografía del punto de muestreo y captación.

En cada una de las regiones de estudio, el análisis de las aguas subterráneas se centró en analizar las especies nitrogenadas disueltas ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$ ), y los valores de pH, y conductividad en terreno y en laboratorio. Para la Región del Bío Bío, donde se contempló realizar los análisis isotópicos de los nitratos disueltos ( $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ ), se analizó el oxígeno disuelto y los análisis de iones mayoritarios ( $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ). Sin embargo, tal y como se presentará más adelante, debido a la baja concentración de nitratos encontrada en las aguas, la cantidad de muestra prevista para los análisis isotópicos (3 litros) no fue suficiente y éstos no pudieron ser analizados. En este sentido en los meses de Octubre 2007 y Enero 2008 se realizaron dos nuevos muestreos en la Región de Valparaíso para el Estudio Isotópico que se presenta en el siguiente capítulo del proyecto (Capítulo 7).

Para tomar las muestras en terreno y enviarlas a los laboratorios, se llevaron para las tres regiones dos envases distintos: el primero, de 500 mL, para realizar los análisis de pH, conductividad, nitratos y nitritos; y el segundo, de 1000 mL para el análisis de amonio en el cual se adicionan 2 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. Para la región del Bío Bío se llevaron también otros envases, uno de 250 mL, destinado al análisis de oxígeno disuelto, el cual fue fijado en terreno con la adición de distintos reactivos en solución ( $\text{MnSO}_4$ , AzidaNa+KI+NaOH y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); otro, de 2000 mL, para el análisis químico de elementos mayoritarios y minoritarios, excepto los cationes, para los cuales se tomó un quinto envase de 500 mL al cual se le añadió 1 mL de  $\text{HNO}_3$  concentrado para acidificar la muestra. Además se tomaron dos envases más, de 1000 y 2000 mL, destinados a los análisis isotópicos que no pudieron realizarse. Estos envases se habían envuelto en papel de aluminio para proteger las

muestras de la luz y evitar posibles alteraciones de las muestras que afectaran a sus firmas isotópicas.

Los análisis químicos de las aguas subterráneas se realizaron en el laboratorio de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Los análisis isotópicos que no fueron realizados estaban previstos hacerse bien en la CCHEN o bien en el Environmental Isotope Laboratory de la University of Waterloo (Canadá).

---

### 2.3 Encuestas Agropecuarias

El levantamiento de las encuestas agropecuarias, considerando los recursos disponibles, efectuó en los sectores colindantes a los muestreos de aguas subterráneas a fin de levantar información de rubros productivos, fertilización y riego como principales variables de análisis. En ningún caso pretenden elaborar una nueva base de datos para la aplicación de la metodología, sino una herramienta para entender las posibles discrepancias entre los valores de concentración encontrados con la valoración de riesgo obtenida en el punto, y en algunos casos, ser una herramienta local de ajuste de los resultados.

Por lo tanto, su levantamiento en terreno, que seguirá los criterios descritos anteriormente para selección de áreas piloto, adjuntando criterios logísticos y de acceso en período invernal a las explotaciones para lograr una expedita ejecución de actividades de terreno en región, espera cubrir desde las grandes explotaciones para exportación a pequeñas parcelas de subsistencia.

Se desarrollaron dos encuestas para cubrir todos los escenarios posibles de encontrar en terreno, una exclusivamente agrícola y otra destinada a explotaciones pecuarias, considerando también la inclusión de una u otra en explotaciones mixtas.

Así, la **encuesta agrícola** consta de las siguientes partes principales:

- Información de contacto
- Caracterización de la explotación y del área
- Disponibilidad de agua de riego
- Perfil de producción

- Descripción por rubros productivos: cultivos anuales, Hortalizas y flores, plantaciones frutales, viñas y parronales, forrajeras sembradas y mejoradas.
- Sistema de producción riego/secano
- Superficie cultivada por especie
- Producción o rendimiento promedio
- Sistema de riego
- Fertilización: producto de preferencia, método de compra, uso o reciclaje de abonos orgánicos, otros fertilizantes potásicos o fosforados o micronutrientes
- Método de aplicación fertilizantes: dosis aplicación, sistema y época de aplicación, número de aplicaciones por temporada.
- Uso de praderas: pastoreo directo, pastoreo rotativo, cosecha para ensilaje o forraje.

Mientras que la **encuesta pecuaria** consta de las siguientes partes:

- Información de contacto
- Caracterización de la explotación y del área
- Disponibilidad de agua de riego
- Perfil de producción
- Descripción por rubros productivos: bovinos de carne, bovinos de leche, porcinos, aves, ovinos, caprinos, equinos.
- Forrajeras sembradas y mejoradas, integradas al sistema ganadero: superficie, especie, producción promedio, uso, condición riego o secano, fertilización si aplica.
- Tipo de raza predominante, simple o doble propósito
- Número de animales por edad o estado de producción
- Tipo de manejo, intensivo o extensivo o mixto
- Objetivo de producción, engorda, crianza, ponedora, reproducción, lana, deporte, venta, de tiro, etc.
- Manejo de residuos: sistema de lavado, pozos de decantación, lagunaje, evacuación residuos secos, tratamientos primarios y secundarios, entre otras.
- Uso de desechos, fertilizante incorporado o asperjado, venta, compostaje, alimento animal si es aplicable.

---

### 3 RESULTADOS DE LA CAMPAÑA DE TERRENO

---

#### 3.1 Caracterización Agropecuaria de los Sectores de Estudio de cada Región

La elaboración de las encuestas y la recopilación de información local desde la campaña de terreno fue realizada entre Julio a Agosto del año 2007, coincidiendo con los meses invernales de receso frutal o recambio de siembras en rotación.

Los sectores estudiados de la región de Valparaíso se sitúan en 9 comunas (Hijuelas, La Calera, La Cruz, Quillota, Limache, Olmué, Quilpue, Villa Alemana y Casablanca), las cuales se distribuyen en 3 Áreas Homogéneas tales como el Valle, Secano Interior y Secano Costero.

Para la región Metropolitana los sectores estudiados se sitúan en 6 comunas (Talagante, Isla de Maipo, Buin, Paine, Pirque y San Bernardo) las cuales se distribuyen en 2 Áreas Homogéneas, del Valle y la Pre-Cordillera.

Los sectores estudiados de la región del Bío Bío se sitúan en 8 comunas (Ñiquén, San Carlos, San Nicolás, Coihueco, Chillán, Portezuelo, Chillán Viejo y Pinto), las cuales se distribuyen en 3 Áreas Homogéneas, la Depresión Intermedia, Secano Interior y Cerro Cordón isla.

Parte del trabajo de la encuesta no pudo realizarse en algunas ocasiones por las dificultades encontradas por el recelo o negativa de algunos agricultores o administradores para responder el cuestionario, situación observada principalmente en los valles de San Felipe y Los Andes de la V Región. También, no todos los puntos de muestreo de aguas subterráneas tuvieron levantamiento de información por encuesta, por ejemplo, en las casas de inquilinos o centros cívicos o educacionales o en pozos de abastecimiento de agua potable.

En general, dentro de las tres regiones, se levantaron encuestas en sectores que abarcaron satisfactoriamente la distribución de rubros agropecuarios locales. Estos sectores incluyeron los rubros agrícolas de frutales, viñas, cultivos anuales, hortalizas y flores tanto al aire libre como bajo invernadero, y forrajeras mejoradas y sembradas. No se evaluó ni analizó el

rubro forestal ni terrenos en barbecho. El rubro pecuario cubrió las producciones de bovinos de carne, caprinos, porcinos, y equinos de subsistencia. No se tomaron encuestas en explotaciones de bovino de leche, avícola ni ovinos.

La información arrojada por las encuestas agrícolas y pecuarias están disponibles en fichas individuales siguiendo la identificación usada para los pozos en el muestreo de aguas por cada región en el Anexo III. En él además se presenta un análisis de esta información recogida por los puntos de levantamiento de información, tanto para la caracterización de las actividades agropecuarias encontradas, sumado al perfil de producción y tipo de suelo, como también, la información obtenida, cuando estuvo disponible, para los métodos y época de fertilización, tipo de fertilizante y dosis, método de riego y disponibilidad de éste, y datos de producción por unidad de superficie en los distintos rubros agrícolas. En algunas secciones sólo se hace referencia de información resumida para el análisis de las principales variables que es recomendable utilizar para determinar la variabilidad de riesgo con respecto a las condiciones productivas, de manejo y sociales de cada localidad.

En este apartado en la Tabla 3.1, Tabla 3.2 y Tabla 3.3, para las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Bío Bío, respectivamente, se presenta un resumen de algunos parámetros encuestados, como el tipo de explotación, el perfil de producción, las actividades o rubros principales de la explotación, tipo de suelo y sistema y dosis de fertilización.

A partir de los datos entregados por los productores encuestados, específicamente a partir de las dosis de fertilizantes aplicadas y de la época y sistemas de aplicación de éstos fertilizantes se ha podido calcular las dosis de nitrógeno aplicadas en estas áreas cultivadas en unidades de kg de nitrógeno por hectárea y año (Tabla 3.4).

Tabla 3.1. Caracterización de actividades y perfil agropecuarios de la muestra, V Región.

ID Pozo	Textura suelo	Nombre de la explotación	Tipo de Explotación	Perfil de producción	Actividades o rubros principales	Método de Riego	Fertilizantes Dosis	Época y aplicación de fertilizantes
P1 V	FA	Agrícola El Pidén	Agrícola	Subsistencia	Forrajeras, alfalfa	Tendido	s/i	s/i
P2 V	FA-Fa	Fundo Hornillos, Aconex	Agrícola	Mediano	Tomate de invernadero. Palto y cítricos .	Microaspersión Goteo	Fertilizantes solubles - fórmula empresa	Fertirrigación. Frutales Sept - Marzo. Tomate Marzo-Mayo
P3 V	Fa	Agrícola Santa Alicia	Agrícola	Mediano	Maíz, alfalfa. Frutales palto.	Tendido	Urea, KNO <sub>3</sub>	Voleo
P4 V	Fa	Agrícola Santa Alicia	Agrícola	Mediano	Palto	Microaspersión Goteo	Urea 200 KgN/ha KNO <sub>3</sub>	Fertirrigación Dic-Abril
P5 V	Fa	Huerto San Gerónimo	Agrícola	Mediano	Claveles. Frutales palto.	Tendido, Aspersión +cinta	Guano FMA s/i dosis	Flores, fertirrigación Palto, al voleo en primavera
P6 V	Fa	Humberto Araya	Agrícola	Mediano	Hortalizas (cebolla, coles de bruselas, zuchini, morrón y maíz) aire libre e invernadero.	Tendido Cinta	Urea 200-600 KgN/ha Guano SFT + KNO <sub>3</sub>	Urea en mezcla, al voleo incorporada con riego, primavera verano
P7 V	A	Parcela Providencia	Agrícola	Grande	Paltos.	Goteo	Urea 220 KgN/ha, KNO <sub>3</sub>	Fertirrigación Oct-Enero
P8 V	a	Parcela 24 Rabuco	Agrícola	Pequeño	Flores de corte, invernadero.	Goteo	Ultrasol	Fertirrigación todo e laño
P9 V		María Arancibia	Casa inquilinos					
P10 V	FA - a	Lomas de Pocochay	Agrícola	Grande	Paltos.	Microaspersión	Fórmula NKP según monitoreo y análisis 180-200 Kg/N/ha	Fertirrigación Ago-Abril
P11/P 12 V	FAa	Fundo Las Cruzadas	Agrícola	Grande	Tomates invernadero. Cítricos y paltos.	Goteo	Fórmula Urea, KNO <sub>3</sub> Guano pavo (tomates)	Fertirrigación todo el ciclo tomates. Frutales primavera verano.
P13 V	Fa	Viña Santa Rita, Los Hualpes	Agrícola	Grande	Vinos de exportación.	Goteo, auto-compensado	Urea 30 Kg/ha KNO <sub>3</sub> 20 Kg/ha	Fertirrigación, (1) en otoño salidas invierno
P14 V		Agrícola los Fresnos	Casa inquilinos					
P15 V	Fa	Viña Sta. Emiliana, Fundo La Cordillera	Agrícola y Pecuaria	Grande	Vinos de exportación. Caprinos leche, quesos	Goteo, auto-compensado	Urea, KNO <sub>3</sub> , Guano pavo en viñedos orgánicos	Fertirrigación, en otoño salidas invierno

Tabla 3.2. Caracterización de actividades y perfil agropecuarios de la muestra, RM.

