

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ingeniería Ingeniería Civil



ACUIFERO PATIÑO. Evolución Histórica de los conocimientos, revisión y continuidad de un aspecto importante. Su difusión e incidencia en la población del área de influencia.

**Iván Andrés Lampert Soler
Francisco José Santacruz Monti
José Mariano Quevedo Aguadé**

San Lorenzo

2009

Agradecimientos

A la **Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción** la cual nos brindó excelencia académica en la formación profesional, a los profesores y funcionarios que de manera directa o indirecta influyeron en nuestro paso por esta prestigiosa institución.

A nuestros asesores:

Lic. Félix Villar

Ing. Alejandro Blanco

Ing. Luís Segovia

A nuestro director de carrera:

Ing. Carlos Montero

A ESSAP por los análisis químicos:

Ing. Ricardo Sitjar

Dra. Gladis Alcaraz

Dra. Maria Eugenia de Ruiz

Dra. Maria Teresa Blanco de Rivarola

Dra. Rosario de Lenguaza

Dr. Anuncio Martino

Lic. Gloria González

A SENASA

Jhony Grommeck

A LA DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICAS, ENCUESTAS Y CENSOS

Lic. Norma Medina

Así como también a:

Lic. Félix Carvallo

Lic. Juan Ríos Otero

Especialmente, con cariño y amor, agradecemos:

A nuestras familias

Alfredo y Fátima; Bubi, Naty, Martín, Seba y Mauri

Roberto y Iaia; Paci, Gonzi, Tata y Lisandro

José y Fini; Montse, Guada, Juanjo, Chichi, Bebecho, Claudio, Carlitos y Nicole

A Cinthia Ventre

A Laura Godoy

A Lali Riego

A nuestros compañeros de facultad

A nuestros compañeros del Athletic

y a **DIOS**

¡MUCHAS GRACIAS!

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo 1 – Consideraciones Preliminares	9
Introducción	10
Planteamiento y Formulaciones	12
Objetivos Generales	13
Objetivos Específicos	13
Justificación	13
Delimitación y Alcance	14
Capítulo 2 – Marco Teórico	16
2.1 El Agua	17
Generalidades	17
Distribución	18
El agua en la vida diaria	21
Uso del agua en el Paraguay y en el área de la cuenca del Patiño	22
Contaminación del agua	26
2.2 Aguas Subterráneas	28
Historia de las ideas acerca del origen de las aguas subterráneas	28
Las ideas de Bernard Palissy	37
Los precursores de la ciencia hidrogeológica	41
Generalidades sobre las aguas subterráneas	44
Aguas Subterráneas y Aguas Superficiales	46
La contaminación y el sobre uso	47
Propiedades de las Aguas Subterráneas	50
Dinámica de las Aguas Subterráneas	54
Factores de movimiento de las Aguas Subterráneas	61
Clasificación de los espacios vacíos preexistentes en las rocas	65

**ACUÍFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

2.3 Acuíferos	67
Generalidades	67
Tipos de Acuíferos	69
Acuíferos Regionales	73
Acuífero Guaraní	78
Acuíferos del Paraguay	82
2.4 Acuífero Patiño	91
Características generales	91
Población y uso de las tierras	95
Régimen hídrico subterráneo	97
2.5 Calidad del Agua	100
Composición química de las aguas naturales	100
Conductividad Eléctrica	101
pH	104
Sólidos Totales Disueltos	106
Cloruros	109
Sulfatos	113
Nitratos	116
Coliformes Totales y Fecales	122
2.6 Pozos Profundos	126
Generalidades	126
Objeto de perforaciones profundas	129
Sistema de perforación de pozos	130
Sistema de perforación a percusión	131
Sistema de perforación a rotación	132
Sistema de perforación a rotopercusión	134
Elección del equipo de perforación	135

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

2.7 Recolección de datos	137
Introducción	137
Técnicas para hallar datos	137
Entrevista	137
Cuestionario	138
Observación	139
Encuesta	140
Muestreo	143
Métodos de muestreo probabilísticas	144
Métodos de muestreo no probabilísticas	149
Tamaño de la Muestra	151
Capítulo 3 – Marco Conceptual	154
Capítulo 4 – Desarrollo	169
4.1 Metodología	170
4.2 Análisis de estudios técnicos previos	172
Cronología de los conocimientos del Acuífero Patiño	172
Fuentes de información	172
Estratigrafía	177
Naturaleza del Acuífero	178
Clima	180
Hidrología	182
Recarga y descarga de las aguas subterráneas	183
Extracción de las aguas subterráneas	184
Calidad de las aguas subterráneas del Acuífero Patiño	186
Proyecto Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA (FEHS)	189
Tesis Final de Grado – “Estudio de la Contaminación del Acuífero Patiño” - Sergio Cardozo López, Claudia Crosa Rivarola (2006)	202
Estudio de políticas y manejo ambiental de aguas subterráneas en el área metropolitana de Asunción” CKC-JNS	209

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

4.3 Profundización de los estudios	227
Justificación	227
Trabajos previos a las salidas de campo	232
Trabajos de campo y laboratorio	240
Elaboración de base de datos	247
Procesamiento de datos	251
Análisis Longitudinal	253
Análisis Transversal	351
Síntesis de los análisis	392
4.4 Estudio y evaluación del conocimiento de la población sobre el Acuífero Patino	404
Descripción del lugar de estudio	404
Diseño del estudio	406
Tamaño de la muestra	408
Cuestionario	410
Salida de campo	424
Procesamiento de los datos	427
4.5 Marco Jurídico e Institucional del Recurso	439
Marco Jurídico	439
Marco Jurídico Global	439
Marco Jurídico detallado	443
Principios de derecho ambiental	452
Análisis del Marco Jurídico	454
Compromisos internacionales y legislación nacional	456
Marco Institucional	457
Análisis de la gestión institucional	457

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Capítulo 5 – Conclusiones y Recomendaciones	460
Conclusiones	461
Recomendaciones	467
Capítulo 6 – Bibliografía	472
Capítulo 7 – Anexos	476

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Principales Reservas hídricas	20
Tabla 2.2	Consumo industrial de las aguas en el Acuífero Patiño	24
Tabla 2.3	Consumo agrícola de las aguas en el Acuífero Patiño	25
Tabla 2.4	Caudales de retorno	25
Tabla 2.5	Guía de avance de la perforación según la formación rocosa	136
Tabla 2.6	Comportamiento de los sistemas de perforación en la Región Oriental del Paraguay	136
Tabla 2.7	Ventajas y desventajas de los tipos de muestreos Probabilísticas	148
Tabla 4.1	Formaciones de Acuíferos	179
Tabla 4.2	Pozos sobre el Acuífero Patiño	212
Tabla 4.3	Balance hídrico integrado año 2005	217
Tabla 4.4	Proyecciones del balance hídrico integrado hasta el año 2035	218
Tabla 4.5	Base de datos inicial	236
Tabla 4.6	Conductividad 1995/2009	257
Tabla 4.7	pH 1995/2009	274
Tabla 4.8	Cloruros 1995/2009	279
Tabla 4.9	Sulfatos 1995/2009	284
Tabla 4.10	Nitratos 1995/2009	289
Tabla 4.11	Conductividad 2000/2006/2009	299
Tabla 4.12	pH 2000/2006/2009	308
Tabla 4.13	Nitratos 2000/2006/2009	312
Tabla 4.14	Coliformes Totales 2000/2006/2009	319
Tabla 4.15	Coliformes Fecales 2000/2006/2009	323
Tabla 4.16	Cloruros 2000/2009	327
Tabla 4.17	Sulfatos 2000/2009	332
Tabla 4.18	Conductividad 2007/2009	339
Tabla 4.19	Sólidos Totales Disueltos 2007/2009	344
Tabla 4.20	Resultados de Análisis de laboratorio TFG 2009	352
Tabla 4.21	CE/Cloruros	380

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tabla 4.22	CE/Sulfatos	381
Tabla 4.23	CE/Nitratos	382
Tabla 4.24	Cloruros/Sulfatos	383
Tabla 4.25	Nitratos/Cloruros	384
Tabla 4.26	Nitratos/Sulfatos	385
Tabla 4.27	Nitratos/Coliformes Totales	386
Tabla 4.28	Nitratos/Coliformes Fecales	386
Tabla 4.29	Coliformes Totales/Coliformes Fecales	387
Tabla 4.30	Proyección de la población sobre el Acuífero Patiño	405
Tabla 4.31	Porcentaje de la población viviendo sobre el Acuífero Patiño	413
Tabla 4.32	Distribución de personas a encuestar por distrito	414
Tabla 4.33	Numero de personas a encuestar por distrito	423
Tabla 4.34	Principios de Derecho Ambiental	453

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1

Resultados de Laboratorio (ESSAP).

Anexo 2

Fichas de los pozos muestreados.

Anexo 3

Resultados de la encuesta.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Consideraciones Preliminares

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Introducción

El enorme potencial del sector hídrico en el país no dejará de ser una mera ventaja comparativa hasta tanto no adecue sus instituciones, su marco jurídico y de políticas. Con ellos las ventajas comparativas podrán convertirse, efectivamente, en ventajas competitivas, de manera que los recursos hídricos sean los más poderosos impulsores del desarrollo humano en el Paraguay.

La proyección prevista para el uso del agua subterránea en el país indica que su utilización será cada vez mayor. El bajo costo, la accesibilidad y la - en general - buena calidad son razones de peso para pensar que en el futuro será la solución para aumentar la cobertura del agua potable y cubrir las necesidades de la industria y riego. De igual modo las irregularidades en el régimen de lluvias y la - cada vez mayor - necesidad de aumentar la producción agrícola (como de hecho se manifiesta con la construcción de pozos tubulares profundos de gran rendimiento en el Departamento de San Pedro para riego de soja – pozos que bombean caudales mayores de 100 m³/h durante las 24 horas del día) serán motivos para apelar a las aguas subterráneas como solución a la problemática.

Los hechos mencionados conducen a la formulación de dos posibles escenarios para el futuro:

El primero relacionado a la situación actual de las aguas en general y las subterráneas en particular. En las condiciones en la que actualmente se está desarrollado el uso de las aguas indefectiblemente desembocará en el deterioro de la calidad y una brusca reducción en los caudales utilizables

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

poniendo en riesgo los volúmenes necesarios para el abastecimiento público y los caudales ecológicos.

El segundo escenario plantea un ordenamiento en el uso basado en: la gestión integrada, control eficiente por parte del estado, y el conocimiento acabado de las aguas subterráneas producto de estudios sistemáticos de las mismas a fin de controlar la relación oferta - demanda, vulnerabilidad y riesgos, fortalezas y debilidades. Las posibilidades de obtener este escenario pasa por la necesidad de establecer reglas claras plasmadas en instrumentos legales, basado en principios universales, e instrumentalizada en una política de Estado relacionada a los recursos hídricos.

La sociedad tiene una deuda pendiente con referencia a su participación solidaria en los grandes eventos de decisiones que involucra aspectos fundamentales de su bienestar o mejor, en el caso del agua, su propia existencia. Sin embargo, es posible que una opinión pública en etapa de gestación, con espíritu crítico, logre la necesaria consolidación para tener el protagonismo necesario en las decisiones más relevantes de su existencia.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Planteamiento y formulación

Existen una gran cantidad de estudios técnicos que hacen relación al Acuífero Patiño, que han sido realizados en etapas, con enfoques y por autores distintos, pero que sin embargo, hasta ahora no se han podido aglomerar para formar un conocimiento centralizado sobre el recurso, de manera a lograr su preservación y uso sustentable.

El desinterés de la población por el conocimiento de las aguas subterráneas y las posibles deficiencias en los métodos de difusión de la información, han llevado a que los estudios realizados no hayan podido cumplir con sus objetivos de servir a la comunidad.

Estos problemas se suman a la explotación incontrolada del mismo, a la gran cantidad de pozos sin registro y el alcance limitado del alcantarillado sanitario, poniendo de esta manera en riesgo la conservación del recurso y la biodiversidad.

Lo cual nos lleva a hacernos las siguientes preguntas:

¿ Es necesaria una cronología de la evolución de los conocimientos sobre el Acuífero Patiño?

¿ Qué conocimientos posee la población acerca del Acuífero Patiño ¿

¿ Existen las condiciones jurídicas e institucionales para proteger el acuífero y la biodiversidad ¿

¿ Existen áreas en el Acuífero Patiño que presentan condiciones poco favorables desde el punto de vista hidrogeológico ?

**ACUÍFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Objetivos

Generales

Realizar un estudio para determinar la evolución histórica del conocimiento del Acuífero Patiño, mediante los análisis de los estudios técnicos desarrollados sobre el recurso y sus aportes de relevancia.

Específicos

- Determinar los puntos en los que los estudios técnicos presentan carencia o que la profundidad de los mismos sea limitada y dar continuidad a uno de estos puntos de acuerdo a su importancia.
- Determinar el nivel de conocimientos sobre el Acuífero Patiño, de la población que se encuentra dentro del área de influencia del recurso.
- Evaluar el conocimiento de la población en relación a la influencia de sus actos sobre el recurso, y determinar actitudes de la gente con referencia a posibles emprendimientos de carácter sanitario.
- Determinar el marco Jurídico e Institucional actual referente a las aguas subterráneas, en la República del Paraguay. Evolución histórica.

Justificación

Con este estudio se pretende lograr una concienciación en la población sobre el estado actual en que se encuentra el Acuífero Patiño mediante un ordenamiento cronológico de todos los estudios técnicos realizados sobre el recurso.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

La naturaleza frágil del recurso, hace que mientras la población siga desconociendo los riesgos que corren las fuentes de agua subterránea ante la explotación incontrolada y la contaminación indiscriminada, cualquier esfuerzo realizado para la conservación del mismo será desaprovechado y los estudios realizados no podrán ser capitalizados de manera eficiente.

La información reunida permitirá reconocer el marco jurídico e institucional que trata de la protección del agua subterránea, y las condiciones actuales de explotación, ya que el uso incontrolado del recurso pone en riesgo el uso permanente del agua.

Por todo esto, el presente trabajo de investigación puede ser un importante aporte para lograr la conservación del Acuífero Patiño y su biodiversidad, utilizando de forma sostenible el potencial de agua dulce disponible en el área.

Delimitación y Alcance

El presente trabajo está delimitado dentro del sector denominado Acuífero Patiño y abarca una zona de 1173 km² de extensión entre latitudes 25°05' y 25°38' S y longitudes 57°08' y 57°41' W, incluyendo a la ciudad de Asunción, la parte norte del Departamento Central y una pequeña parte del Departamento de Paraguarí.

El área de interés está relacionada con las zonas urbanas y rurales del sector de referencia y su entorno. En efecto, todas las observaciones están encuadradas dentro de las teorías de la probabilidad y la estadística, en la creencia de que los fenómenos sociales y educacionales que están impactando

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

sobre la muestra se generalizan para toda la población que vive sobre el acuífero.

