



**Universidad de Chile**  
**Facultad De Ciencias Físicas y Matemáticas**  
**Departamento de Ingeniería Civil**

**CONTAMINACIÓN DIFUSA EN ACUÍFEROS: ESTUDIO DE  
CASO EN LA COMUNA DE COLINA, REGIÓN  
METROPOLITANA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**ANDREA MORLANS LÓPEZ**

**PROFESOR GUÍA:**  
CARLOS ESPINOZA CONTRERAS

**PROFESORES INTEGRANTES:**  
ANA MARÍA SANCHA FERNÁNDEZ  
FELIX PEREZ SOTO

SANTIAGO DE CHILE  
NOVIEMBRE 2010

# INDICE

1 - INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Aspectos Generales.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodología.....	3
1.4 Ubicación de la Zona de Estudio.....	4
2 - CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS .....	6
2.1 Generalidades Acerca de la Contaminación en los Acuíferos.....	6
2.2 Clasificación de la Contaminación en Acuíferos .....	7
2.3 Autodepuración .....	8
3 - CONTAMINACIÓN DIFUSA.....	9
3.1 Generalidades .....	9
3.2 Fuentes de Contaminación .....	11
A. Agricultura.....	12
B. Saneamiento Sin Alcantarillado .....	13
3.3 Tipos de Contaminantes .....	13
3.3.1 Nutrientes .....	13
3.3.2 Sales.....	14
3.3.3 Patógenos.....	15
3.3.4 Metales Pesados.....	16
3.3.5 Compuestos Orgánicos (Pesticidas y Químicos).....	16
3.4 Medidas de Prevención y Mitigación de Contaminación Difusa .....	19
3.4.1 Medidas Estructurales.....	19
3.4.2 Medidas No Estructurales.....	19
4 - ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	22
4.1 Descripción General .....	22
4.2 Población .....	25
4.3 Economía .....	25
4.4 Geomorfología, Clima y Vegetación.....	27
4.5 Hidrología.....	28
4.5.1 Cauces Naturales y Canales.....	28
4.5.2 Pluviometría .....	28
4.5.3 Evapotranspiración .....	28
4.6 Hidrogeología .....	32
4.6.1 Unidades Hidrogeológicas.....	32
4.6.2 Tipo de Acuífero.....	33
4.6.3 Profundidad del Acuífero .....	37
4.6.4 Recargas y Descargas .....	37
4.7 Calidad del Agua .....	40
4.7.1 pH .....	40
4.7.2 Conductividad Específica .....	41
4.7.3 Nitratos .....	42
4.7.4 Coliformes Fecales .....	43
4.7.5 Dureza.....	44
4.7.6 Demanda Química de Oxígeno.....	46
4.7.7 Metales Pesados.....	47
5 - RIESGO DE CONTAMINACIÓN DIFUSA DE LOS ACUÍFEROS DE COLINA ...	50
5.1 Vulnerabilidad del Acuífero .....	50
5.1.1 Zona No Saturada .....	52
5.1.2 Capacidad de Campo .....	53
5.1.3 Recarga .....	56

5.1.4	Confinamiento .....	58
5.1.5	Mapas Finales de Vulnerabilidad y Comparación con el Método GOD.....	58
5.1.6	Resultados y Discusión.....	63
5.2	Carga Contaminante .....	65
5.2.1	Fuentes Contaminantes Difusas en la Zona de Estudio.....	65
A.	Agricultura.....	65
B.	Saneamiento Sin Alcantarillado .....	69
C.	Parques Industriales.....	73
5.2.2	Resultados y Discusión.....	77
5.3	Riesgo de Contaminación.....	78
5.4	Resultados y Discusión de la Evaluación del Riesgo.....	82
6	COMPARACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO Y DE LA CALIDAD DEL AGUA .....	83
6.1	Aspectos Generales.....	83
6.2	Análisis Temporal de los Nitratos .....	84
6.3	Análisis Espacial de los Nitratos .....	87
6.4	Comparación del Mapa de Nitratos con el Mapa de Vulnerabilidad .....	87
6.5	Resultados y Discusión.....	94
7	COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES .....	95
7.1	Conclusiones.....	95
7.2	Recomendaciones .....	97
8	REFERENCIAS.....	99

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Mapa de Chile y Detalle de la Región Metropolitana .....	5
Figura 2-1	Fuentes de Contaminación .....	7
Figura 4-1	Imagen Satelital de Colina .....	23
Figura 4-2	Esquema de Trabajo.....	24
Figura 4-3	Zonificación de Usos de Suelos.....	26
Figura 4-4	Hidrografía .....	29
Figura 4-5	Mapa de Isoyetas para 50% de Probabilidad .....	30
Figura 4-6	Isolíneas de Evapotranspiración.....	31
Figura 4-7	Ubicación de Pozos con Información Estratigráfica. ....	34
Figura 4-8	Tipo de Acuífero .....	35
Figura 4-9	Curvas de Iso-Profundidad del Acuífero.....	36
Figura 4-10	Zonas de Infiltración.....	39
Figura 5-1	Puntaje Litológico .....	54
Figura 5-2	Puntaje de Capacidad de Campo.....	55
Figura 5-3	Puntaje de Recargas (Método con Porcentajes de Infiltración).....	57
Figura 5-4	Vulnerabilidad (Recarga Método de la DGA).....	59
Figura 5-5	Vulnerabilidad (Recarga Método Estimación Infiltración).....	60
Figura 5-6	Vulnerabilidad según Método GOD.....	61
Figura 5-7	Comparación del Método GOD y del Método de la DGA .....	62
Figura 5-8	Carga Agrícola .....	68
Figura 5-9	Carga Sanitaria .....	72
Figura 5-10	Carga Industrial .....	76
Figura 5-11	Riesgo Agrícola .....	79
Figura 5-12	Riesgo Sanitario .....	80
Figura 5-13	Riesgo Industrial.....	81

Figura 6-1 Detalle Sector Elegido y Pozos del Sector.....	85
Figura 6-2 Polígonos Proyecto CORFO 1975.....	89
Figura 6-3 Polígonos Proyecto DGA 1993 .....	90
Figura 6-4 Polígonos Proyecto Maipo-Mapocho 1998 .....	91
Figura 6-5 Polígonos Proyecto CONAMA 1999 .....	92
Figura 6-6 Mapa Final de Nitratos.....	93

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Procesos de Autodepuración.....	8
Tabla 3-1 Actividades Potencialmente Generadoras de Contaminación Difusa.....	11
Tabla 3-2 Enfermedades Hídricas .....	15
Tabla 3-3 Compuestos Orgánicos Más Frecuentes .....	17
Tabla 3-4 Buenas Prácticas en la Agricultura.....	20
Tabla 3-5 Ejemplos de Incentivos.....	21
Tabla 4-1 Precipitaciones Anuales para Distintas Probabilidades de Excedencia....	30
Tabla 4-2 Porcentaje de Infiltración según Zona.....	38
Tabla 4-3 Recargas Estimadas .....	38
Tabla 5-1 Clasificación del Grado de Vulnerabilidad.....	52
Tabla 5-2 Clasificación y Puntaje por Estrato .....	53
Tabla 5-3 Valores Estimados según Metodología de la DGA.....	56
Tabla 5-4 Puntajes Asignados.....	56
Tabla 5-5 Tipos de Cultivo .....	66
Tabla 5-6 Tipos de Riego .....	67
Tabla 5-7 Clasificación de Prácticas Agrícolas bajo el Sistema POSH.....	67
Tabla 5-8 Número de Habitantes Saneados.....	69
Tabla 5-9 Densidades Comunales.....	70
Tabla 5-10 Clasificación de Saneamiento Sin Alcantarillado bajo el Sistema POSH	70
Tabla 5-11 Carga Contaminante por Sector .....	71
Tabla 5-12 Superficies Industriales .....	73
Tabla 5-13 Actividades Potenciales Generadoras de Contaminación por Parque Industriales.....	74
Tabla 5-14 Clasificación de la Carga Contaminante según Fuente Contaminante...	75
Tabla 6-1 Contenido de Nitrato en el Agua según Normas.....	83
Tabla 6-2 Concentraciones Medias por Comuna.....	87

# 1- INTRODUCCIÓN

## 1.1 Aspectos Generales

El agua subterránea es una fuente importante de abastecimiento. Esta se utiliza en procesos industriales, en la ganadería, en el riego de cultivos y como fuente de agua de consumo para la población.

En Chile se estima que el uso de agua subterránea es de aproximadamente 88 m<sup>3</sup>/s, de los cuales, el 35% es utilizado para el abastecimiento de agua potable. Pese a que su uso no es muy elevado, la demanda de derechos de aprovechamiento de agua subterránea crece día a día debido al agotamiento de los recursos superficiales. Inclusive en algunos sectores es la única fuente de agua disponible (Salazar, 2003).

En la Región Metropolitana las aguas subterráneas juegan un papel relevante. En el año 1992, un 19% del agua potable de áreas urbanas y un 93% de las áreas rurales de la región se obtuvieron de estas aguas. (Chile Sustentable, 2004) El uso de aguas subterráneas en esta región ha experimentado un aumento significativo. Por ejemplo, el incremento de las solicitudes para su explotación en la zona de Santiago Norte al año 2002, se quintuplicaron comparadas a las del año 1985. (Orrego, 2002)

Debido a este incremento significativo en la demanda es importante resguardar la calidad de las aguas de los acuíferos. Para llevar a cabo dicho resguardo, hay que controlar los distintos tipos de fuentes de contaminación, los cuales pueden ser del tipo puntual o difuso. Tradicionalmente, las fuentes puntuales han recibido mayor atención que las difusas debido a su facilidad de identificación y a su alta concentración de contaminantes. Pese a esto, las fuentes difusas pueden llegar a generar un impacto ambiental equivalente a las puntuales.

Las fuentes de contaminación difusas son mucho más difíciles de controlar que las fuentes puntuales por dos razones; la primera es que las zonas afectadas son mucho más extensas y con pequeñas concentraciones, lo que las hace difícil de identificar y cuantificar. La segunda es que generalmente involucra a un gran número de propietarios, los cuales pueden ser difíciles de contactar en forma eficiente (World Bank, 2003).

Un ejemplo de contaminación difusa es el caso del lago Victoria, el cual es circundado por Kenia, Uganda y Tanzania. Este lago ha sufrido de eutroficación, debido al fósforo aportado por la agricultura, desde los años '60s, llegando al punto de que el 25% de su volumen no se

encuentra disponible para los peces debido a su baja concentración de oxígeno (World Bank, 2003). Otro ejemplo de contaminación difusa ocurre en el río Misisipi. Un estudio demostró que toda el área navegable del río presenta contaminación por una compleja mezcla de agroquímicos y sus subproductos, los cuales provienen de las áreas agrícolas que se encuentran en los alrededores del río (Hostettler y Perelra, 1993).

En Chile, la ausencia de sistemas de alcantarillado en muchos sectores del país y actividades como la agricultura, ganadería y minería generan contaminación difusa. Si además sumamos el desarrollo potencial del agua subterránea y el hecho que una serie de zonas del país dependen completamente de este tipo de fuente de abastecimiento se vuelve importante enfocar los estudios a este tipo de contaminación.

Un ejemplo claro de esta problemática se genera en la comuna de Colina, la cual se encuentra ubicada a 28 Km. de Santiago en la zona norte de la cuenca del río Maipo. Esta zona se caracteriza por tener gran cantidad de actividad agrícola, donde un 37,1% de la población se dedica a esta actividad (INE). Esta comuna, por ser mayoritariamente rural, presenta ciertos problemas relacionados con el agua. Por un lado, en algunos sectores no existe sistema de alcantarillado, por lo que el tratamiento de las aguas residuales se realiza in-situ. Por otro lado, algunos sectores no poseen abastecimiento de agua potable, por lo que ésta se obtiene directamente desde los acuíferos sin ningún tratamiento de por medio.

De acuerdo a lo anterior, este estudio se enfocará en los peligros de la contaminación difusa en esta comuna. Con este estudio se pretende precisar los lugares de la comuna donde las aguas subterráneas son vulnerables, las actividades de la comuna potencialmente generadoras de contaminación difusa y las zonas de riesgo a una posible contaminación.

## **1.2 Objetivos**

### Objetivo general

El objetivo de esta tesis es presentar un estudio sobre la contaminación difusa en acuíferos presentando un caso de estudio en la zona de la comuna de Colina.

Con este estudio se busca generar información que puede ser utilizada para futuros estudios de zonificación de uso de suelo en la comuna.

Además, esta tesis busca servir como punto de partida para futuros estudios o normativas de control sobre la contaminación difusa en acuíferos en Chile.

## Objetivos específicos

Para que el objetivo general sea cumplido hay que lograr ciertos objetivos específicos. Éstos son los siguientes:

- Caracterizar la zona de estudio.
- Determinar la calidad del agua subterránea en el sector de estudio.
- Definir las posibles fuentes de contaminación difusa en el sector y su potencial carga contaminante.
- Estudiar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación difusa en la zona de estudio, aplicando el manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad, realizado por la DGA, asociado al D.S. N° 46/02.
- Realizar una comparación entre el método propuesto en el manual y el método GOD.
- Estudiar las zonas de riesgo de contaminación en el acuífero del sector de estudio.
- Presentar posibles medidas correctivas y preventivas posibles, según sea el caso, para el acuífero estudiado.

### **1.3 Metodología**

Para poder cumplir los objetivos especificados se deben realizar una serie de actividades, las cuales se describen a continuación.

Primero, se genera el marco teórico de la contaminación difusa. Para esto se recopila la información, tanto mundial como del país, acerca de las generalidades, los efectos, las fuentes generadoras y las medidas de control y mitigación de la contaminación difusa.

Luego, se recopilan los antecedentes asociados a la zona de estudio para poder realizar una caracterización adecuada. Para esto se utiliza la información de la Municipalidad de Colina y de diversas entidades públicas de manera de obtener las características físicas, poblacionales, medioambientales y del desarrollo de la comuna.

Para la definición de la hidrogeología del sector, se analizan las unidades hidrogeológicas, las recargas, descargas, profundidad del acuífero, gradientes hidráulicos y flujos subterráneos. La información y las descripciones estratigráficas necesarias se obtienen de los siguientes informes: “Modelo de simulación hidrológico operacional de las cuencas de los ríos Maipo y Mapocho” (2002) y “Análisis de contaminación de aguas subterráneas en la Región Metropolitana, por aguas servidas” (1999), de la consultora Ayala y Cabrera.

La calidad del agua subterránea del sector se estudia mediante información muestral obtenida de los pozos en el sector y sus cercanías que posee la DGA. Este análisis se compara con pozos alejados del sector de estudio, de forma de determinar si hay contaminación o son características naturales de la región.

Para evaluar la vulnerabilidad del acuífero se utiliza la metodología propuesta en el manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad asociado al D.S. 46/02, el cual fue realizado por la DGA. Para esto se utilizan los parámetros de capacidad de campo efectiva, recargas, descargas, litología de la zona no saturada, el espesor de la zona no saturada y el tipo de acuífero del sector. Luego esta información se traspassa a un sistema de información geográfico (GIS).

La carga contaminante se determina mediante un catastro de las fuentes contaminantes difusas del sector y su posterior clasificación mediante la metodología POSH (acrónimo de Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically). Las fuentes contaminantes se obtienen mediante la zonificación de usos de suelo establecida por la Municipalidad y verificación en terreno. Esta información también se lleva a un sistema de información geográfico (GIS)

Finalmente se realiza la superposición de los mapas de vulnerabilidad y carga contaminante de manera de obtener un mapa de riesgo de contaminación difusa en el sector.

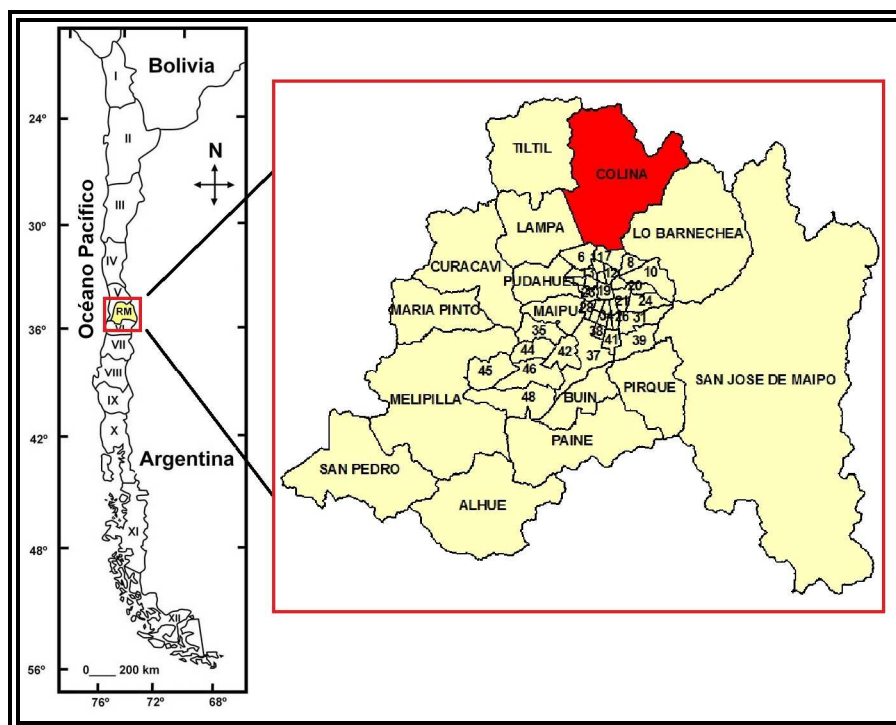
#### ***1.4 Ubicación de la Zona de Estudio***

La comuna de Colina se encuentra ubicada en la Región Metropolitana de Chile. Esta comuna pertenece a la provincia de Chacabuco y su ubicación específica es a 28 Km. al norte de Santiago.

La figura 1-1 muestra la ubicación de la región Metropolitana y el detalle de la comuna de Colina y sus alrededores.



Figura 1-1 Mapa de Chile y Detalle de la Región Metropolitana



Esta comuna se encuentra delimitada por las latitudes  $32^{\circ}21'$  y  $32^{\circ}57'$  Sur y las longitudes  $70^{\circ}24'$  y  $70^{\circ}10'$ . Sus límites administrativos son los siguientes:

Norte: V Región

Este: Comuna de Lo Barnechea

Sur: Comunas de Huechuraba y Quilicura

Oeste: Comunas de Lampa y Til-Til.

## 2- CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS

### 2.1 Generalidades Acerca de la Contaminación en los Acuíferos

Un acuífero se define como una formación geológica que contiene recursos de agua explotables. Todo acuífero tiene dos características asociadas: la capacidad de almacenamiento de agua y la capacidad de permitir el flujo de agua subterránea. Estas características dependen de las características geológicas de cada acuífero (Foster et al, 2002-2006).

La contaminación que afecta a estas formaciones puede deberse a variadas causas:

- Contaminación antropogénica: Causada por todas aquellas actividades humanas que descargan, accidental o intencionalmente, sus efluentes a un acuífero. Algunos ejemplos de este tipo de contaminación son la eliminación de excretas mediante sistemas in-situ, la infiltración de efluentes industriales o las fugas desde estanques de almacenamiento.
- Contaminación natural: Causada por las características geológicas del acuífero o por reacciones naturales que sufre el agua subterránea. Ejemplos de esto son los altos contenidos de arsénico en el agua de Bangladesh o la dureza presente en el agua del norte de Chile.
- Contaminación de la cabecera del pozo: Causada por la inadecuada construcción o diseño de un pozo, con lo cual, el agua superficial es libre de entrar al acuífero.
- Intrusión salina: Causada por la mezcla de agua salada (y a veces contaminada) con el agua del acuífero, producto del flujo que se produce por un excesivo bombeo de extracción.

Al evaluar la contaminación presente en un acuífero, es importante diferenciar claramente el origen de ésta, de modo de tomar las medidas de control o mitigación más adecuadas.

Dentro del marco de esta tesis sólo se evaluará la contaminación antropogénica. De ahora en adelante, al referirse a contaminación, se estará refiriendo a contaminación causada por actividades antropogénicas.

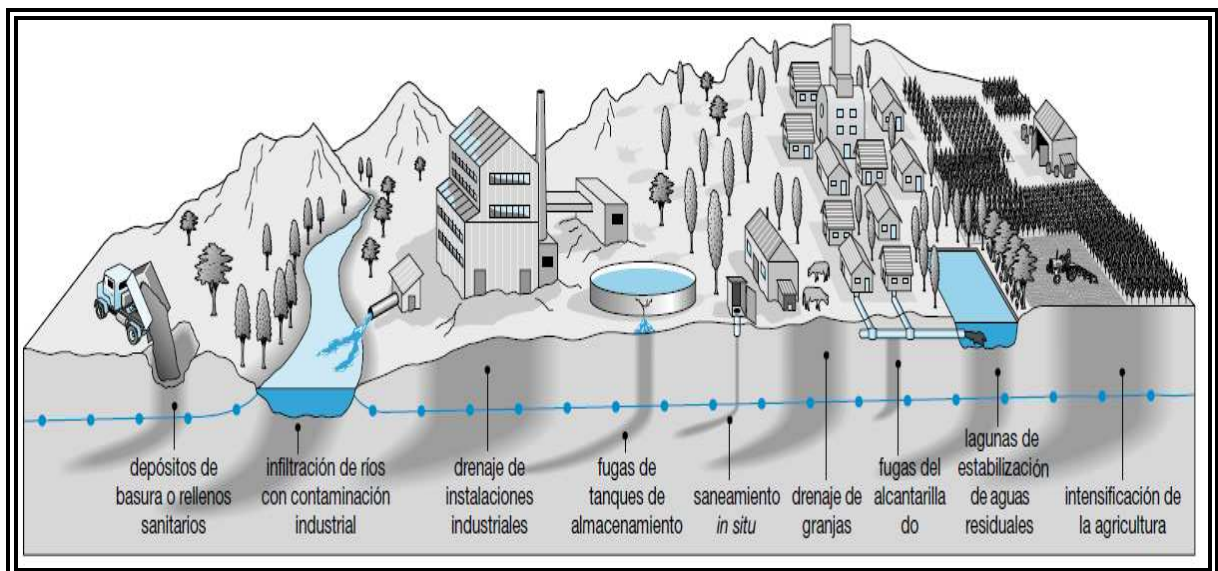
## 2.2 Clasificación de la Contaminación en Acuíferos

Existen variadas formas de clasificar las actividades potencialmente contaminantes. Una de las más tradicionales es aquella que hace distinción según la distribución espacial de las actividades potencialmente generadoras. Las categorías de esta clasificación son:

- Fuentes de contaminación puntual: Se definen como aquellas que generan una pluma de contaminación claramente definida y concentrada, vale decir que el área afectada es acotada. Ejemplos de este tipo de contaminación son los derrames de estanques de almacenamiento de líquidos, infiltración de residuos industriales líquidos, derrames accidentales, etc
- Fuentes de contaminación difusa: Se definen como aquellas que no generan una pluma de contaminación claramente definida, pero que normalmente impactan un volumen muy grande del acuífero. Ejemplos de este tipo de contaminación son la agricultura, la sanitización in-situ, la ganadería, etc.

En la Figura 2-1 se pueden observar distintas fuentes de contaminación y una esquematización de las plumas de contaminación.

Figura 2-1 Fuentes de Contaminación



Fuente: Banco mundial, 2003.

La Environmental Protection Agency (EPA) incluye una tercera categoría, donde agrupa a todas aquellas actividades que si bien no contribuyen directamente con elementos potencialmente contaminantes, los efectos asociados a ellas pueden ser igualmente perjudiciales para el medio ambiente. Algunos ejemplos de este tipo de actividades son: modificaciones hidrológicas (canalización, presas), cambios de temperatura en las aguas por afluentes con distintas temperaturas, modificaciones en el hábitat (remoción o adición de zonas ribereñas y modificaciones en el cauce de un río) (EPA, 2009).

## 2.3 Autodepuración

Todo acuífero es capaz de depurar los contaminantes, en mayor o menor grado. La autodepuración se define como un proceso natural, donde a través de una serie de transformaciones físicas, químicas y biológicas, se tiende a devolver las características iniciales a un cuerpo de agua.

Los procesos que intervienen en la atenuación natural se dividen en procesos químicos, físicos y biológicos, algunos de los cuales pueden ser observados en la Tabla 2-1. Los procesos más relevantes son la bioremediación (procesos biológicos), dispersión, volatilización (evaporación) y la sorción.

Algunos de los parámetros que afectan la capacidad de autodepuración son la temperatura, el tiempo de contacto y la cantidad de oxígeno disuelto.

**Tabla 2-1 Procesos de Autodepuración.**

Procesos			
Geoquímicos	Bioquímicos	Físicos	Biofísicos
Reacciones ácido-base	Síntesis celular	Advección	Filtración de patógenos
Adsorción-Desorción	Descomposición orgánica	Dispersión	Transporte de patógenos
Formación de complejos	Transpiración	Evaporación	
Oxido-reducción		Filtración	
Disolución-precipitación		Decaimiento radioactivo	

Fuente: Von Igel, 1999.

## 3- CONTAMINACIÓN DIFUSA

### 3.1 Generalidades

Las fuentes de contaminación difusas son mucho más difíciles de controlar que las fuentes puntuales por dos razones; la primera es que las zonas afectadas son mucho más extensas y con pequeñas concentraciones, lo que las hace difícil de identificar y cuantificar. La segunda es que generalmente involucra a un gran número de propietarios, los cuales pueden ser difíciles de contactar en forma eficiente (World Bank, 2003).

Algunas de las consecuencias negativas que pueden traer las fuentes de contaminación difusa son las siguientes:

- Eutroficación de cuerpos de agua.
- Salinización de cuerpos de agua.
- Aumento en la concentración de metales pesados en cuerpos de agua.
- Existencia de patógenos y microorganismos tóxicos en cuerpos de agua.

Aunque los contaminantes asociados a la contaminación difusa tienden a encontrarse en concentraciones menores, los impactos que estos pueden tener podrían llegar a ser tan grandes como los de las fuentes puntuales. Esto ocurre, principalmente, porque pese a lo leve de las concentraciones, el área aportante es muy extensa.

Uno de los efectos más conocidos de la contaminación difusa es la eutroficación. El exceso de nutrientes provenientes de actividades como la agricultura y ganadería, así como también de sectores sin cobertura de alcantarillado puede provocar que cuerpos de aguas importantes para la comunidad sean afectados negativamente. Un ejemplo de esto es el caso del lago Victoria, el cual es circundado por Kenia, Uganda y Tanzania. Este lago es muy importante para las comunidades que viven a su alrededor ya que es una fuente importante de alimento, de agua para consumo humano y para irrigación y además es utilizado como medio de transporte. Este lago ha sufrido de eutroficación desde los años '60s, llegando al punto de que el 25% de su volumen no se encuentra disponible para los peces debido a su baja concentración de oxígeno. Las fuentes difusas que provocaron la eutroficación son diversas pero una de las más importantes es la agricultura, que aporta una gran cantidad de fósforo debido a la erosión de los suelos al irrigar (World Bank, 2003).

Otro ejemplo de contaminación difusa ocurre en el río Misisipi. Un estudio realizado en el año 1991 demostró que toda el área navegable del río presenta contaminación por una compleja mezcla de agroquímicos y sus subproductos, los cuales provienen de las áreas agrícolas que se encuentran en los alrededores del río. Esto es bastante grave ya que la acuicultura y la pesca fluvial son de las actividades principales que se realizan en este río, las cuales pueden ser fuertemente afectadas si es que hay efectos negativos en la vida acuática del sector (Hostettler y Perelra, 1993).

En Chile la contaminación difusa también ha generado efectos negativos. En la zona norte del país, la producción agrícola ha generado problemas de salinización de las napas subterráneas, como resultado de la acumulación de sales que se produce en el suelo debido a la irrigación. En la zona central existe contaminación por nitratos producto de las prácticas agrícolas, donde un porcentaje de estos nitratos proviene del uso de aguas servidas en el riego. Por último, la zona centro-sur del país existen problemas de eutroficación producto del incremento de nutrientes en las fuentes superficiales (Bonilla et al, 1999).

Debido a que las fuentes difusas han sido menos abordadas en los estudios y en las medidas de control que las fuentes puntuales, se decidió enfocar este estudio a este tipo de fuentes.

### 3.2 Fuentes de Contaminación

Foster et al (2002) introducen la Tabla 3-1 donde se pueden apreciar las principales actividades generadoras de contaminación difusa:

**Tabla 3-1 Actividades Potencialmente Generadoras de Contaminación Difusa.**

Tipo de actividad	Características de la carga contaminante			
	Zona de la Actividad	Contaminantes principales	Carga hidráulica	Circunvalación (bypass) del suelo
<b>Desarrollo Urbano</b>				
Saneamiento sin alcantarillado	u/r	n f o t	+	+
Descarga de aguas residuales al suelo (a)	u//r	n s o f t	+	
Estanques de almacenamiento de combustibles	u//r	t		
Sumideros de drenaje de carreteras	u//r	s t	+	++
<b>Producción industrial</b>				
Fugas de estanques/tuberías (b)	u	t h		
Derrames accidentales	u	t h	+	
Descarga de efluentes al suelo	u	t o h s	+	
Deposición atmosférica	u//r	s t		
<b>Producción agrícola (c)</b>				
a) Cultivo de suelos				
• Con agroquímicos	r	n t		
• Con irrigación	r	n t s	+	
• Con lodos de aguas residuales	r	n t s o		
• Con riego de aguas servidas	r	n t o s f	+	
b) Crianza de ganado/ Procesamiento de cultivos				
• Descarga al suelo	r	n s o f t		
<b>Extracción de mineral</b>				
Perturbación hídrica	r/u	s h		
Descarga de agua drenada	r/u	h s	++	++

Fuente: Foster et al, 2002.

- (a) Puede incluir componentes industriales  
 (b) Puede ocurrir en zonas no industriales  
 (c) Su intensificación plantea el principal riesgo de contaminación  
 u/r Urbano/Rural

- n Compuestos de nutrientes  
 f Patógenos fecales  
 o Carga orgánica  
 s Salinidad  
 h Metales pesados  
 t Microorganismos tóxicos  
 + Incremento de la importancia

De estas, las más comunes de encontrar son la producción agrícola y el saneamiento sin alcantarillado.

## **A. Agricultura**

La agricultura ejerce una gran influencia en la calidad y la cantidad de las recargas del agua subterránea. Algunas formas de cultivo generan serios problemas de contaminación difusa, principalmente por nutrientes y pesticidas. Esto es especialmente cierto en áreas con suelos delgados y bien drenados (Foster et al, 2002).

Los tipos de actividad agrícola que generan los problemas más serios de contaminación difusa son los monocultivos, los cuales son plantaciones de gran extensión, de una sola especie vegetal. Por otro lado los cultivos rotativos, las granjas ecológicas y el pastoreo en zonas amplias, presentan menos probabilidad de generar una carga contaminante a la subsuperficie. Los cultivos de tipo permanente, vale decir aquellos donde el periodo vegetativo de las especies es mayor a 1 año (árboles frutales, berries, viñas, etc.), generan menos pérdidas por lixiviados de nutrientes que los cultivos de tipo anual, que son aquellos que tienen periodos vegetativos menores a 1 año. Esto se produce porque existen menos alteraciones y aeraciones del suelo y además existe una demanda más continua de nutrientes (Foster et al, 2002).

Existe una relación entre la cantidad de fertilizantes y pesticidas aplicados y sus tasas de lixiviación desde los suelos al agua subterránea. Sin embargo, sólo una porción de los agroquímicos aplicados es lixiviada, ya que esto resulta de una compleja interacción entre el tipo de cultivo, las propiedades del suelo, régimen de las lluvias y de irrigación, manejo de suelos y los agroquímicos aplicados.

Otros aspectos importantes de considerar son el método y el tipo de agua utilizada en la irrigación. La conexión entre el riego y la calidad del agua subterránea es casi directa a través del proceso de infiltración de nutrientes y pesticidas. Para evitar que los contaminantes lleguen al sistema acuífero, el riego debe ser lo más eficiente posible, vale decir que la cantidad de agua usada sea exactamente igual al agua que se evapora y a la transpiración del cultivo. Esta eficiencia se logra casi a la perfección mediante riego por goteo, un poco menos por aspersión y surcos y mucho menos al utilizar riego por inundación. El tipo de agua de riego también afecta la calidad del agua subterránea ya que puede poseer contaminantes en forma natural, como por ejemplo sales asociadas a la geología del sector, o artificial, como es el caso del agua residual, la cual posee un alto grado de nutrientes, sales y patógenos.



## **B. Saneamiento Sin Alcantarillado**

El rápido crecimiento urbano genera como resultado vastas áreas que deben realizar la eliminación de aguas residuales a través de sistemas in-situ, como por ejemplo fosas sépticas y letrinas. Estos sistemas funcionan infiltrando los efluentes en el suelo, lo que en el caso de suelos muy permeables termina siendo una recarga al acuífero. Estos sistemas deben recibir periódicamente mantenimiento, donde la parte sólida debe ser removida lo cual generalmente no se cumple y por consecuencia genera una percolación de los lixiviados.

Los contaminantes comúnmente asociados a este tipo de sanitización son los compuestos nitrogenados, microorganismos patógenos (bacterias, virus y protozoos) y en algunos caso químicos orgánicos sintéticos.