ID Pozo	Textura suelo	Nombre de la explotación	Explotación	Perfil de producción	Actividades o rubros principales	Método de Riego	Fertilizantes Dosis	Época y aplicación de fertilizantes
E RM	Fa	El Embarque	Agrícola	Mediano	Frutales carozos y nuez.	Surco	s/i	Localizada en surco Sept-Marzo + fert.foliar
P1 RM		C. Serv. AP Huelquén	Servicio					
P2 RM	FA	Fundo La Vega	Agrícola	Grande	Uva de mesa.	Goteo	Urea 150 KgN/ha, KNO <sub>3</sub>	Fertirrigación localizada Oct-Abril
P3 RM	FA	Fundo El Laurel	Agrícola	Mediano	Frutales carozo y viñas.	Tendido, Californiano, Goteo	Urea, KNO <sub>3</sub>	Localizada en postcosecha
P4 RM	Fa	Fundo El Tranque	Agrícola	Mediano	Tunas, olivos.	Tendido	s/i	s/i
P5 RM		Parcela Miraflores	Casa inquilinos					
P6 RM	FA	San Gustavo	Agrícola	Mediano	Hortalizas (cebollas, lechuga)	Goteo	Ultrasol solubles	Fertirrigación Sept-Nov
P7 RM	FA	Fundo El Carmen	Agrícola	Grande	Maíz, tuna, patronales, alfalfa	Tendido	Urea 250 Kg/ha	Tuna, voleo Oct. Patronal, localizado invierno. Alfalfa, al voleo
P8 RM	FA	Agrícola El Chorombo	Pecuaría	Grande	Porcinos engorda.			
P9 RM		Agrícola El Naranjal	Casa inquilinos					
P10 RM	FA	Sergio Fernández	Agrícola	Pequeño	Frutales cítricos (limonero, naranjo).	Goteo	350 Kg N/ha, KNO <sub>3</sub>	Fertirrigación localizado Sept-Nov.
P11 RM	FA	Viña Chocalán	Agrícola	Me.-Gran.	Frutales viñas y palto. Maíz.	Tendido		s/i
P12 RM	FA	Viña Chocalán	Agrícola	Mediano-Grande	Frutales viñas y palto. Cultivo maíz.	Microaspersión, Goteo	Mezcla Urea+CaNO <sub>3</sub> Ultrasol + KNO <sub>3</sub>	Fertirrigación Sept-Marz Fertirrigación Julio-Dic
P13 RM	FaL	Viña Undurraga, Fundo Codigua	Agrícola	Grande	Vinos.	Goteo, Tendido	Urea + KNO <sub>3</sub> , 100-120 KgN/ha, Fósforo	Localizado con riego invierno, primav.,verano
P14 RM		C. Serv. AP Codigua	Servicio					
P15 RM	FA	Agrícola Las Palmas, Fund. Colombo	Agrícola y Pecuaria	Grande	Uva de mesa. Bovinos de carne, pradera alfalfa.	Tendido y surco, Goteo	Urea 25 Kg/ha, KNO <sub>3</sub>	s/i, por riego, Fertirrigación (10) Oct-Nov



Tabla 3.3. Caracterización de actividades y perfil agropecuarios de la muestra, VIII Región.

ID Pozo	Textura suelo	Nombre de la explotación	Explotación	Perfil de producción	Producción por rubros principales	Método de Riego	Fertilizantes Dosis	Época y aplicación de fertilizantes
P1 VIII	A	Parcela El Recreo	Agrícola	Mediano	Arándano, Nogal	Goteo	Urea + P s/i dosis	A:Fertirrigación Nov-Feb N:Al voleo Sept-Abril
P2 VIII	s/i	Parcela El Manzano	Agrícola	Mediano	Arándanos	Goteo	Urea 20 Kg/ha, KNO <sub>3</sub> , FMA potásico, Paja cereal	Fertirrigación semanal, Oct-Feb
P3 VIII	FA	Hijuela N°2 El Peral	Agrícola	Pequeño- subsistencia	Frutillas	Surco	Urea 400 Kg/ha Mezcla fosforada (250 KgN/ha)	Al voleo en otoño
P4 VIII	A	Pomulleto San Luis	Pecuaría	Mediano	Bovinos carne. Pradera asociada avena-ballica	Tendido	Urea 60 Kg/ha + estiércol bovino	Al voleo Ago-Dic
P5 VIII		ESSEBIO (Ap)	Potable					
P6 VIII	FA	Huerto Quihue	Agrícola	Grande	Arándanos.	Goteo	Urea 180 KgN/ha	Localizada Sept-Marzo
P7 VIII	A	El Guindo	Agrícola y Pecuaría	Pequeño - subsistencia	Guindo, Pradera mixta, caballos	Secano	Urea 20 Kg/ha Urea + NaNO <sub>3</sub>	Manual verano Voleo Oct-Marzo
P8 VIII	A	Panguilemu	Pecuaría	Peq.-Mediano	Bovinos de carne		No hay pradera asociada	No recicla
P9 VIII	A	Panguilemu	Pecuaría	Peq.-Mediano	Bovinos de carne			
P10 VIII	A	Panguilemu	Pecuaría	Peq.-Mediano	Bovinos de carne			
P11 VIII		Los Montes	Privado					
P12 VIII		Centro de capacitación	Educacional					

Tabla 3.4. Dosis de kg de N por hectárea y año aplicado por algunos de los productores encuestados en las tres regiones que dieron la información suficiente para obtener este valor.

Región de Valparaíso		Región Metropolitana		Región del Bío Bío	
ID pozo	Dosis (Kg N/ha/año)	ID pozo	Dosis (Kg N/ha/año)	ID pozo	Dosis (Kg N/ha/año)
P4 V	400	P2 RM	300	P2 VIII	180
P6 V	450	P7 RM	115	P3 VIII	250
P7 V	220	P10 RM	350	P4 VIII	27
P10 V	400	P13 RM	240	P6 VIII	180
P13 V	22	P15 RM	115	P7 VIII	10
Promedio	298,4	Promedio	224	Promedio	129,4

Es importante remarcar de estos resultados, que estos son dosis de kg de N que se aplican por hectárea y año, solamente en las hectáreas cultivadas y que por lo tanto, estas dosis en cada distrito se verán disminuidas por la repartición de estas cargas en las hectáreas totales del distrito sean éstas cultivables o no.

También es interesante ver como en la región de Valparaíso donde se produce una agricultura más intensiva, las dosis de fertilización son mayores. Paralelamente, los sistemas utilizados para su aplicación (microaspersión, tendido, goteo autocompensado, etc.) son mucho más eficientes y por lo tanto, estas cargas de nitrógeno son mucho más eficientemente utilizadas por los cultivos por lo que no necesariamente se traducirán en cargas potencialmente lixivable mayores.

## 3.2 Resultados Químicos de las Aguas Subterráneas

### 3.2.1 Región del Bío Bío

La campaña de terreno realizada en la región del Bío Bío entre los días 2 y 7 de julio, permitió el muestreo de 12 puntos de aguas subterráneas en los sectores seleccionados, correspondientes a 8 pozos noria y 4 sondajes. En el Anexo II se presenta la ficha descriptiva

de cada una de las captaciones muestreadas. Las aguas extraídas de estos pozos eran generalmente para abastecimiento de agua potable o para riego y en dos casos, para un uso industrial. Los sondeos muestreados tienen profundidades entre los 25 y 50 m con diámetros entre los 20 y 30 cm. Los pozos noria tienen profundidades entre los 5 y los 35 metros y diámetros de captación entre los 0,5 y 6 metros. Los muestreos se realizaron a partir de bombas instaladas en las captaciones y en algunos casos con tomamuestras manual. En estos puntos se realizaron las encuestas a los propietarios o administradores de los predios para obtener información actual de las actividades agropecuarias actuales existentes en los alrededores de los puntos de muestreo.

Los resultados químicos obtenidos para la región del Bío Bío se presentan en la Tabla 3.5.

En ella se muestra que las aguas muestreadas son aguas dulces, con conductividades entre los 20 y 667  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con promedios de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los valores de pH de las aguas son neutros a ligeramente ácidos, con valores promedio entorno 6,8. El pozo P3 VIII es el que presenta el valor menor medido en laboratorio, de 5,9. El pozo P1 VIII en laboratorio se midió un valor de 9,2 el cual, con la presencia de carbonatos en el agua detectados (9 mg/L) hace sospechar que durante el traslado y almacenamiento de la muestra, ésta pudo haber sufrido alguna alteración puesto que en terreno se midió un valor de pH de 6,6 coherente con los demás resultados medidos en la región.

Ninguno de los pozos presenta concentraciones detectables de amonio y nitritos, especies que reaccionan rápidamente transformándose en nitratos, los cuales sí han sido detectados, con concentraciones que alcanzan los 41 mg/L siempre por debajo el límite máximo de 50 mg/L fijado por la norma chilena Nch409/1 de concentraciones máximas aceptables para el agua potable. La concentración promedio de nitratos en las aguas muestreadas es de casi 10 mg/L. Por lo tanto, se puede determinar que existe una afección antrópica en el quimismo de las aguas que se traduce en concentraciones de nitratos más elevadas de los valores normales de aguas no afectadas (entorno los 2 mg/L), pero que esta concentración no supera los límites máximos permitidos para las aguas de consumo humano.

El pozo P10 VIII es el que presenta las más altas concentraciones en nitratos (42 mg/L) y en los demás elementos (Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ , Na, Mg, Ca), y la menor concentración en oxígeno disuelto (0,5 mg/L).

Tabla 3.5. Resultados químicos obtenidos de la campaña de terreno realizada en la VIII R.

Punto de muestreo		P1 VIII	P2 VIII	P3 VIII	P4 VIII	P5 VIII	P6 VIII	P7 VIII	P8 VIII	P9 VIII	P10 VIII	P11 VIII	P12 VIII
Fecha muestreo		3-jul	3-jul	3-jul	4-jul	4-jul	4-jul	5-jul	5-jul	5-jul	5-jul	6-jul	6-jul
Tipo		Sond.	Sond.	Noria	Noria	Sond.	Noria	Noria	Noria	Noria	Noria	Noria	Sond.
Prof. captación	m	50	35	11	5	45	10	10	35	35	15	6	25
Muestreo		beiler	beiler	bomba	beiler	bomba	bomba	bomba	beiler	beiler	bomba	bomba	bomba
T <sup>a</sup>	°C	10,9	11,4	12,7	13,9	14,2	13,1	13,2	15,5	15,7	12	12,5	16,5
pH lab.	U,pH	9,20*	6,67	5,94	6,77	7,07	6,85	6,79	6,90	7,27	6,94	6,92	7,21
Cond. lab.	µS/cm	142,5	82,6	20,8	118,3	150,0	85,5	379,0	204,0	211,0	667,0	94,0	219
O <sub>2</sub>	mg/L	3,10	5,40	8,70	6,77	1,80	2,10	2,60	1,10	2,20	0,50	2,10	4,30
Cl <sup>-</sup>	mg/L	2,10	3,50	2,40	3,20	3,80	1,70	32,18	13,25	15,78	59,31	8,83	17,67
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	1,11	4,12	<0,5	12,48	8,71	6,80	4,41	<0,5	7,66	51,36	4,49	1,16
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	62,0	25,0	6,2	37,0	49,0	31,0	160,0	117,0	92,4	191,0	43,0	86,0
CO <sub>3</sub>	mg/L	9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,60	9,56	0,64	6,84	15,79	13,11	11,58	<0,5	2,88	41,95	2,76	0,83
NO <sub>2</sub>	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
NH <sub>4</sub>	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Na <sup>+</sup>	mg/L	9,48	6,10	2,11	8,13	6,83	4,99	10,00	9,25	10,50	23,60	5,74	19,30
K <sup>+</sup>	mg/L	4,60	0,98	0,34	0,37	2,32	0,75	<0,01	0,37	0,42	1,12	1,38	0,82
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	1,07	2,89	0,65	2,77	5,84	2,15	11,70	8,83	9,75	26,10	2,26	7,56
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	16,40	4,94	1,87	10,60	17,10	10,10	41,70	21,70	22,80	81,40	9,27	0,82
Error balance	%	12,95	1,76	15,76	2,46	11,38	0,49	-4,46	-1,60	5,34	5,24	-7,76	-12,16

Los análisis de los demás elementos mayoritarios (cationes y aniones) se realizaron para ayudar en la interpretación de los análisis isotópicos que no pudieron realizarse. Sin embargo, con estos valores podemos clasificar las aguas de la región del Bío Bío como bicarbonatadas cálcico-magnésicas.