De este modo, nuestro trabajo quiere llegar a ser una luz de advertencia sobre el nivel de conocimiento de la población que vive sobre el Acuífero Patiño en lo referente al recurso, y sobre el riesgo que corre el mismo a partir de dicho fenómeno.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Marco Teórico

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

2.1 - EL AGUA

Generalidades

El agua es una sustancia química formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Su fórmula molecular es H₂O.

Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

Se halla en forma líquida en los mares, ríos, lagos y océanos. En forma sólida, nieve o hielo, en los casquetes polares, en las cumbres de las montañas y en los lugares de la Tierra donde la temperatura es inferior a cero grados Celsius. Y en forma gaseosa se halla formando parte de la atmósfera terrestre como vapor de agua.

Es fundamental para todas las formas de vida conocidas. Los humanos consumen agua potable. Los recursos naturales se han vuelto escasos con la creciente población mundial y su disposición en varias regiones habitadas es la preocupación de muchas organizaciones gubernamentales.

El agua no tiene olor, ni sabor, Estas son las propiedades organolépticas, es decir, las que se perciben con los órganos de los sentidos del ser humano, mas sí tiene un ligero color azul, que se puede notar sólo en grandes cantidades, como en el mar.

Es el líquido que más sustancias disuelve, por eso decimos que es el disolvente universal. Esta propiedad, tal vez la más importante para la vida, se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias que pueden presentar grupos polares o con carga iónica (alcoholes, azúcares

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

con grupos R-OH, aminoácidos y proteínas con grupos que presentan cargas + y - , lo que da lugar a disoluciones moleculares). También las moléculas de agua pueden disolver a sustancias salinas que se disocian formando disoluciones iónicas.

Los puentes de hidrógeno mantienen las moléculas de agua fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incompresible. Al no poder comprimirse puede funcionar en algunos animales como un esqueleto hidrostático, como ocurre en algunos gusanos perforadores capaces de agujerear la roca mediante la presión generada por sus líquidos internos.

Es uno de las pocas sustancias que se expande al enfriarse. Esto se debe a que, al congelarse, sus moléculas se organizan en una estructura hexagonal, dejando más espacios vacíos entre ellas que en el agua líquida. Esta estructura de los cristales del hielo también es responsable de las peculiares formas hexagonales de los copos de nieve.

Distribución

El agua del planeta está principalmente almacenada en los océanos (97.39%) y en los inlandsis, glaciares y banquisas (2.01%). Un porcentaje importante está contenido en las formaciones geológicas (0.54%). El remanente (0.06%) está constituido por aguas superficiales, que en una gran proporción (más de la mitad) son saladas y por lo tanto no potables. En los hechos, el agua dulce directamente disponible para el uso humano constituye

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

menos de 0.02% de la hidrósfera. De esa cantidad, 95% está almacenada en los lagos, quedando solamente 0.001% para todos los ríos y arroyos.

A pesar de su aparente escasez, el volumen de agua potencialmente utilizable para el consumo sería más que suficiente para satisfacer todas las necesidades sociales actuales y las del futuro cercano.

Cada año, caen 496 mil km³ de agua sobre la superficie de la tierra. Esto representa alrededor de 100 mil m³ por persona y por año. Si las precipitaciones se distribuyeran homogéneamente en todo el planeta, su altura anual sería de 973 milímetros. Sólo 25% de este total cae en los continentes. A pesar de recibir precipitaciones medias anuales de apenas 696 mm, el continente asiático recoge la mayor parte (28%) del total de agua continental. América del Sur con menos de la mitad del área asiática recibe 25% debido a sus elevadas precipitaciones (1,464 mm por año). El promedio africano es similar al de Asia y el norteamericano ligeramente inferior (645 mm por año).

Asumiendo que el volumen de agua almacenado en los acuíferos se mantuviera estable, se puede estimar el agua evaporada a partir de los continentes en un 84% del total precipitado en África, 67% en Australia y 62% en América del Norte. En Asia y América del Sur las pérdidas por evaporación representan el 60% del agua caída; y en Europa, 57%. Solamente en la Antártica la tasa es considerablemente menor (17%).

Aún limitando nuestros cálculos a las precipitaciones continentales (y restando el volumen evaporado que es aproximadamente un 60%) habría más de 80 mil m³ de agua anuales disponibles para el consumo de cada persona en el planeta.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Las necesidades per cápita varían con las zonas consideradas, pero generalmente son inferiores a 1 m³ por día y por persona, o sea unos 200–350 m³ por año.¹

Tabla 2.1 – Principales Reservas hídricas

Principales Reservas Hídricas			
	Volumen (1.000 Km³)	% del total de agua	% del total de agua dulce
Agua salada			
Océanos	1.338.000	96.54	
Aguas subterráneas salinas/salobres	12.870	0.93	
Lagos de agua salada	85	0.006	
Aguas Continentales			
Glaciares, cubierta de nieve permanente	24.064	1.74	68.7
Agua dulce subterránea	10.530	0.76	30.06
Hielo del suelo, gelisuelo	300	0.022	0.86
Lagos de agua dulce	91	0.007	0.26
Humedad del suelo	16.5	0.001	0.05
Vapor de agua atmosférico	12.9	0.001	0.04
Pantanos, humedales*	11.5	0.001	0.03
Ríos	2.12	0.0002	0.006
Incorporados en la biota*	1.12	0.0001	0.003
Total de agua	1.386.000	100	
Total de agua dulce	35.029		100
* Los pantanos, humedales y el agua incorporados en la biota son a menudo una mezcla de agua dulce y salada.			
Notas: es posible que los totales no muestren la suma exacta debido a redondeos.			

Fuente: GEO-3. PNUMA

¹ Rodolfo Molina-el agua-monografias.com

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El agua en la vida diaria

Todas las formas de vida conocidas dependen del agua. El agua es parte vital de muchos procesos metabólicos en el cuerpo. Cantidades significantes de agua son usadas durante la digestión de la comida. Sin embargo, algunas bacterias y semillas de plantas pueden entrar a un estado criptobiótico por un período de tiempo indefinido cuando se deshidratan, y vuelven a la vida cuando se devuelven a un ambiente húmedo.

Cerca del 72% de la masa libre de grasa del cuerpo humano está hecha de agua. Para su adecuado funcionamiento nuestro cuerpo requiere entre uno y tres litros de agua diarios para evitar la deshidratación, la cantidad precisa depende del nivel de actividad, temperatura, humedad y otros factores. El cuerpo pierde agua por medio de la orina y las heces, la transpiración y la exhalación del vapor de agua en nuestro aliento.

Los seres humanos requieren agua pobre en sales y otras impurezas. Entre las impurezas también se cuentan sustancias químicas o, en otro sentido, microorganismos perjudiciales. Algunos solutos son aceptables y hasta deseables para un sabor apropiado. El agua adecuada para beber se llama agua potable.

Debido al crecimiento de la población humana y otros factores, la disponibilidad del agua potable por persona está disminuyendo. Este problema podría resolverse obteniendo más agua, distribuyéndola mejor o desperdiciándola menos.

El agua es un recurso estratégico para muchos países. Se han peleado muchas guerras, como la Guerra de los seis días en el Medio Oriente, para

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

poder obtener un mejor acceso al agua. Se prevé más problemas de este tipo en el futuro por la creciente población humana, contaminación y calentamiento global.

El World Water Development Report (informe mundial del desarrollo del agua) de la UNESCO (2003) de su World Water Assessment Program (Programa mundial para la estimación del agua) indica que en los próximos 20 años, la cantidad de agua disponible para todos decrecerá en un 30%. El 40% de los habitantes del mundo actualmente no tiene la cantidad mínima necesaria para el mínimo aseo. Más de 2,2 millones de personas murieron en el año 2000 por enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada. En 2004 el programa de caridad enfocado al agua WaterAid del Reino Unido informó que un niño muere cada 15 segundos debido a las enfermedades relacionadas con el agua que podrían fácilmente evitarse.

Usos del Agua en el Paraguay y en el área de la cuenca del Patiño

Consumo Humano: El consumo humano de agua se obtiene como función de la cantidad de la población que es atendida por sistemas de abastecimiento, en este caso ESSAP, JUNTAS DE SANEAMIENTO Y AGUATERÍAS PRIVADAS. Igualmente se considera el margen de población que no es abastecida por alguno de éstos sistemas.

Según el mismo Plan de Gestión, el consumo de agua de la población paraguaya es de 228 litros por habitantes por día (l/p/d) y el consumo de agua superficial (proveniente de ESSAP principalmente) es: $882.795 \text{ hab.} \times 228 \text{ l/p/d} = 73,4 \text{ Hm}^3/\text{año}$.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Por otro lado, el consumo de agua subterránea del Acuífero Patiño (ESSAP, JUNTAS DE SANEMAMIENTO, AGUATERIAS) es 837.312 hab. X 228 l/p/d= 69,7 Hm³/año

Finalmente el consumo subterráneo sin ningún tipo de red es: 351.464 hab. X 150 l/p/d = 19,2 Hm³/año. Se asume un consumo menor a aquellos que cuentan con algún tipo de red.

El consumo humano total en el área de la cuenca del Patiño se obtiene con la suma de los tres tipos: Consumo de Agua Superficial + Consumo de Agua Subterránea + Consumo de Agua Subterránea sin redes. Esto totaliza 162,3 Hm³/año.

Consumo Industrial: El consumo industrial se obtiene a partir de estimaciones de volumen de agua utilizado para cada actividad industrial. Se ha relevado la cantidad y tipos de industrias existentes en la cuenca del Acuífero Patiño, encontrando que los lavaderos, conjuntamente con los frigoríficos son los mayores consumidores de agua del acuífero. Sin embargo, el consumo industrial, apenas representa el 6 % del consumo humano, lo cual indica que podrá haber una subvaloración por falta de registro.

En consecuencia y a efectos del balance se asume un valor anual superior al registrado de 10 Hm³ equivalente a 10.000.000 de m³/año.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tabla 2.2 – Consumo Industrial del agua en el Acuífero Patiño

Rubro	Indicador	Unidad	Prod. aprox. Diaria	Unidad	Consumo agua, m ³ / jornada	Consumo agua, m ³ / año
Frigoríficos	2	m ³ /cab faenada	3500	cab	7000	2184000
Mataderos	0,65	m ³ /cab faenada	1500	cab	975	304200
Lácteos	1,8	m ³ / m ³ leche	90	m ³	162	50544
Faenamamiento de aves	18	lt/ave	70000	aves	1260	393120
Recuperación polietileno	100	m ³ /t mat prima	31	t	3100	967200
Bebidas y gaseosas no alcohólicas	2,6	m ³ /m ³ producto	300	m ³	780	243360
Farmacéuticas	40	m ³ /establecimiento.	7	unidad	280	87360
Fabricación de papel kraft	1,68	m ³ /t papel	43	t	72,24	26006,4
Chacinados	1,8	m ³ /t	50	t	90	28080
Supermercados	12	m ³ /local	15	locales	180	64800
Lavaderos de vehículos	0,5	m ³ /vehículo	15000	vehículos	7500	2340000
Agua Mineral (Capam)						0
Hospitales, Ed. Alt y otros				m ³	1710	615600
TOTALES						6688670,4
						6,68 Hm³/año

Fuente: Estudio de Uso industrial del agua en el acuífero Patiño, Tesis de Maestría FC y T – UCA. Ing. Rocío Ramírez, 2006

Consumo Agrícola: Se ha obtenido información sobre tipo de cultivos y superficie cultivada en la Dirección de Estadísticas del MAG. La superficie total cultivada registrada en el área del Patiño es de 12.642 ha, menos del 11 % del área del acuífero, lo cual confirma que en la actividad agrícola es reducida, frente a otras zonas del país.

Asumiendo una subvaluación en el registro de tierras irrigadas, se adopta como consumo suplementario agrícola 10 Hm³/año

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tabla 2.3 – Consumo agrícola de las agua en el Acuífero Patiño

Item	Rubro	Superficie (ha)	Producción (Ton)	Ciclo del cultivo	Consumo en el ciclo (1)	
					mm	Hm3
1	Ajo	2.00				
2	Algodón	1850.00		160 días - 6 meses	700	12.95
3	Arroz con riego	540.00	1600	150 días 5 meses	700	3.78
4	Arveja	190.00	190			0
5	Batata	1100.00	7820			0
6	Caña de Azúcar	4230.00	200.000	365 días - 1 año	1500	63.45
7	Frutilla	120.00	1254			0
8	Locote	100.00	1800			0
9	Maíz	2180.00	2200	140 días - 4 meses	800	17.44
10	Poroto	1430.00	1000	120 días - 4 meses	500	7.15
11	Tomate	280.00	1360	140 días - 4 meses	600	1.68
12	Banano	100.00	700	1 año	1500	1.5
13	Limonero	100.00	1800	1 año	1200	1.2
14	Mandarina	260.00	1400	1 año	1200	3.12
15	Naranja	160.00	1460	1 año	1200	1.92
Total		12642.00			9900	114.19
					asumiendo f 1,3*	148.447
					** con F=1,5	222.6705

(1) IAN Mag
F= coeficiente de mayoración del consumo por sub registros
la superficie cultivada, 126,42 Km2, corresponde a menos del 11 % de la superficie total del Patiño.
* ajuste para cultivos sin datos del ciclo vegetativo
** Factor de subregistro = aumentar 50% = 1,5

Fuente: Estudio de Uso industrial del agua en el acuífero Patiño, Tesis de Maestría FC y T – UCA. Ing. Rocío Ramírez, 2006

Tabla 2.4 – Caudales de Retorno

ITEM	TIPO DE USO	% de retorno Valores anuales	Caudal de retorno Hm ³
1	Humano: a través de efluentes domésticos en alcantarilla y pozos absorbentes	70 % de 162,3 Hm ³ /año menos un % que, retorna al río, equivalente a 28 Hm ³ (*)	85,6
2	Agrícola	15% de caudal de riego 10 Hm ³	1,5
3	Industrial y servicios	65 % de 10 Hm ³	6,5
4	ANC de ESSAP	35 % del bombeo a la red 106 Hm ³	37,1
Total caudal de retorno			130,1

Fuente: INVESTIGACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO INTEGRADO DEL ACUIFERO PATIÑO.
Consortio: CKC-JNS.

Corresponde al porcentaje de agua residual de diferentes fuentes que ingresan al suelo.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Contaminación del agua

El estado natural del agua puede ser afectado por procesos naturales. Por ejemplo los suelos, las rocas, algunos insectos y excrementos de animales. La otra forma con la que se puede cambiar su estado natural, es artificialmente, o sea, por causas humanas. Por ejemplo sustancias que cambien el pH y la salinidad del agua, originadas por actividades mineras.