Mediante el conocimiento de la densidad de población y la cobertura de alcantarillado, datos que usualmente son manejados en los municipios, se puede estimar la carga contaminante que se producirá por esta actividad.

### **3.3 Tipos de Contaminantes**

#### **3.3.1 Nutrientes**

El grupo de los nutrientes está compuesto principalmente por compuestos nitrogenados y fosfatados, ya que estos son los que las plantas deben absorber en grandes cantidades para poder crecer.

El nitrógeno es un elemento muy abundante en la naturaleza que está presente en plantas, animales y materia orgánica. Existe en diversas formas químicas donde las principales son los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ).

En las aguas residuales, las principales formas del nitrógeno son la urea y el amonio, los que posteriormente son oxidados a nitritos y nitratos. De estos últimos, sólo los nitratos son estables químicamente, lo que permite que sea un indicador de presencia de contaminación.

Los nitratos provienen principalmente de la disolución de rocas y minerales, descomposición de materias orgánicas, de efluentes industriales y del lixiviado de tierras de cultivo. Las aguas naturales poseen algo de nitrato, pero una concentración mayor a 5 [mg/l] indica la presencia de contaminación.

Por otro lado, el fósforo es un elemento esencial para la vida, el cual puede encontrarse en formas orgánicas y no orgánicas. En general, el fósforo proviene de la disolución de rocas y minerales, de lixiviados de tierras de cultivo y de las aguas residuales domésticas, debido al uso de detergentes.

El contenido de fósforo total en aguas naturales es del orden 0,1 [mg/l] a 1 [mg/l]. En aguas residuales altamente cargadas puede alcanzar los 15 [mg/l] y en RILes de industrias, como los de los mataderos, pueden alcanzar los 50 [mg/l].

El principal problema de las concentraciones elevadas de nitratos y de fósforo en aguas, es que pueden provocar eutroficación. Además, el exceso de nitratos en el agua de consumo puede provocar enfermedades en los humanos como Metahemoglobinemia y diversos tipos de cánceres gástricos. El exceso de fósforo puede provocar problemas en la asimilación del calcio.

### **3.3.2 Sales**

Existe una serie de iones que contribuyen a la salinidad del agua. En general la salinidad del agua está compuesta de cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) y sulfato ( $\text{SO}_4$ ).

Las sales pueden llegar al agua subterránea en forma natural, mediante la disolución de suelos, rocas y materia orgánica. También pueden llegar mediante las actividades humanas como la agricultura, ganadería, infiltración de residuos industriales, etc. Por ejemplo la agricultura utiliza fertilizantes sintéticos y el agua de riego puede poseer salinidad, lo cual lleva a un aumento del contenido de sales. Otro ejemplo es la ganadería, en donde se produce gran cantidad de residuos de origen animal, los cuales también aumentan la salinidad al infiltrarse a las aguas subterráneas.

La salinidad se mide como la cantidad de partículas e iones disueltos en el agua. Existen 2 formas tradicionales de medirla: evaluando la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT) en el agua y a través de la conductividad eléctrica (EC) del agua.

### 3.3.3 Patógenos

Los patógenos presentes en el agua pueden ser bacterias, virus, protozoos, hongos y helmintos. Estos patógenos pueden dañar la salud humana, provocando las llamadas “enfermedades hídricas”. Algunas de estas pueden ser apreciadas en la Tabla 3-2. Además de las enfermedades, el contenido microbiológico puede afectar características del agua como el olor y el color e incluso provocar procesos de corrosión.

El principal indicador utilizado para determinar la presencia de microorganismos patógenos son los coliformes, los cuales están presentes en el intestino de los animales de sangre caliente. Esto es debido a que a que los microorganismos causantes de enfermedades que pueden transportarse en el agua son variables y de diversos tipos. Al no poder identificarlos a todos, se utilizan los coliformes los cuales son fáciles de identificar y cuantificar mediante métodos simples.

El grupo coliforme se subdivide en los coliformes fecales y los no fecales. Los coliformes fecales son el indicador más representativo de bacterias patógenas de origen fecal.

**Tabla 3-2 Enfermedades Hídricas**

Enfermedades bacterianas	
Enfermedad	Productor
Fiebre tifoidea	Salmonella thypfosa
Fiebre paratifoidea	Salmonella paratyphi
Disentería	Shigella dysenteria
Cólera	vivrio comma
Tuberculosis	Mycobacterium tuberculosis
Diarreas	Proteis morganii
Ictericia hemorrágica	Leptospira
Colibacilosis	Escherichia coli
Tularemia	Pasteurella tularensis
Enfermedades virales	
Poliomielitis	Enterovirus
Diarreas	Virus ECHO
Meningitis, miocardiopatías	Coxacky virus
Hepatitis infecciosa	Virus
Conjuntivitis, faringitis	Adenovirus
Infecciones cutáneas	Papillomavirus
Enfermedades variadas	
Enfermedades cutáneas	Histoplasma Capsulatum (hongo)
Disentería amebiana	Entamoeba histolytica (protozoo)
Esquistomiasis	Bilharzia (helminto)
Vías urinarias	Eustrongylus gigas (helminto)
Ascariasis	Ascaris lumcricoides (helminto)

Fuente: Marín Galvín, 1996.

### **3.3.4 Metales Pesados**

Los metales pesados corresponden a un grupo de elementos presentes de manera natural en ambientes acuáticos, suelo y rocas, que se caracterizan por poseer características metálicas o semi metálicas, una alta densidad y son tóxicos para los seres vivos. Estos elementos pueden ser tóxicos en cualquier concentración, como el caso del mercurio y cadmio o pueden serlo en altas concentraciones, como es el caso del cobre y zinc <sup>1</sup>. Además tienden a acumularse en la cadena trófica.

Los metales pesados provienen de procesos naturales como la disolución de rocas y de actividades antropogénicas como la minería y la construcción. Los elementos más comunes generados por las actividades antropogénicas son: arsénico (As), berilio (Be), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), estaño (Sb), níquel (Ni), plomo (Pb), selenio (Se) y zinc (Zn). De estos, los más peligrosos para los seres vivos son el mercurio, el cadmio y el plomo.

La toxicidad de los metales pesados depende de las concentraciones y del tipo de especie en que se encuentre. En pequeñas cantidades, muchos de estos elementos, son considerados esenciales para los seres vivos pero sobre ciertos niveles pueden ser tóxicos. Por otro lado, la concentración a la cual se encuentran estos metales puede ser irrelevante frente al tipo de especie que se encuentra presente. La especiación regula la disponibilidad del elemento, dependiendo si se encuentra disuelto, adsorbido, ligado o precipitado y la toxicidad de él, según la forma química que este presente. Por ejemplo las formas inorgánicas del mercurio son sustancialmente menos tóxicas para los seres vivos que sus compuestos orgánicos.

El Ph, la dureza del agua, la materia orgánica presente y las condiciones REDOX afectan la acumulación y disponibilidad de los metales pesados.

### **3.3.5 Compuestos Orgánicos (Pesticidas y Químicos)**

Las materias orgánicas que puede poseer el agua son muy variadas. De hecho más de 1000 compuestos orgánicos diferentes han sido identificados. En la Tabla 3-3 se pueden observar los compuestos orgánicos más frecuentes en las aguas.

---

<sup>1</sup> Definición sacada del Glosario de la U.S. EPA

**Tabla 3-3 Compuestos Orgánicos Más Frecuentes**

Grupo de compuestos	Sustancia concreta	Grupo de compuestos	Sustancia concreta
Halogenados	Cloroformo Tetracloruro de carbono 3-cloropiridina Ácido 6-cloropicolínico	Pesticidas y herbicidas	Atrazina Simasina Lindano Aldrín
Hidrocarburos aromáticos	Tolueno Xilenos Naftaleno Fenantreno	Aminas y Amidas	3-nitronilina 3-metilpiridina 2,4-dimetilpiridina
Ácidos	Propiónico Butírico Benzóico Fenilacético Oléico, esteárico, palmítico	Detergentes	Polietilenglicoles Alquilfenoles polietoxilados Alcoholes polietoxilados Sulfatos de alquiléter
Alcoholes	Alcohol bencílico Fenoles Alfa-Terpineol	Otros	Benzofurazano Benzofuraxano Benzoditiazol Oxido de nicotina Aminopiridina
Cetonas y Aldehidos	Benzofenona Benzaldehido Cuminaldehido		

Fuente: Marín Galvín, 1996.

El origen de los compuestos orgánicos puede ser natural o antropogénico. En forma natural, estos compuestos provienen de las actividades de los seres vivos y de su descomposición. En forma artificial, estos compuestos provienen de actividades como la agricultura, ganadería, industrias químicas, farmacéuticas, petroquímicas, metalúrgica, alimenticia, etc.

Los grupos más importantes de compuestos orgánicos que se pueden encontrar en las aguas son:

- Sustancias húmicas:
- Fenoles
- Detergentes
- Trihalometanos
- Insecticidas, herbicidas.
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos

De estos, los más comunes presentes en la contaminación difusa son los detergentes, insecticidas y herbicidas. Los detergentes provienen de las aguas residuales domésticas, mientras que los pesticidas y los herbicidas, de actividades como la agricultura o el cuidado de parques.

## Detergentes

Los detergentes pueden ser divididos, dependiendo de su grupo hidrofílico, en 3 grandes grupos: aniónicos, no iónicos y catiónicos. Están compuestos por un elemento tensioactivo, responsable de rebajar la tensión superficial y de coayudantes, como por ejemplo agentes acomplejantes, secuestrantes, dispersantes, enzimas, aditivos, etc. Es importante destacar, que parte de estos coayudantes son polifosfatos, carbonatos, silicatos, sulfatos y perboratos, los cuales generan un gran aporte de fosfatos al llegar al agua.

Algunos de los efectos negativos de los detergentes son la generación de eutroficación y la producción de espumas, las cuales provocan una perturbación en el intercambio de oxígeno entre el agua y atmosfera. Además de estos efectos, los detergentes en el agua pueden provocar problemas de salud, como irritaciones internas y externas y efectos depresivos.

## Pesticidas y herbicidas

Estos son compuestos orgánicos o inorgánicos que se utilizan para luchar contra parásitos en cultivos, ganado, parques, animales domésticos.

Las características de estos compuestos son:

- Toxicidad.
- Persistencia.
- Carácter acumulativo.

Algunos de los principales plaguicidas utilizados a lo largo del tiempo son el DDT, Aldrín, Lindano, Malatión, Carbazyl y Chlordano. Actualmente, algunos de estos plaguicidas se encuentran prohibidos debido a que tienen efectos en la salud de los seres humanos, como alteraciones en el sistema nervioso, problemas en diversos órganos y además posee efectos cancerígenos. Un ejemplo de esto es el caso del DDT, el cual ha sido prohibido en muchos países debido a su toxicidad y capacidad de acumularse en las cadenas tróficas. En EEUU su utilización fue prohibida el año 1972 y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) lo consideró como “altamente tóxico” por el año 2005. En Chile, el uso y la distribución de DDT fueron prohibidos en el año 1985<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Publicado en Revista Creces, Octubre 1987.

### **3.4 Medidas de Prevención y Mitigación de Contaminación Difusa**

El BANCO MUNDIAL (2003) recomienda realizar un enfoque integrado para lograr controlar la contaminación difusa. Para lograr esto, hay una serie de medidas que pueden llevarse a cabo, las cuales se dividen en medidas estructurales (aquellas en las que se realiza una inversión en obras físicas) y no estructurales.

#### **3.4.1 Medidas Estructurales**

##### Establecer indicadores y redes de monitoreo

Existen diversos contaminantes difusos, diversas localizaciones para monitorear y diversos enfoques, químicos y biológicos, para realizar el monitoreo. Es debido a esta diversidad, que es importante establecer una red de monitoreo eficiente para el sector, lo cual conlleva una serie de medidas tanto técnicas como políticas

#### **3.4.2 Medidas No Estructurales**

##### Aumentar la capacidad regional y establecer los objetivos regionales

Es importante establecer un enfoque regional en el manejo de la contaminación difusa, cuando una cuenca pertenece a variadas comunas o regiones. Esto puede lograrse a través de la creación de organismos dedicados al manejo global de una cuenca afectada.

##### Incentivar la participación ciudadana

Para que las medidas de control de la contaminación difusa sean eficaces, debe existir participación ciudadana, especialmente en los sectores rurales. Deben tomarse las medidas adecuadas que permitan la participación pública en este tema.

##### Desarrollar enfoques comunitarios

El tomar medidas que permitan la participación ciudadana no asegura que esto suceda. Para que la participación ciudadana sea eficiente, es importante estimular a los ciudadanos para que se organicen, como por ejemplo, en juntas de vecinos. De esta manera pueden recibir asistencia técnica y financiera.

### Desarrollar códigos de buenas prácticas

Desarrollar códigos de buenas prácticas es importante para lograr reducir la contaminación difusa. Estos códigos pueden desarrollarse mediante información de investigaciones científicas y de las experiencias previas de otras localidades. En la Tabla 3-4 se muestran algunas buenas prácticas asociadas a la agricultura.

**Tabla 3-4 Buenas Prácticas en la Agricultura**

Práctica	Contaminantes difusos				
	Suelo	Nutrientes	Sales	Pesticidas	Metales
Educación pública	x	x	x	x	x
Contención mejorada y prevención de derrames	x	x	x	x	x
Cultivos mixtos	x	x		x	
Irrigación de precisión	x	x	x		
Drenaje subterráneo			x		x
Fertilización precisa		x	x		
Rotación de cultivos	x	x	x		
Monitoreo de escorrentía y aguas subterráneas	x	x	x	x	x

Fuente: World Bank, 2003.

### Difundir la lección aprendida

Es importante difundir la información y las experiencias aprendidas, de manera de mejorar el entendimiento de la forma en que debe ser abordado el control de la contaminación difusa.

### Adoptar el uso de incentivos

Para lograr un mejor comportamiento de las personas o empresas, se pueden establecer incentivos financieros, de manera de complementar las medidas políticas que se puedan llevar a cabo.

La Tabla 3-5 muestra algunos ejemplos de incentivos que se han llevado a cabo en Estados Unidos.



**Tabla 3-5 Ejemplos de Incentivos**

Tipo de incentivo	Receptor o Pagador
Exención de impuestos para zonas Buffer	Propietario de la tierra
Depreciación acelerada	Inversionista
Prestamos con bajos intereses	Campesinos
Subsidios	Campesinos, gobiernos locales
Recargos a los residuos de animales	Campesinos
Recargos a los fertilizantes	Campesinos
Recargos a los pesticidas	Campesinos

Fuente: World Bank, 2003.

#### Establecer redes de demostración

No existe mejor forma de comprender que se pueden tomar medidas exitosas para combatir la contaminación difusa que mediante la observación de las prácticas que otros pares han llevado a cabo. Las demostraciones aclaran lo que no se puede expresar en forma escrita y muestra a los escépticos que las medidas funcionan.

#### Educación ambiental y conciencia pública

La educación ambiental y las actividades pensadas para generar conciencia, incrementan el entendimiento de la relación que existe entre las acciones del día a día y la contaminación difusa. La experiencia en este tipo de medidas, demuestra que las personas evalúan mucho mejor las características naturales de un lugar, cuando encuentran interés en ellas o comprenden los beneficios a largo plazo que ellas poseen.

## 4- ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 4.1 Descripción General

Como se explica en el punto 1.4, la comuna de Colina se encuentra ubicada en la zona norte de la región Metropolitana de Chile. Se encuentra ubicada entre la latitud  $32^{\circ}21'$  y  $32^{\circ}57'$  Sur y entre las longitudes  $70^{\circ}24'$  y  $70^{\circ}10'$  Oeste. Esta comuna es parte de la provincia de Chacabuco junto a las comunas de Lampa y Til-Til.

El área total de esta comuna es de 96218 hectáreas, de las cuales el 70% (67500 ha) corresponde a zonas montañosas, lo cual puede ser apreciado en la Figura 4-1. Esta imagen satelital fue obtenida de la base de datos del programa LANDSAT de la NASA.

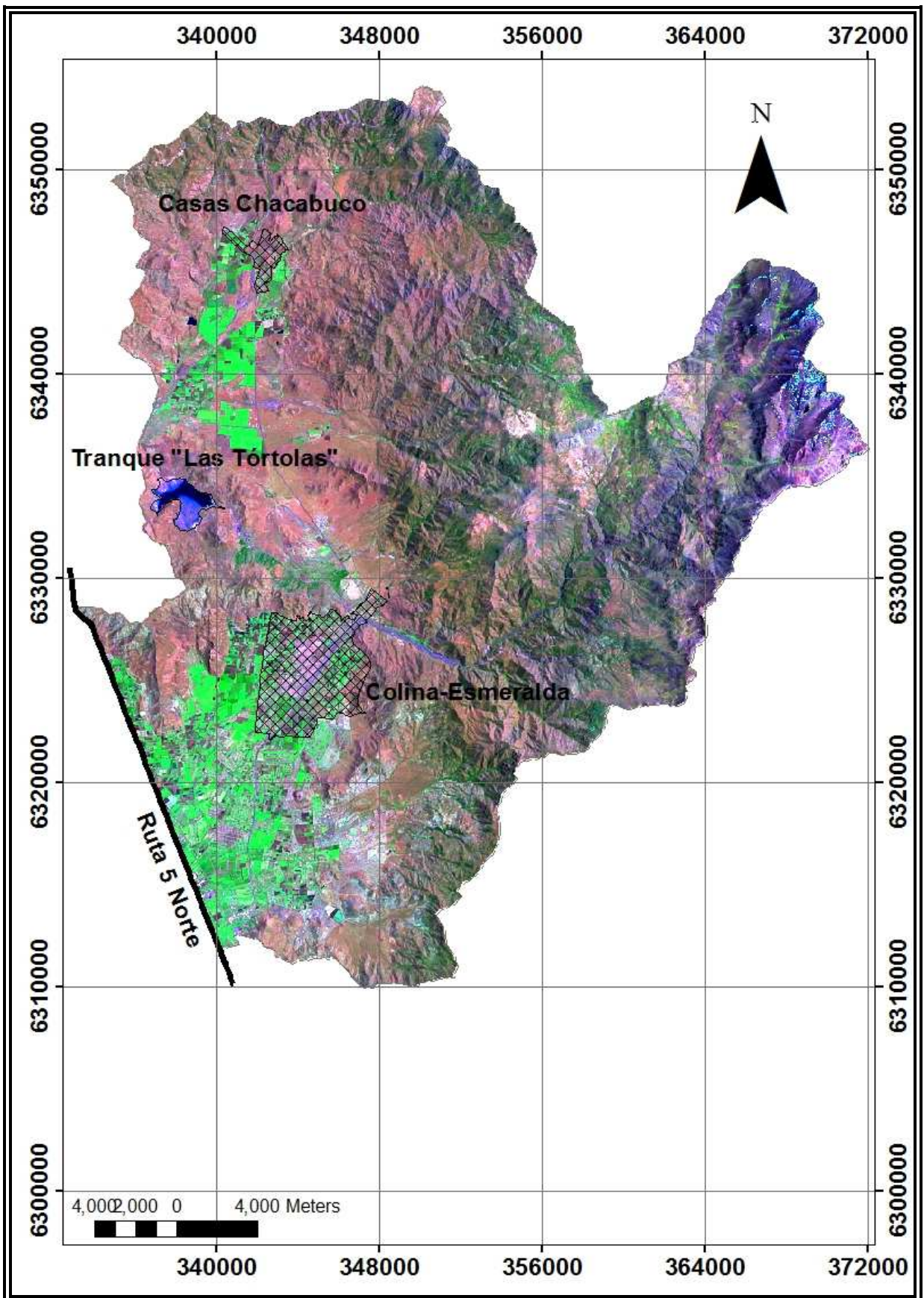
Debido a que la comuna es principalmente montañosa, el área efectiva donde se realizó este estudio es de 28718 hectáreas, lo que corresponde a un 30% del área total.

Algunas características generales de la comuna son:

- Presencia del tranque de relaves “Las Tórtolas”, perteneciente al proyecto “Los Bronces” de la empresa Anglo American. Este tranque se encuentra ubicado en la parte oeste de la comuna.
- Existe presencia de dos carreteras en la comuna. La primera es la carretera Panamericana, la cual se encuentra ubicada en la parte sur-oeste de la comuna. La segunda es la autopista Los Libertadores, la cual sigue casi el mismo trazado de la carretera General San Martín. Esta última cruza a lo largo toda la comuna.

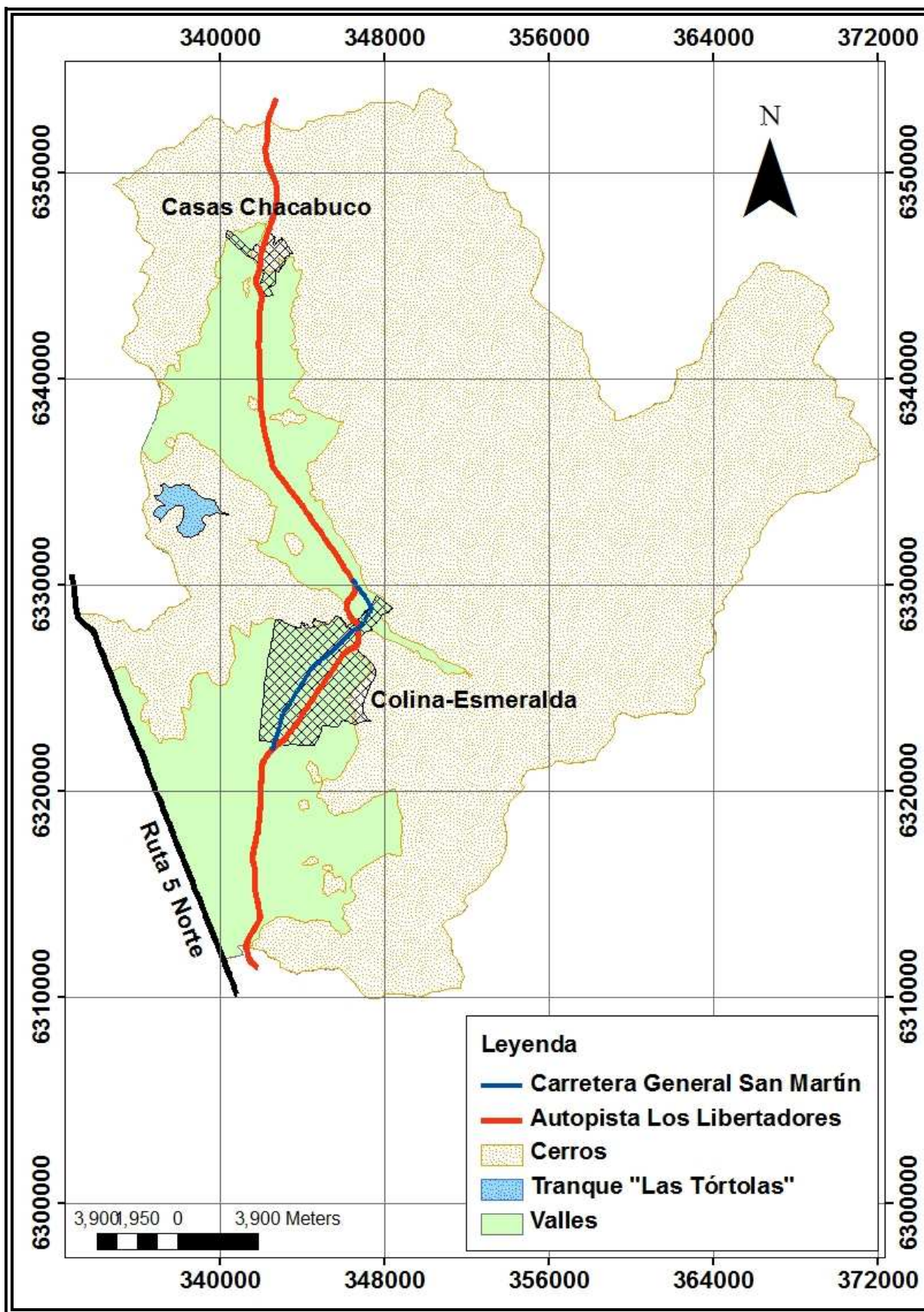
La Figura 4-1 muestra el esquema con el cual se trabajó del área de estudio.

Figura 4-1 Imagen Satelital de Colina



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-2 Esquema de Trabajo



Fuente: Elaboración propia.

## **4.2 Población**

La población total de la comuna es 77815 habitantes, según el último censo nacional realizado el año 2002. La población urbana corresponde a 62811 habitantes (81%) y la rural a 15004 habitantes (19%).

La comuna presenta un centro urbano mayor, el cual corresponde a la ciudad de Colina. Además, existe una serie de centros poblados de menor tamaño. Algunos de los más importantes son:

- Las Canteras
- Esmeralda
- Lo Pinto
- San José
- El Colorado
- Casas Chacabuco
- Liray

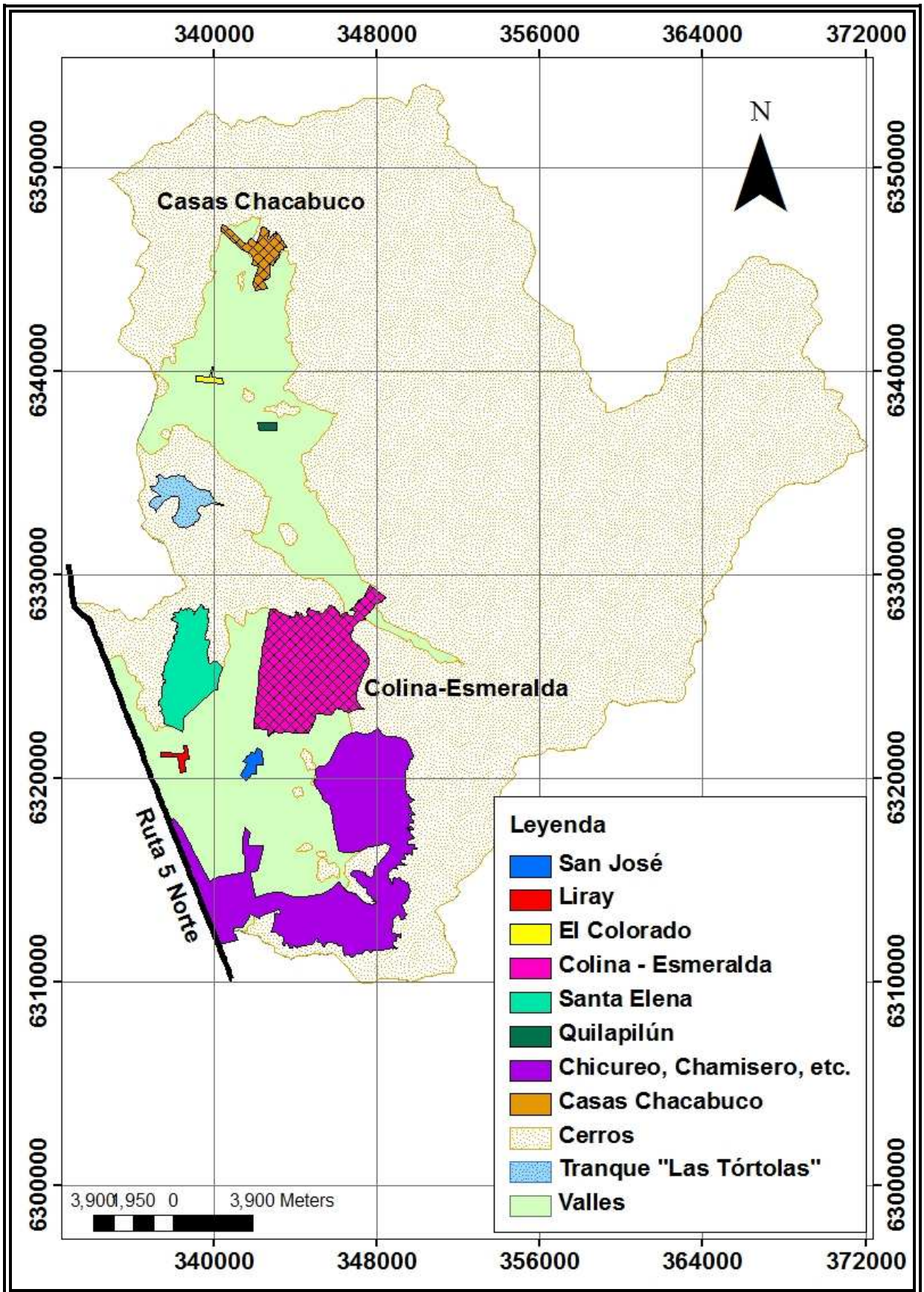
La Figura 4-3 presenta la zonificación de usos de suelo de la comuna, donde se pueden observar los distintos sectores donde se ubican los centros poblados de la comuna. No todos los sectores se encuentran ocupados en su totalidad, como por ejemplo el sector Chicureo, Chamisero, Santa Elena, Pan de azúcar y Las Canteras.

## **4.3 Economía**

Esta comuna tiene como principal actividad económica la agricultura, debido a que presenta condiciones muy favorables para esta actividad. La superficie total sembrada es de 7026 hectáreas. Este fuerte desarrollo de la agricultura, se produce porque el clima permite una temprana producción, lo que aumenta el valor de los productos en el mercado y además, los suelos del sector poseen una excelente aptitud agrícola

Además de la agricultura, existe menor desarrollo de las actividades económicas asociadas a la industrial, el comercio y el turismo. La industria tiene muy poco desarrollo, pero se espera que aumente debido a la creación de dos parques industriales, “Los Libertadores” y “La Montaña”. Por otro lado, el comercio se encuentra localizado principalmente en la ciudad de Colina y en Esmeralda, y los rubros más importantes son la alimentación, el expendio de bebidas alcohólicas, restaurantes y quintas de recreo. Finalmente el turismo es la actividad con menor desarrollo en la comuna, donde los principales atractivos turísticos son las Termas de Colina y la fiesta de Cuasimodo.

Figura 4-3 Zonificación de Usos de Suelos



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.4 Geomorfología, Clima y Vegetación**

Las diversas unidades geomorfológicas de la comuna se pueden diferenciar claramente por sus características topográficas. En la comuna se presentan tres áreas homogéneas, las cuales son las siguientes:

- **Cordón montañoso:** Esta área se encuentra ubicada principalmente en el sector Este de la comuna. Esta zona presenta pendientes mayores al 10%, lo cual dificulta su ocupación y acceso.
- **Cerros centrales:** Esta área esta ubicada en la zona central de la comuna, en dirección Norte-Sur. Es un sector montañoso con pendientes superiores al 10%. Esta unidad divide el valle central en dos.
- **Valles centrales:** Esta área se encuentra ubicada entre las formaciones montañosas. Presenta pendientes inferiores al 10%, razón por la cual este es sector con mayor ocupación humana. Esta dividida en dos sectores, los cuales reciben su nombre por su ubicación: Valle Norte y valle Sur.

Esta comuna presenta un clima templado cálido con lluvias invernales, según la clasificación de Köeppen (1966). Este clima se caracteriza por tener precipitaciones concentradas en los meses de invierno, donde la media anual fluctúa entre los 300 y 400 mm, lográndose una media anual de 360 mm. La temperatura promedio es de 14,5°C, con temperaturas mínimas menores a los 0°C y máximas superiores a los 30°C.

La vegetación del sector presenta las siguientes formaciones vegetacionales, de acuerdo a la foto-interpretación satelital del proyecto OTAS (2001):

- Matorral Espinoso de las Serranías
- Bosque Espinoso Abierto
- Bosque Esclerófilo de la Pre-Cordillera Andina
- Matorral Andino Esclerófilo
- Estepa Alto – Andina de Santiago

## **4.5 Hidrología**

### **4.5.1 Cauces Naturales y Canales**

La Figura 4-4 presenta los principales cauces naturales y canales de regadío presentes en la zona de estudio. Los cauces naturales son los esteros Chacabuco, Quilapilún, Huechún y el estero Colina. Todos estos esteros son de escaso caudal, el cual aumenta en los períodos de invierno y primavera, debido a que estos nacen de quebradas. El estero más importante es el estero Colina, el cual se origina a los 2000 m.s.n.m en la confluencia de la quebrada Los Tambillos con el estero Escalones. A una distancia de 10 km. aguas arriba de Colina, este estero es desviado completamente para ser utilizado en riego (canal Lo Castillo).

Existe una serie de canales en la comuna. Estos canales son Batuco, El Fundo, El Castillo y Las Norias. El canal de mayor extensión es Batuco, el cual es uno de los principales ramales del canal El Carmen, canal que transporta aguas desde el río Maipo.

### **4.5.2 Pluviometría**

La precipitación en la cuenca de Santiago se caracteriza por lluvias concentradas, en un 80% aproximadamente, entre los meses mayo a agosto.