Para el análisis de la  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  se requiere un mínimo de 5 mg de nitrógeno para su análisis. A partir de la concentración de los nitratos en las aguas, la cual se obtiene días después con los resultados de laboratorio, puede calcularse la cantidad de muestra necesaria para realizar dichos análisis. Para las aguas muestreadas, estas cantidades se muestran en la Tabla 3.6. En este caso, como las concentraciones de nitratos fueron menores a las esperadas, y en algunos casos casi inexistentes, los dos litros de agua tomados para estos análisis no fueron suficientes para realizar estas determinaciones.

Tabla 3.6. Cálculos para la determinación de la disponibilidad de muestra suficiente para la realización de los análisis isotópicos en función de la concentración de nitratos.

<b>Muestra</b>	<b>NO<sub>3</sub> en mg/L</b>	<b>muestra disponible para análisis de <math>\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}</math> y <math>\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}</math></b>	<b>cantidad de N en la muestra</b>	<b>muestra suficiente?</b>
P1	0,60	2 L	0,27	no
P2	9,56	2 L	4,32	no
P3	0,64	2 L	0,29	no
P4	6,84	2 L	3,09	no
P5	15,79	2 L	7,13	sí
P6	13,11	2 L	5,92	sí
P7	11,58	2 L	5,23	sí
P8	<0,5	2 L	<0,23	no
P9	2,88	2 L	1,30	no
P10	41,95	2 L	18,95	sí
P11	2,76	2 L	1,25	no
P12	0,83	2 L	0,37	no

### 3.2.2 Región de Valparaíso

La campaña de terreno realizada en la región de Valparaíso entre los días 24 y 28 de julio 2007, permitió el muestreo de 15 puntos de aguas subterráneas en las áreas piloto seleccionadas, correspondientes a 10 pozos noria y 5 sondajes.

En el Anexo II se presenta también la ficha descriptiva de cada una de las captaciones muestreadas. Las aguas de los pozos muestreados son extraídas, en casi la mitad de ellos, para el abastecimiento de agua potable y en el resto, son utilizadas para agua de riego.

Los pozos noria muestreados presentan profundidades entre los 4 y los 12 metros con diámetros de entre los 0,7 y 5 metros, pero habitualmente de 1-1,5 metros. Los sondajes son mucho más profundos, tienen entre 18 y 80 metros y diámetros de captación de 0,3-0,35 m. En estos puntos se realizaron las encuestas a los propietarios o administradores de los predios para obtener información actual de la actividades agropecuarias actuales existentes en los alrededores de los puntos de muestreo.

En esta región el muestreo de aguas subterráneas se realizó en 11 puntos (los 4 sondajes y en 7 norias) a partir de la extracción del agua mediante las bombas ya instaladas en las captaciones. En los cuatro pozos noria restante, en tres de ellas el muestreo se realizó mediante un tomamuestras manual, y en la última con un balde.

Los resultados químicos obtenidos de la región de Valparaíso se presentan en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Resultados químicos obtenidos de la campaña de terreno realizada en la región de Valparaíso.

Punto de muestreo		P1 V	P2 V	P3 V	P4 V	P5 V	P6 V	P7 V	P8 V	P9 V	P10 V	P11 V	P12 V	P13 V	P14 V	P15 V
Fecha muestreo		25-jul	25-jul	26-jul	26-jul	26-jul	26-jul	26-jul	26-jul	27-jul	27-jul	27-jul	27-jul	28-jul	28-jul	28-jul
Matriz		noria	Sond.	noria	noria	noria	noria	noria	noria	noria	noria	noria	Sond.	Sond.	noria	Sond.
Prof. captación	m	4	80	9	7	4	4	5,7	5	6	12	12	18	80	110	60
T <sup>a</sup>	°C	16,7	17,1	15,3	16,4	15,6	17,4	16,6	15,7	15,5	19,6	17,5	18,9	10,7	11,3	14,5
pH lab.	U,pH	7,1	7,6	7,2	7,9	6,9	7,9	7,0	7,4	7,6	8,0	7,6	7,6	6,9	7,5	7,1
Cond.lab.	μS/cm	790	614	1556	789	715	752	954	930	715	834	1140	830	283	394	361
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	20,7	15,2	20,1	14,2	14,1	20,1	5,8	3,5	23,8	24,5	30,2	13,8	10,4	4,3	7,5
NO <sub>2</sub>	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05
NH <sub>4</sub>	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

En ella se muestra que las aguas muestreadas son también aguas dulces, pero con conductividades un poco más elevadas que en la región del Bío Bío, con valores entre los 283 y los 1555 μS/cm y un promedio de 777 μS/cm. Los valores de pH oscilan entre los 6,9 y 8,0 con valores promedio de 7,4.

En esta región tampoco se han detectado en las aguas muestreadas concentraciones de amonio y nitritos, los cuales por el proceso de nitrificación se transforman en nitratos. Éstos se han encontrado en concentraciones que van desde los 3,5 a los 30,2 mg/L, con una concentración promedio de todas las muestras de 15,2 mg/L. Por lo tanto, se puede decir también que existe una afección antrópica en el quimismo de las aguas por las actividades agropecuarias del área aunque ésta se traduce en concentraciones de nitratos que no llegan sobrepasar los límites máximos permitidos para las aguas de consumo humano fijados por la norma Nch 409/1 de 50 mg/L. Las aguas más profundas de los sondajes, presentan concentraciones de nitratos por debajo del promedio de la región (entre 4,3 y 15,2 mg/L) pero que también están presentes.

### 3.2.3 Región Metropolitana

La campaña de terreno de la región Metropolitana se realizó entre los días 10 y 20 de julio 2007, y permitió el muestreo de 15 puntos de aguas subterráneas en las áreas piloto seleccionadas, correspondientes a 11 sondajes, 3 pozos noria y 1 dren. En los anexos se presenta la ficha descriptiva de cada una de las captaciones muestreadas.

El uso de las aguas extraídas de estas captaciones era siempre o bien el abastecimiento para el consumo humano o bien para riego o para ambos usos al mismo tiempo. Los sondajes muestreados tienen profundidades entre los 50 y 90 m con diámetros entorno los 25-30 cm. Los pozos noria presentan profundidades entre los 6 y los 16 metros y diámetros de captación entre 1 y 1,5 metros. En estos puntos se realizaron las encuestas a los propietarios o administradores de los predios para obtener información actual de la actividades agropecuarias actuales existentes en los alrededores de los puntos de muestreo.

En esta región, el muestreo de aguas subterráneas se realizó siempre en pozos que se encontraban en funcionamiento, es decir, a partir de bombas ya instaladas en las captaciones. Por lo tanto, las muestras analizadas son representativas de las aguas del acuífero. Solamente la muestra del dren fue muestreada directamente desde este conducto.

Los resultados químicos obtenidos de la región metropolitana se presentan en la Tabla 3.8.

En ella se observa que las aguas muestreadas son aguas dulces aunque con conductividades un poco más elevadas que en las regiones anteriores, con valores entre los 340 y los 1660  $\mu\text{S/cm}$  y un promedio de 1000  $\mu\text{S/cm}$ . Los valores de pH son también bastante neutros, varían entre los 6,8 y 8,0, con valores promedio de 7,5.

En estas aguas tampoco se han detectado concentraciones de amonio y nitritos, los cuales por el proceso de nitrificación se transforman en nitratos. Éstos se han encontrado en concentraciones que van desde los 0,5 a los 75 mg/L, con una concentración promedio de todas las muestras de 32 mg/L.

Por lo tanto, se puede decir que existe una afección antrópica en el quimismo de las aguas por las actividades agropecuarias del área, pero que ésta se traduce en concentraciones de nitratos más elevadas de los valores naturales habituales en aguas subterráneas, pero solamente dos pozos, P8 RM y P10 RM, se sobrepasa el límite máximo permitido de 50 mg/L



para las aguas de consumo humano, con 63 y 75 mg/L respectivamente. Estos dos pozos están explotados, el primero para el abastecimiento de agua para un plantel de porcinos, y el segundo, para riego.

Tabla 3.8. Resultados químicos obtenidos de la campaña de terreno realizada en la región Metropolitana.

Punto de muestreo		P10 RM	P2 RM	P3 RM	P4 RM	P5 RM	P6 RM	P7 RM	P8 RM	P9 RM	P10 RM	P11 RM	P12 RM	P13 RM	P14 RM	P15 RM
Fecha muestreo		10-jul	10-jul	11-jul	11-jul	11-jul	11-jul	11-jul	12-jul	12-jul	12-jul	13-jul	13-jul	20-jul	20-jul	20-jul
Matriz		Sond.	Sond.	Sond.	Sond.	Sond.	Sond.	Sond.	Sond.	Sond.	Sond.	Sond.	Sond.	dren	Sond.	Sond.
Prof. captación	m	90	90	70	60	60	70	50	16	6	6	50	60	6	80	60
T <sup>a</sup>	°C	17,3	17,5	11,5	19,7	19,1	18,8	17,7	15,5	12,6	15,9	16,9	14,7	16,3	16	12,8
pH lab.	U,pH	7,3	7,8	7,2	8,0	7,6	7,8	7,9	6,8	7,6	7,0	7,6	7,1	7,4	7,3	7,4
Cond.lab.	µS/cm	505	1434	1659	518	679	74	664	1471	1494	1600	1597	342	1622	1248	1404
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	3,8	33,1	27,0	0,5	38,7	32,7	17,2	62,8	40,6	74,8	29,4	21,7	16,6	3,9	30,7
NO <sub>2</sub>	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05
NH <sub>4</sub>	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Las menores concentraciones de nitratos, hasta 3,9 mg/L, se encuentran en algunos de los sondeos más profundos, entre los 60 y 90 m. Sin embargo, otros pozos con las mismas profundidades presentan concentraciones importantes de NO<sub>3</sub>, hasta los 38,7 mg/L indicando que la concentración de nitratos de las aguas subterráneas no se está produciendo solamente en las aguas más someras, si no que también a mayores profundidades.

## 4 VALIDACIÓN Y AJUSTE DE LA METODOLOGÍA

La metodología preliminar diseñada, calculaba las cargas potencialmente lixiviables del mismo modo que la metodología final propuesta en este proyecto, y cruzaba en el mismo orden las cargas con la matriz edafotopoclimática obteniendo el mapa de riesgo 1, y éste, con la vulnerabilidad intrínseca del acuífero generando el riesgo final de aumento de concentración de nitratos de las aguas subterráneas por nitrógeno de origen agropecuario.

La mayores diferencias que presentaba esta metodología preliminar con la metodología final propuesta hacían referencia a la valoración del riesgo asociado a los distintos rangos de precipitación dentro de la matriz edafotopoclimática, y en los valores de ponderación de la precipitación y pendiente dentro de esta matriz, en la ponderación de las superposiciones de esta matriz con los mapas de presión de carga, y en las ponderaciones de la superposición de los mapas de riesgo 1 y vulnerabilidad intrínseca en la obtención del mapa final.

La escala de valoración del riesgo de la precipitación inicialmente considerada, se presenta en la Tabla 4.1, mientras que los factores de ponderación iniciales considerados en los distintos cruces de mapas y factores se presentan en la Tabla 4.2. Con los mapas finales que se generaron con esta metodología, se diseñó y realizó la campaña de terreno (ver Figura 2.1 y Figura 2.2).