Algunas personas contaminan el agua porque no tienen desagües o no llegan los carros recolectores de basura, ya sea porque viven en zonas donde no hay red urbana de desagües o vehículos recolectores de basura, lo que les obliga a arrojar los desechos y aguas servidas a los ríos.

Otra causa son los nutrientes en exceso, que son fertilizantes vertidos en agua, y esto hace que crezcan algas en exceso, y así no entre luz al lago o laguna, y los peces mueran. Después, tenemos las sustancias tóxicas, que son por ejemplo los metales pesados, como el plomo y el cadmio, esto genera bioacumulación. Por último están los residuos urbanos, que vendrían siendo las aguas negras o aguas servidas, que contienen excrementos.

Potenciales Contaminantes del Acuífero Patiño:

- Efluentes domésticos
- Efluentes industriales: mataderos, industrias químicas, siderúrgicas y otras.
- Vertederos de basura

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Posibles soluciones para mejorar la disponibilidad del agua son producir más, distribuirla mejor y desperdiciarla menos. Hervirla y destilarla. Existen otras técnicas más avanzadas, como la ósmosis inversa.

La distribución del agua se lleva a cabo por medio de los sistemas de agua municipales o como agua embotellada. Algunos países tienen programas para distribuir el agua a los más necesitados libre de cargos.

Cabe también resaltar la preocupación cada vez mayor por sustentar mecanismos de medición del agua que se consume en los países en desarrollo con el fin de tener un mayor control sobre su consumo y sobre el transporte del elemento hacia los consumidores.

El agua es la misma molécula, tanto en el agua potable como en las aguas servidas. La diferencia está, y no es poca cosa, en las sustancias, orgánicas o inorgánicas disueltas y transportadas en suspensión por ésta. Por lo tanto, el agua puede ser en teoría, reutilizada infinitamente, y de hecho, en eso se basa justamente el "ciclo del agua". Por lo tanto, si el agua la devolviéramos a la naturaleza, en un estado de pureza suficiente para que los mecanismos naturales de depuración pudieran limpiarla, la disponibilidad del recurso hídrico mejoraría.

Desde un punto de vista político, el agua podría llegar a ser declarado un derecho humano, y algunos países como Uruguay o España han dado pasos en ese sentido al declararlo un bien colectivo o de dominio público.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

2.2 - AGUAS SUBTERRÁNEAS

Historia de las ideas acerca del origen de las aguas subterráneas

No hay que confundir la historia de la hidrogeología con la historia de los aprovechamientos de las aguas subterráneas, aunque es innegable que este segundo aspecto fue necesario para asistir al nacimiento de las primeras ideas racionales acerca del origen del agua subterránea y, de ésta, al nacimiento de la ciencia hidrogeológica.

Al igual que en todas las demás ciencias, también en hidrogeología es difícil establecer un criterio rígido para precisar los límites entre el conocimiento intuitivo y el reflexivo, es decir, para fijar el momento a partir del cual nació la ciencia.

Sabemos que en las regiones secas de China, ya dos mil años antes de la Era Cristiana, los alumbramientos de importantes caudales de aguas subterráneas permitieron en extensas regiones el desarrollo de una floreciente agricultura y la concentración de la población en grandes núcleos urbanos en zonas relativamente alejadas de los cursos de agua.

Sabemos también que los chinos utilizaron como sistema de captación tanto los llamados pozos abiertos, con o sin galerías, como los pozos perforados de pequeño diámetro. Con los primeros alcanzaban con relativa facilidad los 50 m. de profundidad, mientras que con los segundos (según referencias existentes) alcanzaban los 1200 m.² e incluso los 1500 m.³ Estos pozos profundos de pequeño diámetro no siempre fueron realizados para alumbrar aguas subterráneas, puesto que con ellos frecuentemente se

² BOWMAN (1911).- *Well drilling methods*. US Geol. Survey, Water Supply Paper 257, pp. 23-30.

³ TOLMAN, C.F. (1937).- *Ground Water*. McGraw-Hill. 593 pp.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

buscaban salmueras y gases. Ha sido necesario esperar hasta mediados del siglo XIX para volver a igualar las marcas de profundidad establecidas por las perforaciones de estos pueblos de la antigua China.

Sin embargo, a pesar de estas sorprendentes hazañas del pueblo antiguo chino, corresponden a persas y egipcios los trabajos de prospección de aguas subterráneas más colosales jamás realizados por el hombre, mediante la construcción de los verdaderamente sorprendentes "kanats".

Los "kanats" eran sistemas de largas galerías de infiltración que drenaban las rocas sedimentarias blandas, fáciles de excavar, y los extensos conos aluviales de los grandes sistemas fluviales, a lo largo de decenas de kilómetros, captando el agua subterránea tanto para fines agrícolas como para abastecimientos urbanos. Los "kanats" más antiguos son probablemente los del Irán, que fueron construidos hace más de 2500 años, Tolman cita en su libro un sistema de "kanats", construido en Egipto hacia el año 500 a.C., que permitía regar una extensión de tierra fértil de unas 470.000 Has., cifra que nos hace suponer que debía suministrar un volumen anual de unos 2.500 a 3.000 Hm³, es decir, un caudal permanente equivalente a unos 90 m³ /s.

Existen hoy en día todavía ejemplos similares de grandes obras de captación en diversos países de Sudamérica, cuya realización pertenece a la cultura inca.

De todas formas, a pesar del testimonio evidente de estas colosales obras de captación, muy poco sabemos acerca de los conocimientos hidrogeológicos de estos pueblos de la antigüedad. Es de suponer que si no poseyeron una ciencia hidrogeológica, probablemente hubo numerosas

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

personas ("científicos" o técnicos) que poseyeron un conocimiento un tanto reflexivo acerca de las condiciones geológicas generales de las aguas subterráneas, al mismo nivel, al menos, del que a veces encontramos hoy en día entre gentes del campo, constructores de pozos, totalmente ajenos a la hidrogeología científica, que conocen por una especie de sentido común especial las leyes elementales de la hidrogeología.

En todo caso, es necesario admitir que la experiencia práctica adquirida en la realización de tan colosales obras debió proporcionar a estos pueblos de la antigüedad, al menos, un cierto conocimiento instintivo acerca de las condiciones geológicas principales de las aguas subterráneas.

El concepto de **ciclo hidrológico**, que hoy día nos parece tan obvio, no fue sin embargo comprendido por los pueblos antiguos, según atestiguan sus escritos.

Desde los tiempos más remotos de la historia hasta los tiempos casi recientes (siglo XVIII), el origen del agua de los manantiales que alimenta a los ríos ha constituido un enigmático problema objeto de numerosas especulaciones y controversias.

Hasta finales del siglo XVII fue dogmáticamente aceptada la idea de que el agua que descargan los manantiales y la que drenan los cauces de los ríos no podía proceder de las precipitaciones atmosféricas; en primer lugar, porque las consideraron siempre cuantitativamente insuficientes y, en segundo lugar, porque se tuvo siempre también el concepto de que la superficie de la tierra era demasiado impermeable como para permitir una infiltración y percolación masivas, profundas, de las aguas de lluvia y demás aguas meteóricas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Admitidos estos dos postulados erróneos como lo fueron a lo largo de tantos siglos, los filósofos de las edades Antigua, Media y Moderna tuvieron que recurrir a su ingenio e imaginación para explicar el misterioso origen de las aguas subterráneas.

Los griegos sin embargo, abogaron por la existencia de una o varias enormes cavernas en el interior de la tierra, que unos supusieron inagotables y que otros imaginaron en permanente estado de recarga.

Estos últimos supusieron la existencia de un "ciclo hidrológico" en el cual el agua del mar, a través de una serie de conductos subterráneos, se introduciría en esas enormes cavernas, las cuales alimentarían el caudal de los manantiales y de los ríos y retornarían de nuevo al mar.

Así, Tales de Mileto (que vivió alrededor del año 650 a.C.), opinaba en sus escritos que los manantiales y los ríos eran alimentados por las aguas del océano, las cuales se introducían en las entrañas de la tierra y, bajo la acción de las presiones de las rocas, ascendían hasta la superficie, dando lugar a los manantiales.

Platón (427-347 a.C.), en su diálogo titulado "*Fedón*", describe cómo todas las aguas de la superficie de la tierra: mares, lagos, ríos y manantiales, proceden de una enorme caverna, llamada "Tartarus", a la cual todas las aguas libres de la superficie de la tierra vuelven tras haber recorrido diversos e intrincados caminos.

La idea de que las aguas de los ríos y manantiales proceden directamente del mar a través de una serie de canales y conductos subterráneos parece que fue admitida de manera axiomática y general desde

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

los primeros tiempos de la cultura griega hasta el siglo XVII, de tal suerte que durante este periodo toda la problemática acerca del origen de las aguas subterráneas quedó relegada a la explicación de los procesos por medio de los cuales el agua del mar podría perder su salinidad y ascender hasta las cotas de los manantiales.

Para explicar la desalinización se recurrió casi siempre a la idea de la destilación o de la infiltración. Para explicar la elevación del agua desde el mar hasta las cotas de los manantiales se recurrió a la intervención de diferentes procesos, entre los que los más destacados fueron:

- 1) la evaporación, ascensión del vapor y posterior condensación del agua subterránea procedente del mar, por efecto del calor interno de la tierra;
- 2) las presiones ejercidas por las rocas;
- 3) el efecto de succión del viento;
- 4) la presión ejercida sobre la superficie del mar por los vientos;
- 5) la acción del oleaje;
- 6) la acción capilar de las rocas, y
- 7) la curvatura de la superficie de la tierra, por la cual el mar estaría más alto que ciertos manantiales a los que transmitiría su carga hidráulica.

Aristóteles (384- 322 a.C.), discípulo de Platón, profundizó más que su maestro y que sus antepasados con su pensamiento racional en los procesos por los cuales el agua del mar podría llegar a perder su salinidad y aparecer en los manantiales, lo que le llevó a sospechar que el agua de los manantiales no debía proceder probablemente del mar sino de una emanación permanente en

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

forma de vapor procedente del interior de la tierra que al ascender a los niveles superiores se condensaría y, a través de una intrincada red de poros y conductos, alcanzaría la superficie del suelo dando lugar a los manantiales.⁴

En su tratado titulado "*Meteorologica*" (3), Aristóteles supone que probablemente las aguas de lluvia en parte se infiltran en el suelo, percolan a su través, pudiendo llegar incluso a jugar un cierto papel en la alimentación de los manantiales, (aunque insiste en que la mayor parte del agua subterránea debe proceder de la condensación de los vapores procedentes de la emanación interna de la tierra). En esta obra Aristóteles describe ya su idea de que el agua, por efecto de los rayos del sol, se convierte en "aire", el cual, cuando se enfría, se vuelve a convertir en agua y cae de nuevo a la tierra en forma de lluvia.

Sin embargo, en honor a estos grandes pensadores griegos, debemos hacer dos observaciones. En primer lugar, que el tema de las aguas subterráneas probablemente no constituyó más que una pequeña preocupación dentro del vasto campo de la problemática de la sabiduría de aquel entonces y que quizás nunca fue objeto de una dedicación comparable a la que concedieran a otros grandes temas de mayor trascendencia. En segundo lugar, que las observaciones que hicieron con respecto a las aguas subterráneas se referían fundamentalmente al agua de los grandes manantiales (cuya magnitud impresionó siempre a los griegos, ya que no pudieron suponer que procediesen de las aguas de lluvia), y no al agua de la mayoría de los pozos someros o próximos a los cauces de los ríos.

⁴ (ADAMS (1 y 2)) (p. 4. y pp. 426-431, respectivamente).

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

La mayor parte de los filósofos romanos siguieron en general a los griegos. En este sentido sabemos que Lucrecio y Plinio adoptaron (en el mismo sentido que Tales o Platón) la idea de que el agua del mar era la fuente directa primordial que alimentaba a los grandes manantiales.

Seneca⁵ (3 a.C. - 65 d.C.), comulgó, en cambio, con la idea de la condensación de Aristóteles.

Lucrecio, en el libro VI de su "*De Rerum Natura*"⁶ describe ya la idea de un ciclo hidrológico en la naturaleza en el que el agua se evapora desde la superficie de la tierra y del mar y a ellas torna en forma de precipitaciones. En el libro V, sin embargo, vemos que opinaba que el origen de las aguas subterráneas es el mar, desde donde caminan por el interior de la tierra hasta alcanzar los manantiales.

La cultura romana dio una gran importancia al valor del agua, como lo atestiguan las numerosas obras de captación, conducción y abastecimientos que construyeron, fruto de una depurada técnica.

A la cultura romana (o al menos a uno de sus pensadores) le cabe el honor de haber llegado, probablemente, a la primera concepción correcta acerca del ciclo hidrológico y del origen de todas las aguas subterráneas en general. Este pensador (arquitecto de profesión) fue Marco Vitruvio (s. I a.C.), que escribió un famoso tratado sobre arquitectura, en diez libros, que dedicó al Emperador Octavio Augusto. De acuerdo con la importancia que la cultura

⁵ SENECA.- *Las ciencias físicas en los tiempos de Nerón*

⁶ LUCRECIO CARO T...- *De rerum natura*.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

romana daba a los abastecimientos de agua, Vitruvio dedicó su octavo libro⁷ a este tema; en él escribe:

"Los árboles, que crecen en gran número sobre los montes, contribuyen a la acumulación de la nieve durante largas épocas, cuando ésta comienza su fusión empieza a infiltrarse lentamente bajo el suelo, **y es esta misma agua**, la infiltrada, la que, al llegar subterráneamente al pie de las montañas, da lugar a los manantiales".

Cita, además, en él, una lista de plantas "que sirven para indicar la presencia de agua en el suelo", y da algunos consejos a este respecto.

Plinio el Viejo (23-79 d.C.), célebre naturalista muerto en la erupción del Vesubio, cita también en sus escritos una serie de plantas y procedimientos de la época para buscar aguas subterráneas.

En el siglo VI, Casiodoro ofrece también en sus escritos una larga lista de plantas indicadoras de agua que él habla aprendido a través de un buscador profesional de aguas que había llegado a Roma procedente de un país árido de Africa "donde la gran aridez de los terrenos ha hecho posible el nacimiento de un cultivado arte de descubrir manantiales".

Tanto los escritos de Vitruvio como los de Plinio y Casiodoro citan numerosos procedimientos que existían en su época para buscar aguas subterráneas, tales como el color y la humedad de los suelos, las nieblas locales y el humedecimiento de las esponjas colocadas en pequeños hoyos excavados ex profeso sobre el terreno. Todo ello indica la existencia durante la

⁷ VITRUVIO, M.P. .- *Tratado de Arquitectura*. (Libro VIII)

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

época de la cultura romana de un afán generalizado para buscar aguas subterráneas.

Durante toda la Edad Media todos los filósofos e intérpretes de las Sagradas Escrituras (al igual que casi todos los filósofos de la antigua Grecia) pensaron que el agua de los manantiales tenía su origen en el mar.