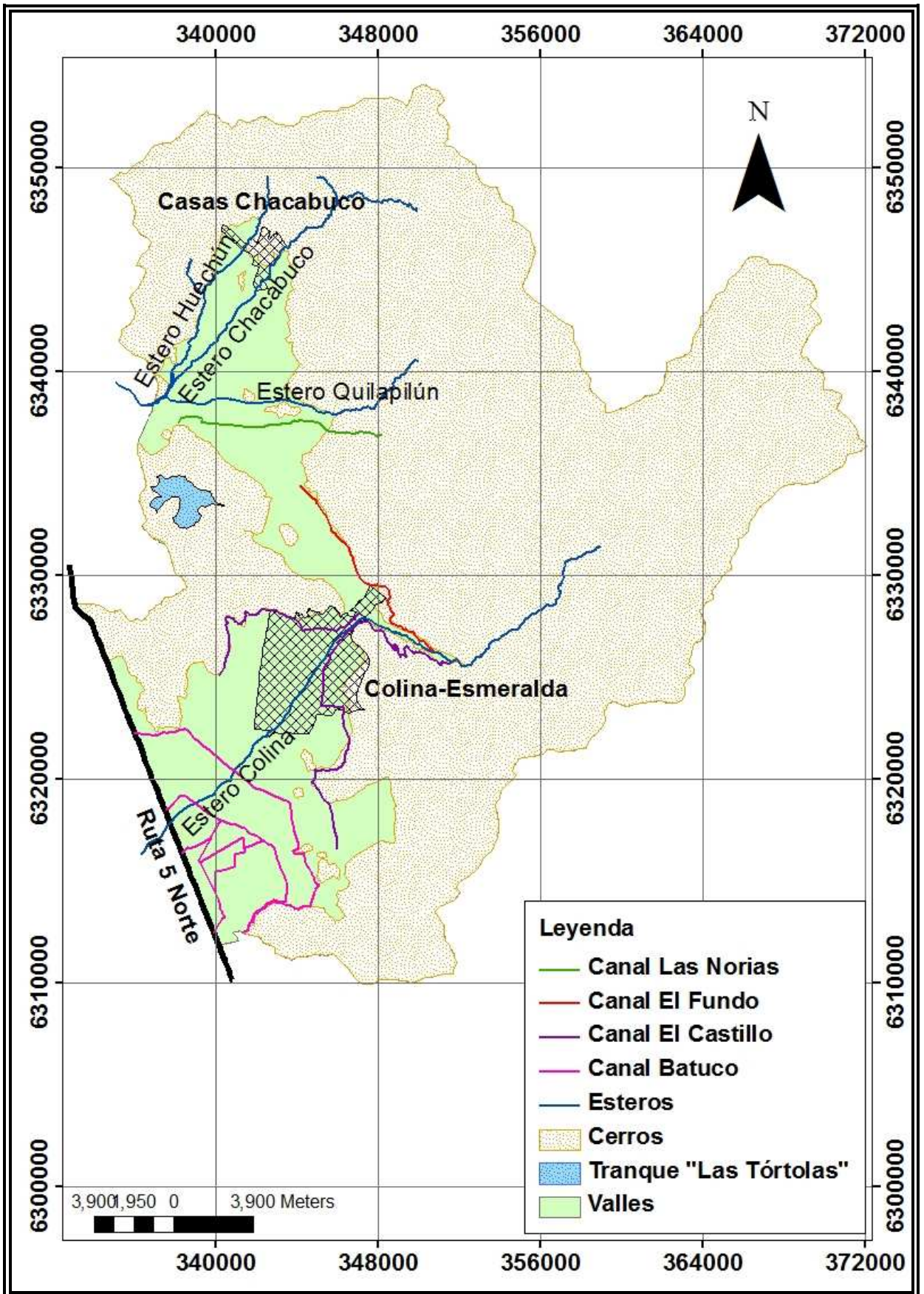
En el estudio “Modelo de Simulación Hidrológico Operacional de las Cuencas de los ríos Maipo y Mapocho” (2000) se construyó un mapa de isoyetas para la cuenca del río Maipo. Para esto se utilizó la estadística corregida de 36 estaciones pluviométricas en Santiago, las cuales se presentan en la Tabla 4-1. Con estas se determinaron las probabilidades de excedencia anuales del 20%, 50% y 95%, y se construyeron los mapas de isoyetas asociados. El mapa de isoyetas para una probabilidad de excedencia del 50% se muestra en la Figura 4-5. Luego utilizando este mapa se calculó la precipitación media anual para la comuna, la cual resultó ser de 351,4 [mm].

### **4.5.3 Evapotranspiración**

Para caracterizar la evapotranspiración del sector se utilizaron las isolíneas de evapotranspiración del libro “Balance hídrico de Chile” (1988). Las isolíneas que atraviesan la comuna se observan en la Figura 4-6. Utilizando estas curvas se calculó una evaporación neta anual de 312,9 mm.



Figura 4-4 Hidrografía



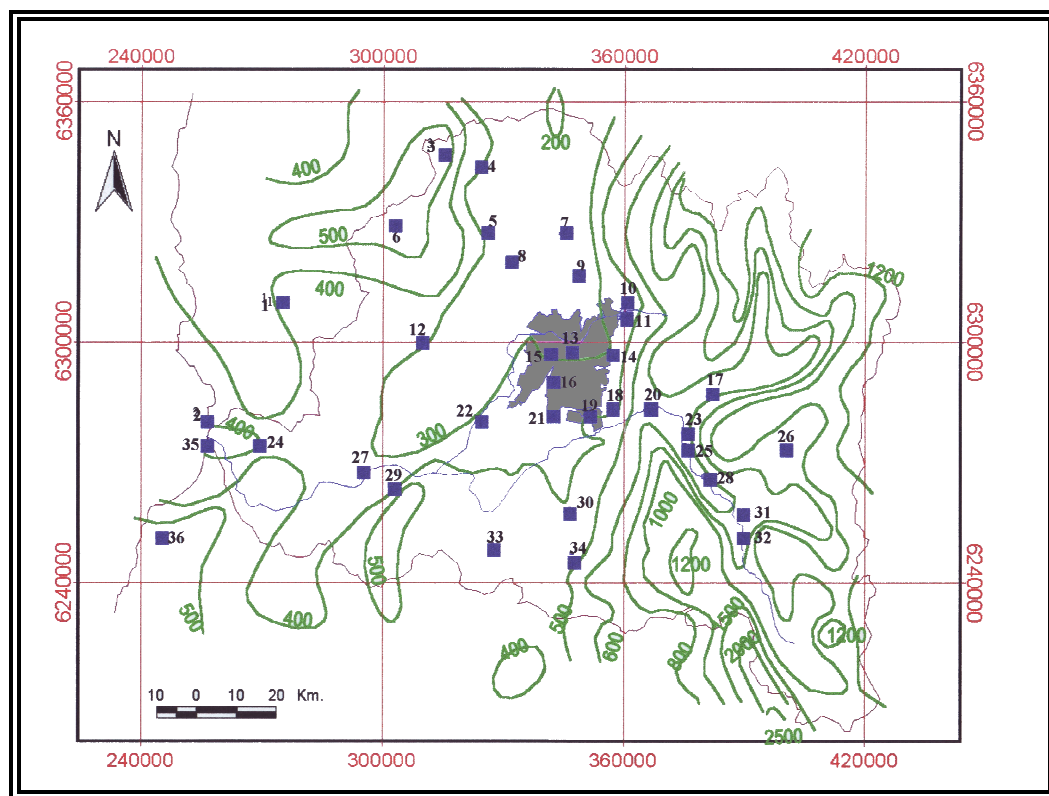
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-1 Precipitaciones Anuales para Distintas Probabilidades de Excedencia**

N°	Estación	Probabilidad		
		20%	50%	95%
20	La obra de Maipo	837,2	576	277,3
31	Los Queltehues	975,4	620,4	256,2
18	La Florida	564	389,5	188,9
17	Maitenes	605	412,9	195,7
26	Embalse El Yeso	751	482,3	202,9
32	Las Melosas	1036,7	671,5	287,4
25	San José Maipo	749,6	510,3	241,1
23	Retén San José	777,4	529,2	250
28	San Alfonso	756,6	515	243,3
15	Quinta Normal	424,7	288,7	135,8
21	San Bernardo	483,6	326,6	151,7
24	Cerrillos de Leyda	574,8	397,4	193
34	Hacienda Chada	701,4	475,8	222,8
2	Punta Panul San Antonio	512,7	345,7	160,1
6	Colliguay	841	551,8	242,1
14	Tobalaba	422	292,3	142,6
29	Carmen de las Rosas	582,5	394,7	184,5
30	El Transito	614,6	421,3	201,4
33	Aculeo	840,9	543,7	231,9
12	Curacaví	468,7	314,3	143,9
7	Esmeralda en Colina	383,2	256,9	117,6
4	Rungue	479,5	310,8	133,2
10	Fundo Huinganal	559,9	375	171,3
1	Casablanca	501,9	335,3	152,5
27	Melipilla	457,5	307,1	141
16	Los Cerrillos	415,3	273,9	121,5
9	Fundo Valle Hermoso	368,3	247	113,1
5	Polpaico	421,6	286,7	134,9
13	Santiago, edificio MOP	414,3	285	137,1
3	Caleu	825,4	546,1	243,6
19	El Bosque	451,4	307,3	144,9
35	Santo Domingo	686,2	468	221,4
36	San Enrique	788,8	549,6	271,2
8	Retén Batuco	369,1	254,5	123,1
11	Cerro Calán	504,8	348,1	168,3
22	Peñaflor	450,5	310,7	150,2

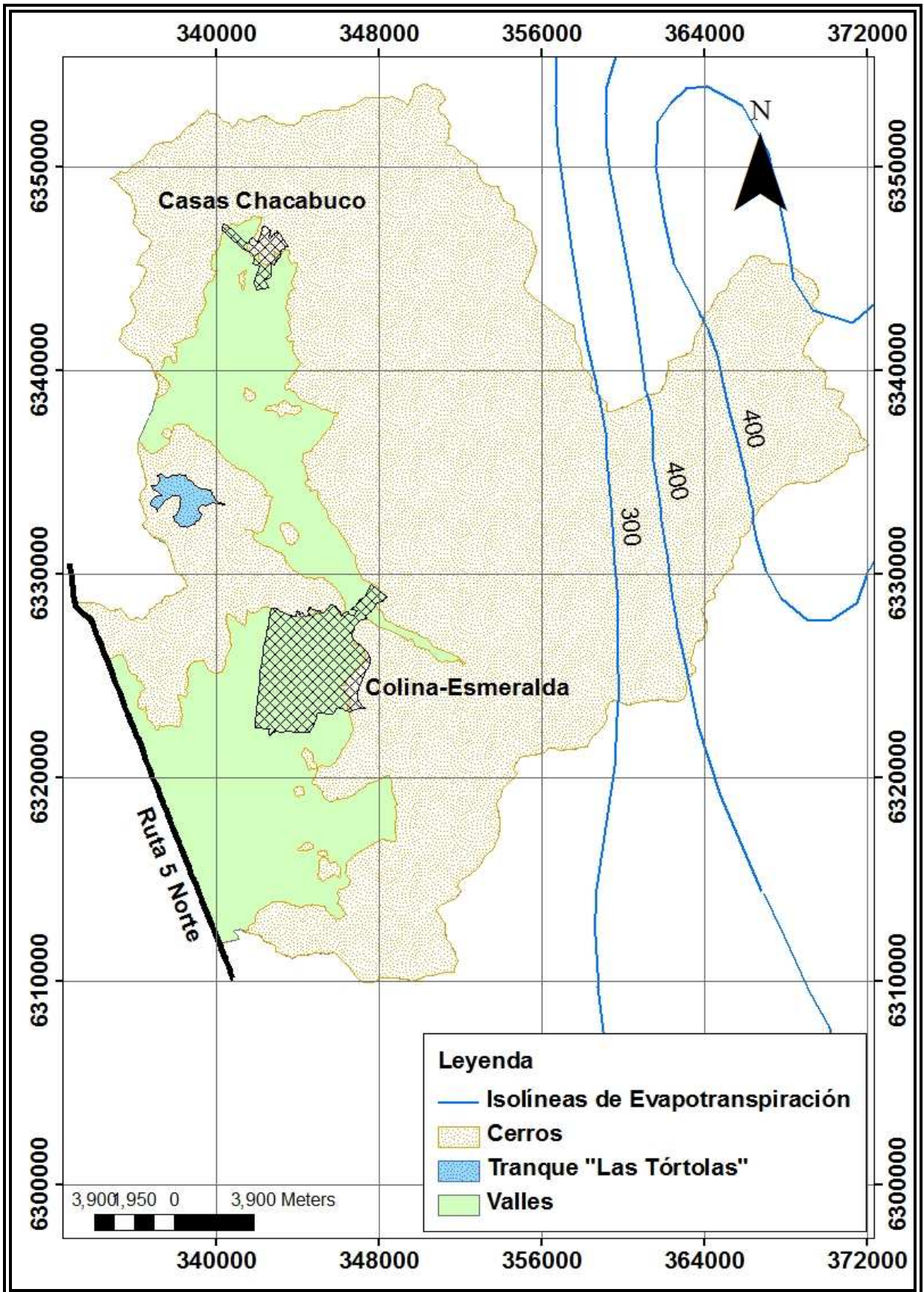
Fuente: Ayala y Cabrera, 2000.

**Figura 4-5 Mapa de Isoyetas para 50% de Probabilidad**



Fuente: Ayala y Cabrera, 2000.

Figura 4-6 Isolíneas de Evapotranspiración



Fuente: Elaboración propia a base de "Balance hídrico de Chile", 1988.

## **4.6 Hidrogeología**

### **4.6.1 Unidades Hidrogeológicas**

A continuación se describen las unidades estratigráficas que se encuentran en la comuna. Para realizar esta caracterización se utilizaron los pozos con información estratigráfica y la descripción de estratigrafías del estudio “Modelo de simulación hidrológico de las cuencas de los ríos Maipo y Mapocho” de la consultora Ayala y Cabrera. Los pozos con información estratigráfica que se encontraban en la zona de estudio son los que se aprecian en la Figura 4-7.

La descripción estratigráfica de estos puntos distingue 6 unidades hidrogeológicas, de las cuales 3 pertenecen al sistema “Valle del estero de Lampa” y 3 al sistema “Valle estero Colina”. Las unidades del sistema Lampa se encuentran en el valle norte y las del sistema Colina se encuentran en el valle sur. La descripción de estas unidades es la siguiente:

#### Sistema “Valle del estero Lampa”

Unidad Lampa I: Conjunto de sedimentos de fina granulometría constituidos por una fracción clástica mayor escasa, formada por arenas finas con ocasionales gravas y una matriz abundante de arcillas y limos. Esta unidad se dispone hacia la base de la secuencia, presumiblemente en contacto con la roca basal. Su permeabilidad media estimada es de  $10^{-6}$  cm/s.

Unidad Lampa II: Esta unidad sobreyace a la unidad Colina I. Es un conjunto de sedimentos permeables constituidos por una fracción clástica mayor de arenas gruesas, gravas, ripios y una matriz de arena media a fina con escasas arcillas y limos. Su permeabilidad media estimada se encuentra entre  $10^{-2}$  cm/s y  $10^{-3}$  cm/s.

Unidad Lampa III: Esta unidad se encuentra en el techo de la secuencia estratigráfica. Es un conjunto de sedimentos finos constituido por arenas medias a finas escasas y una abundante matriz arcillosa. Su permeabilidad media estimada es de  $10^{-4}$  cm/s.

#### Sistema “Valle del estero Colina”

Unidad Colina I: Conjunto de sedimentos constituidos por una fracción clástica mayor escasa, formada por arenas finas con gravas subordinadas y una matriz abundante de

arcillas y limos. Esta unidad se dispone hacia la base de la secuencia, presumiblemente en contacto con la roca basal. Esta unidad es equivalente a la unidad Lampa I.

Unidad Colina II: Esta unidad sobreyace a la unidad Colina I. Está constituida por sedimentos cuya fracción clástica mayor está conformada por arenas, gravas, ripios, subordinados y una matriz de arena media a fina con escasas arcillas y limos. Esta unidad es equivalente a la unidad Lampa II y su permeabilidad media estimada se encuentra entre los  $10^{-2}$  cm/s y  $10^{-3}$  cm/s.

Unidad Colina III: Esta unidad se encuentra en el techo de la secuencia estratigráfica. Es un conjunto de sedimentos finos constituido por arenas medias a finas escasas y una abundante matriz arcillosa. Su permeabilidad media estimada se encuentra entre los  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$  cm/s.

#### **4.6.2 Tipo de Acuífero**

Utilizando los datos de los pozos con información estratigráfica, se determinó el grado de confinamiento que presentaba cada uno de ellos. Los grados, en los cuales se clasificaron, son los siguientes:

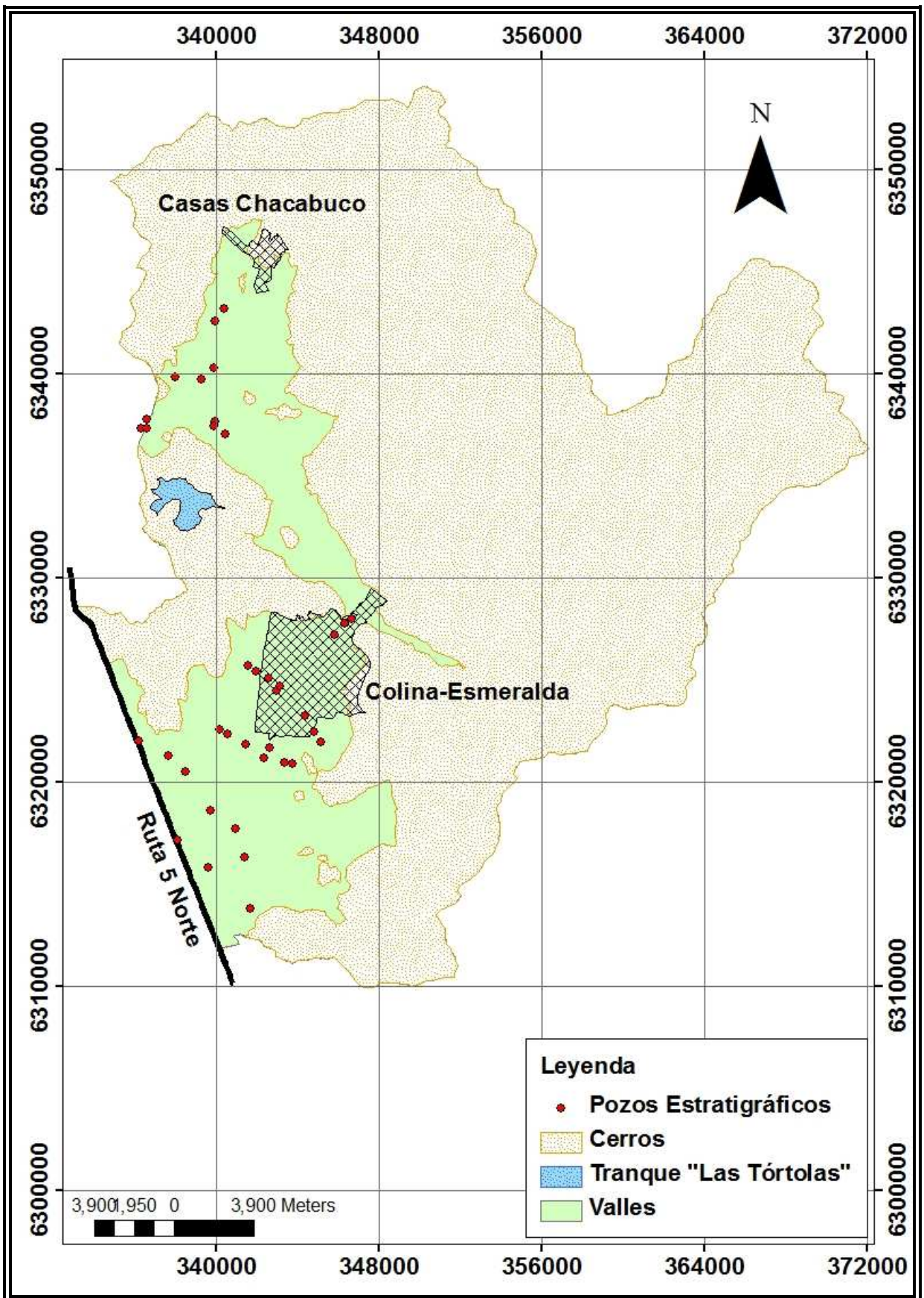
- Libre: El acuífero se encuentra en sectores formados por estratos de alta permeabilidad desde la superficie del terreno hasta la base del acuífero.
- Confinado: El acuífero se encuentra cubierto por un estrato confinante superior y en presión.
- Cubierto: El acuífero se encuentra cubierto por un estrato confinante pero no se encuentra en presión.

En la comuna se distinguen 3 zonas:

- Norte: Ubicada en el sector norte del valle norte. En esta zona, el acuífero se encuentra libre.
- Intermedia: Ubicada en la mayor parte del valle sur. En esta zona, el acuífero presenta distintos grados de confinamiento.
- Sur: Ubicada en la parte más al sur del valle sur. En esta zona, el acuífero se encuentra confinado.

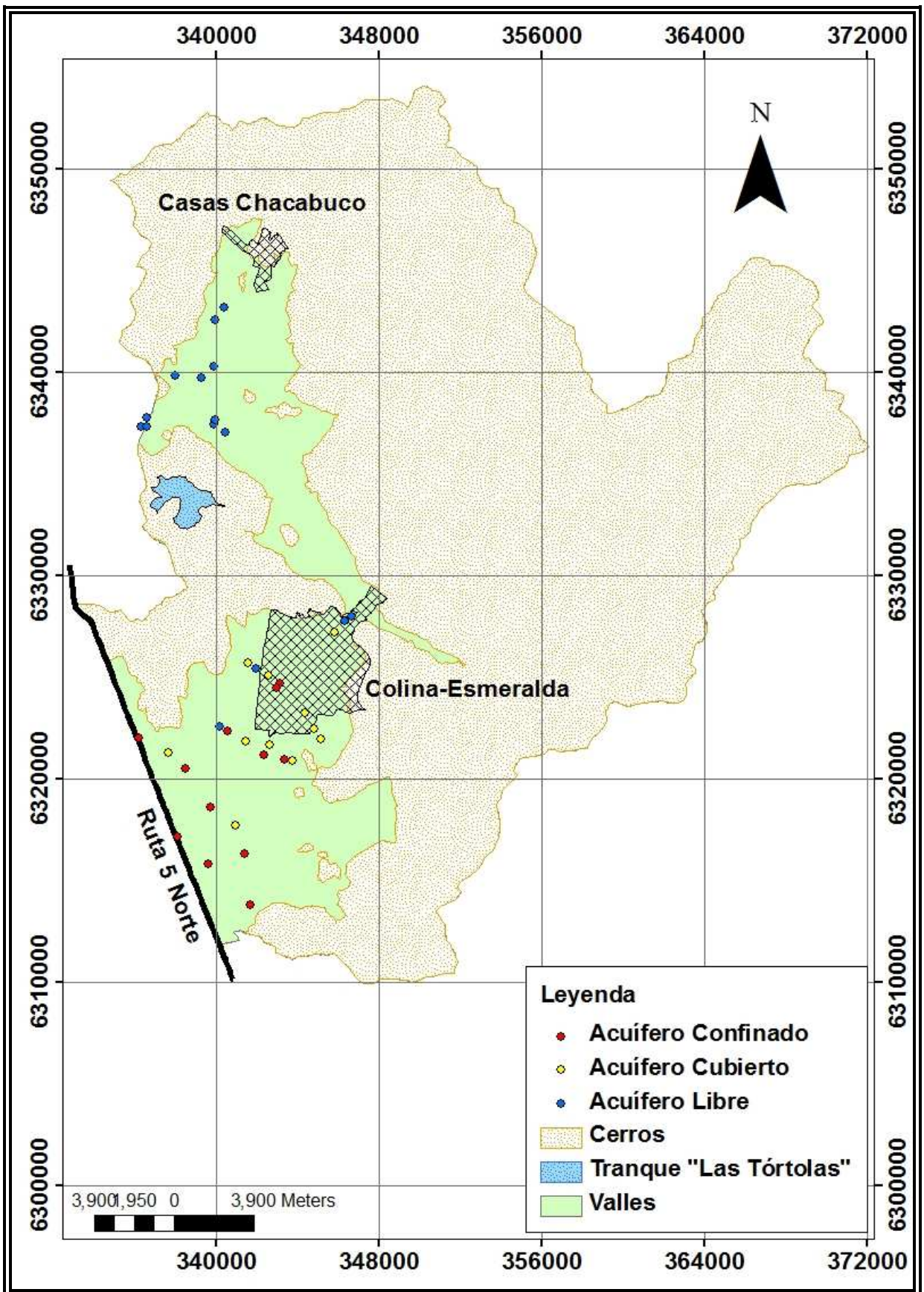
La Figura 4-8 presenta los grados de confinamiento de cada pozo y las zonas descritas anteriormente

Figura 4-7 Ubicación de Pozos con Información Estratigráfica.



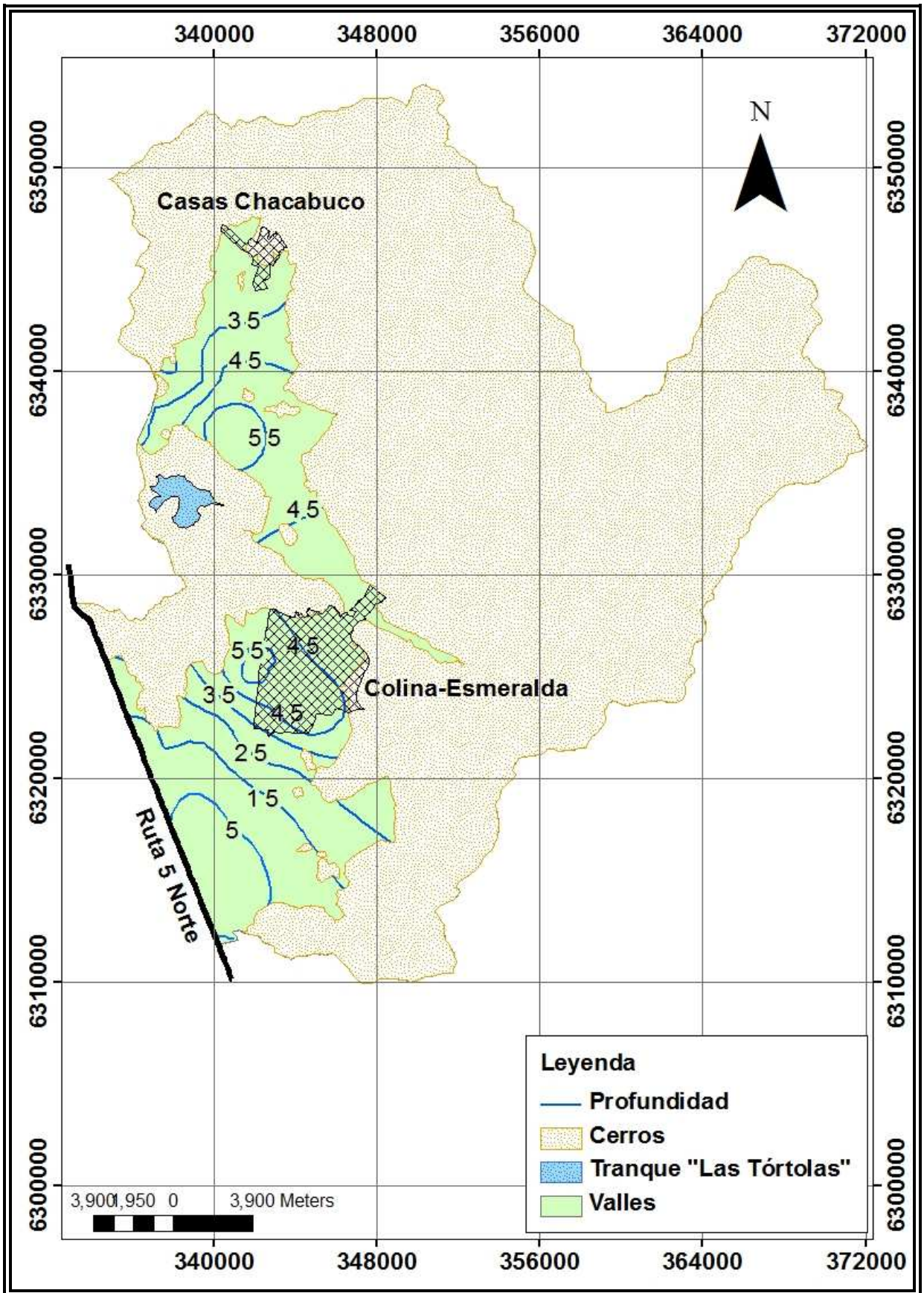
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-8 Tipo de Acuífero



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-9 Curvas de Iso-Profundidad del Acuífero



Fuente: Elaboración propia.



### **4.6.3 Profundidad del Acuífero**

Para determinar la profundidad a la cual se encuentra el acuífero, se utilizaron los datos descritos en los pozos con información estratigráfica. Luego mediante interpolación, según el método de Krigging, se construyó un mapa con curvas de iso-profundidad, las cuales se aprecian en la Figura 4-9.

De la Figura 4-9, se concluye que las curvas más profundas se encuentran en el valle norte y en la zona norte del valle sur. La zona sur de este último valle, presenta las curvas más someras.

### **4.6.4 Recargas y Descargas**

El acuífero de este sector es alimentado principalmente por:

- Las precipitaciones que caen en la zona.
- La infiltración debido al riego agrícola.
- La infiltración de fuentes menores como: jardines, parques, pérdidas de las redes de agua potable y de alcantarillado.

De estas, la más importante es la recarga desde las precipitaciones.

El acuífero de este sector posee las siguientes descargas:

- Descargas artificiales para riego, agua potable e industrias.
- Afloración y evaporación natural.

De estas, la más importante es la descarga artificial.

A continuación se describirá la recarga debido a las precipitaciones.

#### Infiltración debido a las precipitaciones

Para estimar la infiltración debido a las precipitaciones, se utilizan porcentajes de infiltración según el tipo de cubierta del suelo presente. Los porcentajes utilizados, propuestos por Álamos y Peralta (1993) son presentados en la Tabla 4-2.

**Tabla 4-2 Porcentaje de Infiltración según Zona**

Zona	Porcentaje
Pie de monte	38
Zona impermeable	10
Zonas No urbanas	60

Fuente: Alamos y Peralta,1993.

Estas zonas fueron determinadas utilizando una imagen satelital de la comuna junto con el programa "Google Earth". Las distintas áreas se muestran en la Figura 4-10.

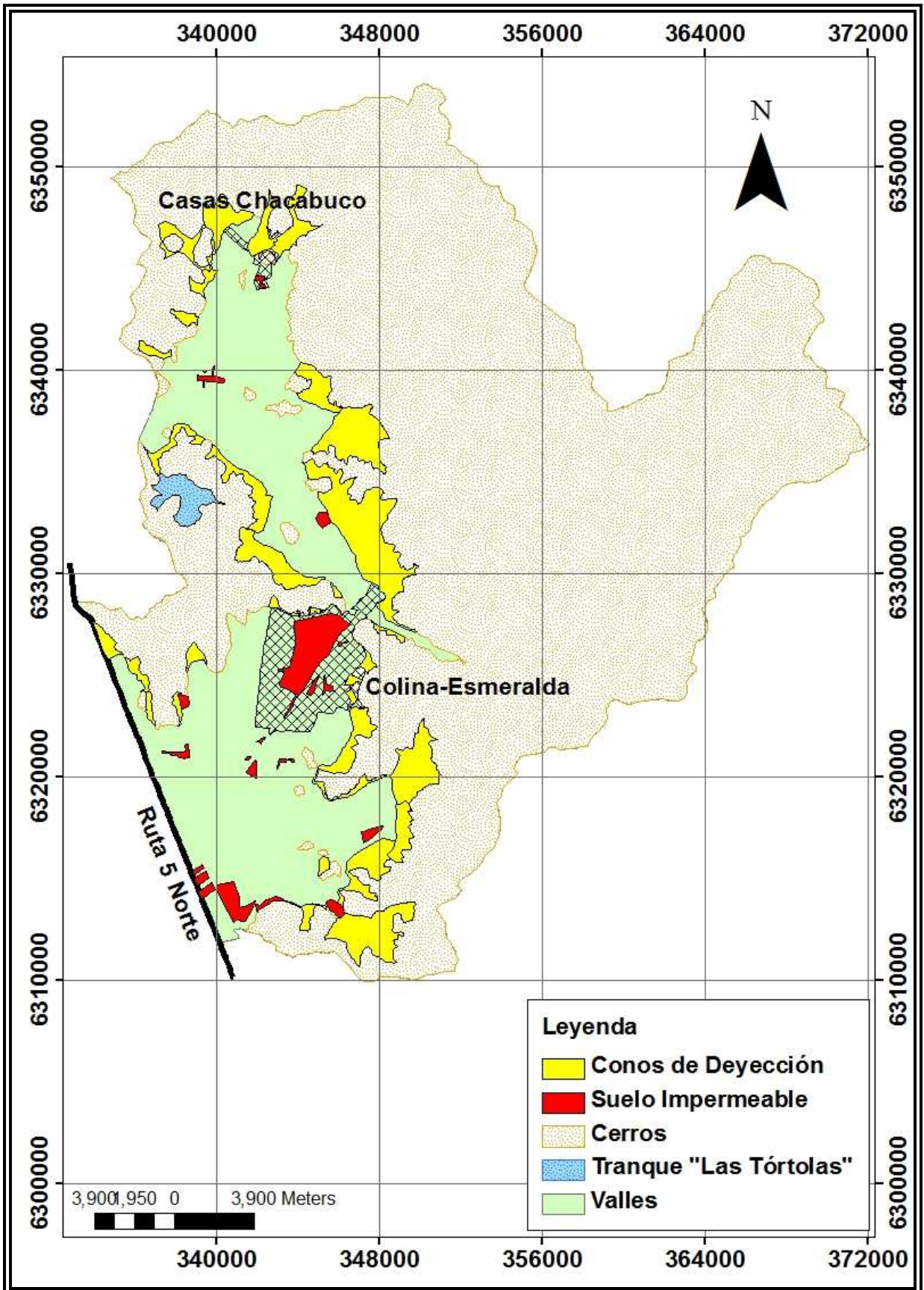
Luego con estas áreas delimitadas y utilizando una precipitación media anual estimada, se obtuvieron las recargas que se presentan en la Tabla 4-3.