A partir de los resultados de los análisis químicos y de la información obtenida de las fichas de los pozos y de las encuestas agropecuarias se realizó la validación y ajuste de la metodología que se presenta en los siguientes apartados de este capítulo.

Tabla 4.1. Clasificación de los riesgos asociados a distintos rangos de precipitación según la metodología preliminar diseñada.

Rango de Precipitación (mm anuales)	Valor Índice de riesgo	Rango de Precipitación (mm anuales)	Valor Índice de riesgo
0 – 150	Muy bajo (MB)	750 – 1250	Ligeramente Alto (LB)
150 – 300	Bajo (B)	1250 – 2000	Muy Alto (MA)
300 – 500	Ligeramente Bajo (LB)	> 2000	Alto (A)
500 – 750	Medio (M)		

Tabla 4.2. Ponderación de distintas variables y mapas en la metodología preliminar utilizada para el diseño y ejecución de la campaña de terreno.

Cruce	Peso variable 1	Peso variable 2
Precipitación y pendiente en Matriz edafotopoclimática	60 % Precipitación	40% Pendiente
Matriz edafotopoclimática - Carga (PCP, PCAR o PCAP)	50 % Matriz	50% Carga
Mapa Riesgo 1 con mapa vulnerabilidad intrínseca	50 % Riesgo 1	50 % Vulnerabilidad

#### 4.1 Discusión sobre los Rangos de Carga y sobre la Coherencia entre las Concentraciones de Nitratos y el Riesgo Evaluado con la Metodología Preliminar

Las bajas concentraciones de nitratos encontradas en las aguas, sobretudo en la región del Bío Bío, junto con el análisis de las dosis de fertilizantes, expresadas como kg de N por hectárea y año, aplicadas por los distintos productores encuestados, determinaron que trabajar con rangos de cargas de nitrógeno potencialmente lixiviables hasta un rango máximo de más de 120 kgN/ha/año era el adecuado. Las dosis promedio aplicadas por estos productores en sus hectáreas de cultivo son del orden de 300, 225 y 129 KgN/ha/año para las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Bío Bío respectivamente.

Estas cargas brutas, en base al balance de nitrógeno en el suelo y los factores de disponibilidad de riesgo considerados por la metodología, se transforman en cargas potencialmente lixiviables de, máximo, la mitad de estos valores, además de que las cargas aplicadas en la superficie agrícola utilizable de un distrito se consideran uniformemente distribuidas en él, por lo que, estas concentraciones en cada hectárea del distrito pasan a tener valores de concentraciones promedio generalmente menores.

Por lo tanto, en los mapas finales de cada región obtenidos con la metodología preliminar diseñada considerando los rangos de carga potencialmente lixiviables hasta 120 kgN/ha/año, se representaron las concentraciones de nitratos encontradas en las aguas de los pozos muestreados (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Figura 4.2 y Figura 4.3).

Con estos mapas, se analizó la coherencia entre los valores de nitratos de cada pozo y el riesgo local predecido, analizando las condiciones constructivas y de muestreo de cada pozo, y de la información agropecuaria del sector.

Alguno de los pozos que quedaban en el límite entre dos valores de riesgo fueron reclasificados teniendo en cuenta la topografía y sentidos de flujo hidrológicos locales. Con estos análisis, para cada región y para cada rango de riesgo final se promediaron las concentraciones de nitratos encontradas. Estos resultados se presentan en la Tabla 4.3.

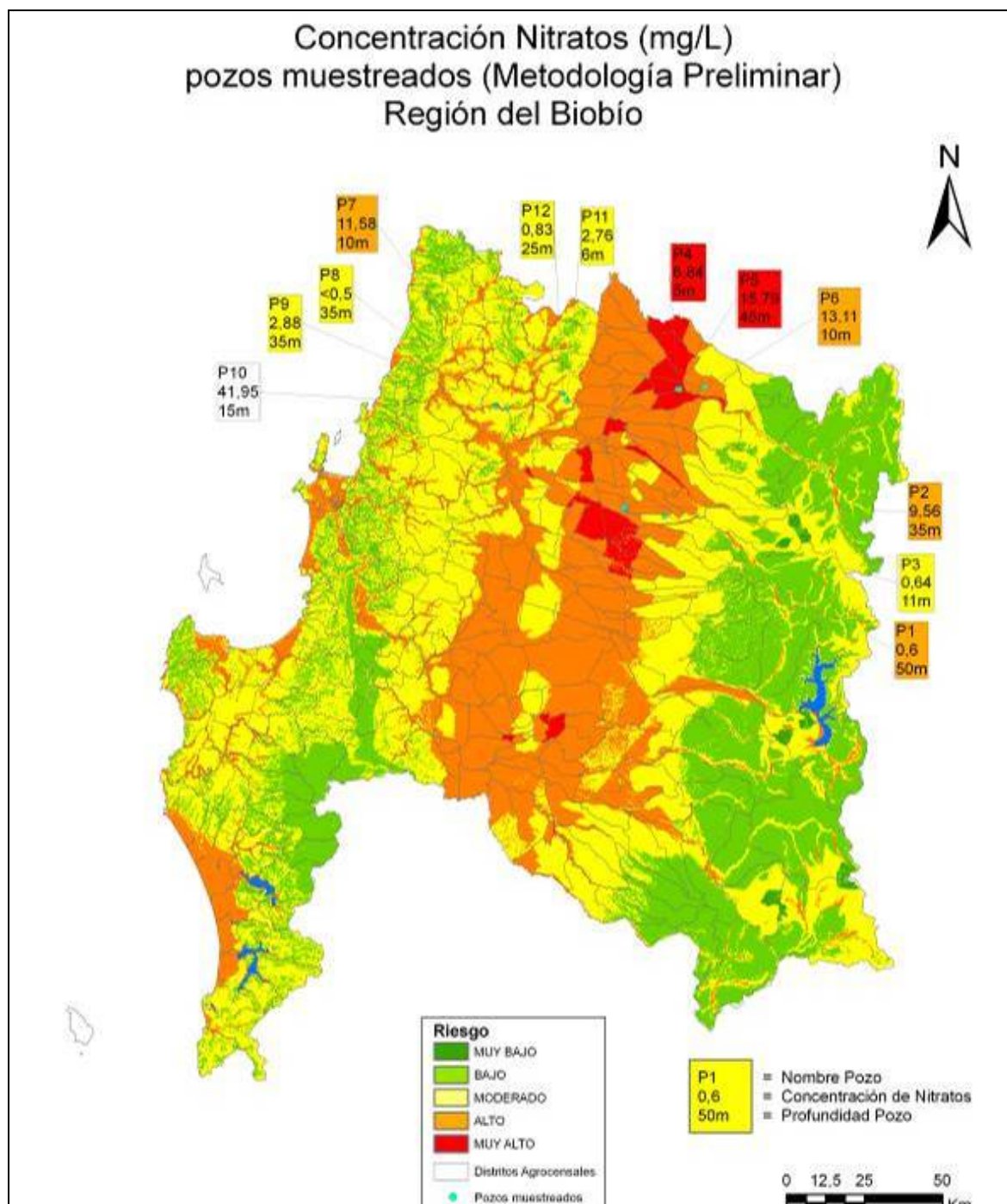


Figura 4.1. Mapas finales de riesgo obtenidos con la metodología preliminar diseñada junto con las concentraciones de nitratos encontradas en los pozos muestreados durante la campaña de terreno en Región del Biobío.

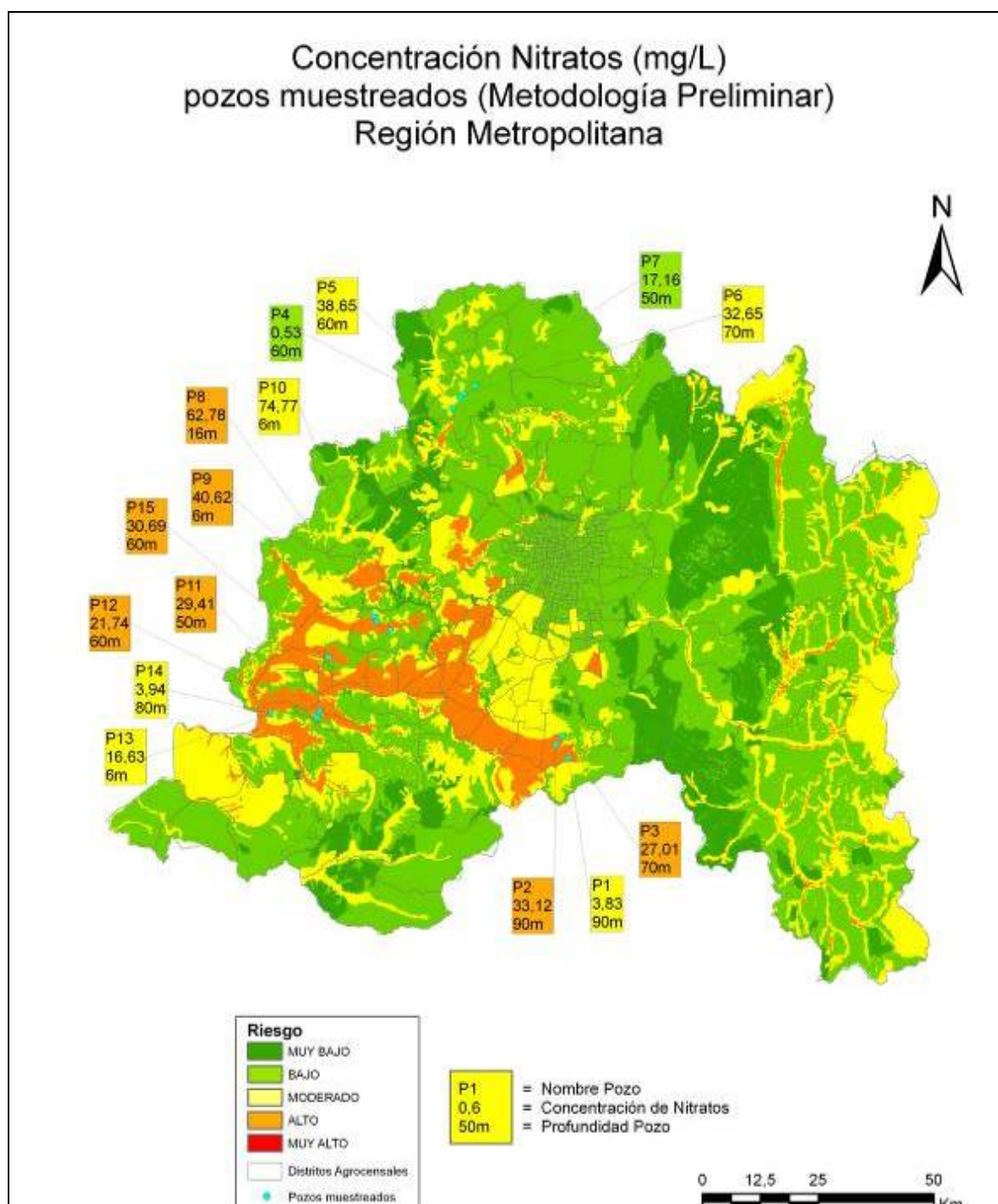


Figura 4.2. Mapas finales de riesgo obtenidos con la metodología preliminar diseñada junto con las concentraciones de nitratos encontradas en los pozos muestreados durante la campaña de terreno en Región Metropolitana.