La mayoría de los escritos de estos siglos que hacen referencia al origen del agua de los manantiales recurren al desarrollo de la idea de la existencia de un sistema de sumideros en el fondo del mar, a través de los cuales se infiltraría el agua hasta las entrañas de la tierra.

En este sentido, las interpretaciones dogmáticas que los Santos Padres dieron a algunos pasajes bíblicos fueron probablemente decisivas, puesto que prácticamente habría resultado herético durante esta época dudar de las teorías del agua subterránea procedente del mar.

De este modo las ideas erróneas del pensamiento griego se fueron arrastrando hasta finales del siglo XVII. En este sentido cabe excluir, por su claridad de pensamiento y visión adelantada, a Leonardo de Vinci⁸ y, sobre todo, a Bernard Palissy.

⁸ LEONARDO DA VINCI .- *Del moto e misura del acqua*. Publ. por F. Cardinali en: "Raccolta d'autori italiani che trattano del motto dell'acque" , Bologna, 1826, pp. 273-450.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Las ideas de Bernard Palissy

Bernard Palissy, calvinista francés nacido en Saintes, educado en un ambiente humilde y que no recibió nunca una educación académica, es uno de los precursores de la geología y de la hidrogeología.

Palissy fue un gran filósofo naturalista que desde muy joven mostró un vivo afán por observar la naturaleza. Sus teorías fueron todas, el fruto de sus propias observaciones. Como él mismo dice en sus escritos: "no he tenido nunca otros libros que el cielo y la tierra, cuyas páginas están abiertas a todos".

En Saintes, donde residió gran parte de su vida, abrazó la Reforma; perseguido y detenido por calvinista fue puesto en prisión en Burdeos, hasta que Catalina de Médicis lo liberó y condujo a Paris, donde en 1566 le encargó la decoración de los jardines del palacio de las Tullerías, en los que aún hoy día pueden admirarse sus bellas terracotas.

Sabemos que a partir de 1575 Palissy dio clases de Historia Natural y que cinco años más tarde, en 1580, publicó en francés (en la época todos los trabajos científicos y filosóficos se publicaban en latín) su majestuosa obra titulada "*Discours admirable de la Nature des Eaux et Fontaines*"⁹. Sus teorías acerca del origen del agua subterránea, que aparecen escritas en forma de un fascinante diálogo entre dos personajes: "Teoría" y "Práctica", han sido traducidas a varios idiomas.

En este estilo literario tan atrayente y sencillo se desarrolla el argumento de la obra, en la que la "Teoría" defiende, primero, la hipótesis tradicional del agua subterránea procedente del mar y, después, la de la condensación,

⁹ PALISSY, B. (1580).- *Discours admirable de la nature des eaux et fontaines*. Versión inglesa: Univ. Illinois Press, 1957.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

mientras que la "Práctica", con claros y válidos argumentos, muestra los absurdos de cada una de estas hipótesis, presentando hechos sencillos, pero convincentes, que demuestran a la "Teoría" que toda el agua de los manantiales y de los pozos procede, en efecto, de las lluvias.

En un lenguaje claro y directo explica la "Práctica" que el agua de lluvia empapa primero la superficie del suelo, luego se infiltra y percola en profundidad hasta tropezar con una roca impermeable, sobre la cual discurre hasta encontrar un desagüe y, finalmente, descarga, dando origen a los manantiales, desde los que, a través de los ríos, va a parar al mar.

Once años antes de esta publicación, en 1569, también en Francia, Jaques Besson¹⁰, profesor de matemáticas en Orleans, habla escrito un tratado titulado *"L'Art et Science de trouver les Eaux et Fontaines cachées sous terre"*, en el que expuso de manera menos didáctica, menos convincente y más teórica que Palissy, sus ideas acerca del origen de las aguas subterráneas. Su obra se acerca en su contenido más a la de Vitruvio, por su carácter intuitivo, que a la de Palissy, que estaba apoyada en una serie de observaciones concretas y en pruebas convincentes.

A pesar de las honrosas excepciones citadas, las ideas erróneas acerca del origen de las aguas subterráneas siguieron prevaleciendo hasta finales del siglo XVII.

Es así cómo nos explicamos que durante esta época, científicos tan influyentes como el famoso astrónomo alemán Johannes Kepler (1571-1630), el Padre Jesuita Atanasius Kircher (1602-1680) y el propio René Descartes

¹⁰ BESSON, J. (1569).- *L'art et science de trouver les eaux et fontaines cachées sous terre*. Orléans. P. Trepperel.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

(1596-1650), no solamente concedieran crédito a las teorías de los antiguos griegos sino que, además, las ilustraran y divulgaran con aportaciones suyas fruto de una fantasía inaudita en unos científicos de su categoría.

Así pues, Kepler, en sus escritos no supo decir más acerca del origen de las aguas subterráneas que comparar la tierra a un enorme animal que tragaba el agua del mar y la digería, siendo el agua dulce de los manantiales el producto final de su metabolismo.

Las ideas del Padre Jesuita Kircher, expuestas en su "*Mundus Subterraneum*", publicado en 1664¹¹, son también de una imaginación espectacular. Para Kircher los manantiales serían los desagües naturales de unos grandes sistemas de cavernas que existirían por debajo de todas las montañas de la tierra, las cuales conectarían con el mar por medio de enormes conductos subterráneos. Los grandes remolinos que se observan en algunas costas nórdicas fueron considerados por Kircher como la manifestación palpable del emplazamiento de las bocas de esos supuestos grandes conductos, tal como muestran los dibujos explicativos que acompañan a su obra, la cual conoció una gran divulgación debido a que llegó a constituir un tratado clásico de geología para los estudiantes de la época.

Descartes en sus "*Principios de la Filosofía*", escrito en 1644 en latín y traducido poco después al francés¹², decía, "Hay grandes cavidades llenas de agua por debajo de las montañas, donde el calor producido por la luz del sol eleva continuamente vapores, los cuales, no siendo otra cosa que diminutas partículas de agua separadas unas de otras y fuertemente agitadas, escapan a

¹¹ KIRCHER, A. (1664).- *Mundus Subterraneus*. Amstelodami, Apud. J. Janssonium et E. Weyerstraten

¹² DESCARTES, R. (1644).- *Principes de la Philosophie*. (cuarto libro). Amsterdam. Lovis Elsevier.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

través de los poros de la tierra y llegan hasta las más altas llanuras y montañas, se reagrupan en el interior de las fisuras que existen en la proximidad de su superficie, las rellenan y, cuando son recortadas por el terreno, originan los manantiales, los cuales discurren valle abajo, se reagrupan, forman los ríos y llegan hasta el mar. Ahora bien, a pesar de que por este procedimiento salga continuamente mucha agua de esas cavidades que existen por debajo de las montañas, nunca llegan a vaciarse; ello es debido a que existen numerosos conductos por los que el agua del mar llega hasta esas cavernas en la misma proporción que de ellas sale en dirección a los manantiales" .

Sin embargo, el Padre Jesuita Jean Francois, maestro de Descartes, escribió veintiún años después (en 1665) en su "*Arts des Fontaines et Science des Eaux*"¹³ que no estaba de acuerdo con su discípulo a pesar de la admiración que le profesaba: "... ni con todos aquellos que hacen venir el agua de los manantiales directamente del agua del mar la cual, según ellos, depositando su salinidad en el interior de la tierra vuelve a aparecer en la superficie, desde donde corre de nuevo al mar. Soy, en cambio, de la opinión de aquellos que hacen venir los manantiales de las aguas procedentes de los vapores formados sobre la tierra y sobre el mar, es decir, de las lluvias y de las nieves fundidas que penetran en la tierra, salen y, al salir, dan lugar a nuevos manantiales".

Con anterioridad a esta obra el Padre Jean Francois, en 1653, había publicado ya un famoso tratado de hidrología titulado "*La science des eaux que*

¹³ JEAN FRANCOIS, F.J. (1665).- *Art des fontaines et science des eaux*. Rennes. P.Hallaudays.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

*explique en quatre parties leur formation, communication, mouvement et mélanges*¹⁴, de considerable interés por su claridad de ideas.

Los precursores de la ciencia hidrogeológica

Los albores de la ciencia hidrogeológica (que nace parejamente a la hidrología, en tanto que ciencia del cielo hidrológico) hay que situarlos a finales del siglo XVII, asociados a las ideas y demostraciones cuantitativas de los franceses Pierre Perrault (1608-1680) y Edmé Mariotte (1620-1684), entre otros, y a las aportaciones científicas y experimentales del famoso astrónomo inglés Edmund Halley (1656-1742).

Las ideas que Vitruvio y Palissy habían desarrollado mil seiscientos y cien años antes, respectivamente, fueron plenamente confirmadas por Pierre Perrault mediante valiosas aportaciones experimentales, con las que vino de nuevo a remover el complicado problema del origen de las aguas subterráneas.

Perrault fue Cobrador General de Finanzas de la Generalía de Paris. Sus teorías acerca de las aguas subterráneas y del ciclo hidrológico aparecen recogidas en su obra "*De l'origine des Fontaines*", publicada en 1674; en ella se refleja claramente el pensamiento de Vitruvio y Palissy al respecto. Perrault recopiló los datos pluviométricos de tres años consecutivos de la cuenca alta del Sena (en la Borgoña) y, simultáneamente, realizó aforos periódicos en el río. Al final de este periodo, al calcular y comparar los valores de las aportaciones totales del río con los de las lluvias, encontró que éstas hablan

¹⁴ JEAN FRANCOIS, F.J. (1653).- *La science des eaux qui explique en quatre parties la formation, communication, mouvements et mélange*. Rennes. P.Hallaudays.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

sido seis veces superiores a aquéllas, con lo que quedaba derrocada la antigua teoría de que el agua de las lluvias era cuantitativamente insuficiente para justificar las aportaciones de los ríos.

Perrault, además, como puede hoy día comprobarse en uno de sus escritos (19), habló ya del carácter influente y efluente de los ríos y del papel de embalse regulador que juegan los terrenos impermeables próximos. En este sentido opinaba que el agua de las lluvias pasaría primeramente (y en su mayor parte) a engrosar directamente el caudal de los ríos, desde los que se infiltraría bajo sus cauces para formar las aguas subterráneas, las cuales volvían a salir en forma de manantiales o por medio de un lento rezume, alimentando los ríos en los períodos secos. Parece ser que él no creyó en la posibilidad de que el agua de lluvia alcanzase por sí sola directamente las partes profundas del suelo, sino a través de los cauces de los ríos con ocasión de las crecidas, dando por ello una explicación un tanto rebuscada al origen de los manantiales situados en cotas elevadas con respecto a los cauces.

Mariotte, contemporáneo de Perrault, repitió y confirmó el experimento de este último en un punto diferente de la cuenca del Sena, concretamente en el Pont Royal de Paris. Demostró, además, la existencia real de la infiltración profunda del agua de lluvia a través del terreno mediante una serie de experimentos convincentes. Demostró, en efecto, que el caudal de los numerosísimos manantiales que había estudiado oscilaba de acuerdo con las precipitaciones y con la extensión de su cuenca de recepción.

La obra de Mariotte se encuentra recogida en una publicación aparecida en 1685 (año siguiente al de su muerte). Las ideas que en dicha obra expone

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Mariotte son de una claridad meridiana, no ya sólo en lo que respecta a la infiltración profunda del agua sino también acerca del ciclo hidrológico en general. La descripción que hace del proceso que desencadena las lluvias y del hoy llamado fenómeno de coalescencia es perfectamente correcta.

En su obra rebate con cálculos matemáticos sencillos algunas de las más serias objeciones puestas por aquel entonces a la teoría de la infiltración, relativas al origen de los pequeños manantiales que a veces existen muy cerca de las cumbres de cerros y montañas; concretamente la demostración sencilla que hace acerca de la posibilidad de que los pequeños manantiales de la colina de Montmartre de Paris procedan de las infiltraciones del agua de lluvia, es realmente convincente. Las observaciones y experimentos de Halley acerca del índice de evaporación complementaron las ideas establecidas por Perrault y Mariotte, creando con ello el primer cuerpo de doctrina acerca del origen de las aguas subterráneas, de su desplazamiento, del caudal de los ríos y del ciclo hidrológico en general.

Después de Perrault y Mariotte aún quedaba la incógnita de cómo era posible que en la atmósfera hubiera tanta agua. Halley se interesó por el tema cuando se le empañaban las lentes de sus telescopios en la isla de Santa Elena. Con medidas en tanques de evaporación calculó que en una mañana de verano del Mediterráneo se evapora el triple del agua que recibe de los ríos, es decir: que el agua que se evapora de los océanos puede explicar sobradamente el caudal de los ríos. (*)

(*) Aspecto histórico y evolutivo de las ideas acerca de las aguas subterráneas desde los tiempos más remotos hasta el nacimiento de la Ciencia Hidrogeológica. F. J. Martínez Gil (1972)

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Generalidades sobre las Aguas Subterráneas

El agua subterránea es el agua que se encuentra entre las partículas del suelo y las rocas y entre las grietas del lecho rocoso. Debido a su disponibilidad y buena calidad, en general, el agua subterránea es usada ampliamente para uso doméstico y otros propósitos.

Fue considerada por mucho tiempo como una fuente inagotable, pero recientemente las circunstancias indican que el agua subterránea es muy vulnerable a la contaminación y a su desaparición. Se han encontrado contaminantes que amenazan a la salud de las personas en la mayoría de las reservas de agua subterránea de la región. Podría ser muy costoso el remover algunos de estos contaminantes, por lo cual el agua resulta virtualmente inservible por varios años. Debido a esta amenaza, es importante entender el proceso mediante el cual el agua subterránea se hace disponible para su uso y como las actividades humanas algunas veces ponen en peligro este recurso.

El agua subterránea es una parte integral del ciclo del agua. El ciclo empieza con la precipitación sobre la superficie. Los escurrimientos de la lluvia van directamente a los ríos, lagos y arroyos. Algo del agua que se filtra en la tierra es usada por las plantas para la transpiración. El agua restante, llamada agua de recarga, es llevada a través del suelo a la zona saturada, donde el agua llena todos los espacios entre los espacios entre las partículas del suelo y las rocas.

Lo más alto de la zona saturada es la capa o manto freático que, si la geología local no es complicada, es el nivel al cual el agua se mantiene en un pozo. El agua se mueve dentro de la zona saturada desde áreas donde la capa

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

de agua es alta hacia áreas donde ésta es baja, por lo que el agua subterránea se transforma en lagos, arroyos u océanos. Esta sale del subsuelo y forma el agua superficial, cuando esta agua se evapora a la atmósfera y se condensa, viene la precipitación completando el ciclo del agua.