**Tabla 4-3 Recargas Estimadas**

Zona	Recarga estimada [mm]
Pie de monte	120,2
Zona impermeable	31,6
Zonas No urbanas	189,8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-10 Zonas de Infiltración



Fuente: Elaboración propia.

## **4.7 Calidad del Agua**

La caracterización de la calidad del agua del sector se realizó con la información histórica de los pozos del estudio “Análisis de la Contaminación de Aguas Subterráneas en la Región Metropolitana, por Aguas Servidas” del año 1999 y de la red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas de la DGA, la cual posee información de varios años, sin embargo sólo posee un pozo de medición en el sector.

Mediante el procesamiento de la información histórica del informe antes mencionado se caracterizó cada uno de los parámetros de calidad y luego se realizó un análisis temporal de los parámetros mediante la información del pozo de la red de la DGA.

Cabe destacar que esta es la única información pública de calidad de aguas del sector con la que se cuenta.

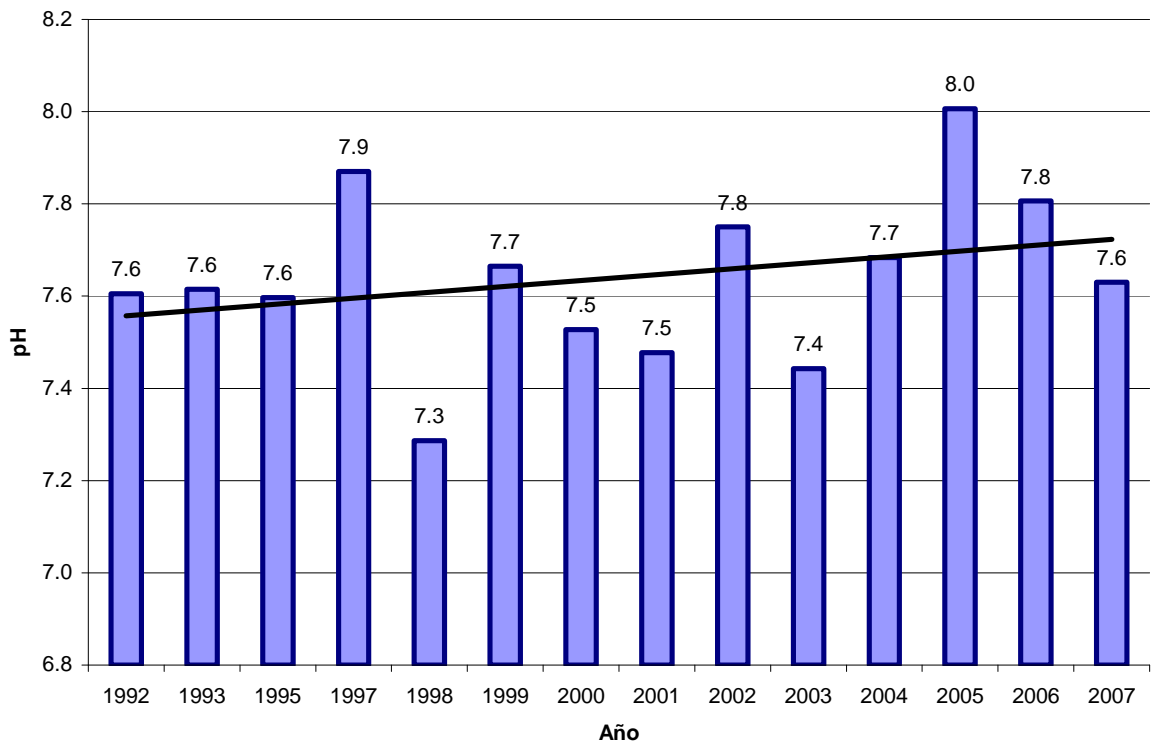
### **4.7.1 pH**

El pH indica el balance entre ácidos y bases y además muestra la concentración del ión hidrógeno. El pH afecta la movilidad y solubilidad de muchos elementos metálicos. El pH varía en un rango de 0 a 14, siendo 7 el pH neutro, bajo 7 es un pH ácido y sobre 7 es un pH alcalino.

El pH del sector se calculó mediante el uso de la información histórica del estudio mencionado anteriormente. Se posee información de 28 pozos pertenecientes a las campañas de muestreo del proyecto “Modelo de simulación Hidrológico operacional, cuencas de los ríos Maipo y Mapocho” del año 1998 y del proyecto “Análisis de la Contaminación de Aguas Subterráneas en la Región Metropolitana, por Aguas Servidas” del año 1999. De esta información se concluye que el pH del sector fluctúa entre 7,32 y 8,52, con un valor medio comunal de 7,9, lo cual muestra una tendencia a la alcalinidad. Todos los valores de pH del sector cumplen con la norma chilena de agua potable (NCh 409) y de riego (NCh 1333), excepto un pozo que posee un pH de 8,52.

Utilizando el pozo de medición de calidad de la red de la DGA se obtuvo un análisis temporal del pH, el cual puede ser apreciado en el Gráfico 4.1. En este gráfico se puede observar que el pH posee una leve tendencia al alza a lo largo de los años.

**Gráfico 4.1: Variación temporal del pH**



#### **4.7.2 Conductividad Específica**

La conductividad específica indica la capacidad que posee el agua de conducir electricidad. Esta capacidad depende de la cantidad de iones presentes en el agua y la temperatura de esta. Su unidad de medida es el microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) corregido a una temperatura estándar de  $25^{\circ}\text{C}$ .

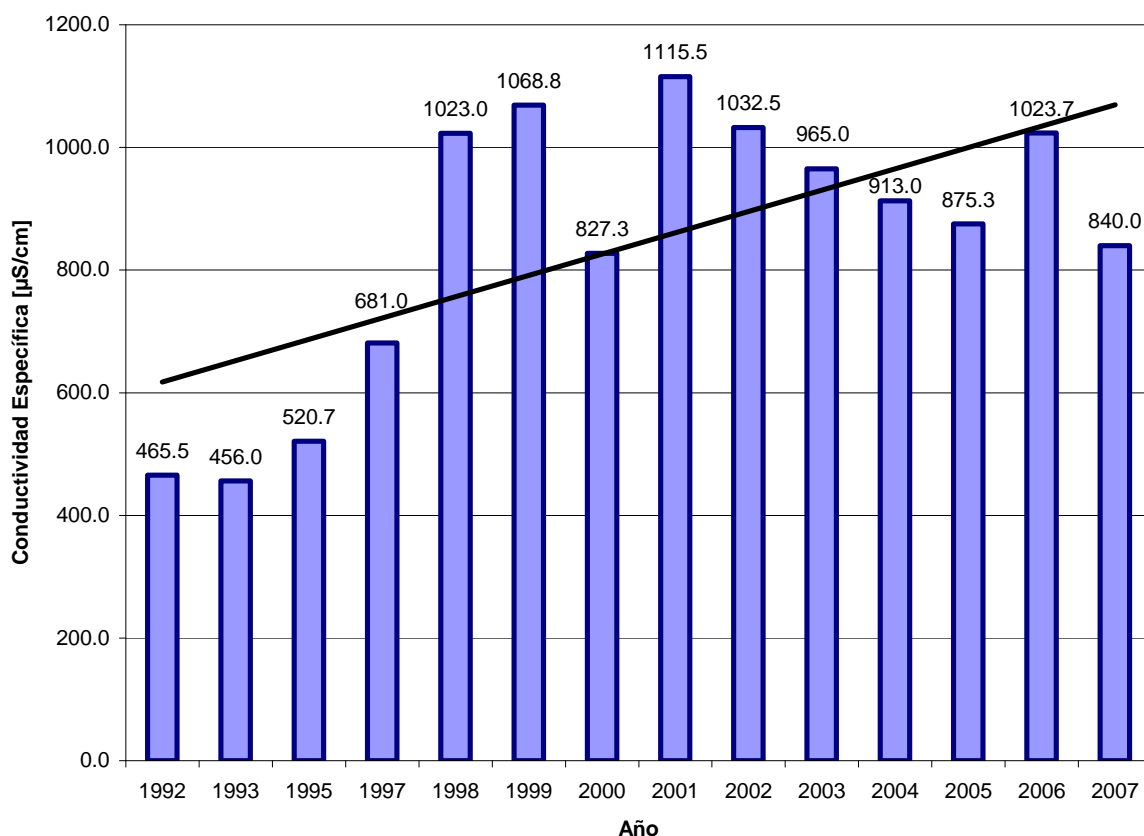
La conductividad específica del sector se calculó utilizando la misma información histórica descrita en el punto anterior. De esta información se concluye que la conductividad específica fluctúa entre  $262 [\mu\text{S}/\text{cm}]$  y  $1605 [\mu\text{S}/\text{cm}]$ , con un valor medio comunal de  $641,5 [\mu\text{S}/\text{cm}]$ . De estos 28 pozos, 7 poseen un valor superior a  $750 [\mu\text{S}/\text{cm}]$ , el cual es el valor recomendado en la norma de chilena de riego (NCh 1333).

En general, el sector sur del valle sur presenta los valores de conductividad específica más altos. Esto se produce debido a que este es el sector con más actividad agrícola y donde además el acuífero se encuentra más cercano a la superficie, lo cual aporta con sales directamente al acuífero.

Utilizando el pozo de medición de calidad de la red de la DGA se obtuvo un análisis temporal de la conductividad específica, el cual puede ser apreciado en el Gráfico 4.2. En este gráfico

se puede observar que la conductividad específica posee una tendencia al alza a lo largo de los años. Esta tendencia se puede explicar porque el lugar donde se encuentra ubicado este pozo es un sector industrial que además posee presencia de actividad agrícola y asentamientos humanos en sus alrededores, los cuales han estado desarrollándose en las últimas décadas, estabilizándose en los últimos años.

**Gráfico 4.2: Variación Temporal de la Conductividad Específica**



### 4.7.3 Nitratos

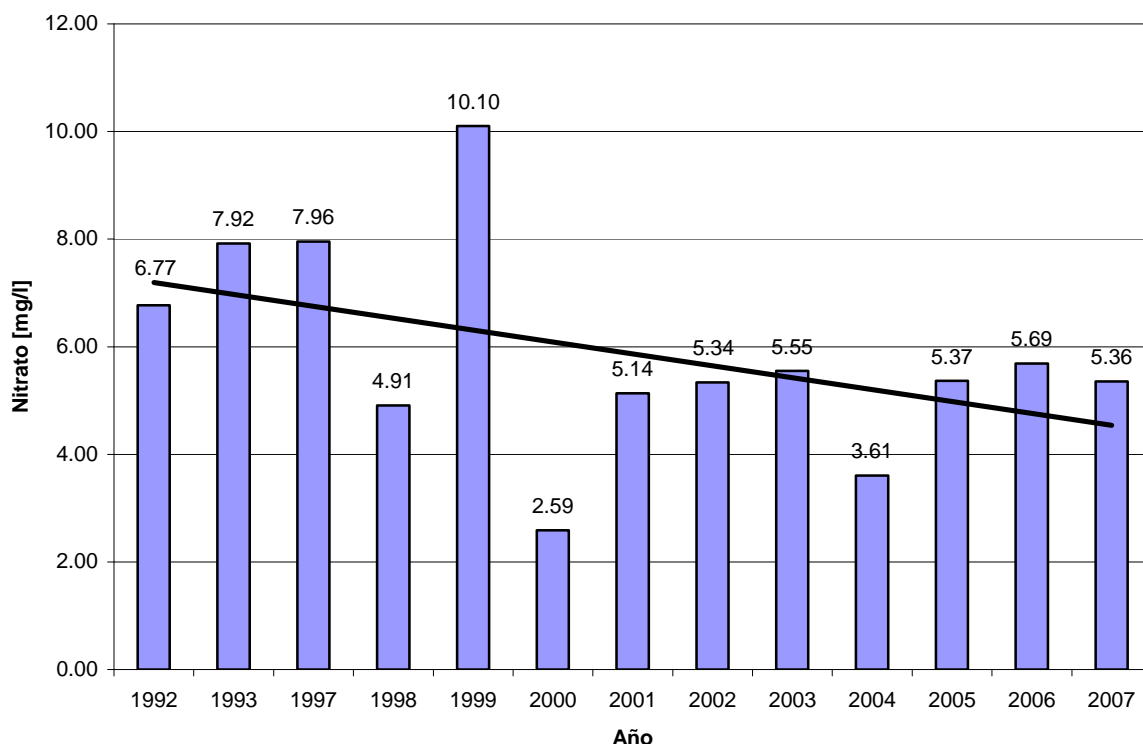
Como se explicó en el punto 3.2.1, el nitrato es una de las formas principales del nitrógeno en las aguas y es la más estable.

Los nitratos del sector fueron calculados utilizando la información que será descrita en el capítulo 6. Estos fluctúan entre 0,2 [mg/l] y 18,6 [mg/l], con un valor medio comunal de 6,1 [mg/l]. La norma de chilena de agua potable establece que el valor máximo de nitratos debe ser de 10 [mg/l]. De los 32 pozos utilizados, 4 presentan un valor por sobre la normativa. El detalle del contenido de nitratos en el sector será descrito en el capítulo 6, ya que el nitrato es el principal indicador de contaminación difusa.

Utilizando el pozo de medición de calidad de la red de la DGA se obtuvo un análisis temporal del nitrato, el cual puede ser apreciado en el Gráfico 4.3. En este gráfico se puede observar

que el nitrato posee una tendencia a la baja a lo largo de los años. Los posibles motivos de esta tendencia será explicada con mayor detalle en el capítulo 6.

**Gráfico 4.3: Variación Temporal de Nitrato**



#### 4.7.4 Coliformes Fecales

El principal indicador utilizado para determinar la presencia de microorganismos patógenos son los coliformes, los cuales están presentes en el intestino de los animales de sangre caliente. Esto es debido a que a que los microorganismos causantes de enfermedades que pueden transportarse en el agua son variables y de diversos tipos. Al no poder identificarlos a todos, se utilizan los coliformes los cuales son fáciles de identificar y cuantificar mediante métodos simples.

El grupo coliforme se subdivide en los coliformes fecales y los no fecales. Los coliformes fecales son el indicador más representativo de bacterias patógenas de origen fecal.

Sólo se posee información histórica de la campaña de monitoreo del proyecto “Modelo de simulación Hidrológico operacional, cuencas de los rios Maipo y Mapocho” del año 1998. Esta información solamente abarca el valle sur, con un total de 7 pozos de medición. Los datos obtenidos pueden ser observados en la Tabla 4-4. Los datos de coliformes que poseen un valor <2, significa que la medición no alcanzó a superar el límite de detección del laboratorio.

**Tabla 4-4 Información Histórica de Coliformes**

Pozo	Coordenada Norte	Coordenada Este	Coliformes Fecales [NMP/100 ml]	Coliformes Totales [NMP/100 ml]
1	6325233	335336	<2	<2
2	6321522	340160	350.00	350
3	6317303	344695	<2	<2
4	6322280	342545	<2	33
5	6327924	346691	<2	<2
6	6319910	335869	<2	<2
7	6326250	341670	<2	13

Fuente: Ayala y Cabrera,2000.

La norma de agua potable (NCh 409) dispone que el agua de consumo debe estar exenta de microorganismos patógenos. Por otro lado la norma de riego (NCh 1333) establece que el contenido de coliformes fecales debe ser menor a 1000 NMP/100ml. De los datos de la Tabla 4-4 se puede concluir que existe que existen 3 pozos con presencia de coliformes totales y 1 con presencia de coliformes fecales. Estos pozos se encuentran ubicados es sectores que presentan actividades agrícolas y asentamientos humanos, lo cual puede explicar estos valores por sobre la norma.

#### **4.7.5 Dureza**

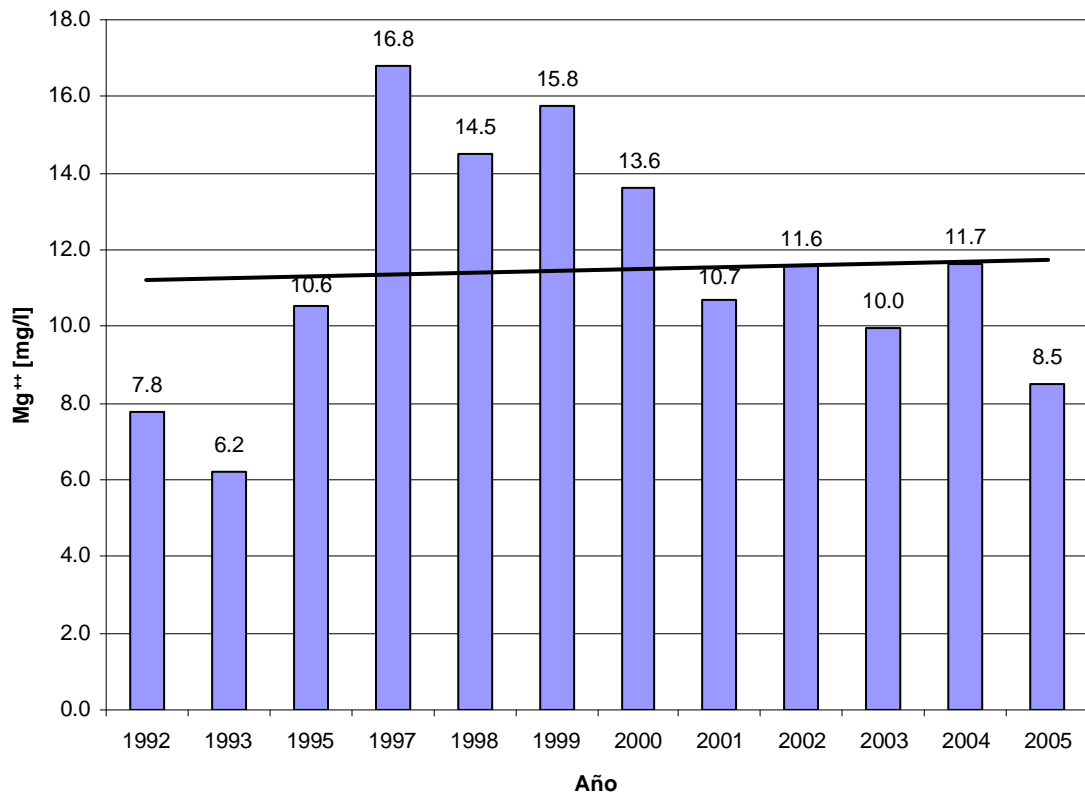
La dureza es una característica química del agua que está determinada principalmente por la presencia de iones de calcio y de magnesio. Los iones de fierro, manganeso y aluminio también pueden contribuir a la dureza. Las aguas clasificadas como blandas son aquellas con mineralización débil o cuya alcalinidad no supera los 60 mg/l de Ca<sup>++</sup> y las aguas duras son aquellas fuertemente mineralizadas donde predominan los iones de Ca y Mg.

Sólo se posee información del pozo de medición de la red de monitoreo de calidad de la DGA. El análisis temporal de los iones de calcio y magnesio pueden ser apreciados en los Gráficos 4.4 y 4.5. Se puede observar de los gráficos que el Mg<sup>++</sup> inicialmente tuvo un aumento y posteriormente ha disminuido. En el caso del Ca<sup>++</sup>, este posee una concentración mucho mayor que el Mg<sup>++</sup> y ha sufrido un aumento fuerte en los últimos años.

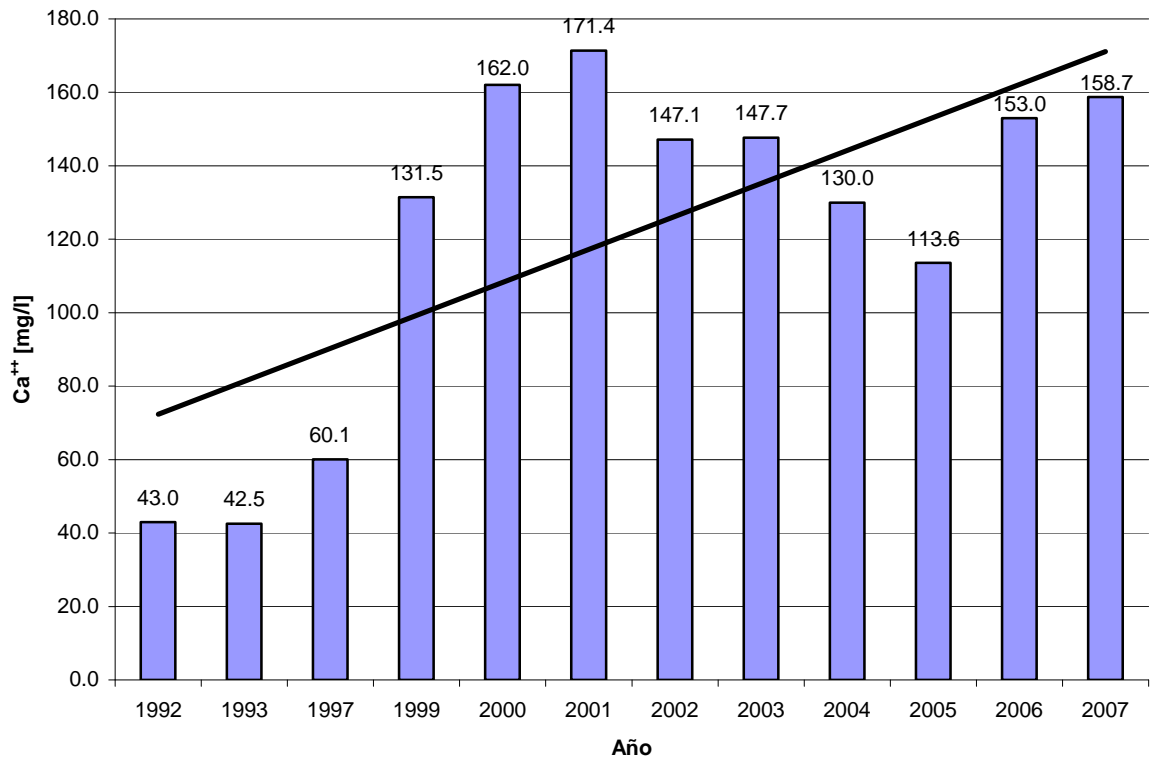
Al poseer tan poca información no se puede realizar una conclusión general del estado de la dureza del agua en la comuna.



**Gráfico 4.4: Variación Temporal del Ión de Magnesio**



**Gráfico 4.5: Variación Temporal del Ión de Calcio**



#### 4.7.6 Demanda Química de Oxígeno

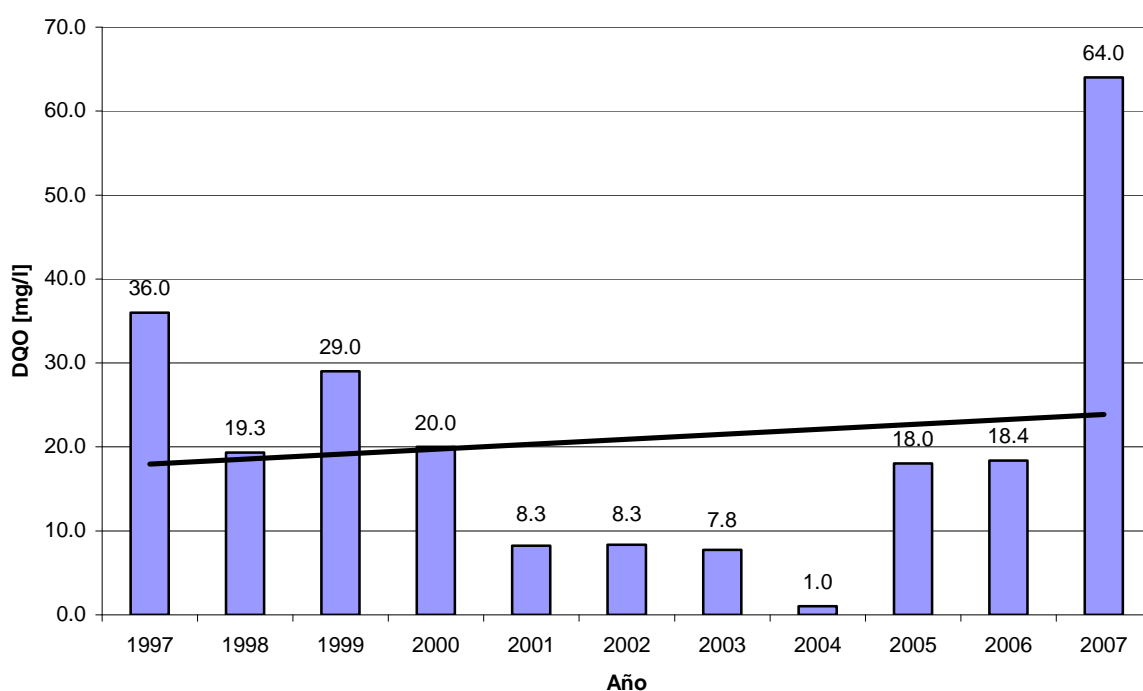
La materia orgánica es aquella que esta formada principalmente por el elemento carbono. También puede tener un número menor de átomos de oxígeno, nitrógeno, azufre, fósforo e hidrogeno. Uno de los indicadores que puede ser usado para estimar la cantidad de materia orgánica es la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La DQO mide el oxígeno equivalente a la materia orgánica susceptible de ser oxidada por un agente químico fuerte. También incluye el oxígeno equivalente a materias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas bajo las condiciones del análisis.

Sólo se posee información del pozo de medición de la red de monitoreo de calidad de la DGA. El análisis temporal de la DQO puede ser apreciado en el Gráfico 4.6. Se puede observar del gráfico que la DQO inicialmente posee una disminución y posteriormente el año 2005 sufre un aumento, para finalmente poseer un valor bastante alto. Este último valor, por ser tan distinto al resto, podría ser considerado como un caso de contaminación puntual de esa fecha y no una característica del sector, pero al no poseer más datos no se puede concluir.

Al poseer tan poca información no se puede realizar una conclusión general del estado de la DQO del agua en la comuna.

**Gráfico 4.6: Variación Temporal de la DQO**



#### 4.7.7 Metales Pesados

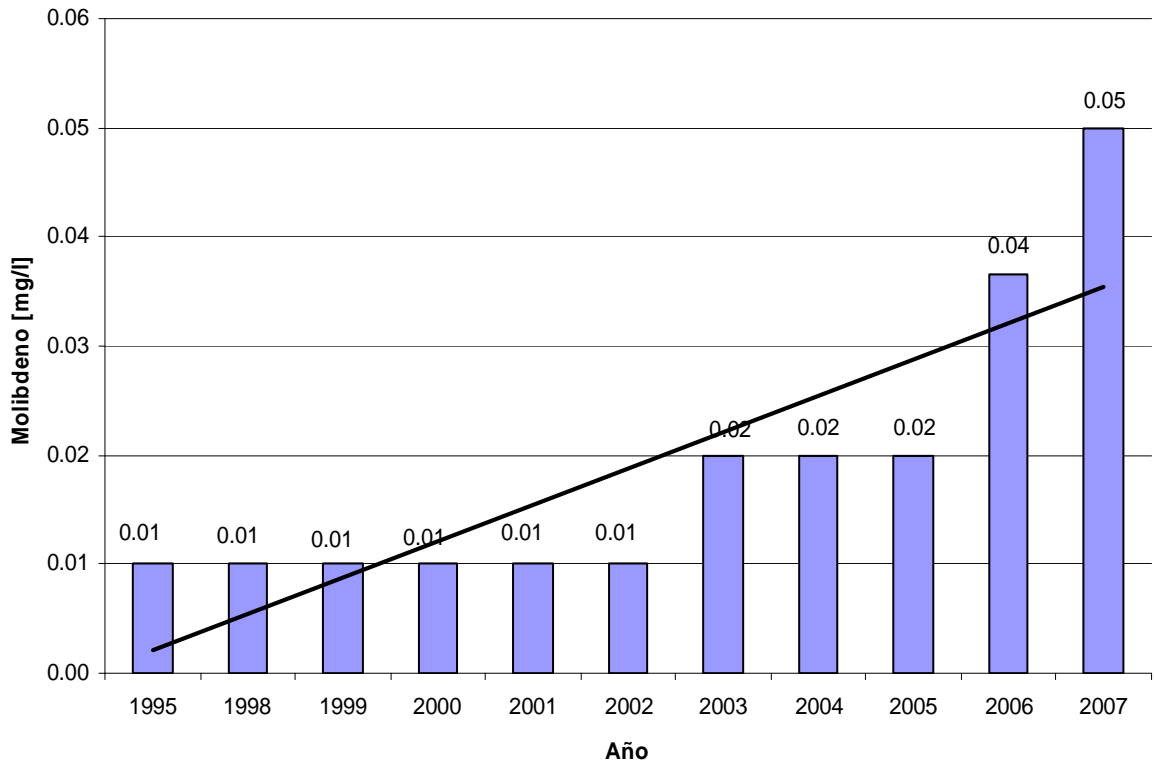
Los metales pesados corresponden a un grupo de elementos que se caracterizan por poseer características metálicas o semi metálicas, alta densidad y son tóxicos para los seres vivos. Estos elementos pueden ser tóxicos para los seres vivos siempre, como el caso del mercurio y del cadmio o pueden serlo en altas concentraciones, como es el caso del cobre y del zinc.

Sólo se posee información del pozo de medición de la red de monitoreo de calidad de la DGA. Los metales de los cuales se poseen datos son: plata, aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobalto, cromo, fierro, mercurio, manganeso, molibdeno, níquel, plomo, selenio y zinc. De estos los que tuvieron algunos de sus valores por sobre de la norma de agua potable (Nch 409) o de riego (NCh 1333) son el molibdeno, fierro y boro. La variación temporal de estos elementos puede ser apreciada en los Gráfico 4.7 y 4.8. La variación temporal del resto de los elementos que no superaron la norma puede observarse en el anexo V.

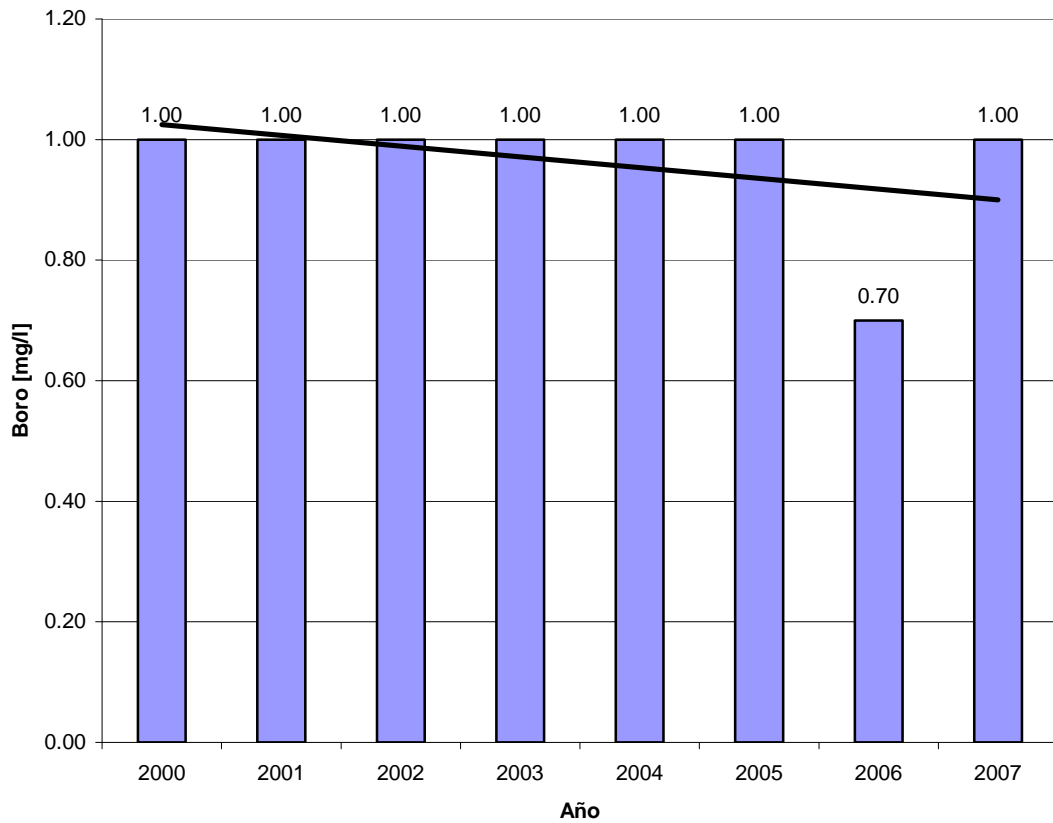
En el Gráfico 4.7 se puede observar que el molibdeno se mantiene por debajo de los 0,01 [mg/l] (valor máximo en la norma de riego) los primeros años pero a partir del año 2003 comienza a tener valores por sobre la norma. Además se puede observar que la concentración de molibdeno ha aumentado en los últimos años. Del Gráfico 4.8 se puede observar que el boro posee todos sus valores por sobre el valor límite en agua de riego, el cual es de 0,75 [mg/l] y que su concentración se ha mantenido bastante estable. Finalmente, en el Gráfico 4.9 se puede observar que el fierro posee 3 valores por sobre su límite en agua potable, el cual es de 0,3 [mg/l] y que en los últimos años su concentración ha disminuido.