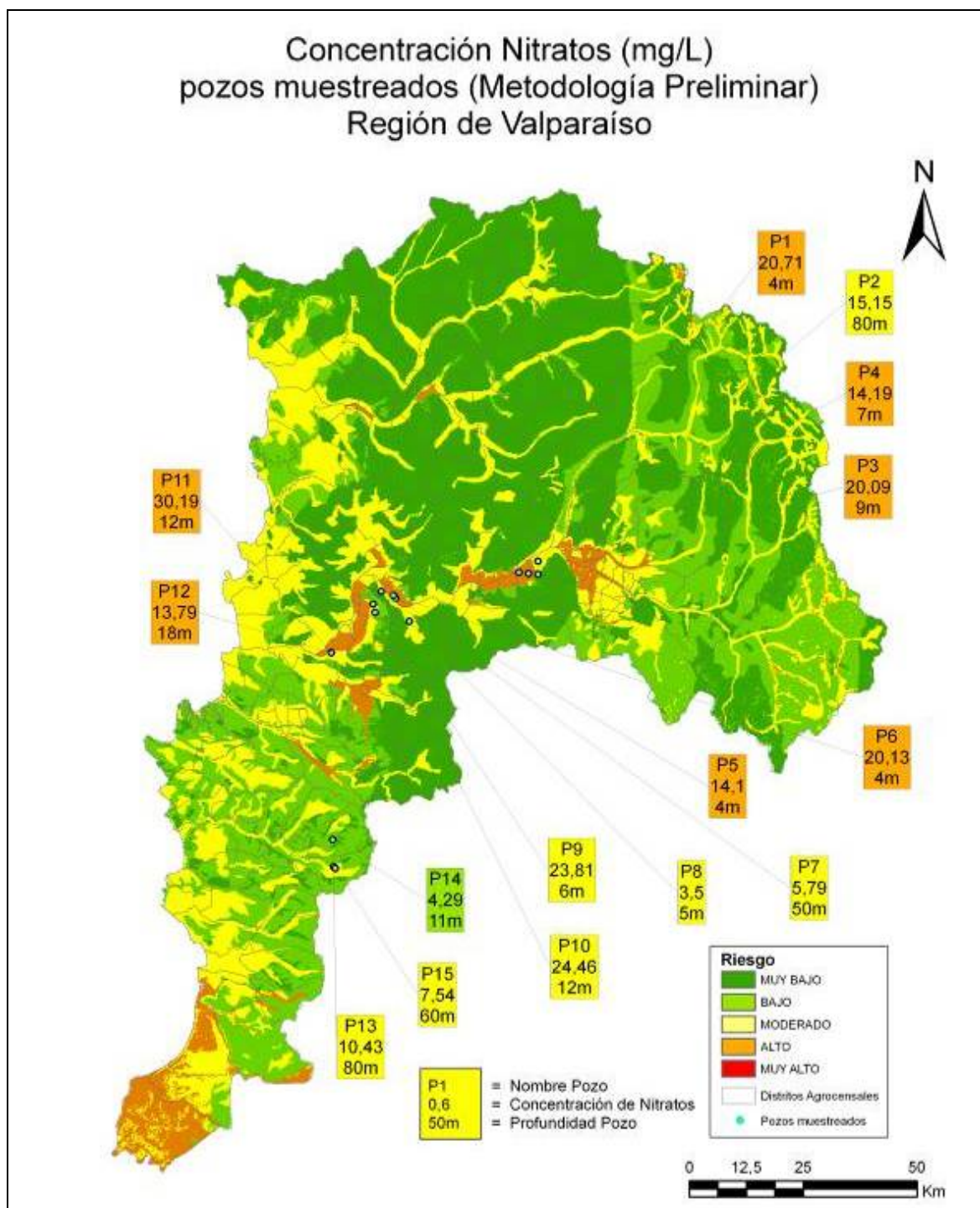


Figura 4.3. Mapas finales de riesgo obtenidos con la metodología preliminar diseñada junto con las concentraciones de nitratos encontradas en los pozos muestreados durante la campaña de terreno en V Región.



Tabla 4.3. Concentraciones de nitratos promedio de los pozos analizados en cada región, y valores promedio y rangos encontrados para cada clase de riesgo final en cada región con la metodología preliminar. 'n': numero de pozos.

Riesgo Final	Región del Bío Bío			Región Metropolitana			Región de Valparaíso		
	n	Promedio NO <sub>3</sub> (mg/L)	Rango valores	n	Promedio NO <sub>3</sub> (mg/L)	Rango valores	n	Promedio NO <sub>3</sub> (mg/L)	Rango valores
Muy alto	2	11,3	(6,8 - 15,8)	-	-	-	-	-	-
Alto	4	8,7	(0,6 - 13,1)	7	35,1	(21,7 - 62,8)	7	19,0	(13,8 - 30,2)
Medio	5	1,5	(<0,5 - 2,9)	6	28,4	(3,8 - 74,8)	7	12,6	(3,5 - 24,5)
Bajo	-	-	-	2	8,8	(0,5 - 17,2)	1	4,3	(4,3)
Muy Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Total Región</i>	<i>12</i>	<i>8,9</i>	<i>(0,5 - 42,0)</i>	<i>15</i>	<i>28,9</i>	<i>(0,5 - 74,8)</i>	<i>15</i>	<i>15,2</i>	<i>(3,5 - 30,2)</i>

Nota: En la región del Bío Bío el pozo de 42 mg/L no se promedió en ninguno de los rangos de riesgo puesto que con los datos de terreno se considera que presenta un aporte puntual no representativa del sector donde se encuentra (con riesgo alto).

A partir de estos resultados y mapas preliminares se observa que, para cada región, existía una buena concordancia donde los sectores con un riesgo de acumulación más bajo presentaban las menores concentraciones de nitratos y aquellos sectores de mayor riesgo, presentaban las concentraciones más altas.

Sin embargo no existía una coherencia entre los valores promedio de estos rangos entre las tres regiones, es decir, por ejemplo, las concentraciones de nitratos encontradas en los sectores clasificados con un riesgo alto en las tres regiones son muy distintas (de 8,7, 35,1 y 19,0 mg/L, en la región del Bío Bío, Metropolitana y de Valparaíso, respectivamente), o como pasa también con el riesgo medio muestreado en las tres regiones con valores promedio muy distintos (con 1,5, 28,4 y 12,6 mg/L respectivamente).

Por lo tanto, la metodología preliminar parecía responder satisfactoriamente a la correlación entre el riesgo de acumulación y la concentración de nitratos disueltos en las aguas, pero solamente dentro una misma región y por lo tanto bajo condiciones locales determinadas.

De este modo, la metodología preliminar no podía considerarse de carácter nacional, para corregirla se hicieron una serie de cambios y ajustes, que dos aspectos fundamentales:

- 1) Por un lado, que los promedios de concentraciones de nitratos para cada rango de riesgo Final en las tres regiones fueran del mismo orden.
- 2) Y por el otro, que los conceptos de riesgo muy bajo, bajo, medio, etc. se ajustaran a ciertos criterios preestablecidos. Es decir, la nueva metodología debía considerar que los valores naturales en nitratos en las aguas subterráneas suelen ser entre 0 y 2 mg/L, y por lo tanto las áreas con estas bajas concentraciones de nitratos en sus aguas subterráneas debieran ser clasificadas con un riesgo muy bajo. También, debe considerar que el límite establecido de nitratos en las aguas para consumo humano es de 50 mg/L (NCh 409/1) y por lo tanto, las áreas con concentraciones superiores o cercanas a este valor debieran corresponder a áreas con un riesgo de acumulación muy alto.

En este sentido el ajuste de la metodología buscó encontrar la variable que más diferenciaba las tres regiones entre ellas, la cual se encontró ser la precipitación. La escala preliminar (Tabla 4.1) consideraba esta variable como un factor que ayudaba a la lixiviación de nitratos hacia las aguas subterráneas y solamente en las zonas con más de 2000 mm anuales de precipitación, este riesgo disminuía por el efecto dilución que provoca también la mayor infiltración de aguas hacia el sistema subterráneo. Así, se trabajó con distintas escalas de precipitación y riesgo asociado, considerando valores cada vez menores de precipitación que podían considerarse que ayudaban a la dilución de este compuesto en vez de a su lixiviación.

Otro de los ajustes que se determinó realizar, fue dar distintos valores de ponderación a la precipitación y la pendiente dentro la matriz edafotopoclimática, así como entre los dos cruces de mapas, de presión de carga potencialmente lixiviable y matriz edafotopoclimática en la evaluación del riesgo 1, y de riesgo 1 con vulnerabilidad intrínseca en la evaluación del riesgo final a la acumulación en aguas subterráneas por nitrógeno de origen agropecuario.

En un principio, y como finalmente resultó ser, no se quiso realizar cambios en la valoración de las cargas potencialmente lixiviables, a no ser que este cambio fuera realmente necesario para conseguir una metodología válida para la evaluación del riesgo de acumulación por nitratos de las aguas subterráneas.

## 4.2 Ajustes en la Metodología y Comparación de Mapas Preliminares y Finales

Como se ha descrito con anterioridad el ajuste de la metodología consistió en encontrar una escala de precipitación con un riesgo asociado a cada uno de sus rangos que se ajustara más a la realidad del papel que puede tener este parámetro en la lixiviación y dilución del compuesto. Las distintas escalas evaluadas, fueron discretizando los rangos de precipitación anual, de inicialmente siete rangos de precipitación asociados a 7 rangos de riesgo (Tabla 4.1), a finalmente 13 rangos de precipitación asociados a los mismos 7 rangos de riesgo (Tabla 5.2, Capítulo 4).

El riesgo máximo (cuando la precipitación toma el papel de agente que lixivia el contaminante sin actuar como agente diluyente) pasó de considerarse en la metodología preliminar para los 1250-2000 mm anuales, a entorno los 300 y 750 mm en algunas escalas evaluadas en el proceso de ajuste de la metodología, a considerarse finalmente para entre los 350 y 550 mm anuales en la metodología final.

En el momento de evaluar el riesgo asociado a los distintos rangos de precipitación y considerando también los resultados obtenidos de la campaña de terreno se consideró que el papel de la precipitación dentro de la matriz edafotopoclimática debía ser más preponderante que el considerado en la metodología preliminar del 60% en la precipitación y 40% en la pendiente. Así, en prácticamente todas las evaluaciones de ajuste de la metodología se consideró un peso del 70% en la precipitación y del 30% en la pendiente.

En la Figura 4.4, se muestra como el riesgo asignado a esta matriz cambió con las nuevas consideraciones descritas. La región del Bío Bío, con regímenes de lluvia mayores fue la región en la que estos cambios fueron mayores. Para las regiones de Valparaíso y Metropolitana, este mapa cambió substancialmente pero no tan significativamente.

Las distintas escalas de precipitación y riesgo asociado evaluadas fueron aplicadas en el proceso iterativo de ajuste de la metodología en que se evaluaron también distintos valores de ponderación de los cruces de variables de (i) de presión de carga potencialmente lixiviable y matriz edafotopoclimática en el cálculo del riesgo 1, y (ii) de riesgo 1 y vulnerabilidad en el cálculo del riesgo final.