El agua puede ser encontrada debajo de la tierra casi en cualquier sitio. Cerca del 97 % del agua dulce del mundo es agua subterránea. La calidad y cantidad del agua subterránea disponible varía de sitio a sitio. Las reservas mayores de agua subterránea son llamadas acuíferos.

Los acuíferos ocurren en dos tipos de formaciones geológicas. Las formaciones consolidadas son aquellas compuestas de rocas sólidas, donde el agua subterránea se encuentra en las grietas que estas poseen. La cantidad de agua en una formación consolidada depende de la cantidad de grietas que existen y del tamaño de estas. Por ejemplo, las formaciones calizas frecuentemente contienen cavernas con mucha agua en su interior.

Las formaciones no consolidadas están compuestas de arena, grava, piedras, tierra suelta o material de suelos. La cantidad de agua subterránea en una formación consolidada varía en dependencia de la compactación del material sólido y la finura de sus granos.

Las formaciones de arena, grava, y piedras generalmente producen acuíferos de gran capacidad, sin embargo, los suelos formados por partículas muy finas suelen tener bajas cantidades de agua.

El agua subterránea puede salir espontáneamente formando manantiales o puede ser extraída a través de un pozo. Un manantial ocurre cuando la capa de agua alcanza la superficie de la tierra.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Agua subterránea y Agua superficial

La mayoría de las personas está más familiarizada con el agua superficial que con el agua subterránea. Los depósitos de agua superficial como lagos, arroyos y mares pueden ser vistos en los alrededores, pero no así los depósitos de agua subterránea. Existen algunas diferencias entre el agua subterránea y el agua superficial que vale la pena mencionar. El agua subterránea usualmente se mueve mucho más lentamente que el agua superficial.

El agua en un arroyo puede moverse a varios metros por minuto, mientras que el agua subterránea puede moverse sólo a varios metros por mes. Esto es debido a que el agua subterránea encuentra una fricción o resistencia mayor al moverse a través de los espacios pequeños de las rocas y del suelo. Existen excepciones a esta regla, un ejemplo son los ríos subterráneos en cavernas de roca caliza donde el agua puede moverse relativamente más rápidamente.

Los intercambios de agua entre los depósitos de agua superficial y los acuíferos son importantes. Los ríos usualmente empiezan como pequeños arroyos y aumentan el caudal a medida que fluyen hacia el mar. El agua que ellos ganan frecuentemente viene del agua subterránea. Esta corriente se denomina corriente ganante. Es posible que las corrientes viertan agua al subsuelo en algunos puntos. En estos casos, los acuíferos son rellenados o recargados por agua de corrientes de pérdida. Un arroyo que fluye cerca de la superficie de un acuífero perderá agua hacia el acuífero si la superficie de agua del arroyo es más alta que la capa de agua del acuífero en la tierra adyacente.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

La contaminación y el sobreuso

El agua subterránea se contamina cuando algunas sustancias tóxicas se disuelven en el agua superficial y son acarreadas o lixiviadas a acuíferos con el agua percolada. Se deben considerar las propiedades y cantidades de las sustancias tóxicas y del suelo encima del acuífero para determinar si una sustancia en particular contaminará a un acuífero específico.

Algunas veces la contaminación del agua subterránea ocurre en forma natural, pero la contaminación aguda es usualmente el resultado de las actividades humanas en la superficie de la tierra. Un acuífero provee una gran cantidad de agua que frecuentemente atrae a una gran cantidad de personas en sus alrededores. El agua es usada en actividades tales como beber, higiene personal, mantenimiento residencial y con propósitos industriales o agrícolas. Muchas de estas actividades involucran el uso y desecho de productos químicos que son potencialmente contaminantes. Cuando estos productos químicos son usados o desechados en forma incorrecta y en cantidades inaceptables, pueden llegar al agua subterránea y contaminarla

Debido a que el agua subterránea se mueve lentamente, pueden pasar varios años antes de que un contaminante, liberado en la superficie de la tierra encima del acuífero, sea detectado en el agua del acuífero a cierta distancia del sitio de contaminación. Desafortunadamente, esto significa que la contaminación ocurre antes de que sea detectada. Aun si se ha detenido la liberación del contaminante, pueden pasar varios años antes de que el acuífero se purifique en forma natural.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Aunque el agua puede ser tratada para remover los contaminantes, esto puede ser muy costoso. La mejor protección contra la contaminación es la prevención.

El agua subterránea se agota en un área cuando se consume más agua de la que ingresa al acuífero. Esto causa que el manto freático disminuya, por lo que el agua subterránea se hace más difícil y cara de extraer. Puede suceder que se bombee una gran cantidad de agua de un acuífero pequeño y esto cause que el pozo del vecino se seque (el manto freático queda por debajo del nivel del pozo). La rápida expansión de las áreas urbanas resulta en el sobreuso de los suministros del agua subterránea y provoca su agotamiento y contaminación. En las áreas costeras, el sobrebombeo crónico puede causar la intrusión de agua salada. La intrusión de agua salada ocurre en las zonas costeras donde la extracción excesiva de agua dulce permite que el agua salada del mar se introduzca dentro del acuífero.

Muchas actividades humanas en la superficie de la tierra causan cambios en la calidad del acuífero. La importancia del efecto de una actividad en particular está relacionada con la habilidad del suelo y del sistema hídrico subterráneo de degradar o diluir los contaminantes así como del grado en que los contaminantes interfieran con el uso del agua. La contaminación es más aguda en las reservas de agua potable que en el agua para otros usos.

Todos los contaminantes del agua subterránea entran al acuífero, esencialmente, a través del agua de recarga de la superficie, con excepción de aquellos casos en que el agua contaminada es inyectada directamente en el acuífero. Algunos ejemplos de contaminantes son: productos químicos

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

orgánicos sintéticos, tales como pesticidas y productos del petróleo, ciertos metales pesados como el mercurio, arsénico, cadmio, cromo y plomo, nitratos, bacterias y virus, residuos del petróleo y productos de la combustión de los automóviles a lo largo de las calles y autopistas

Estos son considerados dañinos si se ingieren con el agua potable y pueden ser acarreados al agua superficial por el agua subterránea.

Cada actividad humana tiene un aspecto particular en el agua subterránea. Algunas actividades agrícolas llevan nitratos y pesticidas al agua subterránea. Las áreas residenciales con tanques sépticos usualmente adicionan nitratos, bacterias, virus y productos orgánicos sintéticos de limpieza usados en la limpieza casera y limpiadores de tanques sépticos. Las actividades industriales tienden a adicionar productos químicos orgánicos y metales en variadas cantidades. Las áreas de almacenamiento de gasolina (incluyendo las estaciones de servicio) pueden tener fugas y derramar los productos derivados del petróleo. Las carreteras contribuyen a la contaminación debido al petróleo que es derramado por los vehículos y a metales que salen del escape. El impacto mayor viene de los basureros antiguos cubiertos cuyas filtraciones pueden contener diferentes sustancias químicas en una concentración relativamente alta.

La protección contra la contaminación de nuestra agua subterránea requerirá un manejo conciente y la cooperación por parte de los ciudadanos y de varias instancias gubernamentales. En varios casos, la planificación del uso del suelo es la mejor medida disponible para proteger los acuíferos que aún contienen agua de buena calidad. Si se planifica la localización de fuentes

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

potenciales de contaminación y se les ubica lejos de las áreas críticas de recarga, el riesgo de contaminación se reducirá notablemente.

El uso cuidadoso y la eliminación apropiada de los productos químicos que causan contaminación son también necesarios. Las industrias, las granjas y los vecinos asentados encima de las reservas de aguas subterráneas necesitan practicar un buen manejo con respecto al uso y eliminación de productos químicos. Los reglamentos gubernamentales para el uso y eliminación de materiales tóxicos tienen que cumplirse.

Un paso igualmente importante es hacer que las personas estén concientes del impacto potencial que ellos pudieran tener en el agua subterránea.

Propiedades de las aguas subterráneas

Temperatura: Las aguas subterráneas gozan por lo general, de una constancia de temperatura que las aguas de circulación superficial no pueden poseer nunca, sometidas como están a evaporaciones, intercambios térmicos con el aire exterior y el terreno de superficie, radiación solar etc.

En las aguas de capas (porosidad primaria) tienen temperaturas que varían mucho con la extensión y penetración de la capa en el suelo.

Si no hay influencia térmica de aguas superficiales, un agua de capa que circule muy lentamente por un estrato impermeable situado a 100 m de profundidad poseerá una temperatura superior en dos o tres grados a otra que se encuentre en un terreno compacto situado solamente a 30 m abajo de la superficie, según la ley del gradiente geotérmico.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En promedio por cada dos grados de latitud que nos alejemos del ecuador la temperatura disminuye 1 °C y por cada 150 m, en altitud, la variación de la temperatura es de 1 °C.

En las aguas de fisuras anchas (calizas y sistemas de porosidad secundaria), por la alta permeabilidad de los sistemas, las aguas perdidas o abismadas imponen rápidamente su temperatura a las paredes de las galerías subterráneas por las que circulan. Saliendo al aire libre por las resurgencias estas aguas siguen por lo general las fluctuaciones térmicas observadas en el nivel de las aguas perdidas.

No ocurre lo mismo en el caso de las emergencias. El agua que circula por la superficie de las calizas penetra en pequeñas cantidades por una infinidad de fisuras cuya función térmica sobre el agua es importante.

La radiactividad: Otra característica es la radiactividad de las aguas subterráneas, fenómeno no exclusivo de las aguas termales. Es interesante agregar que no son tampoco las aguas de origen más profundo las que poseen siempre mayor radiactividad.

La conductividad eléctrica: Es variada según los intercambios químicos y aportes de agua exterior, e informa sobre su riqueza en electrolitos disueltos.

La turbidez y transparencia: Estas propiedades de las aguas de circulación varían en muchas ocasiones con su caudal. Las aguas de capas, contrariamente permanecen transparentes casi siempre por la filtración del sistema. Las de calizas presentan características intermedias entre las aguas

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

de circulación y las de capas, dependiendo de la evolución del terreno calcáreo.

Si el color es, por regla general, muy débil, salvo cuando están cargadas con sales de hierro, el sabor de unas aguas depende de las sales y de los gases en suspensión o solución. Y el olor de las no termales, resulta, por lo general, inoloro cuando son potables o fétido, similar al del hidrógeno sulfurado, cuando proceden de charcas por la descomposición de material orgánico.

Composición: Desde el punto de vista químico cada fuente tiene una composición que depende de la constitución de las zonas subterráneas atravesadas, y que le cede o con las que ha intercambiado sustancias.

Las sales alcalinas son muy frecuentes, el cloruro de sodio se encuentra casi siempre y en cantidad generalmente aceptable para la alimentación humana. Los sulfatos alcalinos son más raros. El carbonato de calcio, con el sulfato de calcio es el elemento mineral más importante de las aguas subterráneas.

La dureza del agua por la presencia de sales alcalino-terrosas, como las de calcio y magnesio, se modifica en las diferentes regiones.

Pero se puede distinguir acá la dureza temporal de la permanente, explicada la primera por la presencia de carbonatos y la segunda por sulfatos.

El hierro existe a menudo en las aguas subterráneas pero es inestable bajo la forma de bicarbonato ferroso. El manganeso sigue de cerca al hierro, eliminándose con menor facilidad.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El plomo y los nitritos o nitratos son bastantes infrecuentes, indican habitualmente contaminación.

Desde el punto de vista bacteriológico las aguas de resurgencia (fisuras) siempre son sospechosas en su aspecto biológico, las aguas de exsurgencias (fisuras) pueden ser buenas pero conviene vigilarlas siempre. Las aguas de pozos (capas) deben estar bajo vigilancia y las de fuentes (capas) resultan buenas por lo general.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Dinámica de las aguas subterráneas

El nivel freático no es una superficie plana ni horizontal, trata de seguir la forma del relieve aunque en forma mucho menos pronunciada.

Debido a ello el agua freática está muy comúnmente en movimiento; bajo el Nivel de Aguas Freáticas (NAF), en la zona de saturación, fluye el agua.

El flujo es laminar si la porosidad es primaria y las partículas de suelo resultan finas; en caso contrario puede llegar a ser turbulento. Se inicia el flujo donde el nivel freático es alto y su descarga se produce donde el NAF es bajo, generalmente por las vaguadas.

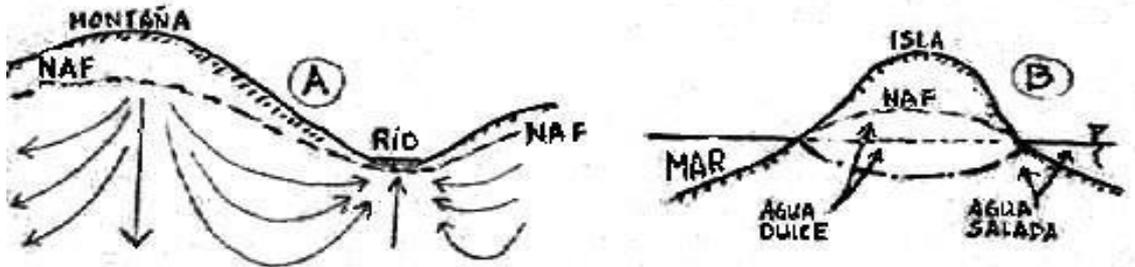


Figura 2.1 - Nivel freático regional: A. bajo una montaña, B. bajo una isla. Se ilustran con flechas el flujo del agua y en línea punteada el NAF.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El agua en el subsuelo y el nivel freático

Hay tres formas de encontrar el agua en el interior del suelo:

- Agua gravitacional
 - Agua freática
 - Agua no freática

- Agua retenida
 - Agua absorbida
 - Humedad de contacto
 - Agua capilar
 - Agua higroscópica
 - Vapor de agua en los poros

- Agua de constitución
 - agua de la estructura mineral.

El agua gravitacional: Se mueve por acción de la gravedad entre los poros e intersticios de los suelos, conformando los acuíferos. Una parte fluyendo en la zona de saturación y otra por encima de ella buscando la zona de saturación. Esta agua explica los manantiales o nacimientos de agua.