Al poseer tan poca información no se puede realizar una conclusión general del estado de los metales pesados en el agua en la comuna.

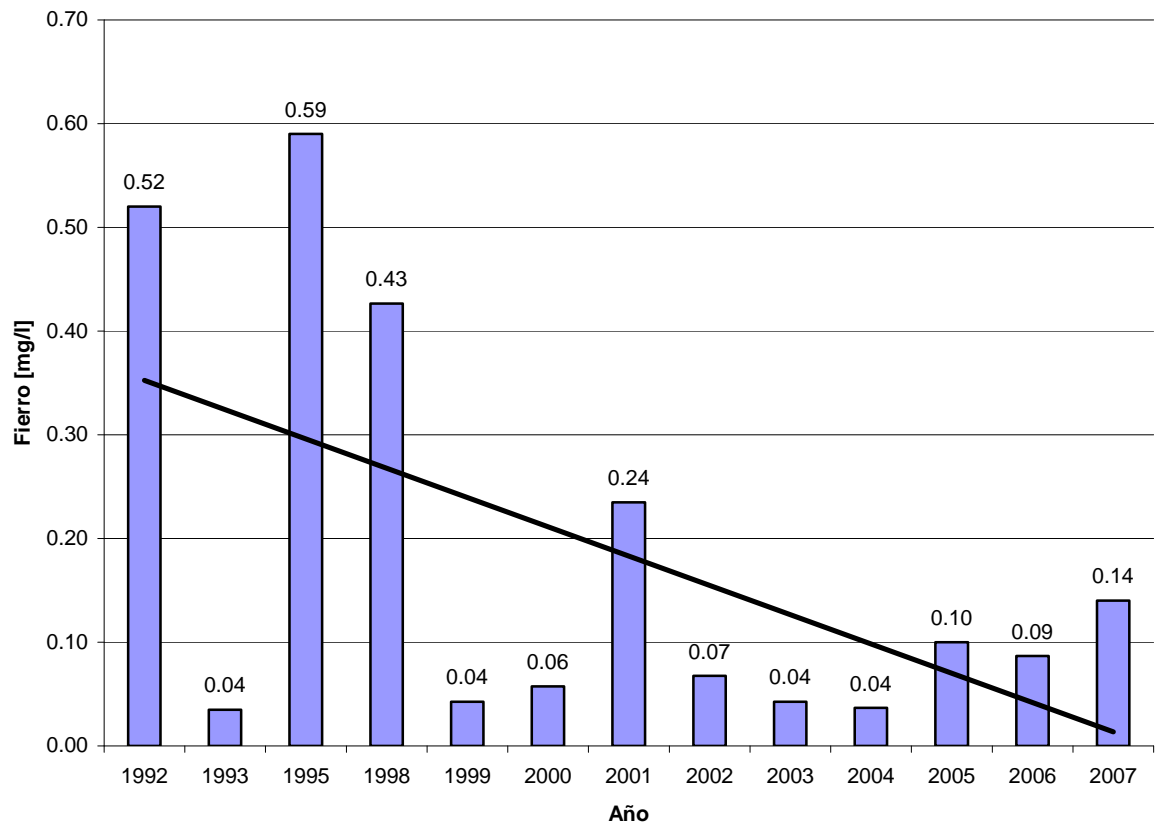
**Gráfico 4.7: Variación Temporal del Molibdeno**



**Gráfico 4.8: Variación Temporal del Boro**



**Gráfico 4.9: Variación Temporal del Hierro**



## **5- RIESGO DE CONTAMINACIÓN DIFUSA DE LOS ACUÍFEROS DE COLINA**

El riesgo de contaminación de un acuífero se define como la probabilidad de que un acuífero experimente impactos negativos a partir de una actividad antrópica dada, hasta un nivel tal que su agua subterránea se vuelva inaceptable para el consumo humano, de acuerdo a los valores de la guía de la OMS para calidad de agua potable (Foster et al, 2002).

El riesgo de contaminación se determina mediante la evaluación de la carga contaminante, que es o podrá ser aplicada en el subsuelo y la vulnerabilidad intrínseca del acuífero a la contaminación. Mediante la superposición de mapas con estas dos características se puede determinar el riesgo potencial de contaminación del acuífero de un sector.

Al definir el riesgo de un sector se pueden tomar las medidas de protección y mitigación más adecuadas para el acuífero y para la salud de las personas. Una de las principales medidas que puede llevarse a cabo es realizar un mapa de riesgo, mediante el cual se puede definir adecuadamente el uso del suelo del sector.

### **5.1 Vulnerabilidad del Acuífero**

El concepto de vulnerabilidad ha tenido diferentes definiciones a lo largo del tiempo. El manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de la DGA, define este concepto como el nivel de penetración con que un contaminante alcanza una posición específica en un sistema acuífero, después de su introducción en alguna posición sobre la zona no saturada.

Existen diversas metodologías para estimar la vulnerabilidad de un sector cada una de las cuales utiliza distintos parámetros y metodologías. El manual de la DGA utiliza la metodología desarrollada por Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), organización de origen Alemán, en conjunto con los Servicios Geológicos Federales de Alemania.

Es fundamental tener presente que todos los métodos de evaluación de vulnerabilidad, incluido el BGR, presentan limitaciones. Es por eso que hay que tomar en cuenta las siguientes advertencias que han sido expresada en las recientes revisiones realizadas en Estados Unidos (NRC, 1993):

- Todo acuífero tiene algún grado de vulnerabilidad a la contaminación.
- Cualquier evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos contiene incertidumbre.
- En los sistemas más complejos se corre el riesgo de que al evaluar la vulnerabilidad lo obvio sea omitido y lo sutil no se distinga.

El método BGR combina, mediante un esquema de puntajes, cuatro parámetros relevantes. Estos parámetros influyen en la rapidez con que una determinada sustancia alcanza el acuífero, suponiendo una infiltración desde un sector en la superficie o cercano a ella. Estos son:

- La capacidad de campo efectiva del suelo.
- El monto de la recarga natural al acuífero, dada por la precipitación efectiva y la recarga artificial dada por la infiltración de residuos de actividades antrópicas.
- La litología presente en la zona no saturada, atravesada por el contaminante.
- El espesor de la zona no saturada atravesada por el contaminante antes de alcanzar el acuífero.

Además de estos parámetros, se asigna un puntaje extra si el acuífero presenta condiciones de confinamiento.

El puntaje final se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{Final} = P_1 + P_2 + P_{Extra}$$

$$P_1 = S \times R \qquad P_2 = R \times \sum_1^n L_i \times E_i$$

Donde:

S = Puntaje de capacidad de campo.

R = Puntaje de recarga.

$L_i$  = Puntaje asociado a la litología de la zona no saturada del estrato i.

$E_i$  = Espesor del estrato i.

n = Número de estratos.

Finalmente el acuífero es clasificado según la Tabla 5-1.

**Tabla 5-1 Clasificación del Grado de Vulnerabilidad**

Puntaje final	Vulnerabilidad asociada estimada	Efectividad generalizada de protección	Tiempo de residencia en el suelo y subsuelo sobre el acuífero
≥4000	Baja	Muy Alta	>25 años
2000-3999		Alta	10-25 años
1000-1999	Media	Moderada	3-10 años
500-999	Alta	Baja	Varios meses a 3 años
≤499		Muy baja	Unos pocos días a 1 año

Fuente: Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad. DGA,2004.

El detalle de esta metodología puede ser observada en el anexo I.

Para estimar la vulnerabilidad en la zona de estudio, se evaluó cada uno de los parámetros antes nombrados, en cada uno de los pozos con información estratigráfica (descritos en el punto 4.6.1). Una vez que es obtenido el puntaje final por pozo, se traspasa esta información al programa SURFER, mediante el cual se obtiene un mapa de vulnerabilidad para toda la comuna.

A continuación se presenta la evaluación de cada uno de estos parámetros y el mapa final de vulnerabilidad. El detalle de estos puntajes por pozo puede ser observado en el anexo II.

### 5.1.1 Zona No Saturada

Mediante los datos de los pozos con información estratigráfica del sector, se determinó el puntaje asociado a la cubierta litológica. A cada uno de los estratos que el contaminante atraviesa se le asigna un puntaje de acuerdo a su litología y luego ese puntaje es ponderado por el espesor del estrato.

La zona de estudio presenta, en todo su valle, estratos de depósitos no consolidados. A cada uno de los estratos se le asignó los puntajes que pueden ser apreciados en la Tabla 5-2, de acuerdo a lo planteado en el método BGR. Luego este puntaje fue ponderado por su espesor.



**Tabla 5-2 Clasificación y Puntaje por Estrato**

Unidad Litológica	Clasificación	Puntaje
Colina I	Arcilla arenosa	270
Colina II	Arena con grava fina	25
Colina III	Arcilla arenosa	270
Lampa I	Arcilla arenosa	270
Lampa II	Arena con grava fina	25
Lampa III	Arcilla Arenosa	270
Lentes de Arcilla	Arcilla	500

Fuente: Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad. DGA,2004.

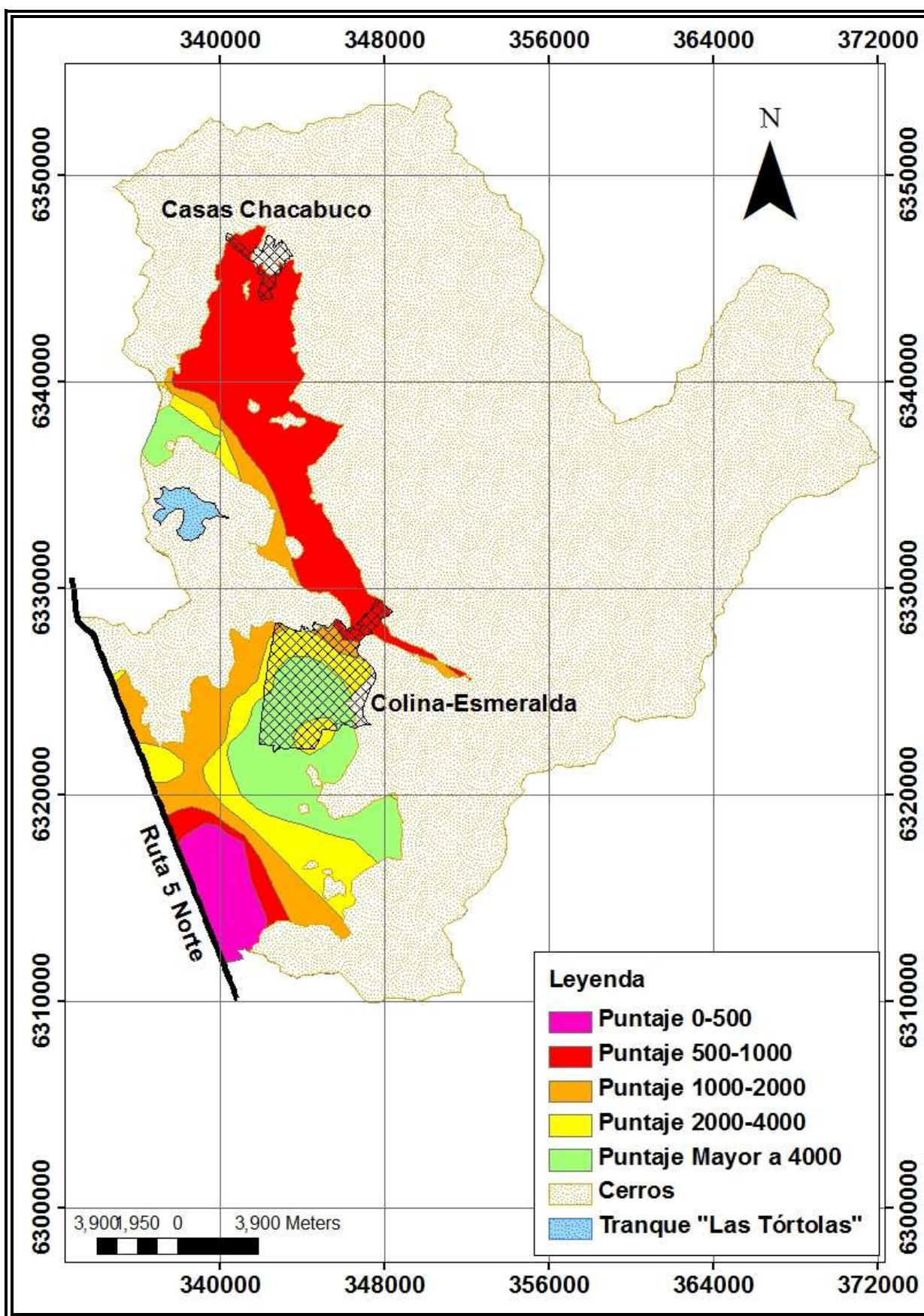
La Figura 5-1 muestra los puntajes finales. Se puede apreciar que el valle norte presenta puntajes mayoritariamente entre los 500 y 1000 puntos. Esto es debido a que en este sector, la unidad Lampa III casi no se encuentra presente, por lo que el acuífero del sector se encuentra libre. El valle sur presenta los menores puntajes en su extremo sur, debido a que en ese sector, el acuífero se encuentra más somero.

### **5.1.2 Capacidad de Campo**

Para determinar este parámetro se utilizó la información de suelos que posee la Conaf. En la Figura 5-2 se presentan los distintos puntajes obtenidos en la zona de estudio.

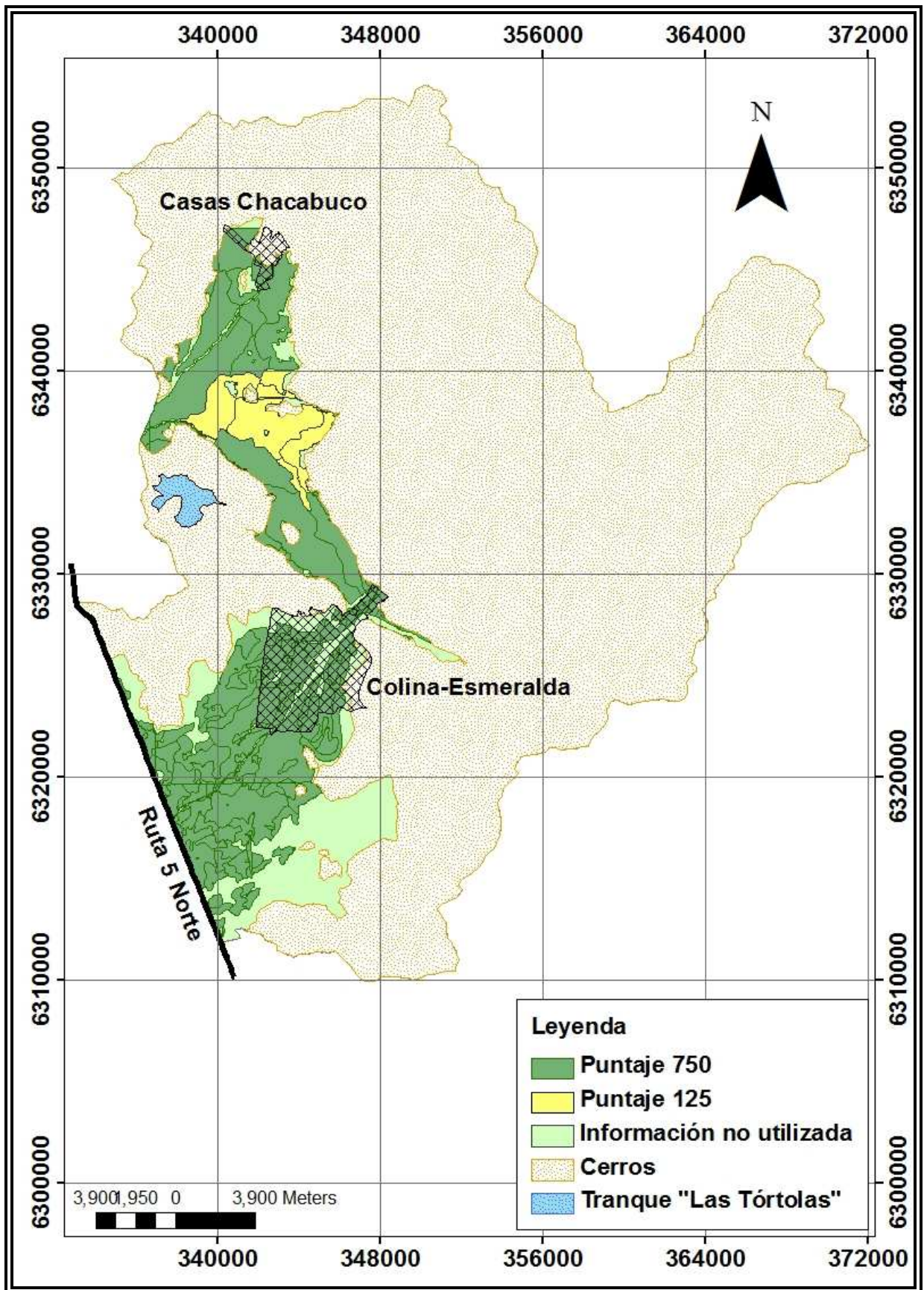
Se puede observar que la zona estudio presenta cierta homogeneidad en el puntaje de sus suelos, donde la mayor parte de ellos son del tipo franco o franco arcilloso. Solo un sector presenta un puntaje distinto, debido a que el suelo posee una granulometría mayor (franco arenoso).

Figura 5-1 Puntaje Litológico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-2 Puntaje de Capacidad de Campo



Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3 Recarga

Las recargas en el sector fueron calculadas mediante dos métodos con el fin de verificar cuan importante es esta estimación.

La primera forma de cálculo fue la propuesta en el manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad, asociado al D.S. 46/02. Según este método, la recarga se estima como la diferencia entre precipitación anual y la evapotranspiración anual.

Para esto se utilizaron las curvas isoyetas y las isolíneas de evapotranspiración del sector, las cuales fueron expuestas en el punto 4.5. Se obtuvieron los valores presentados en la Tabla 5-3 para toda la zona de estudio.

**Tabla 5-3 Valores Estimados según Metodología de la DGA**

Parámetro estimado	Valor
Precipitación media anual [mm]	351,4
Evapotranspiración media anual [mm]	312,9
Recarga anual estimada [mm]	38,5
Puntaje BGR	1,5

Fuente: Elaboración propia.

El segundo método es el que fue utilizado en el punto 4.6.4. Según este método, los puntajes obtenidos son los presentados en la Tabla 5-4.

**Tabla 5-4 Puntajes Asignados**

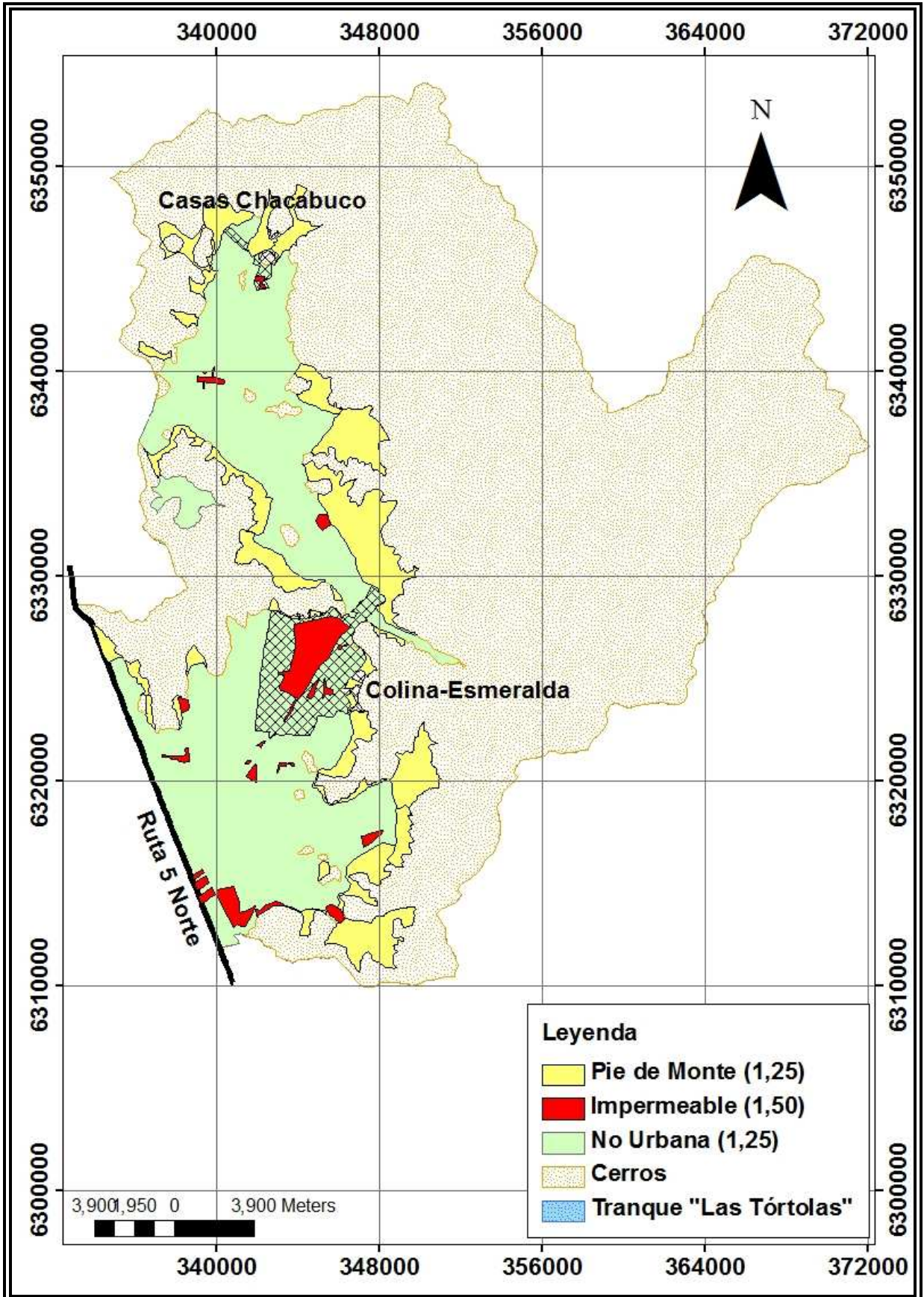
Zona	Puntaje BGR
Pie de monte	1,25
Zona impermeable	1,50
Zonas No urbanas	1,25

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5-3 muestra la distribución de puntajes según este último método.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de cada una de estas metodologías serán discutidos en el punto 5.1.5 dado que la influencia de la recarga sólo se ve reflejada en el puntaje final.

Figura 5-3 Puntaje de Recargas (Método con Porcentajes de Infiltración)



Fuente: Elaboración propia.

#### **5.1.4 Confinamiento**

La Figura 4-8 del capítulo 4 muestra el grado de confinamiento que presenta cada uno de los pozos con información estratigráfica.

Tal como se describe en la sección 4.6.2, existe un sector con acuíferos confinados en la parte sur de la comuna y un sector de transición en el centro de la comuna. En ambos sectores existen pozos con condiciones de confinamiento, a los cuales se les asigno un puntaje extra de 1500 puntos.

A los acuíferos libres y cubiertos no se les asigno este puntaje.

#### **5.1.5 Mapas Finales de Vulnerabilidad y Comparación con el Método GOD**

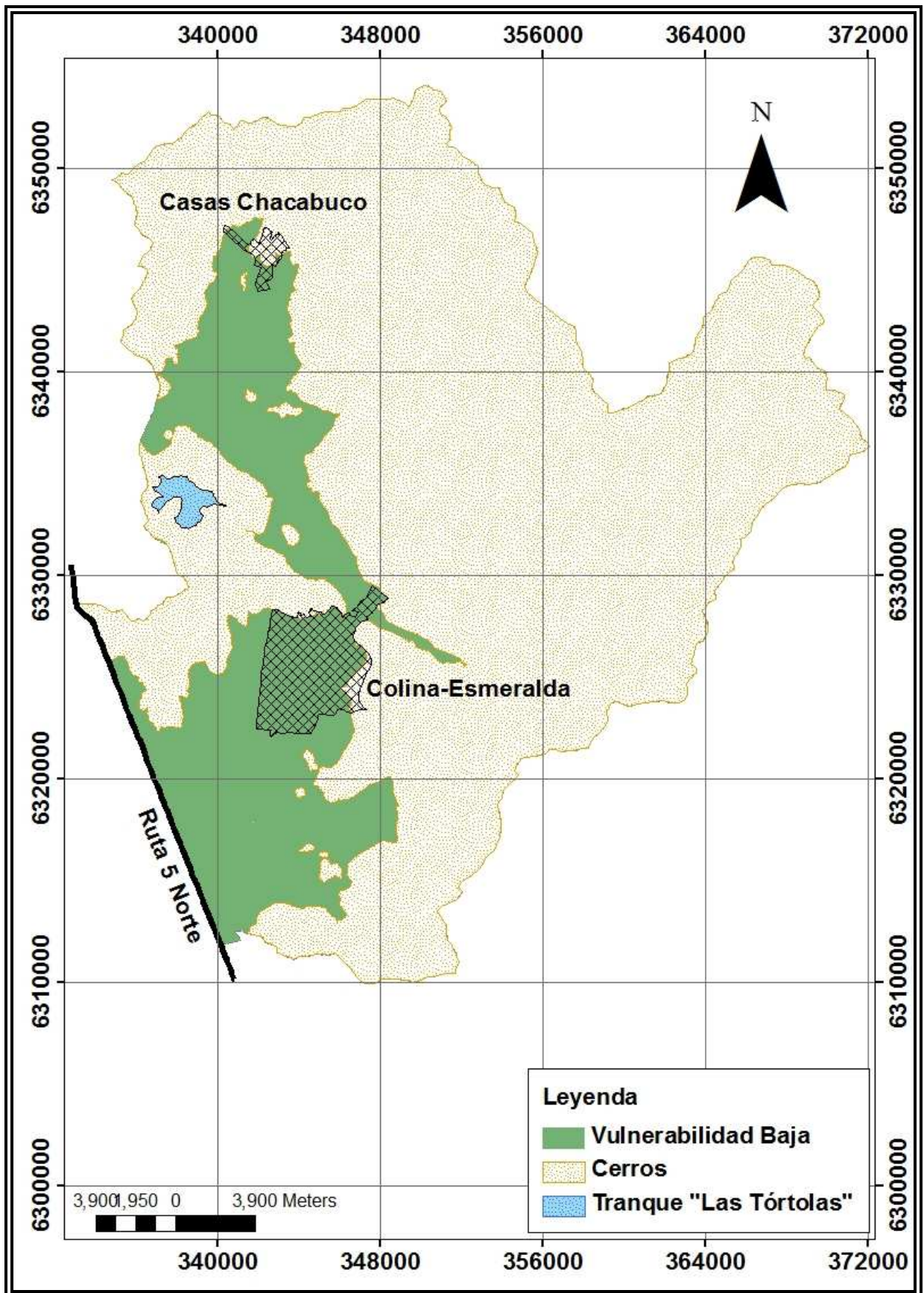
Como se explicó anteriormente, los mapas de vulnerabilidad se construyeron utilizando el programa Surfer, utilizando el puntaje final obtenido en cada uno de estos pozos.

En las Figuras 5-4 y 5-5 se pueden apreciar los grados de vulnerabilidad en la zona de estudio. La Figura 5-4 presenta los valores obtenidos utilizando la recarga calculada mediante el método propuesto en el manual de la DGA. Por otro lado, la Figura 5-5 presenta los valores obtenidos utilizando la recarga calculada estimando un porcentaje de infiltración.

Se puede apreciar que ambas figuras siguen la misma tendencia, sin presentar mayores diferencias. Se puede concluir que el método de estimación de la recarga no repercute demasiado en la evaluación de la vulnerabilidad mediante este método.

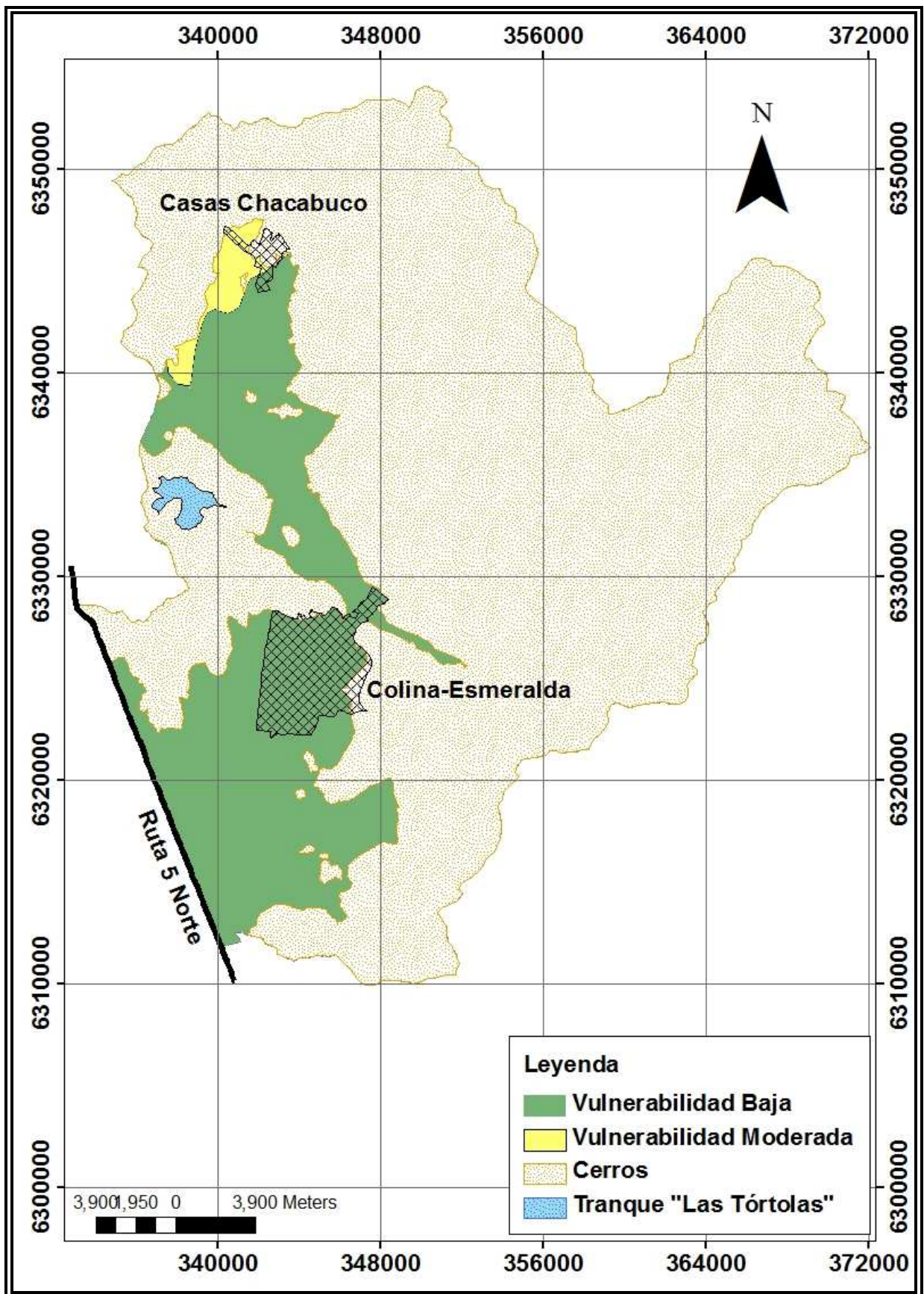
Con el fin de comparar los resultados obtenidos con los mapas de vulnerabilidad que posee la comuna, se construyo un mapa de vulnerabilidad según la metodología GOD (acrónimo de Groundwater occurrence, Overall aquifer class y Depth), el cual se puede apreciar en la Figura 5-6. Según esta metodología sólo se necesita evaluar tres parámetros: tipo de acuífero, profundidad a la cual se encuentra el acuífero y litología de la zona no saturada. Estos factores fueron evaluados utilizando la información detallada en los puntos anteriores, pero adaptada a esta nueva metodología. La descripción y evaluación detallada de esta metodología se encuentra en el anexo I.

Figura 5-4 Vulnerabilidad (Recarga Método de la DGA)



Fuente: Elaboración propia.