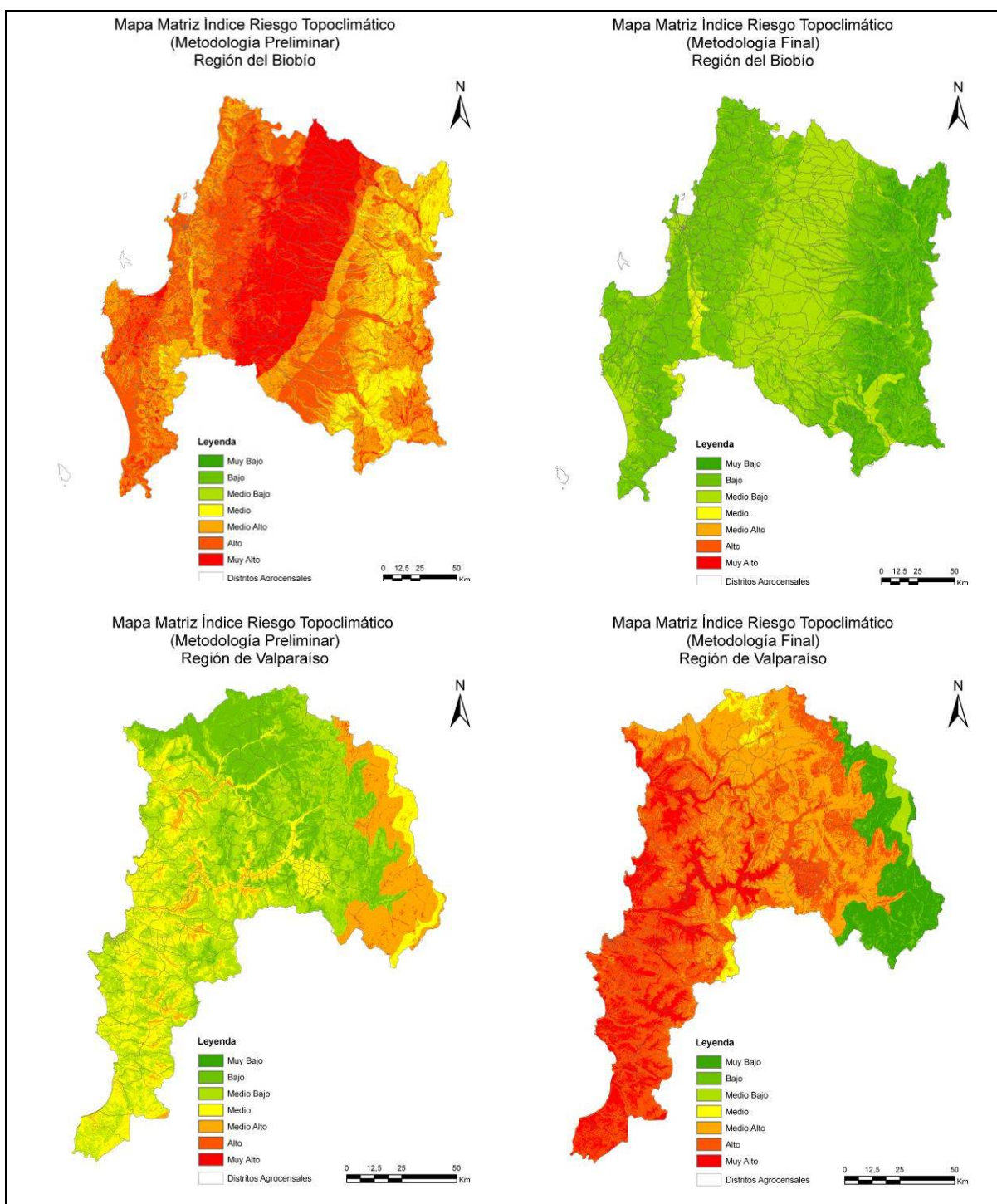


Figura 4.4. Mapas del riesgo asignado a la matriz edafotopoclimática obtenidos con la metodología preliminar y la metodología final adoptada, para las regiones de Valparaíso y del Bío Bío.

Algunos de los distintos escenarios evaluados para realizar el ajuste de la metodología fueron los siguientes (Tabla 4.4), todos ellos con distintas escalas de precipitación y siempre con el peso de 70% para la precipitación y 30% para la pendiente en la matriz edafotopoclimática.

Tabla 4.4. Algunos de los escenarios evaluados de ponderación de mapas y variables en el ajuste de la metodología.

Escenario	Cruce	Peso variable 1	Peso variable 2
Escenario 1	Riesgo 1	60 % Matriz	40% Carga
	Riesgo Final	80 % Riesgo 1	20 % Vulnerabilidad
Escenario 2	Riesgo 1	40 % Matriz	60% Carga
	Riesgo Final	60 % Riesgo 1	40 % Vulnerabilidad
Escenario 3	Riesgo 1	30 % Matriz	70% Carga
	Riesgo Final	70 % Riesgo 1	30 % Vulnerabilidad
Escenario 4	Riesgo 1	70 % Matriz	30% Carga
	Riesgo Final	60 % Riesgo 1	40 % Vulnerabilidad

En el análisis de los distintos mapas temáticos de las tres regiones se observó como los sectores visitados en las campañas de terreno abarcaban los distintos rangos de clasificación de cargas potencialmente lixiviables en las tres regiones, pero que los valores de concentración encontrados eran distintos (Tabla 4.3). Como los riesgos procedentes de la matriz edafotopoclimática en cada región eran distintos, se determinó que ésta debía tener un peso mayor en el cruce de la evaluación del riesgo 1.

Efectivamente, en las distintas iteraciones se observó como en los escenarios en que la matriz tenía un peso mayor frente a la carga, los resultados de concentración de nitratos con riesgo evaluado se ajustaban mucho mejor. En la Figura 4.5 se observa como varía el valor del riesgo 1 en la región Metropolitana, con la metodología preliminar, en los escenarios 2 y 3 de la tabla y en la metodología final adoptada. Con la metodología preliminar el riesgo 1 promedio de la región era relativamente bajo (generalmente bajo con algunos distritos con riesgo 1 medio o alto), mientras que con los escenarios 2 y 3, este riesgo fue aumentando pero con una discretización que sigue mucho los contornos de los distritos censales.



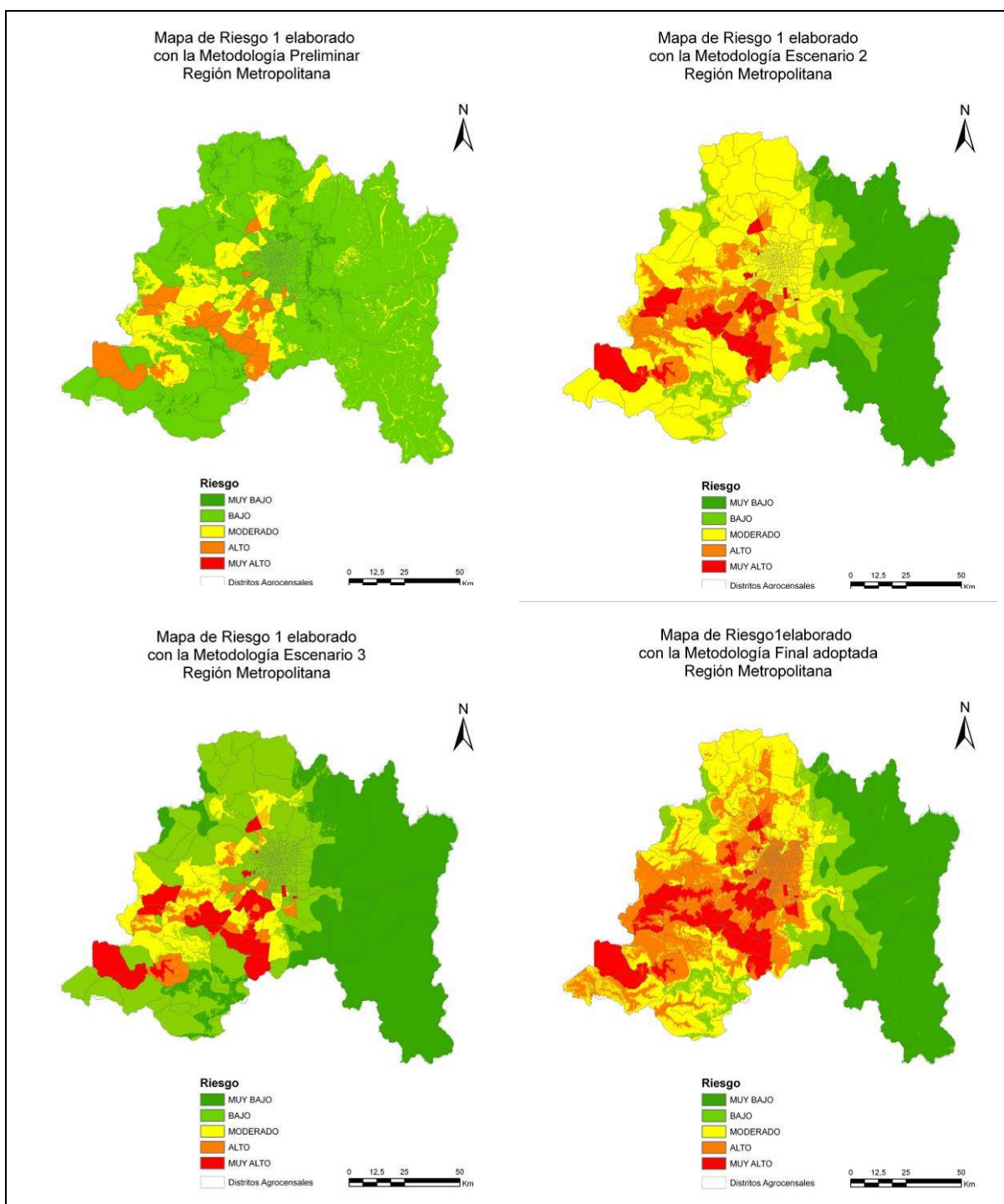


Figura 4.5. Mapas de Riesgo 1 para la región Metropolitana elaborados con la metodología preliminar, los escenarios 2 y 3 descritos en la Tabla 4.4, y con la metodología final adoptada.

La metodología final, muestra los valores de riesgo 1 más altos y con una zonificación de los riesgos que parece más adecuada.

Los mapas finales de riesgo elaborados con la metodología preliminar, el escenario 2 y 3 y la metodología final adoptada se muestran para la región del Bío Bío en la Figura 4.6, como ejemplo de cómo cambia la valoración del riesgo según como cambian las ponderaciones de los distintos cruces de mapas en la metodología.

Con los distintos mapas finales de riesgo obtenidos para las tres regiones con los distintos escenarios presentados, se analizaron las correlaciones entre las concentraciones de nitratos en los pozos analizados y la valoración del riesgo en ese punto dado por cada escenario. Este análisis se realizó siempre partiendo por una evaluación inicial regional y posteriormente comparando las tres regiones entre ellas como se mostró en el apartado 4.1 de este capítulo.



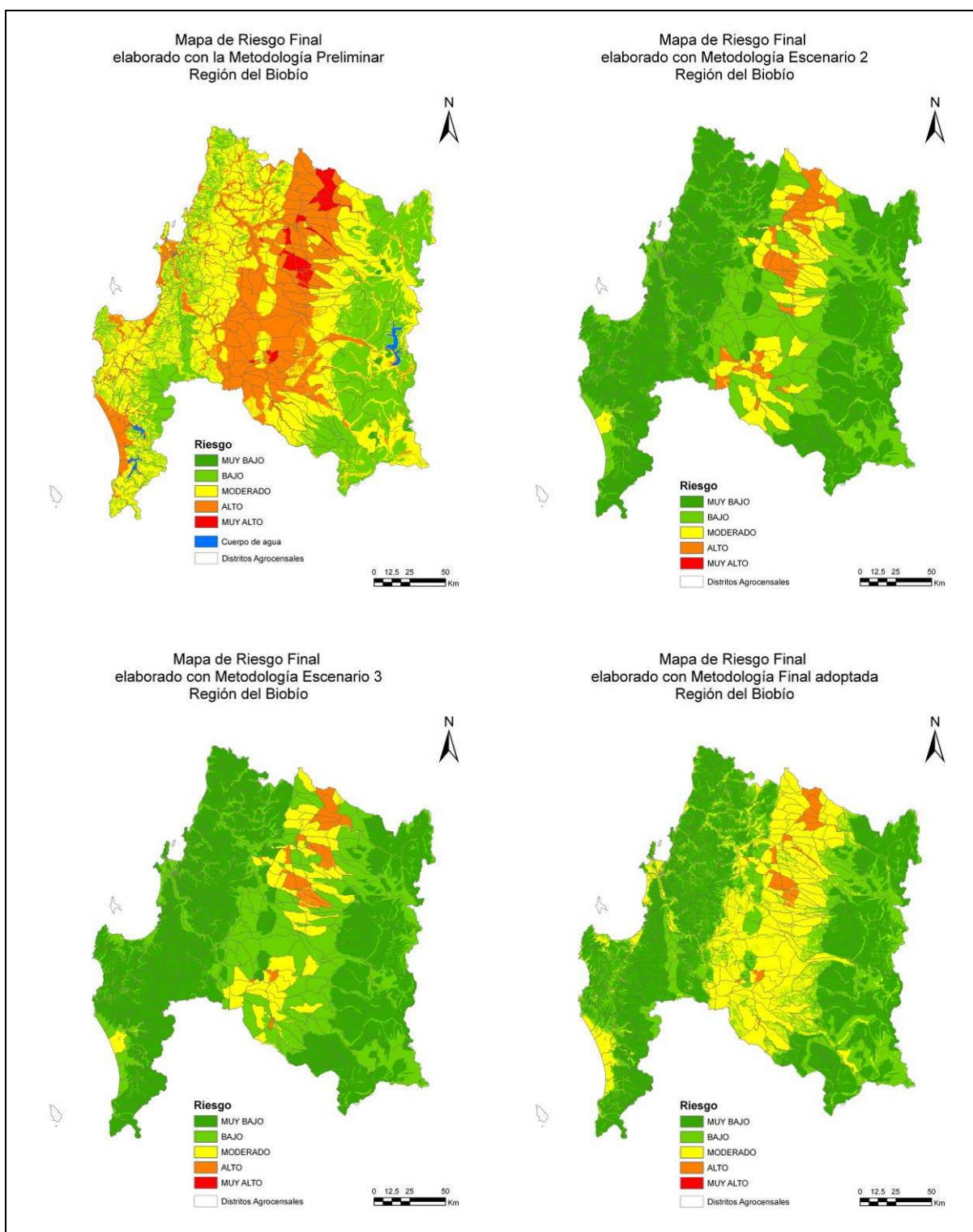


Figura 4.6. Mapas Finales de riesgo para la región del Bío Bío elaborados con la metodología preliminar, los escenarios 2 y 3 descritos en la Tabla 4.4, y con la metodología final adoptada.