El nivel freático (NAF): En la fig. 02 A encontramos las zonas M y N separadas por el nivel de aguas freáticas (NAF); la parte superior M es la zona de aireación y la inferior N es la zona de saturación.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

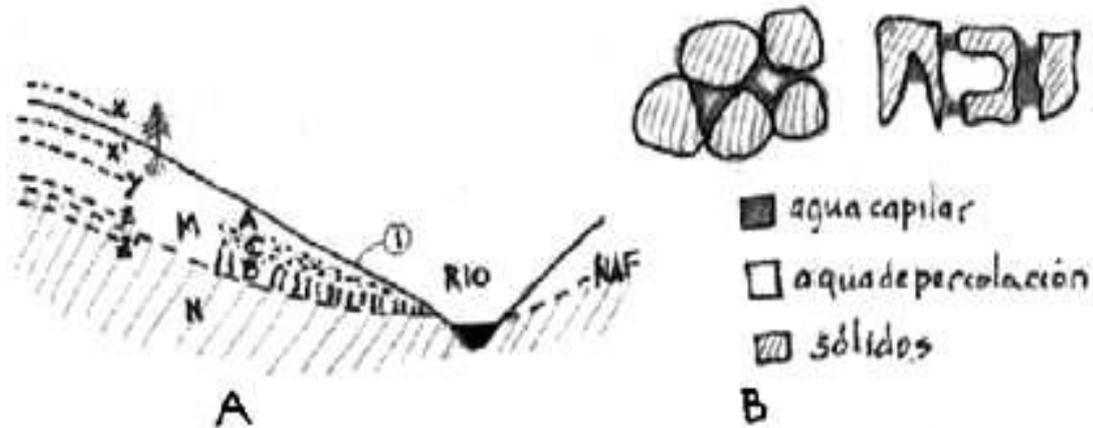


Figura 2.2 - Esquema del nivel freático (NAF). A. Capa freática, B. Distribución del agua. Adaptado de Leet y Judson, Geología Física.

La zona de aireación comprende, del NAF hacia arriba: la zona de fleco capilar B, la zona de goteo C y la llamada faja húmeda A, cuyo límite superior es la superficie del suelo (1), la región xx' es la zona de vegetación (follaje y raíz) y el límite de la zona de evaporación es la línea y que se extiende más abajo de la zona radicular. La zona zz a su vez muestra la variación del nivel de la capa freática.

El agua colgada o de goteo, es el agua infiltrada o de precipitación que se filtra por las capas permeables del suelo y alimenta el agua subterránea. Puede quedar como agua retenida por los poros capilares (agua capilar) o descender a través de los poros o vacíos no capilares (agua de percolación).

El agua retenida, es el agua que queda retenida por encima de la zona de saturación del suelo gracias a fuerzas que se oponen a la acción de la fuerza de la gravedad, como la tensión superficial y la adsorción, y que no puede ser drenada.

El agua absorbida es el agua de la masa de suelo, ligada a la manera de película sólida a las partículas de suelo por fuerzas físico-químicas, que tienen

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

propiedades físicas diferentes a las del agua absorbida a la misma temperatura y presión.

Las moléculas de agua que rodean una partícula coloidal se polarizan, atrayéndose iones H^+ . Así las propiedades físicas del agua cambian: la película de agua próxima a la partícula se comporta como un sólido, el agua un poco más alejada se muestra como un líquido viscoso y finalmente es agua libre.

El agua higroscópica es la que posee el suelo debido a la condensación del vapor de agua de la atmósfera sobre su superficie.

El agua de constitución: Agua de la estructura de los minerales en cantidad muy pequeña que no se puede eliminar secando el material a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. De ahí que las cerámicas hayan de ser fundidas a varios cientos de grados buscando un cambio fundamental no reversible en sus propiedades como la plasticidad.

Tensión superficial y capilaridad

Gran parte del agua retenida lo es por tensión superficial, que se presenta alrededor de los puntos de contacto entre las partículas sólidas o en los poros y conductos capilares del suelo, y que desempeña un papel muy importante en las formas de agua llamadas humedad de contacto y agua capilar.

Se llama tensión superficial a la propiedad que poseen las superficies de los líquidos, por la cual parecen estar cubiertos por una delgada membrana elástica en estado de tensión. El fenómeno se debe a las fuerzas de cohesión

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

moleculares que no quedan equilibradas en la inmediata vecindad de la superficie. Por esta vía se explica que una aguja horizontal o una cuchilla de afeitar en la misma posición, floten en el agua.

En los suelos de grano grueso, la mayor parte del agua retenida lo es por tensión superficial, que se presenta alrededor de los puntos de contacto entre las partículas sólidas o en los poros y conductos capilares del suelo.

La cohesión aparente, que pueden presentar taludes de arena que se han mantenido estables, se explica por la humedad de contacto.

Ella la ejerce la pequeña cantidad de agua que puede mantenerse, sin caer, rodeando los puntos de contacto entre los diminutos granos de arena, gracias a fuerzas de adherencia entre el líquido y el sólido y de tensión superficial, que se oponen a la gravedad.

La cohesión es la atracción entre las moléculas de una misma sustancia, mientras que la adhesión es la atracción entre moléculas de diferentes sustancias. Si se sumerge un tubo capilar de vidrio en un recipiente con agua, el líquido asciende dentro de él hasta una altura determinada. Si se introduce un segundo tubo de mayor diámetro interior el agua sube menor altura. Es que la superficie del líquido plana en su parte central, toma una forma curva en la vecindad inmediata del contacto con las paredes. Esa curva se denomina menisco y se debe a la acción combinada de la adherencia y de la cohesión. Por la acción capilar los cuerpos sólidos hacen subir y mover por sus poros, hasta cierto límite, el líquido que los moja.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

La altura típica que alcanza la elevación capilar para diferentes suelos es: arena gruesa 2 a 5 cm, arena 12 a 35 cm, arena fina 35 a 70 cm, limo 70 a 150 cm, arcilla 200 a 400 cm y más.

El fenómeno de los meniscos está relacionado con la tensión superficial y la atracción molecular. Si la atracción se efectúa entre moléculas de la misma sustancia, se habla de adherencia de cohesión en una fuerza intramolecular y la adherencia en una fuerza intermolecular. La relación entre ambas fuerzas depende de la forma del menisco y la posibilidad del ascenso capilar de un líquido.

Pero los meniscos pueden tener curvaturas positivas o negativas, e incluso nulas, dependiendo de la relación de fuerzas de atracción Inter- e intramoleculares, es decir, de la relación de fuerzas de adhesión y cohesión respectivamente

Ilustraremos tres meniscos, teniendo en cuenta recipientes, de vidrio y plata, con agua y mercurio como fluidos:



Figura 2.3 - Meniscos. 1. Adhesión > Cohesión, 2. Adhesión = Cohesión, 3. Cohesión > Adhesión. Tomado de Juárez y Rico. Mecánica de Suelos.

Presiones intersticiales. Si se considera un volumen infinitesimal de suelo, por debajo del nivel freático -es decir, en la zona de saturación- el agua que exista en su interior estará soportando una presión debida a su propio peso, igual al producto de su peso unitario por la profundidad del elemento medida desde el nivel freático.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Al mismo tiempo, aunque no exista sobrecarga en la superficie del terreno, a causa del peso propio del suelo existe una presión, la presión intergranular, transmitida de grano a grano en su esqueleto sólido, mientras que la presión soportada por el agua se llama presión intersticial. La presión total que actúa sobre el infinitesimal sumergido será la suma de la presión intergranular y de la intersticial.

Las presiones intersticiales también pueden ser originadas por sobrecargas debidas a construcciones o por fuerzas debidas a vibraciones o sismos.

Ecuación de Terzaghi. A la presión total se le denomina Esfuerzo normal total σ , a la presión intergranular se le denomina Esfuerzo efectivo σ' , y a la presión intersticial se le denomina Presión neutra o de poros.

$$\sigma = \sigma' + u$$

Esta ecuación, donde esfuerzo y presión, sin ser sinónimos en la mecánica, pueden ser intercambiados mientras se refieran a la misma magnitud, dice que, en el caso general, la presión total en un punto determinado puede dividirse en dos: la presión transmitida de grano a grano por el esqueleto mineral desde la superficie hasta el infinitesimal y la presión soportada por el agua intersticial de ese punto.

Sólo las presiones intergranulares pueden producir cambios de volumen en una masa de suelo, o dar origen a resistencia por fricción interna en suelos y unidades de roca, por lo que se les denomina “efectivas”, efectos que no puede producir las presiones en el agua presente en los poros por si mismas, por lo que se les llama presiones neutras o de poros.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Factores de movimiento de las aguas subterráneas

Los factores del movimiento son porosidad, permeabilidad y filtración.

Porosidad. Alude a la cantidad de espacios vacíos dentro de la masa rocosa; la arcilla y la arena son porosas, igualmente una arenisca mal cementada o una roca fracturada o con planos de disolución, porque hay volumen de espacios vacíos en el seno de la roca. La porosidad varía con la dimensión de los huecos y el grado de cohesión de los minerales que lo limitan. Por ejemplo: una masa de arena cuyos lados son esféricos verá variar su porosidad según la colocación de esos granos.

Los poros pueden constituir del 1 al 45% del volumen total de una roca y se mide por la relación entre el volumen ocupado por los poros y el volumen total del cuerpo, en este caso roca. La porosidad no depende del tamaño de los granos si estos son uniformes, pero si de la manera como estén arreglados o empacados y de la variedad de tamaño de los granos o selección. Si los granos son esféricos la porosidad teórica máxima es del 47,6% o de sólo 25,9% con el empaque más compacto.

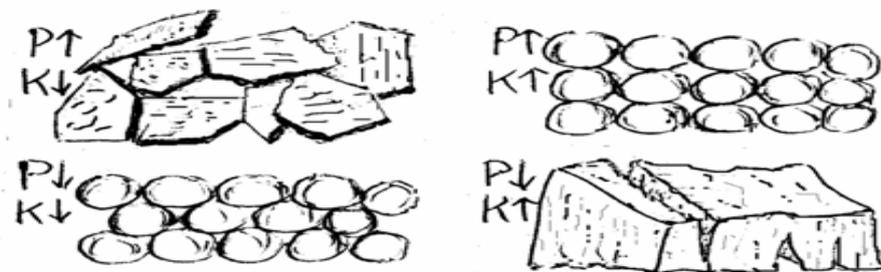


Figura 2.4 - Variaciones en la porosidad (P) y en la permeabilidad (K) de materiales diferentes: arriba, arcilla y arena suelta. Abajo arena densa y roca diaclasada. Adaptado de C. Mathewson, Engineering Geology.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Pero podemos distinguir entre porosidad primaria y porosidad secundaria; la primaria alude a los espacios existentes entre las partículas del material, es decir, los espacios entre los granos; la secundaria alude a los espacios por el fracturamiento o por la presencia de planos de disolución dentro del material. Por ejemplo, la arcilla y la arena tienen porosidad primaria pero un granito fracturado, y una caliza o un mármol, cuyos planos de debilidad han sufrido disolución, tienen porosidad secundaria.

Permeabilidad. La permeabilidad alude a la capacidad que tiene un material de permitir que se establezca el flujo de aguas subterráneas -o cualquier fluido- a través suyo. Ello dependerá de la porosidad y de la conexión entre las aberturas e intersticios, y del tamaño y forma de tales conductos. En otras palabras la permeabilidad depende no sólo de la porosidad de la roca, sino del tamaño de los poros.

Así resulta asociado el concepto de permeabilidad al de porosidad. Una roca puede ser muy porosa y ser impermeable como la arcilla pues la permeabilidad depende no sólo del tamaño de los poros sino también de la conexión entre ellos. En una lava vesicular por grandes que sean las vesículas si no se interconectan no habrá permeabilidad. La relativa impermeabilidad de los materiales muy fino-granulares se explica por la gran cantidad de superficie expuesta con relación al volumen de poros.

Las vesículas son cavidades formadas por la salida de gases en las lavas. Si la roca está fracturada la permeabilidad se mejora. Las cavidades mirolíticas se dan en ciertas rocas ígneas y pegmatitas al quedar libres espacios antes ocupados por fluidos magmáticos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Las cavidades de solución se asocian a la disolución de rocas solubles por acción de aguas meteóricas. Las diaclasas pueden ser lugares apropiados para la deposición de minerales, ya en ambientes sedimentarios o ígneos, siendo más frecuentes en las primeras y menos en las segundas.

Por ejemplo, si la arena y la arcilla son porosas, sólo la primera es permeable; si las fracturas en un granito no están interconectadas, el flujo no se establece resultando la roca impermeable.

La arena es porosa y permeable. En la arena los granos son seudoesféricos resultando los intersticios con sección transversal romboidal. Ello significa mayor eficiencia hidráulica en los conductos, por tener secciones transversales con poco perímetro para cualquier área transversal de flujo, en cada intersticio o en cada línea de flujo. Al tiempo, como los granos de arena son relativamente grandes, en la sección transversal de los intersticios o conductos, el área que ocupa el agua absorbida y el agua de la humedad de contacto no resulta significativa, quedando el área transversal disponible para el libre movimiento del agua subterránea.

La arcilla es porosa e impermeable. Contrariamente, los granos de arcilla tienen forma de lentejuela, por ello los intersticios ya tienen poca eficiencia hidráulica. Si comparamos dos tubos o conductos con la misma área transversal, tendrá mayor eficiencia hidráulica el que menos resistencia oponga al fluido. Pero, en la arcilla, los granos adicionalmente son muy pequeños, haciendo que la atracción molecular, ejercida por las partículas sólidas sobre el agua, frene el flujo.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Las rocas porosas y permeables. Son por excelencia aquellas en las que las aguas subterráneas adquieren su verdadero carácter de capa. Las areniscas, las arenas de diferentes naturalezas, presentan ésta forma de permeabilidad. En las rocas verdaderamente permeables podemos distinguir terrenos escasamente permeables como las areniscas y terrenos altamente permeables como las calizas. Los terrenos como la creta y areniscas moderadamente cementadas pueden presentar características intermedias.

Las rocas porosas e impermeables. Son dúctiles y se caracterizan por una gran finura de sus granos y por una capacidad particular de absorción del agua, como ocurre con las arcillas, silicatos de alúmina hidratados, que son materiales higroscópicos. Las margas y los limos presentan cualidades intermedias entre las de las arcillas y las de las arenas; conservan sin embargo y en general una impermeabilidad a la corriente.

Las rocas no porosas e impermeables. Son rocas compactas y coherentes, cuyas fisuras resultan rápidamente rellenadas por su propia descomposición. Los granitos no fisurados y los feldespatos se comportan como rocas impermeables, aunque en los granitos y los gneises se pueden acumular importantes cantidades de agua.

Son numerosos los terrenos escasamente permeables, como las arenas de diferente dimensión de granos, cuya naturaleza es muy variable: arenas glauconiosas, dolomíticas, silicosas, etc., las que a menudo son el resultado de la desaparición del cemento calcáreo de una arenisca, por ataque químico del agua carbónica.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Filtración. La filtración varía mucho, según la naturaleza del suelo, la vegetación y la estación.

Un suelo arenoso y desnudo puede absorber del 30 al 60 % del agua lluvia caída. El mismo terreno arenoso recubierto de vegetación, sólo deja filtrar un 10 %, exclusivamente durante el otoño y el invierno.

Un suelo calizo con muchas fisuras y desnudo es muy permeable; absorbe directamente el agua de escorrentía y el coeficiente de filtración oscila entre el 33 y el 90 %, con una media del 70 %. Un terreno arcilloso por el contrario, es impermeable y no deja que el agua filtre.