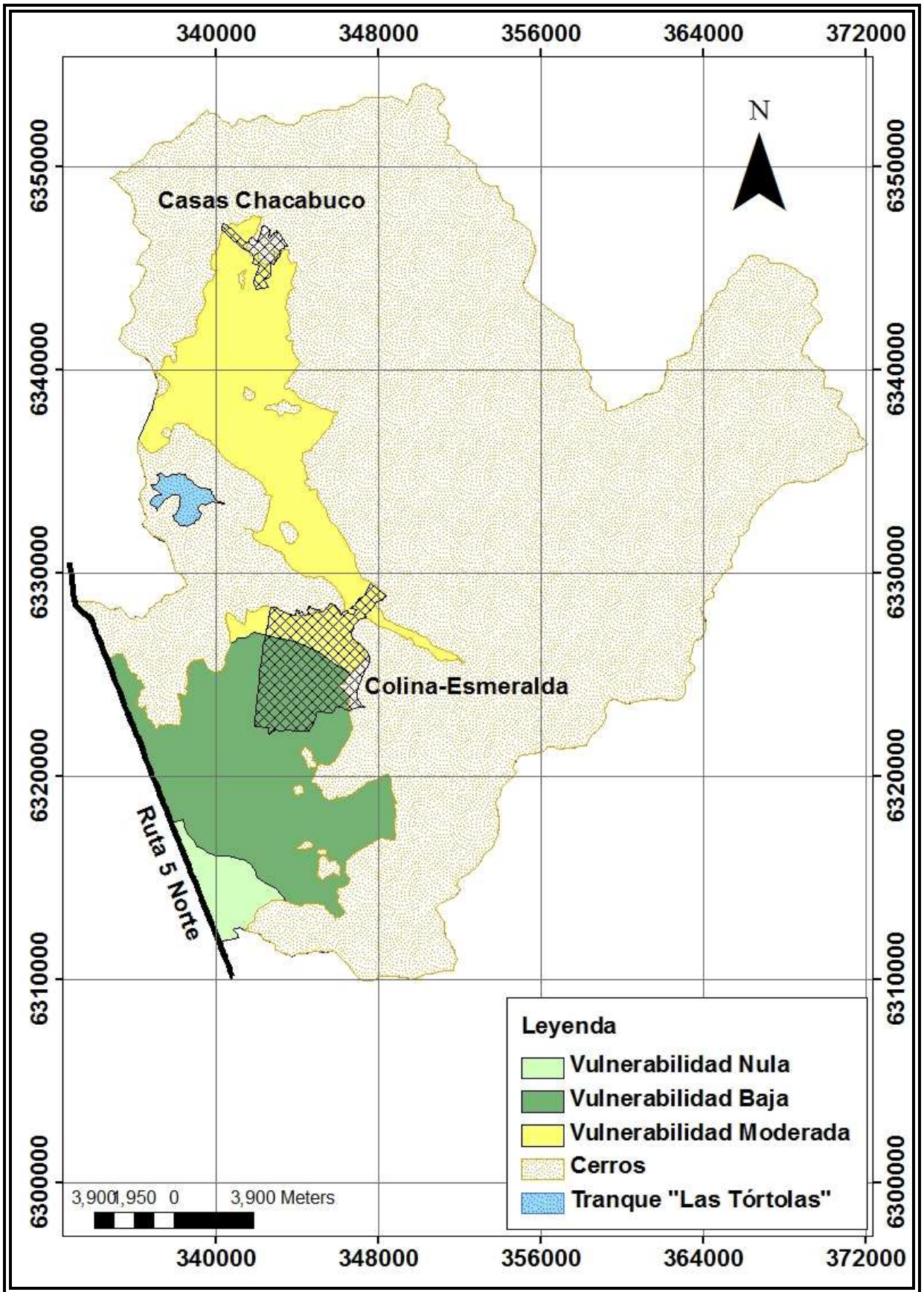
Figura 5-5 Vulnerabilidad (Recarga Método Estimación Infiltración).



Fuente: Elaboración propia.

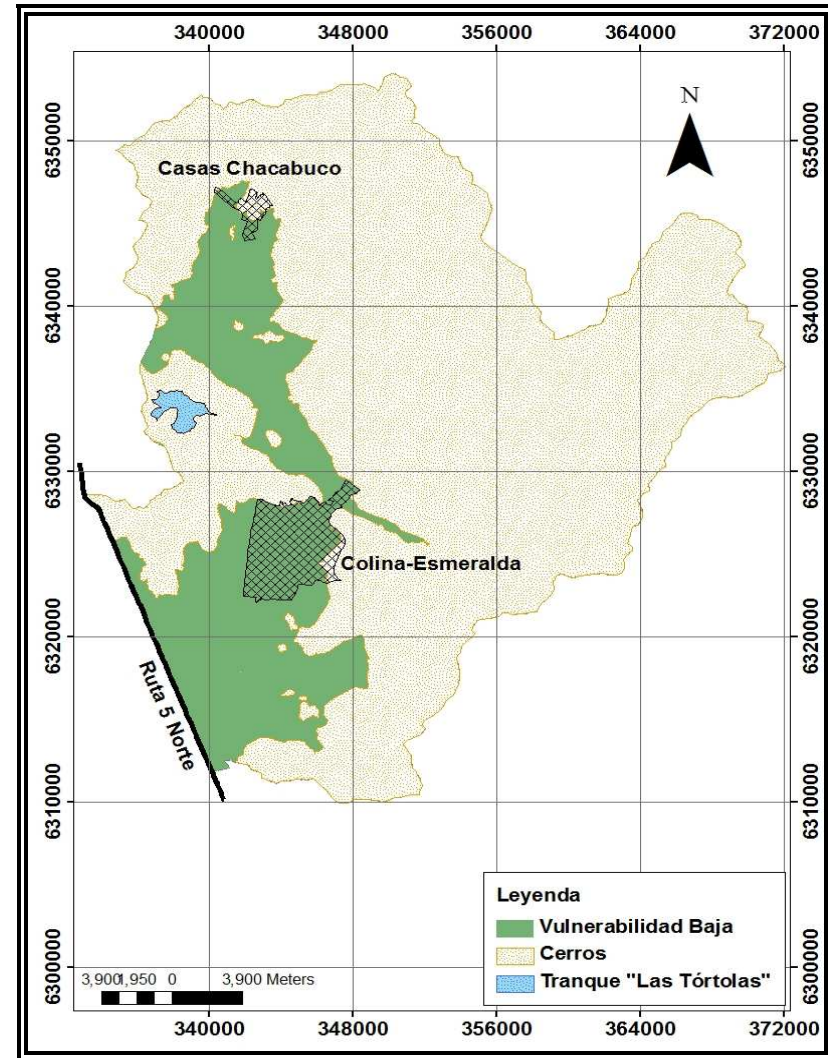
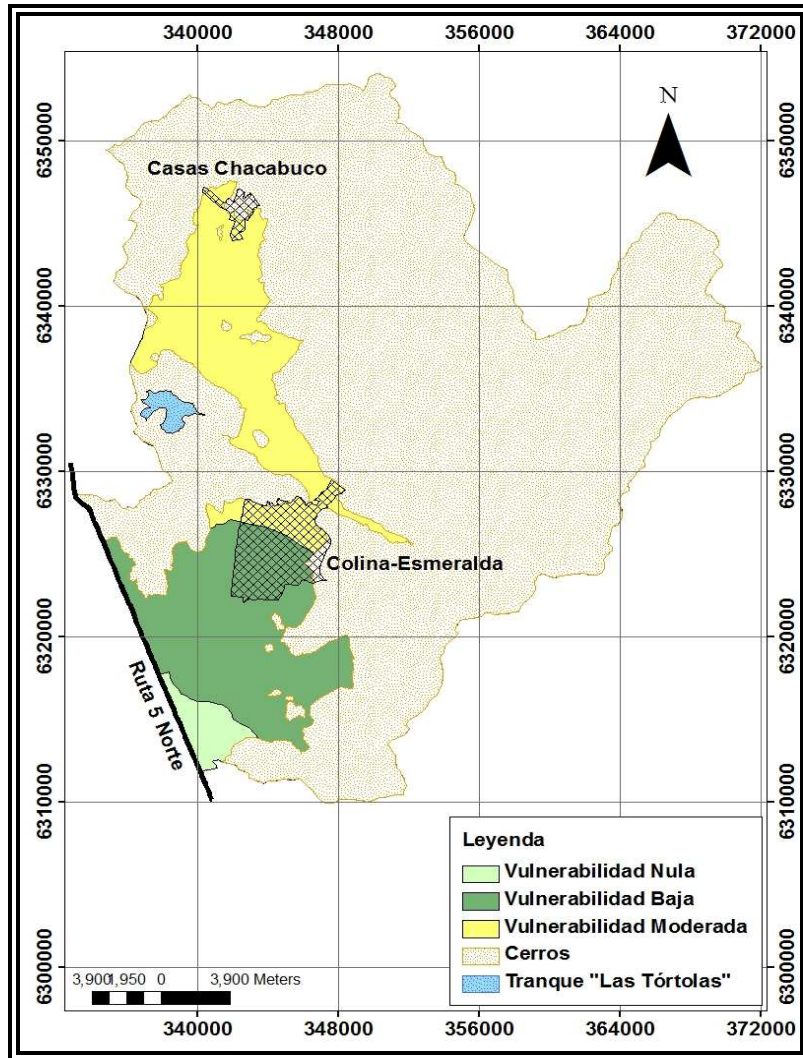


Figura 5-6 Vulnerabilidad según Método GOD



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-7 Comparación del Método GOD y del Método de la DGA



Fuente: Elaboración propia.

Al comparar ambas metodologías se pueden apreciar dos grandes diferencias; Los niveles de vulnerabilidad que se producen y los sectores donde se producen. Según la metodología GOD, gran parte de la comuna presenta una vulnerabilidad moderada, nivel que no se presenta utilizando la otra metodología. Esto se produce debido a que ese sector no presenta condiciones de confinamiento, característica que posee una gran influencia en el puntaje final según el método GOD.

### **5.1.6 Resultados y Discusión**

Los mapas finales de vulnerabilidad muestran que la mayor parte de la zona de estudio presenta una vulnerabilidad baja. Esto se debe a dos factores:

- En el valle sur, el acuífero se encuentra mayoritariamente confinado, lo cual le brinda una protección extra contra la contaminación y contrarresta el hecho de que en ciertos sectores el acuífero está bastante somero.
- En el valle norte, el acuífero se encuentra muy profundo, lo que produce un tiempo de viaje mayor para los contaminantes y que estén más tiempo expuestos a las reacciones naturales en el suelo, lo cual contrarresta el hecho de que en este sector el acuífero sea libre.

Sólo un sector presenta una vulnerabilidad distinta. En la zona norte de la Figura 5-5, se encuentra un sector con vulnerabilidad moderada. Esto se debe a que el acuífero de este sector no se encuentra tan profundo como en el resto del valle norte, lo cual se combina al hecho de que el acuífero de este sector es libre, lo que le brinda menos protección contra la contaminación.

Analizando más al detalle cada uno de los parámetros evaluados, se puede concluir que la profundidad del acuífero y la litología de la zona no saturada son los parámetros que más influyen el resultado final. Esto es debido a que el puntaje logrado mediante la ponderación de estos dos parámetros es mayor que los otros puntajes y además es muy sensible a pequeñas modificaciones en sus parámetros. El tipo de litología es homogéneo en toda la zona, por lo que no es una característica que determine los resultados, pero la profundidad a la cual se encuentra el acuífero varía mucho en la comuna, lo cual explica los resultados.

Otro aspecto que influye mucho el puntaje final es el tipo de confinamiento que presenta el acuífero. El sólo hecho de estar confinado le brinda un puntaje extra bastante grande, el

cual puede hacer variar bastante el grado de vulnerabilidad de un sector. Pese a esto, este puntaje extra es bastante adecuado, ya que claramente un acuífero libre presenta una mayor vulnerabilidad a la contaminación que un acuífero que presenta condiciones de confinamiento.

Con respecto a la sensibilidad frente a la forma de cálculo de la recarga, se puede concluir que este parámetro no es muy relevante en este método de estimación de la vulnerabilidad, lo cual se puede apreciar claramente en las Figuras 5-4 y 5-5.

De la comparación con la metodología GOD, se puede concluir que la forma de calcular el puntaje final es primordial y es lo que gatilla las diferencias de los métodos. La forma de ponderación que utiliza la metodología GOD no es muy sensible a la profundidad del acuífero y depende mayoritariamente del tipo de acuífero y de la litología de la zona no saturada. Es por esto que se producen las diferencias, ya que la metodología BGR es mucho más sensible a la profundidad a la cual se encuentra el acuífero. La Tabla 5-5 presenta una comparación del método GOD con el método BGR propuesto por la DGA.

**Tabla 5-5 Puntajes Asignados**

	Método	
	GOD	Manual de la DGA
Sensible a:	Tipo Acuífero Litología de la zona no saturada	Profundidad del acuífero Litología de la zona no saturada Tipo de confinamiento
Menos sensible a :	Profundidad del acuífero	Capacidad de campo Recargas
Dificultad	No presenta mucha dificultad, ya que la información necesaria es fácil de obtener	Presenta dificultad en la obtención de los parámetros de capacidad de campo y recargas

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente es importante precisar que estos resultados presentan una gran limitación, que es la cantidad de información que se posee. Se puede apreciar de la Figura 4-7, que existe un sector entre el valle norte y el sur que no posee pozos con información estratigráfica, lo cual puede provocar que los resultados no sean reales en ese sector.

Para poder obtener mapas de vulnerabilidad más precisos, es importante aumentar la cantidad de puntos de evaluación (pozos con información estratigráfica) y aumentar el nivel de detalle de la información asociada a los parámetros más relevantes según el método de evaluación que se utilice.

## **5.2 Carga Contaminante**

Para estimar la carga contaminante que puede afectar un sistema acuífero, es importante caracterizar las potenciales fuentes de contaminación. Desde el punto de vista de la potencial carga contaminante, estas se caracterizan sobre la base de dos factores:

- La posibilidad de que exista presencia de contaminantes, los cuales son o se espera que sean persistentes y capaz de moverse en la subsuperficie.
- La existencia de una carga hidráulica asociada, capaz de generar un transporte de los contaminantes al sistema acuífero.

Generalmente este tipo de información no se encuentra disponible, por lo que es necesario hacer ciertas simplificaciones. El método POSH, acrónimo que significa *Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically*, plantea las siguientes simplificaciones (Foster et al, 2002):

- Asociar la posible presencia de contaminantes al tipo de actividad generadora.
- Estimar la carga hidráulica a base de la cantidad de agua utilizada en la actividad generadora.

Este método genera 3 niveles cualitativos de potencial para generar una carga contaminante subsuperficial: Reducido, Moderado y Alto.

### **5.2.1 Fuentes Contaminantes Difusas en la Zona de Estudio**

Para establecer las posibles fuentes contaminantes que se encuentran en el sector se recurrió a información municipal y de otras entidades gubernamentales. Luego de realizar una revisión de estos antecedentes económicos y sanitarios, se concluyó que las posibles fuentes de contaminación difusa son las que se describen a continuación.

#### **A. Agricultura**

Como se describió en el capítulo de antecedentes, la comuna de Colina presenta un fuerte desarrollo de la agricultura.

Para determinar las características de esta actividad en la comuna, se utilizó el Censo Nacional Agropecuario del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) del año 2007. A continuación se presentan los datos obtenidos.

a) Tipos de cultivo: Los tipos de cultivo en la comuna se presentan en la Tabla 5-5.

**Tabla 5-6 Tipos de Cultivo**

Comuna Colina	Grupos de cultivos Anuales						
	Cereales	Leguminosas y tubérculos	Cultivos industriales	Hortalizas	Flores	Viveros	Semilleros
Superficie cultivada [ha]	9,5	37,6	39,0	3105,0	9,6	1,9	58,5
Porcentaje del cultivo total [%]	0,14	0,54	0,56	44,20	0,14	0,03	0,83

Comuna Colina	Grupos de cultivos Permanentes		
	Frutales	Viñas y parronales viníferos	Plantaciones forestales
Superficie cultivada [ha]	2720,7	168,2	392,4
Porcentaje del cultivo total [%]	38,7	2,4	5,6

Comuna Colina	Plantas forrajeras
Superficie cultivada [ha]	483,1
Porcentaje del cultivo total [%]	6,9

Fuente: Elaboración propia a base del Censo Agrícola 2007.

En Colina, la superficie total cultivada es de 7026 hectáreas. De esta, el 46,4 % corresponde a cultivos del tipo anual y el 46,7 % corresponde a cultivos de tipo permanente, de este cálculo se excluyó a las plantas forrajeras, ya que no hay detalle de que porcentaje es anual y cual es permanente. Los cultivos de hortalizas son los que abarcan el mayor porcentaje de los cultivos anuales y los cultivos de frutales son los que abarcan el mayor porcentaje de los cultivos permanentes.

De esta información, se puede concluir que los tipos de cultivos, anuales y permanentes se encuentran igualmente desarrollados en la comuna.

b) Tipos de Riego: Los tipos de riego en la comuna se presentan en la Tabla 5-6.

**Tabla 5-7 Tipos de Riego**

Comuna	Sistemas de riego						
	Riego gravitacional			Mecánico mayor		Microriego	
Colina	Tendido	Surco	Otro tradicional	Aspersión tradicional	Carrete o pivote	goteo y cinta	Microaspersión y microjet
Superficie regada [ha]	760,9	3011,9	5,4	39,6	0	1984,3	12,3
Porcentaje del riego total [%]	13,1	51,8	0,1	0,7	0,0	34,1	0,2

Fuente: Elaboración propia a base del Censo Agrícola 2007.

En Colina, la superficie total regada es de 5824,4 hectáreas. De esta, el 64,9% es regada a través de riego gravitacional, el 0,7% a través de sistemas mecánicos mayores y el 34,4% es regada a través de riego tecnificado. El riego por surcos, por aspersión tradicional y por goteo y cinta, son los más desarrollados en cada uno de los sistemas de riego.

De esta información, se puede concluir que el sistema de riego más utilizado en la comuna es gravitacional, pero los sistemas tecnificados también están desarrollados.

Para clasificar los niveles de carga contaminante según la información que se posee, se adaptó la clasificación propuesta en el método POSH a lo mostrado en la Tabla 5-7.

**Tabla 5-8 Clasificación de Prácticas Agrícolas bajo el Sistema POSH**

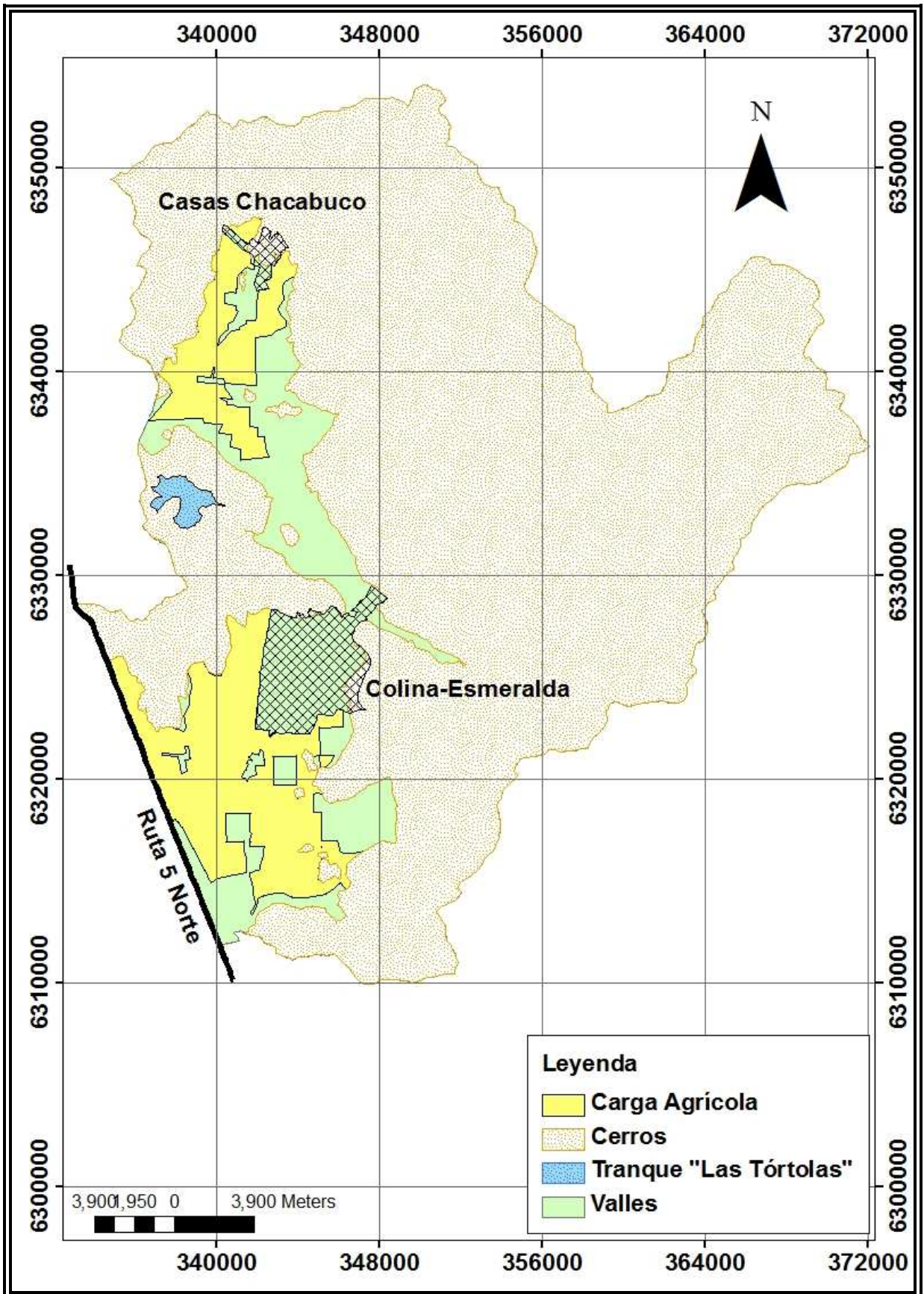
Potencial de carga contaminante al subsuelo	Prácticas agrícolas
Elevado	Cultivos anuales y riego gravitacional o mecánico mayor
Moderado	Intermedio
Reducido	Cultivos permanentes y riego por microaspersión

Fuente: Foster et al, 2002.

Bajo esta clasificación, todos los sectores con prácticas agrícolas se definieron con una carga contaminante potencial moderada.

Para determinar que sectores poseen actividad agrícola se utilizó la imagen satelital del sector junto al programa "Google Earth". Utilizando esto se pudo definir claramente los sectores agrícolas, lo cual puede ser apreciado en la Figura 5-8.

Figura 5-8 Carga Agrícola



Fuente: Elaboración propia.



## B. Saneamiento Sin Alcantarillado

Para poder determinar la carga contaminante asociada al saneamiento, se necesitan definir 2 parámetros: la densidad de población y la cobertura del alcantarillado.

Para establecer la cobertura del alcantarillado se utilizó un estudio de factibilidad sanitaria, desarrollado por la Municipalidad para su plan regulador. De este informe se obtuvo la información de la Tabla 5-8.

**Tabla 5-9 Número de Habitantes Saneados**

Área	Nombre Empresa	Sector Saneado	Situación al 2007
			Nº Habitantes saneados
Urbana	Servicomunal	Colina Urbano	57700
	Aguas Colina	Santa Elena	0
	Servicomunal	Santa Filomena	0
	Sapbsa	Pan de Azúcar	0
	Aguas Manquehue	Chicureo	0
Chamisero		0	
Rural	Brisagua	Brisas de Chicureo	170
	Aguas Chacabuco	El Algarrobal	850
		Los Ingleses	
Condominios Particulares		1750	

Fuente: Elaboración propia.

El área que posee mayor número de habitantes saneados corresponde a Colina urbano.

Revisando el estudio tarifario de la empresa Servicomunal, se establece que la cantidad de habitantes saneados, en Colina urbano, corresponden a una cobertura aproximada del 96%. Con respecto al saneamiento rural, no se describe el tipo de saneamiento utilizado ni la efectividad de este. Debido a esta falta de información y la alta probabilidad de que los sistemas existentes no estén siendo operados en forma eficiente, se decidió utilizar un criterio por el lado de la seguridad, por lo que se tomó un saneamiento en áreas rurales igual a 0.

Con respecto a la densidad de población, se utilizó información de los últimos tres censos, de manera de obtener una proyección de población para el año 2010, la cual se muestra en la Tabla 5-9.

Se proyectó la población utilizando un ajuste polinómico de segundo orden. Con esto se obtuvo una población total de 98609,96 habitantes para la comuna. Para estimar la población urbana y rural, se utilizó solo la información de los últimos dos censos, ya que al utilizar los censos más antiguos se producía un crecimiento exponencial de la población urbana, lo cual no refleja el proceso de estancamiento que sufre cualquier tipo de población cuando el espacio urbano comienza a acabarse. Ajustando una curva polinómicas de orden dos, se obtiene una población urbana proyectada de 82336,6 habitantes y una rural de 16273,36 habitantes. El detalle de la proyección de población puede ser observado en el anexo III.

Con la población proyectada y asumiendo que la población de Colina urbano es de 60.000 habitantes, se obtuvieron las densidades mostradas en la Tabla 5-9.

**Tabla 5-10 Densidades Comunes**

Densidades	Hab/ha
Colina urbano	64,0
Urbano fuera Colina	7,2
Rural	3,4

Fuente: Elaboración propia.

Para clasificar los niveles de carga contaminante según la información que se posee, se adaptó la clasificación propuesta en el método POSH a lo mostrado en la Tabla 5-10.

**Tabla 5-11 Clasificación de Saneamiento Sin Alcantarillado bajo el Sistema POSH**

Potencial de carga contaminante al subsuelo	Saneamiento in situ
Elevado	Cobertura del servicio de cloacas menor al 25% y densidad poblacional superior a 100 personas/ha
Moderado	Intermedio
Reducido	Cobertura del servicio de cloacas mayor al 75% y densidad poblacional inferior a 50 personas/ha

Fuente: Foster et al, 2002.

Bajo esta clasificación, se definieron las cargas contaminantes potenciales según sector, mostradas en la Tabla 5-11.

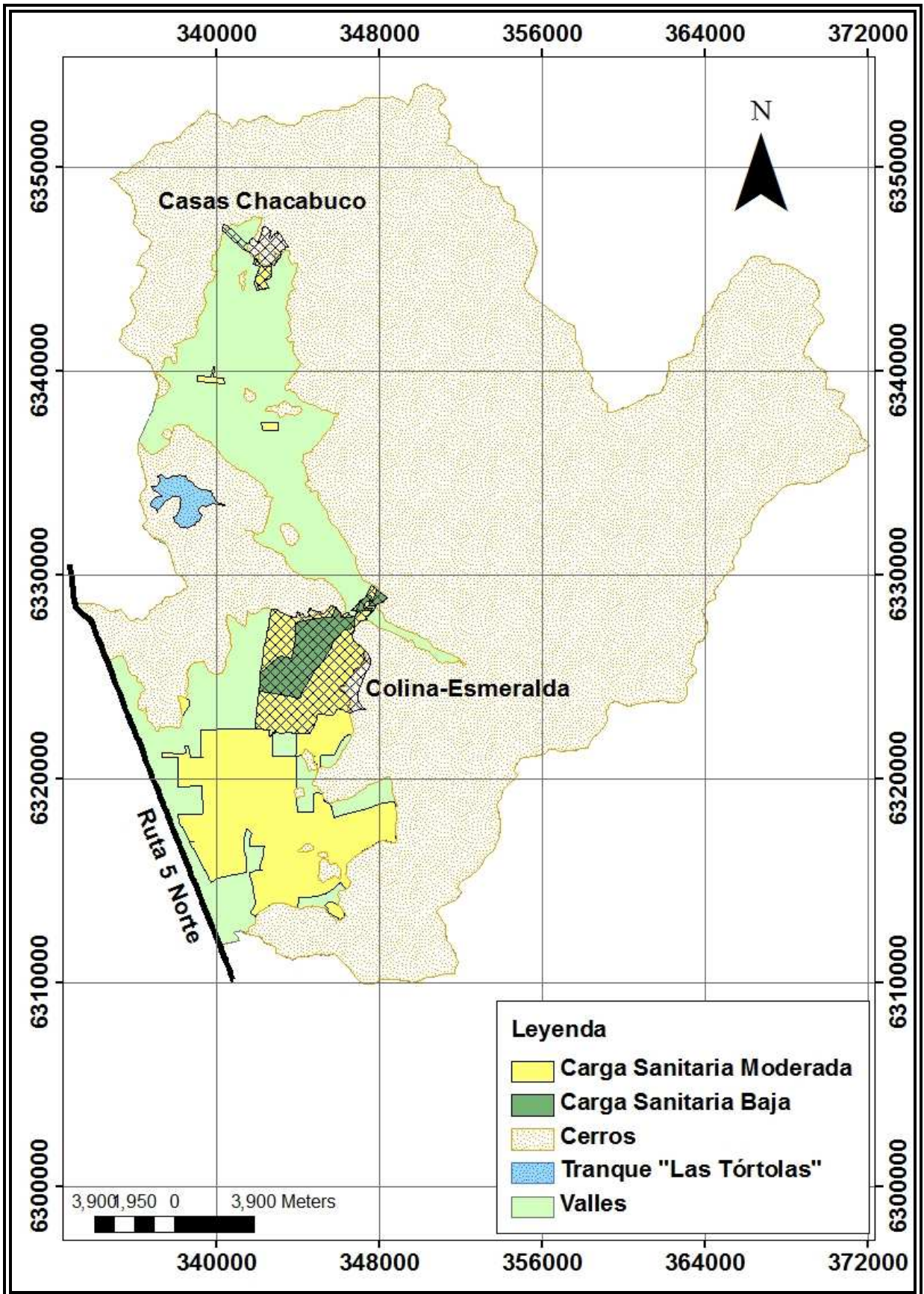
**Tabla 5-12 Carga Contaminante por Sector**

Sector	Carga contaminante potencial
Colina urbano	Reducida
Urbano fuera Colina	Moderada
Rural	Moderada

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar específicamente los sectores urbanos, se utilizó un plano municipal que demarca estos sectores. Para los sectores rurales, se utilizó una imagen satelital del sector junto al programa "Google Earth". Utilizando esto se pudo definir claramente los sectores urbanos y rurales, lo cual puede ser apreciado en la Figura 5-9.

Figura 5-9 Carga Sanitaria



Fuente: Elaboración propia.

## C. Parques Industriales

Para la confección de los mapas con las cargas contaminantes se decidió incluir los parques industriales de la comuna pese a que no son fuentes difusas. En Colina existen dos parques industriales. El de mayor tamaño, llamado “Los Libertadores”, se encuentra ubicado en el sector sur-oeste de la comuna, en el límite con la comuna de Quilicura y de Lampa. El de menor tamaño, llamado “La Montaña”, se encuentra ubicado en el sector norte de la comuna, al oeste del sector de Casas Chacabuco. La Figura 5-10 muestra la ubicación de estos parques industriales.

La superficie de cada uno de estos parques son las que se muestran en la Tabla 5-12.

**Tabla 5-13 Superficies Industriales**

Sector	Superficie total [ha]	Cantidad de sitios
Los Libertadores	150	165
La Montaña	25	42

Fuente: Elaboración propia.

Según la línea base del plan regulador comunal, el grado de consolidación del parque “Los Libertadores” es del 16%, lo que corresponde a una presencia de 27 industrias. El grado de consolidación del parque “La Montaña” es del 21%, lo que corresponde a la presencia de 9 industrias. Al verificar a través de “Google Earth” se puede observar en el caso del parque “Los Libertadores”, el grado de consolidación es mayor, el cual se estimó entre un 30% a 40%.

De la información del Plan de desarrollo de la comuna (2009), se determinó que las industrias del sector son micro y mediana empresas. Los principales rubros de estas industrias son la agroindustria, la manufactura, el almacenamiento y la comercialización y distribución de productos. De estas actividades las únicas que puede presentar contaminación a las aguas subterráneas son la agroindustria y la manufactura.

No se posee información de que estos sectores posean servicio de alcantarillado, por lo que se decidió considerar el caso más perjudicial. Esto corresponde a considerar que los RILES de estos parques son infiltrados hacia el acuífero.

A través de la revisión de las empresas listadas en este plan de desarrollo, se obtuvieron las actividades potencialmente generadoras de contaminación de las aguas subterráneas, mostradas en la Tabla 5-13.

**Tabla 5-14 Actividades Potenciales Generadoras de Contaminación por Parque Industriales**

Empresas complejo "Los Libertadores"	Actividad	Código CIU	Contaminantes más probables*
Contenedores Plásticos (Logipak)	Fábrica de productos plásticos	252090	s o
Plásticos Montesa	Fabricación de maquinas selladoras de polietileno	252090	s o
Tonelería Nacional	Fabricación de toneles para almacenaje y añejado de vino	202300 519000	s o
Comercial Polincay Ltda.	Producción y comercialización de tableros MDF, puertas y molduras de MDF y pino radiata.	201000 202900	s o
Taller de Muebles Ltda.	Fabricación de muebles	202900	s o
Sánchez y Larraín Ltda.	Embalaje y distribución de productos agrícolas	630920	s n o t f
Peri Chile	Suministradores de sistemas de encofrado y andamios	712900 742141 521900	-
Agrícola El Roble	Producción, procesamiento y comercialización de frutas subtropicales	151300	s n o t f
Balmetal	Fabricación y montaje de calderas, equipamiento de vehículos mineros	281219	h
Danica temroinsdustrial	Comercialización, fabricación y montaje de sistemas de termo-aislantes	269990 252090	s o

Fuente: Elaboración propia. Contaminantes más probables a base de Foster et al, 2002.