---

#### **4.3 Análisis y Discusión entre la Coherencia de las Concentraciones de Nitratos y Riesgo Evaluado con la Metodología Final Adoptada**

Finalmente la metodología adoptada para evaluar el riesgo de acumulación de nitrógeno en aguas subterráneas de origen agropecuario, es la que se describe en el capítulo 4 de este proyecto y que corresponde al escenario 4 descrito en el apartado anterior donde el riesgo 1 se obtiene del cruce de la matriz edafotopoclimática con la carga potencialmente lixiviables con una ponderación de cada variable del 70 y 30%, respectivamente, y el riesgo final se obtiene del cruce del riesgo 1 y la vulnerabilidad intrínseca con una ponderación del 60 y 40% de cada variable.

Con esta metodología final se presentan a continuación los resultados obtenidos de la coherencia entre las concentraciones de nitratos encontradas y el riesgo evaluado por la metodología en los distintos puntos estudiados. Sin considerar ninguno de los parámetros particulares de cada punto de muestreo, como podría ser la profundidad del pozo, su ubicación con respecto a los flujos hidrológicos e hidrogeológicos del sector, los resultados de las encuestas sobre las dosis de fertilizantes aplicadas en los sectores colindantes, valores de riesgo en las celdas colindantes en Arcview, etc., los resultados promedio para cada rango de riesgo en cada región fueron los que se muestran en la Tabla 4.5.

Estos resultados brutos muestran que existen pozos con valores significativamente distintos a los esperados por el riesgo evaluado y que desvían enormemente los promedios de las concentraciones en cada clasificación de riesgo en las regiones. Sin embargo, con estos datos brutos se muestra como esta nueva metodología presenta una mejor correlación entre las tres regiones entre ellas y que los promedios de un mismo rango en las tres regiones son más parecidos que con la metodología preliminar con la que se diseñó la campaña de terreno.

Tabla 4.5. Resultados brutos de la correlación entre concentración de nitratos y riesgo evaluado por la metodología final sin ninguna corrección ni análisis sobre la ubicación y particularidades de cada punto de muestreo.

Riesgo Final	Región del Bío Bío			Región Metropolitana			Región de Valparaíso		
	n	Promedio NO <sub>3</sub> (mg/L)	Rango valores	n	Promedio NO <sub>3</sub> (mg/L)	Rango valores	n	Promedio NO <sub>3</sub> (mg/L)	Rango valores
Muy alto	-	-	-	2	35,7	(30,7-40,6)	3	19,6	(14,1-24,5)
Alto	2	11,3	(6,8-15,8)	7	37,4	(3,8-74,8)	10	14,5	(3,5-30,2)
Medio	6	11,5	(0,6-42,0)	5	16,0	(0,5-32,7)	1	4,3	(4,3)
Bajo	4	3,9	(<0,5-11,6)	1	17,2	(17,2)	1	20,1	(20,1)
Muy Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Total Región</i>	<i>12</i>	<i>8,9</i>	<i>(0,5 - 42,0)</i>	<i>15</i>	<i>28,9</i>	<i>(0,5 - 74,8)</i>	<i>15</i>	<i>15,2</i>	<i>(3,5 - 30,2)</i>

Cuando se consideran los aspectos particulares mencionados de cada punto de muestreo, y se corrige el riesgo evaluado que le corresponde a ese punto, estos promedios se ajustan muy bien a los valores esperados para esta metodología (Tabla 4.6). Este aspecto se refiere a por ejemplo, cuando existen dos pozos muy cercanos situados en una misma valoración de riesgo final, pero que presentan muy distintas concentraciones de nitratos ya que un pozo es somero mientras que el otro es muy profundo. En este caso, el pozo profundo, con la menor concentración de nitratos no es promediado con los demás pozos de ese rango de riesgo ya que corresponde a aguas más profundas quizás de un acuífero profundo y que efectivamente sus concentraciones de nitratos no reflejan la actividad agropecuaria que existe en superficie. Este es el caso de los pozos P1 y P2 de la región del Bío Bío, donde el pozo P1 de 50 m no ha sido promediado en el análisis ajustado.

En algunos casos también existen pozos ubicados aguas abajo, pero muy cercanos de un rango de riesgo en particular. A veces la concentración de nitratos de ese pozo refleja muy bien la valoración del riesgo evaluado aguas arriba por lo que éste pasa a ser considerado como con un riesgo de su zona de drenaje. Este es el caso de los pozos P8 y P9 de la región del Bío Bío, de pozo P8 de la región de Valparaíso que se encuentra aguas abajo del Parque Nacional de la Campana, y de los pozos P13 y P15 de la misma región, los cuales además son pozos profundos, de 80 y 60 m respectivamente.

En otros casos existen pozos que se encuentran justamente en una celda del modelo con una valoración de riesgo en particular pero rodeada de otra valoración de riesgo que por lo tanto es el que deberían reflejar las aguas de ese pozo. Este es el caso del pozo P7 de la región Metropolitana.

Para otros pozos se ha corregido su valoración de riesgo cuando éstos están situados al límite entre dos valores de riesgo pero uno de ellos se ajusta más a las dosis de fertilizantes aplicada en su entorno indicada las encuestas agropecuarias realizadas en terreno. Este es el caso de los pozos P8 y P10 de la región metropolitana y del pozo P7 de la región del Bío Bío.

En la Figura 4.5, Figura 4.6 y Figura 4.7 se presentan los mapas de riesgo final para las tres regiones de estudio junto con las concentraciones y valoración de riesgo ajustado para cada uno de los pozos.

Con estos análisis de las particularidades de cada pozo se calcularon de nuevo las concentraciones promedio de los distintos rangos de riesgo final para cada región. Los resultados son los que se presentan en la Tabla 4.6 y que se ajusta muy bien a los resultados esperados. En la región del Bío Bío, el rango muy bajo presenta una concentración inferior al límite de detección, mientras que los riesgos bajos detectados en la región del Bío Bío y de Valparaíso son cercanos a los valores naturales (entre 0 y 2 mg/L).

El riesgo medio detectado en las tres regiones presenta valores promedio que varían entre 7,9 y 12,5 mg/L, mientras que el riesgo alto lo hace entre los 11,3 y 30 mg/L. El hecho que sea la región metropolitana la que presenta los valores más altos de esta categoría de riesgo, puede deberse a que en esta región existen más posibilidades de afección antrópica urbana en la acumulación de nitratos en las aguas que no en las otras dos regiones. La concentración promedio del riesgo muy alto detectado en esta región supera levemente los 50 mg/L, valor máximo permitido para las aguas de consumo humano, y ajustándose a los criterios preestablecidos esperados para esta metodología.

Tabla 4.6. Resultados ajustados de la correlación entre concentración de nitratos y riesgo evaluado por la metodología final considerando aspectos sobre la ubicación y particularidades de cada punto de muestreo.

Riesgo Final	Región del Bío Bío			Región Metropolitana			Región de Valparaíso		
	n	Promedio NO <sub>3</sub> (mg/L)	Rango valores	n	Promedio NO <sub>3</sub> (mg/L)	Rango valores	n	Promedio NO <sub>3</sub> (mg/L)	Rango valores
Muy alto	-	-	-	4	52,2	(30,7-74,8)	4	19,6	(13,8-30,2)
Alto	2	11,3	(6,8-15,8)	5	30,0	(21,7-38,7)	6	19,7	(14,2-24,5)
Medio	4	8,7	(0,6-13,11)	6	12,5	(0,5-32,7)	3	7,9	(5,8-10,4)
Bajo	3	2,2	(0,8-2,9)	-	-	-	2	3,9	(3,5-4,3)
Muy Bajo	1	<0,5	(<0,5)	-	-	-	-	-	-
<i>Total Región</i>	<i>12</i>	<i>8,9</i>	<i>(0,5 - 42,0)</i>	<i>15</i>	<i>28,9</i>	<i>(0,5 - 74,8)</i>	<i>15</i>	<i>15,2</i>	<i>(3,5 - 30,2)</i>

En el mapa final de la región de Valparaíso, la metodología determinó algunas áreas de riesgo muy alto en el acuífero aluvial del río Aconcagua. Algunos de los pozos fueron evaluados con esta categoría de riesgo obteniendo un promedio de nitratos de 19,6 mg/L igual al promedio de los pozos situados en las áreas de riesgo alto con 19,7 mg/L. Este hecho nos indica que en los acuíferos aluviales encajonados, como este en particular, la concentración de nitratos de los pozos no refleja solamente la actividad agropecuaria que se desarrolla en su entorno si no que también son el reflejo de toda la actividad que existe aguas arriba de la cuenca. Por lo tanto en realidad estos pozos catalogados como con un riesgo muy alto debieran haberse considerado con un riesgo alto, concordante además con los pozos de esta categoría.

Por lo tanto con los resultados obtenidos del análisis de las particularidades de ubicación, constructivas de cada pozo y de actividad agropecuaria cercana, se muestra como la metodología desarrollada sirve bien para evaluar el riesgo final de aumento de concentración de nitratos en aguas subterráneas por actividades agropecuarias para este país.