Además de los poros están las fisuras, diaclasas, huecos, que representan posibilidades de filtración rápida. Las rocas consideradas muy permeables son las calizas. Las rocas que simplemente son porosas y permeables podrán producir mantos de agua subterránea. Las rocas con fisuras y muy permeables podrán dar lugar a corrientes de agua subterráneas.

Clasificación de los espacios vacíos preexistentes en las rocas

Las aberturas o espacios vacíos en las rocas se clasifican por su tamaño o por su origen.

Por su tamaño pueden ser supercapilares, capilares y subcapilares.

Los supercapilares son huecos de más de medio milímetro de diámetro o grietas de más de un cuarto de milímetro de ancho. En estos espacios el movimiento del agua obedece a las leyes hidrostáticas. En los capilares el diámetro varía de 0,002 mm a 0,508 mm. El agua que está afectada por

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

atracción capilar no responde a las leyes hidrostáticas. El diámetro en los subcapilares es inferior 0,002 mm, espacio en el cual el agua puede entrar pero tendiendo a fijarse a las paredes e impidiendo el flujo.

Teniendo en cuenta el origen, tenemos los espacios de aberturas primarias o secundarias.

Las primarias son las formadas simultáneamente con la roca misma y sus denominaciones son poros, vesículas, planos de estratificación y cavidades miarolíticas. Las aberturas secundarias se forman después de la consolidación de las rocas y las principales son cavidad de solución, grietas de contracción (por enfriamiento, deshidratación, etc.), grietas de diastrofismo (asociadas a fallas, plegamientos y repliegues), y grietas asociadas a fuerzas de cristalización.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

2.3 - ACUIFEROS

Generalidades

El agua subterránea se encuentra normalmente empapando materiales geológicos permeables que constituyen capas o formaciones a los que se denominan acuíferos. Un acuífero es aquella área bajo la superficie de la tierra donde el agua de la superficie percola y se almacena. A veces se mueve lentamente al océano por flujos subterráneos.

Una formación acuífera viene definida por una base estanca (muro), y por un techo, que puede ser libre, semiimpermeable o impermeable; por lo que son los continentes de las masas de agua subterránea.

Si se excava o perfora la tierra para conectar con un acuífero, a través de pozos y/o galerías se puede explotar esta masa de agua para consumo humano, agrícola o industrial.

En lugares alejados de ríos, lagos o mares, los acuíferos son a menudo la única fuente de agua disponible, especialmente en extensas áreas. A veces este agua sale a la superficie por sí sola a través de encharcamientos, manantiales (oasis, en los desiertos), surgencias manantiales, rezumes, aguas termales, o géiseres. La zona del subsuelo en la que los huecos están llenos de agua se llama zona saturada. El nivel superior de la zona freática a presión atmosférica se conoce como nivel freático. El nivel freático puede encontrarse a muy diferentes profundidades, dependiendo de las circunstancias geológicas y climáticas, desde sólo unos centímetros hasta decenas de metros por debajo de la superficie. En la mayoría de los casos la profundidad varía con las circunstancias meteorológicas de las que depende la recarga de los acuíferos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El nivel freático no es horizontal, a diferencia del nivel superior de los mares o lagos, sino que es irregular, con pendiente monótonamente decreciente desde el nivel fijo superior al nivel fijo inferior. Por encima de la zona saturada, desde el nivel freático hasta la superficie, se encuentra la zona no saturada o zona vadosa, en la que la circulación es principalmente vertical, representada por la percolación, que es la circulación movida por la gravedad, del agua de infiltración.

Cuando el nivel freático no se encuentra a la presión atmosférica, sino que la supera, se dice que el acuífero no es libre, sino cautivo o confinado; en este caso, cuando realizamos un pozo o sondeo, el agua tiende a ascender traspassando el techo (semiimpermeable o impermeable) del acuífero. En estas únicas condiciones, el nivel freático pasa a denominarse entonces nivel piezométrico; el cual podría llegar hasta la superficie del terreno o incluso superarla, provocando excepcionalmente lo que se conoce como surgencia o pozo artesianos. Pero por lo general, la mayoría de los pozos de acuíferos cautivos no son artesianos, sino que el agua asciende por el pozo, sin llegar a la superficie; pero que es ésta la explicación física a este fenómeno. Muy raras veces, los niveles piezométricos pueden incluso descender dentro del pozo, fenómeno que se explica, por la existencia de dos acuíferos: un acuífero superior (confinado o no) pero a mayor presión, que recarga el existente inferior, proceso singular que habríamos provocado nosotros mismos, a través de la conexión hidráulica por el pozo.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tipos de acuíferos

Desde el punto de vista de su conformación se pueden distinguir los acuíferos libres, y los acuíferos confinados. En la figura se ilustran los dos tipos de acuíferos:

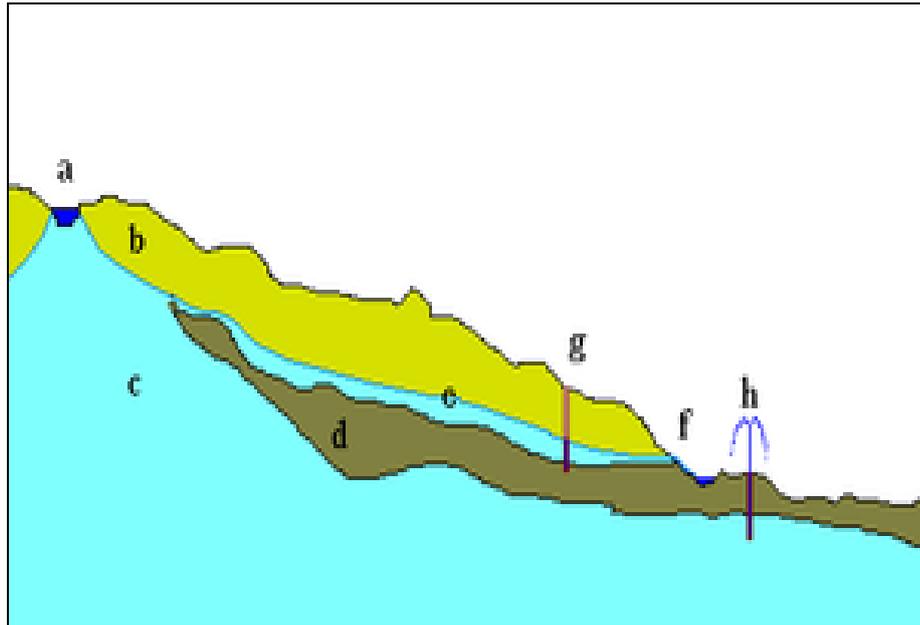


Figura 2.5 – Tipos de Acuíferos

- (a): río o lago, en este caso es la fuente de recarga de ambos acuíferos;
- (b): suelo poroso no saturado
- (c): suelo poroso saturado, en el cual existe una camada de terreno impermeable (d), formado, por ejemplo por arcilla, este estrato impermeable confina el acuífero a cotas inferiores;
- (d): suelo impermeable;
- (e): acuífero no confinado;
- (f): manantial;
- (g): pozo que capta agua del acuífero no confinado;
- (h): pozo que alcanza el acuífero confinado, frecuentemente el agua brota como en un surtidor o fuente, llamado pozo artesiano.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El agua del suelo se renueva en general por procesos activos de recarga desde la superficie. La renovación se produce lentamente cuando la comparamos con la de los depósitos superficiales, como los lagos, y los cursos de agua. El tiempo de residencia (el periodo necesario para renovar por completo un depósito a su tasa de renovación normal) es muy largo. En algunos casos la renovación está interrumpida, por la impermeabilidad de las formaciones geológicas superiores (acuitardos), o por circunstancias climáticas sobrevenidas de aridez.

En ciertos casos se habla de acuíferos fósiles, estos son bolsones de agua subterránea, formados en épocas geológicas pasadas, y que, a causa de variaciones climáticas ya no tienen actualmente recarga.

El agua de las precipitaciones (lluvia, nieve,...) puede tener distintos destinos una vez alcanza el suelo. Se reparte en tres fracciones. Se llama escorrentía a la parte que se desliza por la superficie del terreno, primero como arroyada difusa y luego como agua encauzada, formando arroyos y ríos. Otra parte del agua se evapora desde las capas superficiales del suelo o pasa a la atmósfera con la transpiración de los organismos, especialmente las plantas; nos referimos a esta parte como evapotranspiración. Por último, otra parte se infiltra en el terreno y pasa a ser agua subterránea.

La proporción de infiltración respecto al total de las precipitaciones depende de varios factores. La litología (la naturaleza del material geológico que aflora en la superficie) influye a través de su permeabilidad, la cual depende de la porosidad, del diaclasamiento (agrietamiento) y de la mineralogía del sustrato. Por ejemplo, los minerales arcillosos se hidratan

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

fácilmente, hinchándose siempre en algún grado, lo que da lugar a una reducción de la porosidad que termina por hacer al sustrato impermeable. Otro factor desfavorable para la infiltración es una pendiente marcada. La presencia de vegetación densa influye de forma compleja, porque reduce el agua que llega al suelo (interceptación), pero extiende en el tiempo el efecto de las precipitaciones, desprendiendo poco a poco el agua que moja el follaje, reduciendo así la fracción de escorrentía y aumentando la de infiltración. Otro efecto favorable de la vegetación tiene que ver con las raíces, especialmente las raíces densas y superficiales de muchas plantas herbáceas, y con la formación de suelo, generalmente más permeable que la mayoría de las rocas frescas.

La velocidad a la que el agua se mueve depende del volumen de los intersticios (porosidad) y del grado de intercomunicación entre ellos, los dos principales parámetros de que depende la permeabilidad. Los acuíferos suelen ser materiales sedimentarios de grano relativamente grueso (gravas, arenas, limos, etc.). Si los poros son suficientemente amplios, una parte del agua circula libremente a través de ellos impulsada por la gravedad, pero otra queda fijada por las fuerzas de la capilaridad y otras motivadas por interacciones entre ella y las moléculas minerales.

El agua subterránea mana de forma natural en distintas clases de surgencias en las laderas (manantiales) y a veces en fondos del relieve, siempre allí donde el nivel freático intercepta la superficie. Cuando no hay surgencias naturales, al agua subterránea se puede acceder a través de pozos, perforaciones que llegan hasta el acuífero y se llenan parcialmente con el agua

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

subterránea, siempre por debajo del nivel freático, en el que provoca además una depresión local. El agua se puede extraer por medio de bombas.

Los pozos se pueden secar si el nivel freático cae por debajo de su profundidad inicial, lo que ocurre ocasionalmente en años de sequía, y por las mismas razones pueden dejar de manar las fuentes. El régimen de recarga puede alterarse por otras causas, como la repoblación forestal, que favorece la infiltración frente a la escorrentía, pero aún más favorece la evapotranspiración, o por la extensión de pavimentos impermeables, como ocurre en zonas urbanas e industriales.

La principal razón para el descenso del nivel freático es sin embargo la sobreexplotación. En algunas partes del mundo la extensión de la irrigación y de otras actividades que consumen agua se ha hecho a costa de acuíferos cuya recarga es lenta o casi nula. El resultado ha sido diverso pero siempre negativo. En algunos casos la sobreexplotación ha favorecido la intrusión de agua salina por la proximidad de la costa, provocando la salinización del agua e indirectamente la de los suelos agrícolas.

ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS, REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.

Acuíferos Regionales

Desde mayo de 2004, en las Américas se han identificado cincuenta y nueve acuíferos transfronterizos, de los cuales treinta y cinco están en Sudamérica, trece en Centroamérica, ocho en Norteamérica (frontera entre Estados Unidos y México solamente) y tres en el Caribe (entre la República Dominicana y Haití). Si bien los países no han reportado conflictos en los que estén involucrados los acuíferos transfronterizos, éstos han hecho hincapié en una serie de preocupaciones que, a mediano y largo plazo, podrían convertirse en el ejercicio de presiones excesivas sobre estos recursos.



Figura 2.6 – Acuíferos transfronterizos de las Américas

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En la actualidad la OEA está recolectando información acerca de las políticas y regulaciones nacionales sobre aguas subterráneas, los acuerdos internacionales sobre recursos hídricos entre países limítrofes y el papel que desempeñan las instituciones de aguas a nivel nacional, federal o local.³

Como parte de las actividades del Programa UNESCO/OEA ISARM Américas, se identificaron acuíferos transfronterizos que constituyen potenciales estudios de caso. Se seleccionaron estos acuíferos sobre la base de la relevancia de sus características ambientales e hidrogeológicas, así como también sus aspectos socioeconómicos y legales. Se adoptaron criterios adicionales para tener en cuenta los deseos de los países vecinos de cooperar mediante el intercambio de información y el desarrollo de sistemas de gestión conjunta. En la actualidad, se han considerado dos estudios de caso prioritarios para proyectos piloto: los acuíferos Artibonito y Masacre, que comparten Haití y la República Dominicana, y el acuífero Toba-Yrenda'-Chaco Tarijeño, que comparten la Argentina, Bolivia y Paraguay. Los acuíferos Artibonito y Masacre son recursos hídricos clave que, si son explotados de manera sostenible, podrían aliviar los altos niveles de pobreza –entre el ochenta y el noventa por ciento de la población haitiana– y los riesgos en materia de salud de ambos países, los cuales presentan un alto nivel de vulnerabilidad ante los peligros naturales. La acción en el acuífero Toba-Yrenda'-Chaco Tarijeño se enmarcará en el contexto del proyecto marco de la Cuenca del Plata (véase más arriba).

Desde 2003, la OEA/UDSMA ha estado trabajando con los países americanos en la coordinación del intercambio de información científica y política a fin de evaluar el grado de importancia de los acuíferos

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

transfronterizos. Esta cooperación conducirá a la creación de un inventario de la UNESCO/OEA sobre acuíferos transfronterizos de las Américas y la identificación de casos críticos para proyectos piloto.

Se han asignado fondos específicos del Proyecto Acuífero Guaraní para el fortalecimiento de las instituciones a cargo del manejo de las aguas subterráneas y para brindar apoyo a las iniciativas vinculadas con la participación pública y la educación ambiental a nivel regional y local. Mediante un fondo para las universidades se otorga financiamiento a grupos académicos dedicados a investigar aspectos particulares del proyecto. Se diseñaron cuatro proyectos piloto para prevenir la contaminación y la excesiva explotación del acuífero en sus zonas críticas tales como las de recarga y descarga. Los proyectos piloto promueven y apoyan la participación de las partes interesadas y la comunidad.