Empresas complejo "La Montaña"	Actividad industrial	Código CIU	Contaminantes más probables*
Estín y Cía Ltda.	Reciclaje, manejo, reutilización de residuos	900090	No se posee información del tipo de residuos trabajados

Fuente: Elaboración propia. Contaminantes más probables a base de Foster et al, 2002.

\* n Compuestos de nutrientes

f Patógenos fecales

o Carga orgánica

s Salinidad

h Metales pesados

t Microorganismos tóxicos

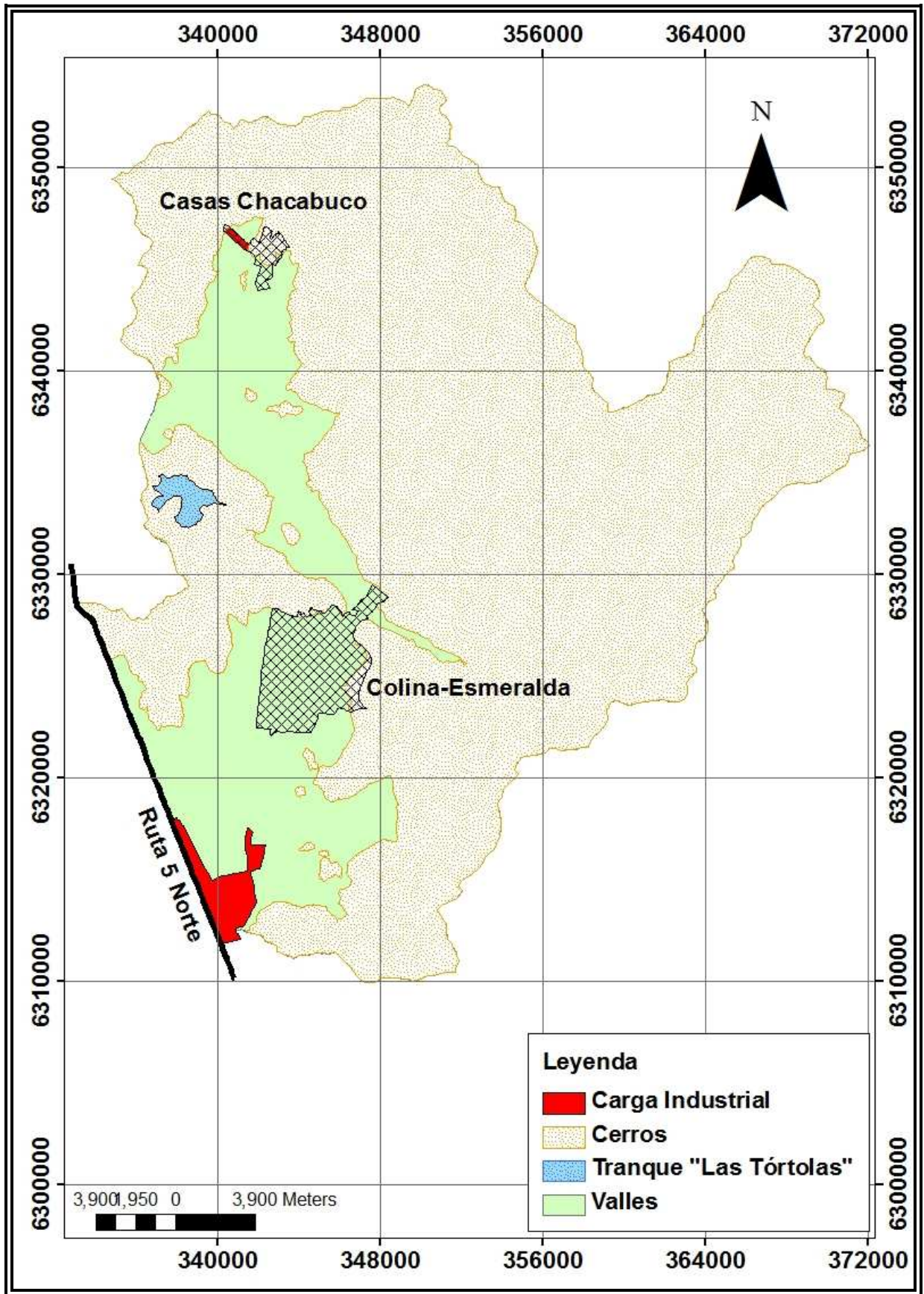
El grado de carga contaminante potencial asociada a estas actividades fue estimada mediante la Tabla 5.14. De ella se desprende que existe presencia de todos los grados de carga contaminante dada la diversidad de actividades presentes. Debido a esto se decidió clasificar estos sectores con una carga contaminante elevada, para de esta manera utilizar un criterio más conservador.

**Tabla 5-15 Clasificación de la Carga Contaminante según Fuente Contaminante**

Potencial carga contaminante	Fuente contaminante
Elevada	Refinerías de gas/petróleo Manufacturas de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Químicos</li> <li>• Fármacos</li> <li>• Plásticos</li> <li>• Pesticidas</li> <li>• Curtiembres</li> </ul> Fábricas de electrónica Procesamiento de metales
Moderada	Fábricas de gomas Molinos de papel y pulpa Fábricas textiles Manufacturas de fertilizantes Fábricas eléctricas Manufacturas de jabón y detergente
Reducida	Trabajo con madera Manufactura de alimentos y bebidas Destilación de azúcar y alcohol Procesamiento de materias no-metálicas

Fuente: Foster et al, 2002.

Figura 5-10 Carga Industrial



Fuente: Elaboración propia.



## 5.2.2 Resultados y Discusión

Para la estimación de la carga contaminante es muy importante poseer información de buena calidad. Esto no es posible siempre, ya que gran parte de la información es privada o es de organizaciones públicas, donde pese a que la información es de libre acceso el proceso de obtención puede ser muy engorroso. La totalidad de la información de esta tesis fue obtenida a través de organismos públicos, como ministerios y la Municipalidad.

Otro punto importante es llevar a cabo una delimitación lo más detallada posible de los sectores que se pueden ver afectados por algún tipo de contaminación difusa. Para lograr esto, fue muy importante la utilización de imágenes satelitales, junto al programa "Google Earth", los cuales permiten un nivel de detalle muy específico. Cabe destacar que estos dos recursos son de libre utilización y pueden ser descargados de Internet.

Con respecto a las cargas contaminantes, se puede apreciar que estas se desarrollan principalmente en las cercanías de los sectores urbanos, como son la ciudad de Colina en el valle sur y los sectores Casas Chacabuco y Cerro Colorado en el valle norte. Esto se produce porque la actividad agrícola encuentra sectores donde comercializar sus productos y abastecerse de insumos y además existen poblaciones que se desarrollan en los alrededores de los centros poblados ya establecidos.

Con respecto a los parques industriales, estos no son fuentes difusas pero se decidió considerarlas dado que son zonas con un potencial contaminante alto. La consideración de estos parques en este estudio tiene como finalidad informar a la comunidad acerca de estos sectores.

### 5.3 Riesgo de Contaminación

Para obtener los mapas de riesgo se superpusieron los mapas de vulnerabilidad, obtenidos en el punto 5.1 y los de potencial carga contaminante, obtenidos en el punto 5.2.

Para estimar el riesgo de contaminación se utilizó la siguiente matriz (Figura 5-11), propuesta por Foster e Hirata (1991). Según esta matriz, existen tres grados cualitativos de riesgo: alto, intermedio y bajo. Foster le da a estos grados un carácter de “probabilidad de ocurrencia de contaminación”.

**Figura 5-11: Clasificación del riesgo de contaminación**

		ZONAS DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO		
		Baja	Media	Alta
CARGA POTENCIALMENTE CONTAMINANTE	Reducida	3	3	2
	Moderada	2	2	1
	Elevada	2	1	1

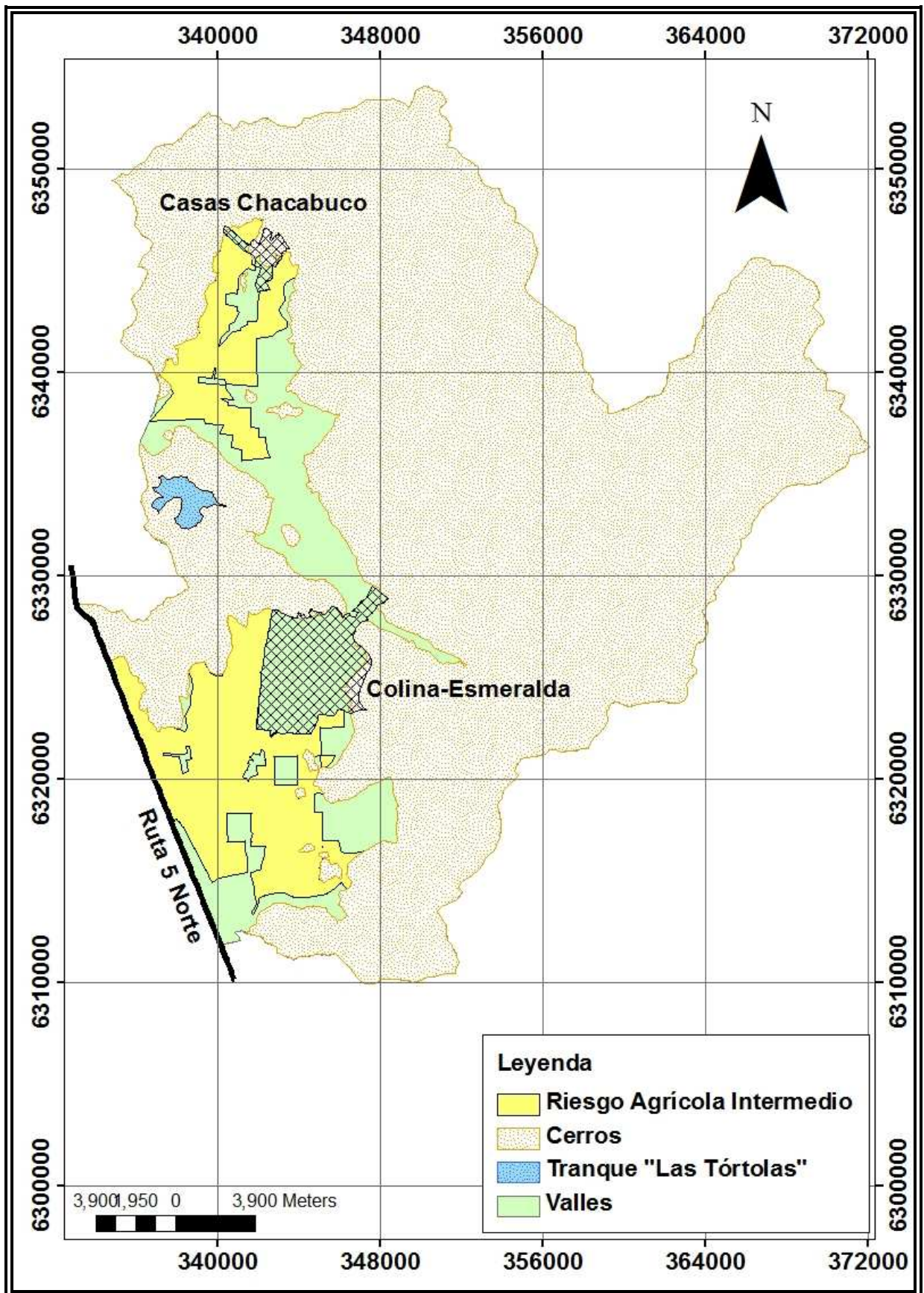
  

NIVEL DE ACCIÓN		
1 = Alto	2 = Intermedio	3 = Bajo

Fuente: Foster e Hirata, 1991.

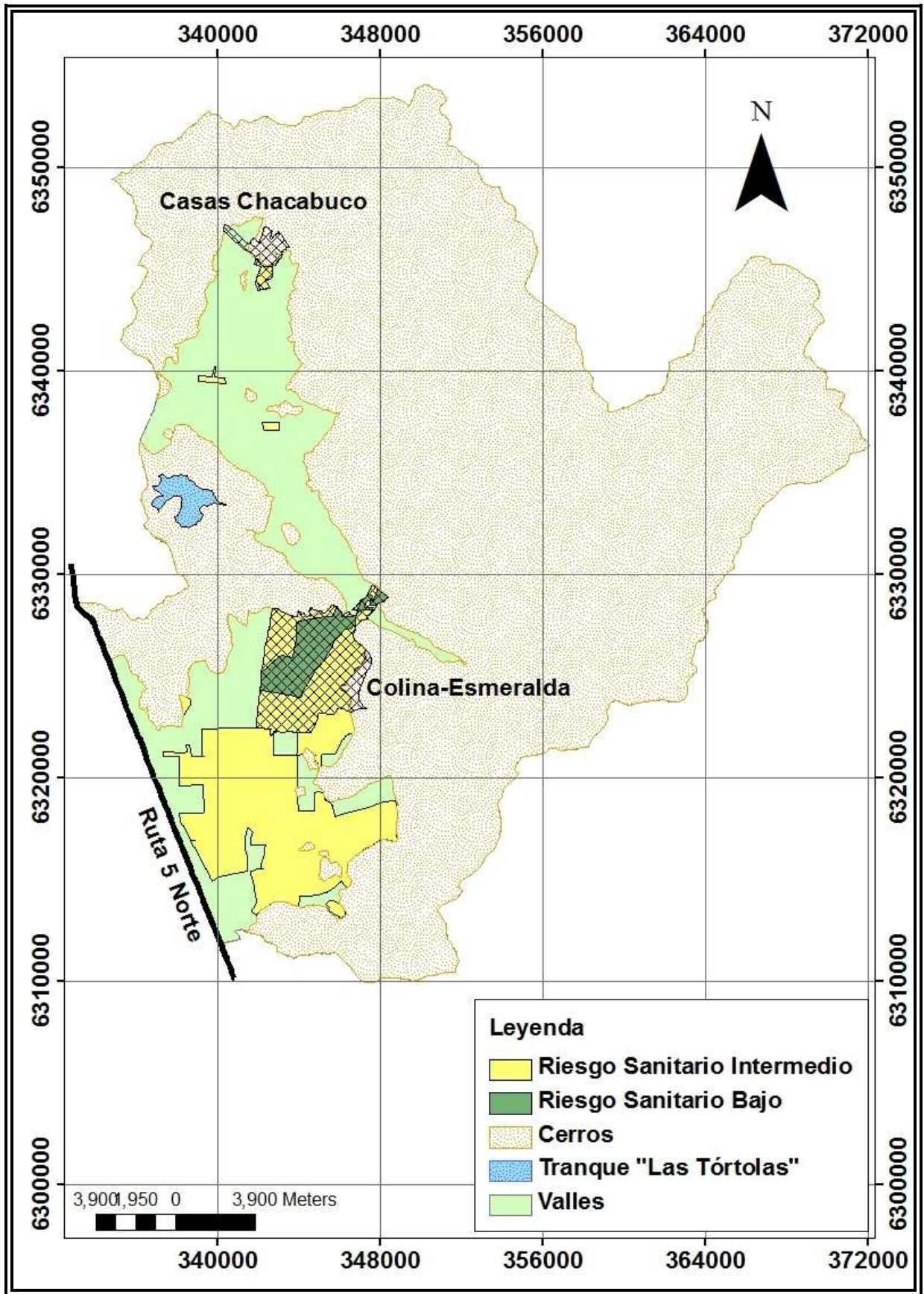
Para la estimación del riesgo se utilizaron ambos mapas de vulnerabilidad generados, con el fin de poder comparar sus resultados. Al generar los mapas de riesgo asociados a estos dos mapas de vulnerabilidad, se llegó a exactamente el mismo resultado. Esto se produce debido a la tendencia similar que siguen ambos mapas, lo cual fue explicado en el punto 5.1.5. Dado esto sólo se presentaran 3 mapas finales de riesgo: Agrícola (Figura 5-11), Sanitario (Figura 5-12) e Industrial (Figura 5-13).

Figura 5-11 Riesgo Agrícola



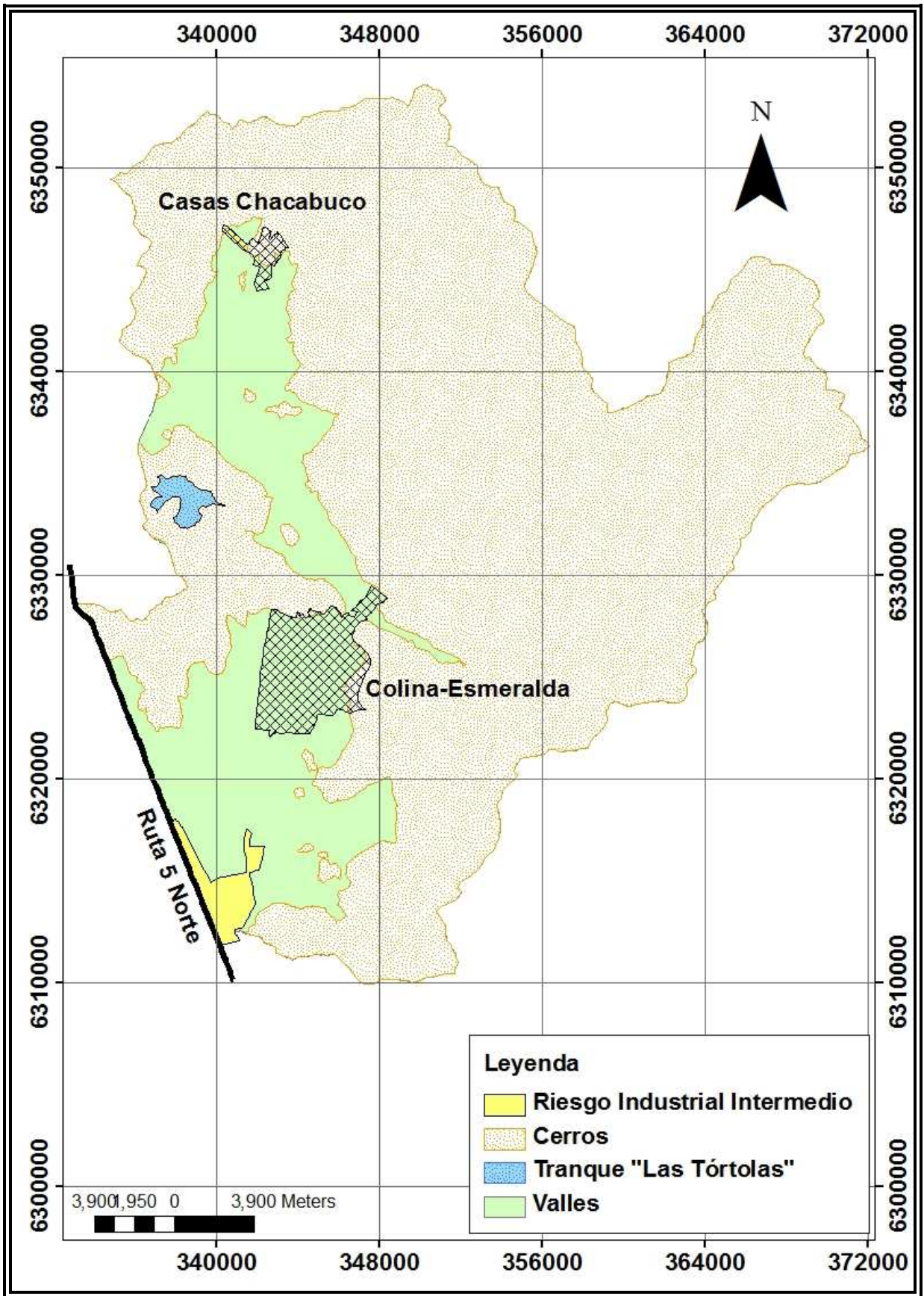
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-12 Riesgo Sanitario



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-13 Riesgo Industrial



Fuente: Elaboración propia.

## **5.4 Resultados y Discusión de la Evaluación del Riesgo**

De la inspección visual de los mapas de riesgo, se concluye que la comuna de Colina presenta, a grandes rasgos, un riesgo de contaminación difusa moderado. Al analizar más específicamente cada mapa se concluye lo que se presenta a continuación.

El mapa de riesgo agrícola nos muestra que todos los sectores con este tipo de actividad presentan un riesgo moderado. Pese a que toda la comuna presenta una vulnerabilidad baja, la carga contaminante agrícola es de consideración, lo cual produce este grado de riesgo. Esto podría producir a futuro una contaminación considerable del acuífero si no se toman medidas para disminuir la carga asociada a este tipo de actividad, que esta fuertemente desarrollada en el sector.

Por otro lado, el mapa de riesgo sanitario nos muestra dos grados de riesgo; Uno bajo asociado a los sectores con alcantarillado y uno moderado asociado a los sectores sin alcantarillado. El hecho de no contar con alcantarillado en gran parte de la comuna provoca que la carga contaminante en esos sectores sea considerable, lo cual explica un grado de riesgo moderado, pese a que la vulnerabilidad sea baja. Lo mismo ocurre con el riesgo industrial, el cual se produce porque la carga contaminante se vuelve muy importante al no poseer sistema de alcantarillado.

Los sectores industriales se presentan claramente definidos, debido a que corresponden a parques industriales. Estas son las zonas que podrían ser las más importantes, en términos de la contaminación de la comuna, debido a que a los RILes de estas empresas pueden poseer elementos muy contaminantes, como metales pesados y compuestos tóxicos.

Estos mapas presentan limitaciones, ya que al trabajar con grillas se pueden presentar ciertos sectores con características que no son reales. Los mapas de riesgo podrían ser aún más detallados si se mejora la información base de los sectores con actividad agrícola y sin alcantarillado. Mediante un sistema de catastros y una sectorización más adecuada, podrían lograrse mapas de riesgo más específicos. Frente a esto hay que realizar una evaluación del nivel de detalle que realmente se requiere, porque para lograr mapas de riesgo más detallados, deben utilizarse más recursos que al hacer un mapa de riesgos con información más general.

## 6- COMPARACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO Y DE LA CALIDAD DEL AGUA

### 6.1 Aspectos Generales

En este capítulo se analizan las distintas muestras de calidad de agua que se posee en el sector, realizando una comparación de ellas con el mapa de vulnerabilidad obtenido en el capítulo 5. En ese capítulo se obtuvieron dos mapas de vulnerabilidad, pero dado que ambos son muy similares sólo se trabajó con uno de ellos (Figura 5-4).

Para realizar esta comparación se analizará la distribución temporal y espacial de los nitratos. No se utilizaron los fosfatos, debido a que pueden encontrarse en forma natural en los suelos de las capas superiores y tampoco se utilizaron los coliformes fecales, debido a que pueden ser retenidos en los estratos superiores del suelo. Los nitratos son solubles, razón por la cual no se encuentran en los suelos y además son estables. Es por estas dos razones que son los mejores indicadores de presencia de contaminación difusa.

Para poder correlacionar la cantidad de nitratos con el grado de vulnerabilidad, se debe clasificar la concentración de nitratos en distintos rangos. Para esto se consultaron las normas de riego y agua potable del país, dado que estos son los principales usos del agua extraída en la comuna. De estas normas se obtuvo la información mostrada en la Tabla 6-1.

**Tabla 6-1 Contenido de Nitrato en el Agua según Normas**

Norma	Uso	Nitrato [mg/l]
N.CH 409/01	Agua potable	10
N.CH 1333/78	Riego	-

Fuente: Elaboración propia.

Dado que sólo la norma de agua potable posee una restricción para el contenido de nitratos, este valor fue el utilizado para definir los rangos. Se definió la siguiente clasificación:

- Zona con contaminación baja: Concentración de nitratos mayor o igual a 0 mg/l y menor que 5 mg/l. Corresponde a una vulnerabilidad baja.
- Zona con contaminación moderada: Concentración de nitratos mayor o igual a 5mg/l y menor que 10 mg/l. Corresponde a una vulnerabilidad moderada.
- Zona con contaminación alta: Concentración de nitratos mayor o igual a 10 mg/l. Corresponde a una vulnerabilidad alta.

Para la construcción de los mapas de nitratos se cuenta con información de 75 pozos en la zona de estudio. Estos provienen de los siguientes estudios:

- “Algunas Características Químicas de Agua y Suelo en el Área de Santiago Norte”. Ximena Trepiana, CORFO. 1975
- “Bases para la Modelación del Sistema de Recursos Hídricos de la Cuenca de Santiago”. BF Ingenieros Civiles., DGA. 1993
- “Análisis de la Contaminación de Aguas Subterráneas en la Región Metropolitana, por Aguas Servidas”. AC Ingenieros Consultores, CONAMA, 1999.
- “Modelo de Simulación Hidrológico Operacional, Cuencas de los Ríos Maipo y Mapocho”. AC Ingenieros Consultores, DGA-MOP, 2000.

El detalle de toda la información y análisis de este capítulo puede ser encontrado en el anexo IV.

## **6.2 Análisis Temporal de los Nitratos**

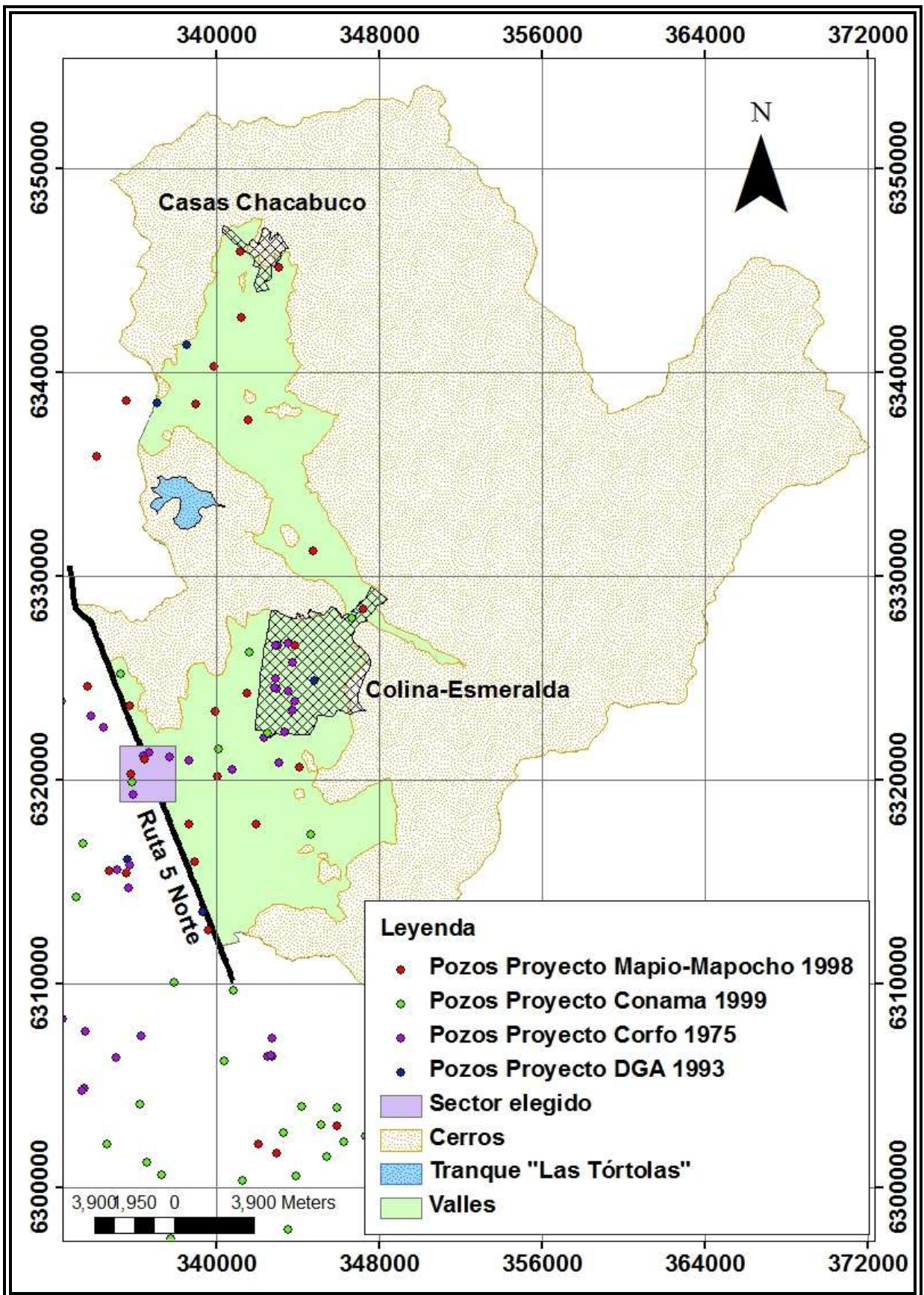
Para realizar este análisis, se calculó la concentración media de nitratos en la cuenca sur, para los 4 estudios citados en el punto anterior. Sólo se utilizó esta cuenca debido a que es el área donde todos los estudios poseen pozos. La concentración media se calculó utilizando el siguiente método:

- Se obtuvieron polígonos de influencia mediante el método de Polígonos de Thiessen.
- Se ponderó cada uno de los polígonos por la cantidad de nitratos del pozo.
- Luego se suman todos los valores ponderados y se dividen por el área total.

Además se analizó la tendencia temporal de un sector particular de la cuenca, con el fin de poder observar si la tendencia temporal del sector es similar a la de la comuna. Este sector cumple con poseer pozos de todos los estudios antes citados. El sector elegido y los pozos en la comuna se muestran en la Figura 6-1.



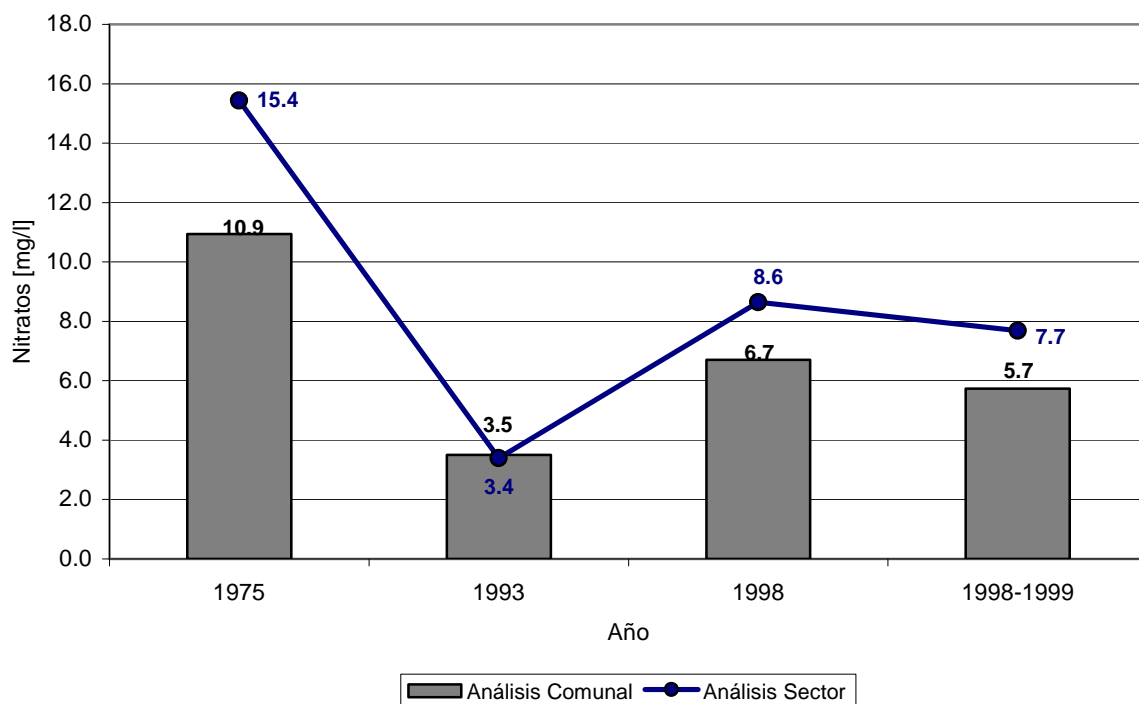
Figura 6-1 Detalle Sector Elegido y Pozos del Sector



Fuente: Elaboración propia.

El siguiente gráfico muestra los resultados obtenidos:

**Gráfico 6.1: Concentración de nitratos por año**



Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico, se puede observar que la tendencia comunal comienza con una concentración alta, que posteriormente disminuye y que finalmente aumenta, sin alcanzar el valor inicial. La tendencia del sector puntual estudiado muestra la misma tendencia.

Esta tendencia podría explicarse de la siguiente manera: en la década de los 70 existía desarrollo agrícola en la comuna, pero las condiciones en que se llevaban a cabo eran ineficientes, debido al desconocimiento de métodos más eficientes de riego y de aplicación de nutrientes. Posteriormente, se aumentó la eficiencia agrícola y la cantidad de predios disminuyó, por lo que la concentración de nitratos disminuyó, pero volvió a aumentar debido al aumento de población en el sector. Además hay que tomar en cuenta las medidas que fueron tomadas por el estado en los años 1984 y 1991. La primera consistió en la prohibición de los cultivos de consumo crudo y la segunda en mejorar la calidad del agua para la irrigación junto con prohibir la venta de productos regados con aguas servidas. Claramente estas dos medidas influyeron en el decaimiento de los nitratos en el período comprendido entre los años 1975 y 1993.