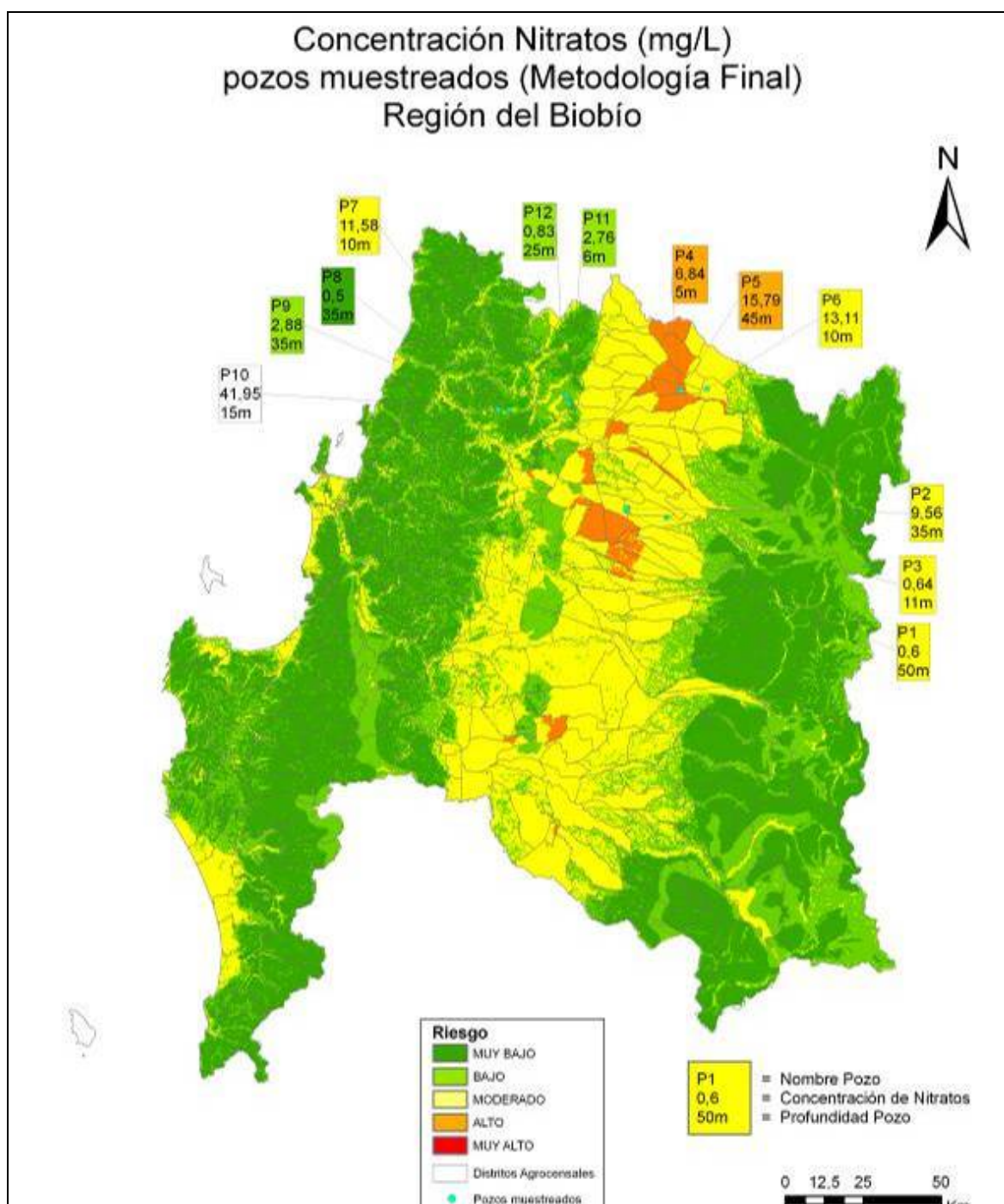


Figura 4.7. Mapas finales de riesgo obtenidos con la metodología definitiva diseñada junto con las concentraciones de nitratos encontradas en los pozos muestreados durante la campaña de terreno en Región del Biobío.

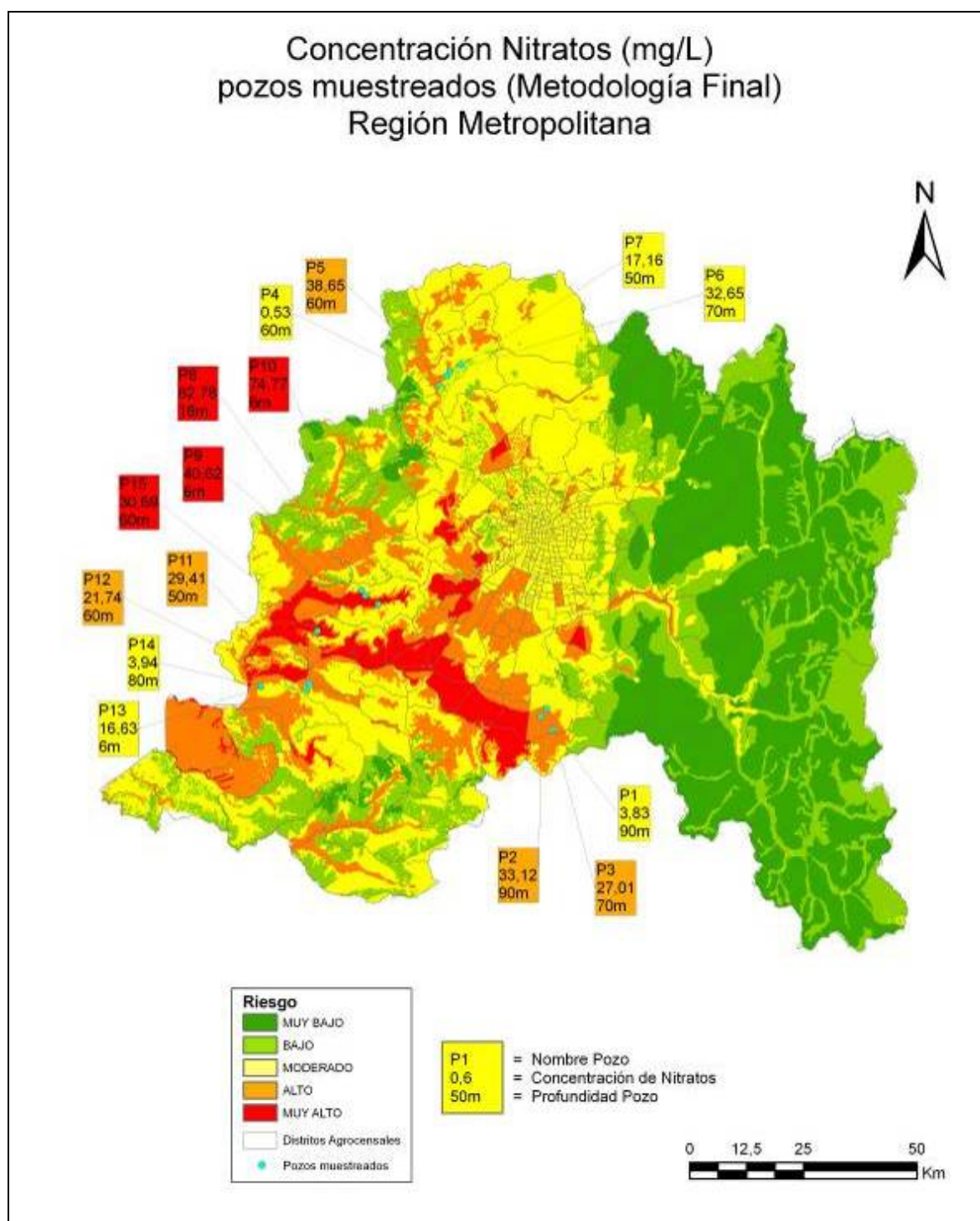


Figura 4.8. Mapas finales de riesgo obtenidos con la metodología definitiva diseñada junto con las concentraciones de nitratos encontradas en los pozos muestreados durante la campaña de terreno en Región Metropolitana.



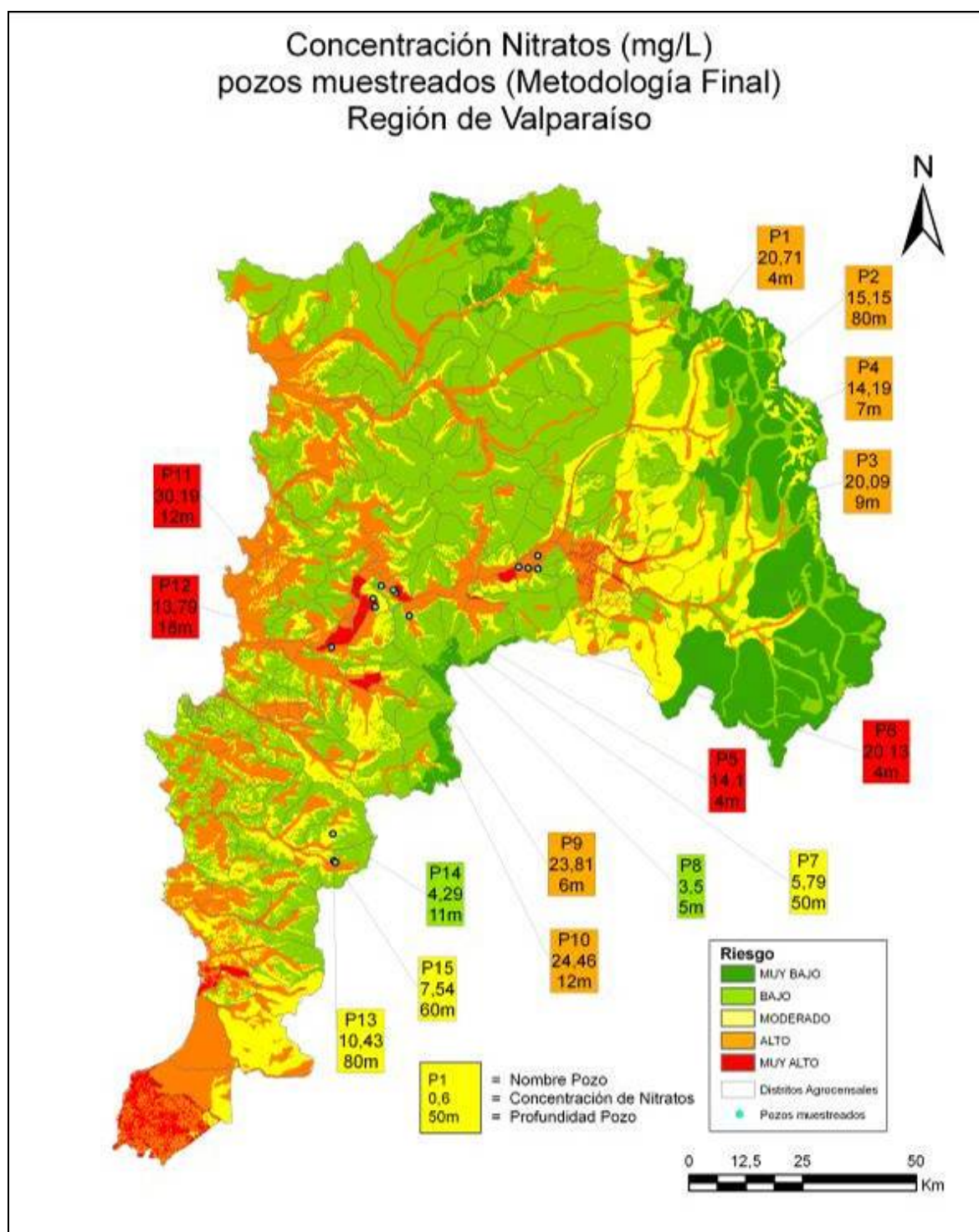


Figura 4.9. Mapas finales de riesgo obtenidos con la metodología definitiva diseñada junto con las concentraciones de nitratos encontradas en los pozos muestreados en campaña de terreno, V Región.

## 5 CONCLUSIONES

Los resultados de la campaña de terreno (análisis químicos y levantamiento de encuestas agropecuarias en los sectores colindantes a los puntos de muestreo), han sido una herramienta fundamental para la validación y ajuste del diseño metodológico propuesto inicialmente.

El análisis de la coherencia entre las concentraciones de nitratos analizadas en los pozos y el riesgo evaluado en esos puntos, teniendo en cuenta las características particulares de cada punto de muestreo, como son la profundidad del pozo, su ubicación con respecto a los flujos hidrológicos e hidrogeológicos del sector, los resultados de las encuestas sobre las dosis de fertilizantes aplicadas en los sectores colindantes, valores de riesgo colindantes, etc., han permitido ajustar el valor del riesgo correspondiente a cada punto muestreado y con estos resultados, realizar los ajustes a la metodología preliminar hasta obtener los resultados esperados para la validación de la metodología final que se presenta en este proyecto.

Los ajustes realizados a la metodología preliminar fueron, por un lado, discretizar y buscar otra escala de riesgo para la precipitación de modo que represente mejor la realidad en situaciones en los que este parámetro facilita la lixiviación de los contaminantes y cuando actúa como agente de dilución; otro ajuste apunta a buscar los factores de ponderación adecuados para los cruces de los mapas de carga potencialmente lixiviable y de riesgo de la matriz edafotopoclimática, y de riesgo 1 y vulnerabilidad intrínseca, en la obtención del mapa final de riesgo. Realizar cambios en la valoración de las cargas potencialmente lixiviables no fue necesario, ya que con los cambios, mencionados se logró un buen ajuste de la metodología y resultados de la campaña de terreno.

Precisamente, todo el trabajo de ajuste y validación de la metodología, con la elaboración de múltiples mapas finales generados a partir de varios escenarios que consideraban distintos valores de ponderación en los cruces de mapas mencionados, ha permitido obtener una metodología final que es una muy buena herramienta de conocimiento del riesgo de acumulación de nitratos en las aguas por las actividades agropecuarias existentes y por lo tanto, que puede ser utilizada como instrumento de gestión y control de estas actividades.