### **6.3 Análisis Espacial de los Nitratos**

Para realizar este análisis se calculó la concentración media de nitratos en la comuna y se comparó con la concentración media de nitratos en otras comunas alejadas de Colina. La concentración media se calculó con el mismo método del punto anterior y se utilizaron los estudios citados anteriormente, excepto el estudio de Ximena Trepiana (1975), debido a que posee los valores más antiguos y altos, lo cual puede no representar la tendencia espacial actual. Se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2 Concentraciones Medias por Comuna**

Comuna	Nitratos [mg/l]
Buin	5.0
Cerrillos	5.1
Colina	6.1
Peñaflor	5.9

Promedio	5.5
----------	-----

Fuente: Elaboración propia.

Del valor promedio, se puede concluir que existe cierto grado de contaminación en todas las comunas estudiadas y que la comuna de Colina presenta una contaminación ligeramente superior. Esto puede deberse a que esta comuna es una de las que presenta mayor cantidad de actividad agrícola de toda la región.

### **6.4 Comparación del Mapa de Nitratos con el Mapa de Vulnerabilidad**

Para construir los mapas de nitratos se utilizaron los rangos de contaminación descritos anteriormente. El área de influencia de cada pozo fue calculada mediante el método de Polígonos de Thiessen. Esto se realizó para cada uno de los estudios que se poseen y se obtuvieron los mapas ilustrados en las Figuras 6-2, 6-3, 6.4 y 6-5.

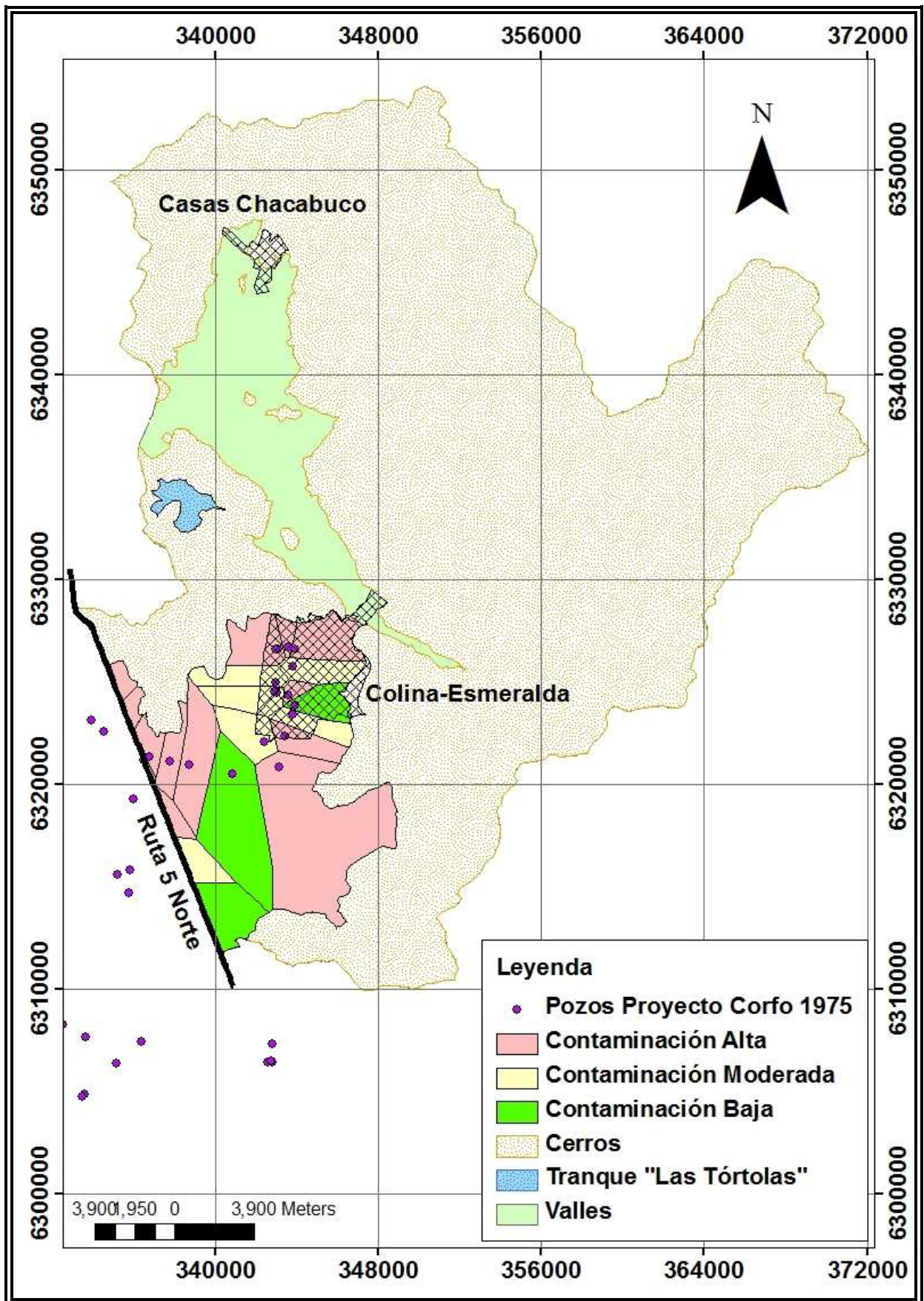
Dado el hecho de que el mapa de vulnerabilidad es homogéneo en todo el sector, con una vulnerabilidad baja, cualquier sector con contaminación moderada o alta estará fuera de rango. Analizando visualmente los mapas de nitratos se puede concluir que el mapa generado con la información de Ximena Trepiana es el que se presenta menos correlacionado con el mapa de vulnerabilidad. Esto se puede explicar, como se vio en el

punto anterior, a concentraciones de nitratos altas debido a una ineficiencia en los métodos agrícolas de aplicación de nutrientes y de riego en esa época.

Debido a esta mala correlación, el estudio de Ximena Trepiana no fue utilizado en la construcción del mapa final de nitratos, de manera de poder representar de mejor manera la tendencia actual. Para la confección del mapa final se utilizaron los otros 3 estudios junto con algunos pozos provenientes de la red de medición de calidad de la DGA. El mapa final de nitratos y la distribución de los pozos utilizados se puede observar en la Figura 6-6.

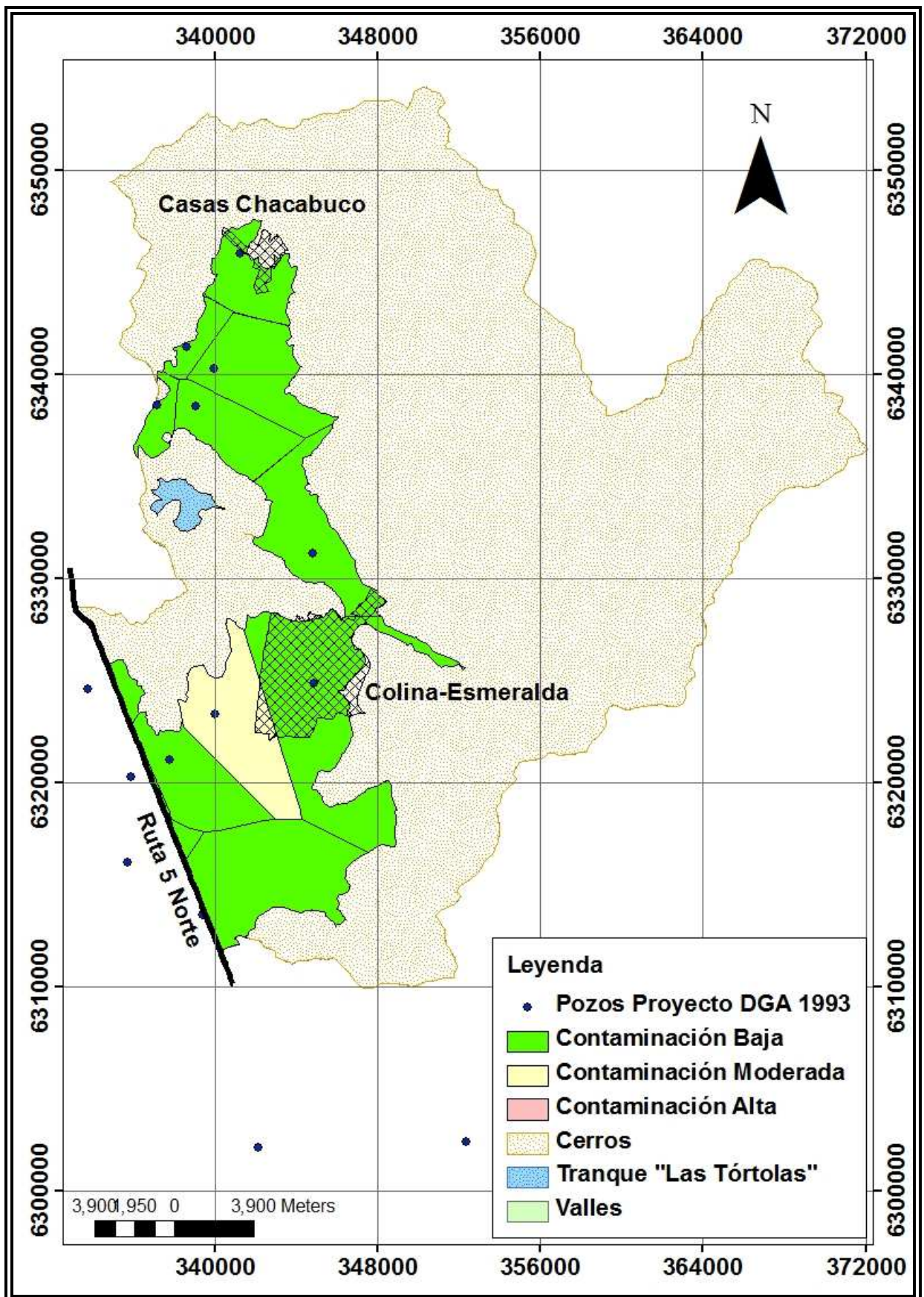
Analizando el mapa final de nitratos, se puede concluir que 14 polígonos presentan diferencias de rango al ser comparados con el mapa de vulnerabilidad, lo cual corresponde al 50% del área total. De este porcentaje, el 13,5% presenta una diferencia de dos rangos, vale decir poseen contaminación alta y el 36,8% presenta una diferencia de un rango, lo que significa que poseen contaminación moderada.

Figura 6-2 Polígonos Proyecto CORFO 1975



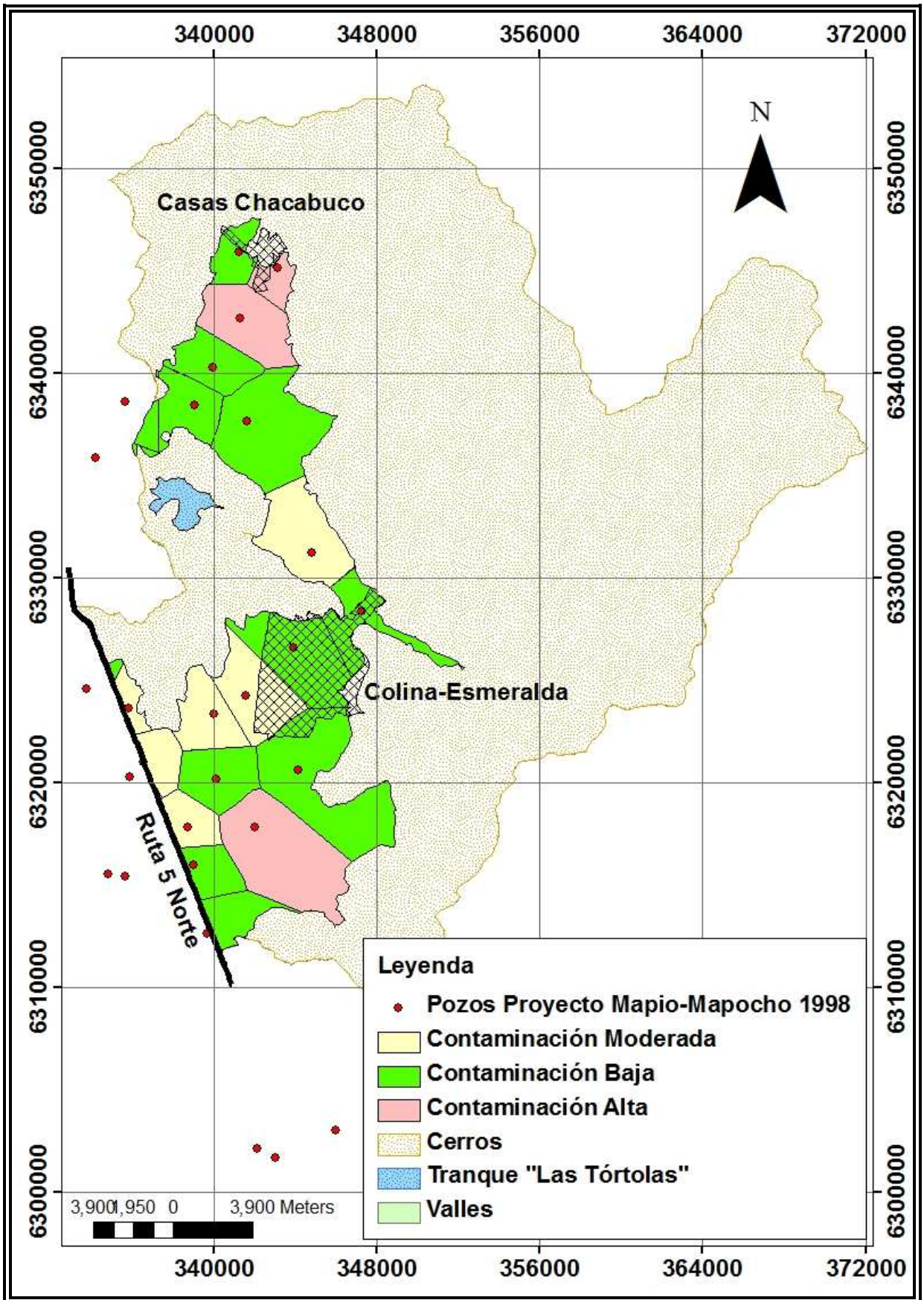
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-3 Polígonos Proyecto DGA 1993



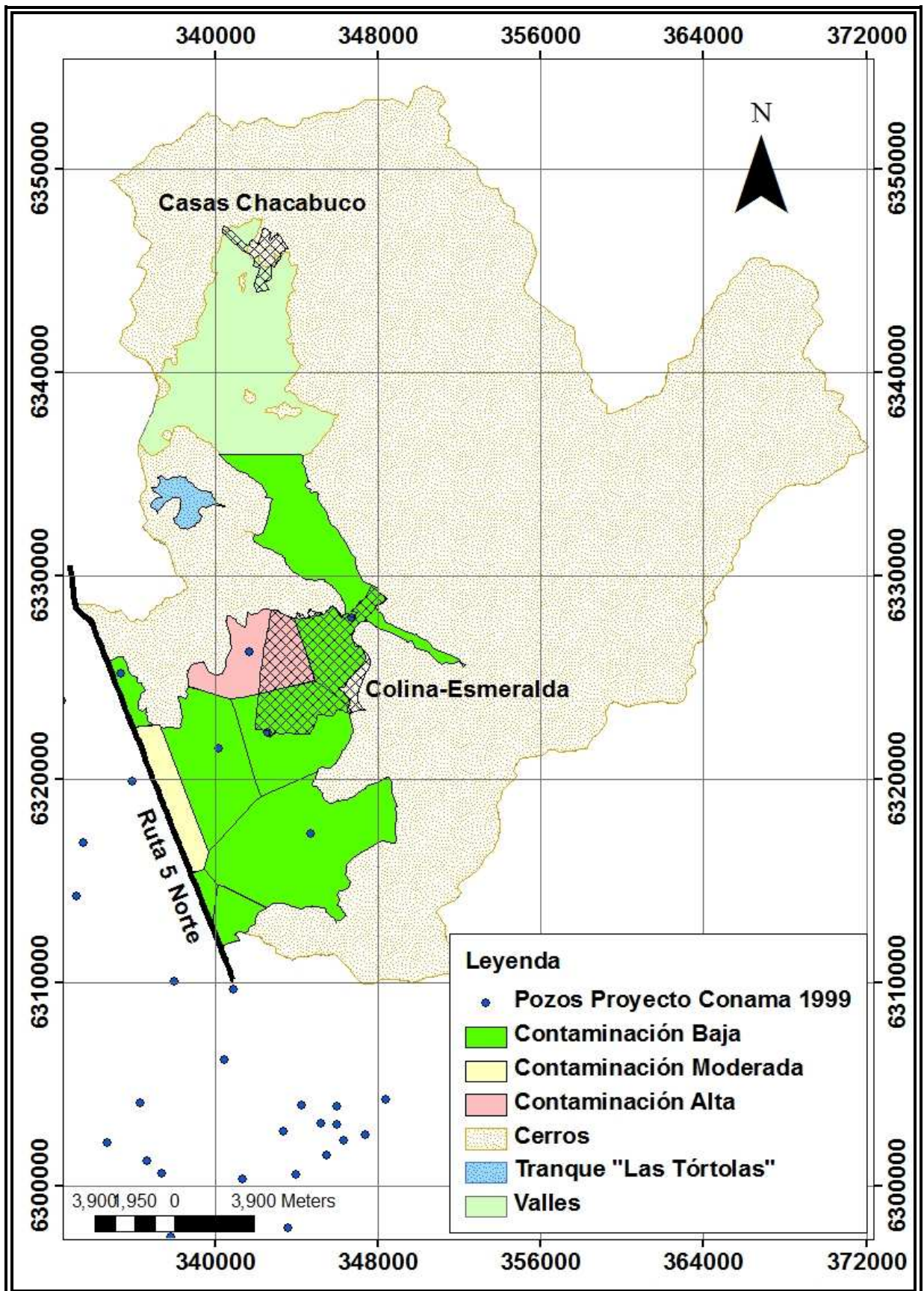
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-4 Polígonos Proyecto Maipo-Mapocho 1998



Fuente: Elaboración propia.

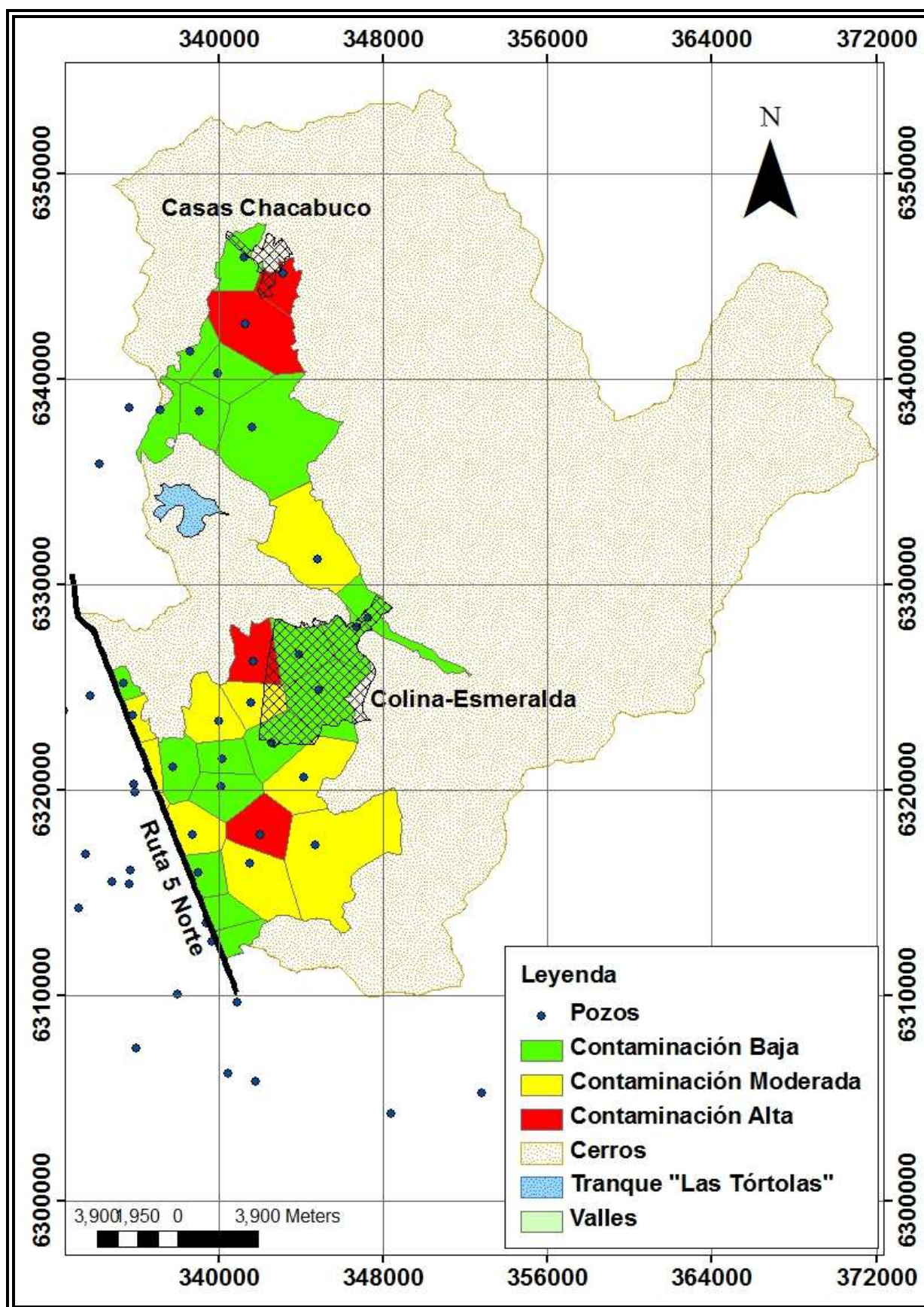
Figura 6-5 Polígonos Proyecto CONAMA 1999



Fuente: Elaboración propia.



Figura 6-6 Mapa Final de Nitratos



Fuente: Elaboración propia.

## **6.5 Resultados y Discusión**

Mediante el análisis espacial de los nitratos, se concluye que todas las comunas estudiadas presentan cierto grado de contaminación y que la concentración de nitratos en Colina es ligeramente superior al promedio estimado. El hecho de que todas las comunas presente algún grado de contaminación podría deberse a la fuerte ocupación que posee la región metropolitana, lo cual genera muchas actividades potencialmente contaminantes, como son las industrias, la agricultura, la ganadería, los cementerios, etc.

Del análisis temporal de los nitratos de la comuna, se concluye que existe una fuerte baja de su concentración entre los años 1975 y 1993. Esto podría deberse a las mejoras que han sido empleadas en el riego y en la aplicación de nutrientes, a las medidas implementadas por el estado en 1984 y 1991 y a una disminución de la actividad agrícola en el sector durante ese período. Luego entre 1993 y 1998-1999, la concentración de nitratos aumentó, lo cual podría deberse al aumento de la población del sector, lo cual también provoca un aumento en los predios agrícolas al aumentar el mercado.

Finalmente, de los análisis de los mapas de vulnerabilidad realizados frente a la calidad del agua del sector, se concluye que existe cierta correlación entre ellos, pero los mapas de vulnerabilidad no son capaces de replicar la realidad. Existe una diferencia entre el mapa de vulnerabilidad y el de nitratos en el 50% del área de la comuna. Esto podría ser muy relevante en las futuras medidas contra la contaminación o de zonificación que el municipio ejecute, debido a que basándose sólo en el mapa de vulnerabilidad, la municipalidad podría estar invirtiendo recursos en sectores donde no es necesario.

## 7- COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

La comuna de Colina se encuentra ubicada en la zona norte de la Región Metropolitana. Históricamente, esta comuna ha tenido un fuerte desarrollo agrícola debido a que los suelos del sector presentan una muy buena aptitud para los cultivos. Además, esta comuna ha tenido un aumento importante en su población en los últimos años. Frente a esto nace la preocupación de la contaminación difusa que puede haber en el sector.

Se decidió evaluar la vulnerabilidad del acuífero mediante la metodología propuesta en el manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad, realizado por la DGA, asociado al D.S. 46/02, la cual realiza una evaluación utilizando características del suelo, de las recargas y de la litología, profundidad y grado de confinamiento del acuífero. De la realización de los mapas de vulnerabilidad, se concluye que la metodología utilizada es muy importante, ya que los resultados varían bastante entre una y otra metodología.

Al realizar una comparación de la metodología elegida con la metodología GOD, se puede concluir que la forma de calcular el puntaje final es primordial. La forma de ponderación que utiliza la metodología GOD no es muy sensible a la profundidad del acuífero y depende mayoritariamente del tipo de acuífero y de la litología de la zona no saturada. La metodología BGR también es sensible a la litología de la zona no saturada y al tipo de confinamiento pero es mucho más sensible a la profundidad a la cual se encuentra el acuífero.

El mapa de vulnerabilidad obtenido, según el manual de la DGA, muestra que toda la comuna presenta un grado de vulnerabilidad bajo. Esto se produce porque los sectores donde el acuífero es libre, presentan sus acuíferos demasiado profundos, lo que produce que el tiempo de viaje de los contaminantes sea alto y que además estén más tiempo expuestos a las reacciones naturales que sufren en el suelo. Por otro lado, los sectores que presentan acuíferos más someros, se encuentran confinados, lo cual le da una protección extra al acuífero.

Con respecto a las fuentes contaminantes difusas del sector, se concluye que las más importantes son las fuentes agrícolas y las domésticas con sistemas de eliminación de aguas residuales in situ. De los mapas de carga contaminante se concluye que la mayor parte de la comuna presenta una carga moderada.

La agricultura presenta una carga moderada debido a que aún existen sistemas de riego ineficientes en el sector y por una presencia importante de cultivos anuales, los cuales desgastan los suelos y poseen una demanda menos constante de nutrientes. Por otro lado, la ausencia de alcantarillado genera una carga contaminante moderada en todo el sector. El único sector que presenta una carga contaminante distinta es el sector de Colina urbano, debido a la presencia de alcantarillado en casi un 100%, lo cual genera una carga contaminante baja.

Debido a la posible ausencia de alcantarillado en los parques industriales de la comuna, se decidió agregar estos sectores en los análisis, pese a que no son fuentes difusas. Estas zonas presentan una carga contaminante alta, debido a la posibilidad de que RILes contaminantes sean infiltrados hacia el acuífero.

De la superposición de los mapas de vulnerabilidad y de carga contaminante, se concluye que el riesgo de contaminación de la comuna es moderado. Esto se produce porque la baja vulnerabilidad que presentan los acuíferos del sector atenúa las cargas contaminantes.

Además de los mapas de vulnerabilidad se realizó una comparación de ellos frente a la calidad de agua del sector. Para realizar esto, se busca la presencia de contaminantes asociados a fuentes difusas en el agua subterránea. Los principales contaminantes asociados a estas fuentes son los compuestos nitrogenados, compuestos fosfatados y los patógenos. De estos, el mejor indicador de contaminación en acuíferos, dada su persistencia y movilidad, son los nitratos.

Del análisis de los nitratos se concluye que existe cierta correlación entre los mapas de vulnerabilidad y de nitratos, pero los mapas de vulnerabilidad no son capaces de replicar la realidad. Al realizar un análisis del área de estudio mediante el método de los polígonos de Thiessen, se concluye que el mapa de vulnerabilidad presenta diferencias con lo mostrado en el mapa de nitratos en un 50% del área de la comuna. Esto significa que la mitad de área comunal presenta una cantidad de nitratos moderada o alta, niveles que no se encuentran presentes en los mapas de vulnerabilidad. Esto podría ser muy relevante en las futuras medidas contra la contaminación o de zonificación que el municipio ejecute.

Finalmente, en forma general, se concluye que la comuna presenta una vulnerabilidad baja según el método BGR, pero el riesgo finalmente es moderado debido a las cargas contaminantes considerables del sector. Además, los mapas de vulnerabilidad presentan limitaciones que deben ser consideradas al utilizarlos, como son la correlación inexacta con calidad del agua real del sector y las diferencias de grados de vulnerabilidad que se producen entre distintas metodologías de evaluación.

## **7.2 Recomendaciones**

Con respecto a este informe se recomienda lo siguiente:

- Perfeccionar la información con respecto a las fuentes contaminantes del sector: Para esto es necesario catastrar los predios agrícolas del sector, de manera de conocer mejor el tipo de cultivos, los métodos de riego y la aplicación de fertilizantes. Además hay que verificar la condición de saneamiento de los sectores poblados tanto urbanos como rurales.
- Perfeccionar la información de los sectores industriales: Para esto sería necesario catastrar las empresas que ya están en funcionamiento y las que lo estarán en un futuro próximo, de modo de conocer sus procesos industriales y si están realizando tratamiento a sus RILes.
- Aumentar la cantidad de información utilizada en los mapas de vulnerabilidad: Para esto habría que incorporar nuevos pozos con información estratigráfica y de medición de profundidad del acuífero, o utilizar información de empresas u organismos privados.
- Establecer una red de monitoreo de aguas subterráneas para tener información más actualizada de la calidad del agua del sector: La DGA actualmente sólo posee información de un pozo en toda la comuna, lo que no permite realizar análisis adecuados.
- Perfeccionar las mediciones pluviométricas de la comuna: Actualmente no existen estaciones de medición pluviométrica que posean información pública en el sector, lo cual limita mucho los análisis que se pueden hacerse con respecto a las precipitaciones. El perfeccionar las mediciones favorecería futuros proyectos y análisis con respecto a las aguas del sector, tanto superficiales como subterráneas.

Con respecto a lo que el municipio podría realizar, se recomienda lo siguiente:

- Para controlar la contaminación difusa en el sector es importante contar con información actualizada de las actividades agrícolas y de los sistemas de tratamiento de aguas servidas urbanos y rurales. De esta manera es más fácil analizar dónde y quiénes intervienen en la contaminación y de esta manera las medidas pueden ser más eficientes
- Con respecto a la agricultura, la medida más adecuada para evitar la contaminación difusa es la educación de los propietarios y trabajadores de los predios. De esta manera se incentiva el uso de sistemas más eficientes de riego y de aplicación de nutrientes. Para lograr esto, podrían crearse talleres de formación donde un profesional enseñe las formas eficientes y menos contaminantes de trabajar un predio. Posteriormente, un profesional debiera monitorear que las medidas que tomen los agricultores en sus predios estén siendo llevadas a cabo en forma adecuada.
- Con respecto a la contaminación debido a la ausencia de alcantarillado, lo más importante es aumentar la red de alcantarillado, lo cual claramente es parte de lo que está proyectado en la comuna. Frente a esto, la única medida concreta que se puede tomar es verificar que en las áreas donde no habrá alcantarillado (zonas rurales), los sistemas de saneamiento in-situ sean mantenidos y limpiados regularmente. Para esto es importante educar a los usuarios de los tiempos de limpieza y mantención de estos sistemas.
- Para que la inversión de recursos sea lo más eficiente posible, se recomienda utilizar mediciones de calidad de aguas subterráneas junto a los mapas de vulnerabilidad de contaminación difusa, ya que de esta manera se puede realizar una mejor evaluación del estado de la contaminación en aguas subterráneas en un sector.

## 8- REFERENCIAS

Ayala y Cabrera. *Modelo de simulación hidrológico operacional de las cuencas de los ríos Maipo y Mapocho*. Estudio realizado para la Dirección General de Aguas. Santiago. 2002

Ayala y Cabrera. *Análisis de contaminación de aguas subterráneas en la Región Metropolitana, por aguas servidas*. Estudio realizado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago.1999

Bonilla et al. *Contaminación de los recursos hídricos en la zona central de Chile*. Publicación de las VI Jornadas del CONAPHI-Chile. Santiago.1999.

Chile Sustentable. *Recursos Hídricos en Chile: Desafíos para la sustentabilidad*. Santiago. 2004.

Dirección general de aguas. *Balance hídrico de Chile*. 1987.

Dirección general de aguas. *Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de acuíferos establecido en la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas*. Santiago. 2004.

Environmental Protection Agency. *National Water Quality Inventory: Report to Congress, 2004 Reporting Cycle*. 2009.

Foster et al. *Groundwater quality protection: A guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies*. Publicación del Banco Mundial. Washington, D.C., USA, 2002.

Foster et al. *Caracterización de sistemas de aguas subterráneas*. Publicación del banco mundial. 2002-2006.

Hostettler y Perelra. *Nonpoint source contamination of the Mississippi river and its tributaries. EEUU, California*.1993.

Marín Galván Rafael. *Química, microbiología, tratamiento y control analítico de las aguas: Una introducción al tema*. Servicio de publicación de la universidad de Córdoba. España, Córdoba. 1996

Ministerio de Secretaria General de la Presidencia. *Decreto supremo 46: Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas*. 2002.

Municipalidad de Colina. *Plan de desarrollo comunal 2009-2012*.

Municipalidad de Colina. *Estudio de riesgos*.

Orrego. *El estado de las aguas terrestres en Chile: Cursos y aguas subterráneas*. Publicación de la fundación Terram. Santiago. 2002.

Salazar Carlos. *Situación de los recursos hídricos en Chile*. 2003

URBE Arquitectos. *Memoria Plan regulador comunal de la comuna de Colina*. Estudio realizado para la Municipalidad del Colina. 2008.

World Bank. *Water Resources and Environment: Technical Note D.3, Water Quality: Nonpoint-Source Pollution*. Editado por Davis, R., Hirji, R. Washington, D.C., USA, 2003.