En 2002 la UNESCO y la OEA en forma conjunta lanzaron el Programa UNESCO/OEA ISARM Américas (Acuíferos Transfronterizos de las Américas), una iniciativa regional para el hemisferio occidental, durante el Congreso de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos y la Asociación Latinoamericana de Hidrogeología Subterránea para el Desarrollo (IAH/ALHSUD), en Mar del Plata, Argentina. 2. ISARM –Gestión de Acuíferos Transfronterizos– es un programa mundial que el Consejo Intergubernamental del Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO avaló en junio de 2000. Esta iniciativa multidisciplinaria opera a través de un comité de coordinación conjunta compuesto por expertos de la UNESCO-PHI, la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH), la Organización de las Naciones Unidas para la

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Comisión Económica para Europa de la Organización de las Naciones Unidas (UNECE). Apunta a mejorar la comprensión y el intercambio y comunicación en temas científicos, socioeconómicos, legales, institucionales y ambientales relacionados con el manejo de los acuíferos transfronterizos.

La Organización de los Estados Americanos (OEA) promueve el manejo de los recursos pertenecientes a múltiples países, incluyendo el agua subterránea. La OEA asiste a los Estados miembros en sus esfuerzos para integrar y establecer enfoques comunes en la ejecución del manejo conjunto de los recursos hídricos, entre los que se incluye a los acuíferos transfronterizos. La Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (UDSMA) desempeña un papel fundamental en el aumento de la cooperación entre los países, los donantes bilaterales y multilaterales, las instituciones financieras internacionales (IFI) y la comunidad científica, así como en la ejecución de proyectos orientados a la aplicación de principios y esquemas de Manejo Integrado de Recursos Hídricos (MIRH).

En el 2002 la comunidad internacional se reunió en Johannesburgo para la Cumbre Internacional sobre Desarrollo Sostenible. Una de las directivas clave del Plan de Aplicación de la Cumbre llama al desarrollo del Manejo Integrado de los Recursos Hídricos: “El enfoque del MIRH busca dar respuesta a los problemas clave relacionados con el agua que aquejan a los países – agua para la salud, la alimentación, la energía y el medio ambiente– con una efectividad mayor que la que resulta de la aplicación de los enfoques tradicionales. Procura evitar la pérdida de vidas, el desperdicio de dinero y el

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

agotamiento del capital natural, que se deben a la adopción fragmentada de decisiones sobre el desarrollo y manejo de los recursos hídricos que no tengan en cuenta las consecuencias más lejanas de las acciones sectoriales. Apunta a asegurar que se satisfaga la demanda actual de agua sin que se ponga en peligro la aptitud de las generaciones futuras para satisfacer las suyas". El proyecto cuenta con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la OEA/UDSMA y la asistencia financiera del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM).

El proyecto constituye una iniciativa de los gobiernos de la Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, que ejecuta el Banco Mundial y la OEA/UDSMA, mediante el cual se busca delinear e implementar un marco institucional común para el manejo y preservación del acuífero Guaraní en beneficio de las generaciones presentes y futuras. El Programa también finalizará el desarrollo de un "paquete de herramientas", proporcionará recomendaciones sobre mejores enfoques en materia de manejo de recursos hídricos transfronterizos, presentará las lecciones aprendidas sobre la base de los estudios de caso y propondrá lineamientos generales sobre mejores prácticas. El Programa respaldará el logro de una plataforma común de decisiones de los países que poseen acuíferos transfronterizos, el cual incluirá aspectos científicos, legales, institucionales, socioeconómicos y ambientales.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Acuífero Guaraní

El denominado Sistema Acuífero Guaraní es uno de los reservorios de agua subterránea más grandes del mundo, encontrándose en el subsuelo de un área de alrededor de 1.190.000 kilómetros cuadrados (superficie mayor que las de España, Francia y Portugal juntas) por lo que también en un momento se lo denominó "el Acuífero Gigante del Mercosur".



Figura 2.7 – Acuífero Guaraní

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En Brasil abarca una superficie (en kilómetros cuadrados) de aproximadamente 850.000 (9,9% del territorio) en Argentina 225.000 (7,8%) en Paraguay 70.000 (17,2%) y en Uruguay 45.000 (25,5%). De acuerdo a lo actualmente se conoce, salvo en la Argentina (que se encuentra a profundidades por debajo de los novecientos metros) en los demás países se lo alumbraba a profundidades muy variables (entre los 50 y 1.500 metros).

En general posee presión de surgencia, de manera que realizada una perforación, cuando se alcanza la profundidad del acuífero el agua se eleva naturalmente y en muchos casos emerge sobre el nivel del suelo; las temperaturas, producto de las profundidades alcanzadas (por gradiente geotérmico), van desde los 33° C a los 65° C. Si bien el volumen total de agua almacenado es inmenso (37.000 kilómetros cúbicos, donde 1 kilómetro cúbico es igual a 1 billón de litros), en realidad el volumen explotable, estimado actualmente como reservas reguladoras o renovables, es de 40 a 80 kilómetros cúbicos por año.

El país que más lo explota es Brasil, abasteciendo total o parcialmente entre 300 y 500 ciudades; Uruguay tiene 135 pozos de abastecimiento público de agua, algunos de los cuales se destinan a la explotación termal. En Paraguay se registran unos 200 pozos destinados principalmente al uso humano. En la Argentina hay en explotación 5 perforaciones termales de agua dulce y una de agua salada, ubicadas en el sector oriental de la provincia de Entre Ríos, en tanto que hacia el Oeste de la misma se ha alumbrado sólo agua salada termal, con la consiguiente problemática del efluente salado. Se

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

desconoce la existencia del acuífero en el resto de las provincias donde se hallan en el subsuelo las unidades geológicas que lo podrían contener.

El agua subterránea del Sistema Guaraní se aloja en formaciones geológicas antiguas, correspondientes a los períodos Triásico, Jurásico y Cretácico Inferior, teniendo esas rocas edades entre los 200 a 132 millones de años.

Estudios realizados han revelado que las aguas del Acuífero Guaraní todavía están libres de contaminación. Sin embargo, considerando que el área de recarga coincide con importantes áreas agrícolas brasileras y paraguayas, donde se utilizan intensamente plaguicidas, serán necesarias medidas urgentes de monitoreo y reducción de la carga de agro tóxicos, para evitar la posible contaminación del mismo con esos agentes contaminantes.

En Paraguay, las áreas que merecen atención especial en cuanto al riesgo de contaminación del Acuífero Guaraní son, además de aquellas con uso intensivo de agro tóxicos, las que tienen un alto crecimiento poblacional y las de proyectos de industrias ensambladoras específicamente en el Este de Caaguazú y Canindeyú y casi la totalidad de Itapúa y Alto Paraná, que tienen buena productividad, la preocupación radica en la deforestación para habilitación de nuevas tierras agrícolas, actividad que se ha iniciado desde la década del 70 y sigue hasta hoy. Esta labor, a más de ocasionar desecación de nacientes y colmatación de cursos de agua debido a la erosión, también trae como consecuencia el uso intensivo de agrotóxicos, principalmente en cultivos de soja.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Las principales medidas para la protección de las aguas abarca el cuidar los humedales, no contaminar las aguas superficiales, no deforestar y reforestar con especies nativas las nacientes y las costas de los cursos de agua respetar las normas de perforación de pozos, no desperdiciar las aguas destinadas al consumo, disponer adecuadamente los residuos sólidos, evitar al máximo el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos entre otros.

El costo del proyecto es de 27.240.000 de dólares y cuenta con una donación de 13,4 millones de dólares del Fondo Mundial para el Medio Ambiente. El resto se cubre con contrapartidas nacionales y financiamiento de organismos internacionales que apoyan la iniciativa.

El proyecto cuenta con el apoyo de los cuatro gobiernos del Mercosur, el Fondo Global para el Medio Ambiente (GEF), el Banco Mundial, la Organización de Estados Americanos (OEA), los gobiernos de Holanda y Alemania, y la Agencia Internacional de Energía Atómica.

El proyecto requiere que en cada país se establezca una unidad o un consejo directivo con los máximos organismos de recursos hídricos, medio ambiente y cancillería, y un consejo técnico que coordine las acciones.

Con cuatro años de duración, el proyecto está estructurado en siete áreas: 1) Conocimiento y usos (expansión del conocimiento científico). 2) Gestión (instrumentación conjunta de marco de gestión). 3) Participación (fomento de la participación de la sociedad). 4) Educación y comunicación (campaña educativa sobre la necesidad de protección ambiental). 5) Proyectos piloto (desarrollo de medidas para gestión de aguas subterráneas y mitigación de daños). 6) Energía geotérmica (evaluación del potencial geotermal del

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

acuífero). 7) Coordinación (trabajos administrativos y gerenciamiento del proyecto).

Acuíferos del Paraguay

Los acuíferos existentes en el Paraguay basado en el Mapa Hidrogeológico del Paraguay divide las formaciones geológicas en Acuíferos Granulares, Acuíferos Fracturados y Sin Acuíferos.

Acuíferos Granulares

Son aquellos que contienen porosidad primaria, es decir que el agua se encuentra en los espacios intergranulares de las rocas o sedimentos.

Kp (Patiño): (Aquí nominado Grupo Asunción, en base a los nuevos conceptos de las unidades litoestratigráficas): Areniscas friables, fina a media.

Generalmente con intercalaciones de arcillas y conglomerados. Acuífero de extensión restringida. Espesor en el orden de algunas centenas de metros.

Permeabilidad variable. Predominantemente un acuífero libre, a veces se presenta condiciones de artesianismo. Caudales de pozo de 13 m³ / h y caudales específicos de 0.8 m³ / h /m en media.

Jm (Misiones): Areniscas eólicas (Aquí considerada como Acuífero Guaraní), fluviales en menor proporción (Aquí nominada Acuífero Misiones). Acuífero de extensión regional, con espesor de 200-300 m., parcialmente (40%) confinado por basaltos. Permeabilidad mediana, con caudales de pozo de 22 m³ /h y caudales específicos de 1 m³ / h /m, en media.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sc (Caacupé): Areniscas con conglomerado basal. Acuífero de extensión regional restringida, presentado espesor de 300 m., afectado por numerosas fallas. Permeabilidad mediana, con caudales de pozo de 18 m³ /h y caudales específicos de 0.8 m³ / h /m en media. Algunas partes del acuífero contienen agua salda del norte del chaco Paraguayo. Acuífero regional, con niveles de agua libre a confinada con un espesor máximo de 300 m. Su importancia es bien evidenciada en el mapa Hidrológico de Bolivia a escala de 1:1.000.000 (versión preliminar). Existen escasas informaciones de pozos: el pozo de la base aérea de Adrián Jara con caudal original de 35 m³ /h y y otros dos pozos que están indicando resultados positivos.

Tco (Chaco oeste)*: Arena Fina limo, arcilla, a veces de nódulos de carbonatos ya sea en las arenas y arcillas, concreciones o lentes de yeso en los sedimentos pelíticos, que pueden alcanzar 1000-2000 (máximo 4000) m de espesor. Acuífero regional. Permeabilidad variable. Caudales de pozos de 15 m³ /h y caudales específicos de 1.6 m³ / h /m en media Las secciones de agua dulce se encuentran a partir de cierta profundidad variando de 50 a 130 m. y se presentan con un espesor medio de 20 m. Lateralmente, en dirección hacia el Norte y Este, los acuíferos son limitados por agua salada.

Qccs/Tco(Chaco centro sur/chaco oeste)*: Constituye la continuación hacia el Sur del acuífero profundo del Chaco Oeste sobrepuesta por formaciones con aguas saladas, presentándose algunos acuíferos locales con agua potable en mesocauces.

TQcn/Kad(Chaco Norte/ Agua Dulce)*: Constituido por arenisca friable fina a media, del Cretácico (Kad), confinada por una potente capa de arcilla plástica a

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

veces, semiconsolidada del Terciario – Cuaternario(TQcn). En el pozo de agua dulce el espesor de la capa confinante es de 176 m. Este acuífero se presenta como acuífero regional restringido y sería de gran potencia (En el pozo Toro 1 se observó un espesor de 202 m.) En el área de Agua Dulce existen condiciones de artesianismo. El pozo de este lugar presenta caudal de bombeo de 18 m³ /h.

Qa (aluvión): Arena, limo, arcilla, limo, algo de grava y orgánicas, a veces conglomerádicas (*Qc*). Acuífero regional, con espesor de 1-10 m.; permeabilidad variable, pueden dar caudales hasta varios m³ /h mediante pozos someros. Se necesitan precauciones sanitarias.

Pi (*Independencia*): Alternancia de areniscas y siltitas. Acuífero local, espesor de 700 m., permeabilidad baja, con caudales de pozos de 10 m³ /h y caudales específicos de 0.4 m³ / h /m (en media).

Cco (*Coronel Oviedo*): Sedimentos de origen glacial, siltita, lutita, arenisca. Acuífero local, espesor de 650 m, permeabilidad variable, suministrando caudales de 8 m³ /h y caudales específicos de 0.4 m³ / h /m (en media). Generalmente conteniendo agua de buena calidad química, a veces se encuentra agua salobre y debido a deficiencias del flujo subterráneo.

*Cpi** (*Palmar de las Islas*): Constituido por dos formaciones: (1) San José, como parte de la Subcuenca de Curupayty y (2) Cabrera, haciendo parte de Subcuenca de Curupayty. La primera (Fm. San José) es caracterizada por areniscas, conglomerados y diamictitas, permeables por fisuras en su contacto discordante con la formación Silúrica al Oeste. Al Este estaría constituido por areniscas permeables por porosidad granular. Uno de los pozos de la estancia

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

San José dio un caudal original de 18 m³ /h. La segunda (Fm. Cabrera) es constituida por areniscas, areniscas finas micáceas, y diamictitas. Las características hidrogeológicas de esta formación se desconocen.

Ka (Acaray): Areniscas continentales finas. Acuífero local, con espesor de 20-60 m. poco conocido en términos de agua subterránea. Potencial hidrogeológico probablemente bajo debido a las ocurrencias reducidas de caudales del acuífero.

Si (Itacurubí): Areniscas separadas por formaciones de lutitas. Acuífero local, con espesor de 150 m. Permeabilidad baja, caudales de pozos y caudales específicos reducidos.

Acuíferos Fracturados

Son aquellos que contienen porosidad secundaria, es decir las fracturas existentes le dan la porosidad a la roca y es el lugar donde se encuentra el agua.

Kb (Basalto): Derrames basálticos y areniscas intercaladas. Acuífero local, espesor de 600-700 m. encontrándose aguas apenas en fisuras, fracturas y areniscas interconectadas, hasta una profundidad de aproximadamente de 200m. Permeabilidad muy variable, los pozos pueden dar caudales de 18 m³ /h y caudales específicos de 1,5 m³ / h /m en media.

Ei (Itapucumi): Calizas, margas y lutita. Acuífero local, espesor superior a 200 m. El agua se encuentra en el conjunto de fisuras, eventualmente agrandada por procesos de disolución química. Generalmente, las aguas de las calizas son característicamente duras.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

PE (Escudo Precámbrico): Granito, esquistos, cuarcita. Acuífero local. El agua se extrae del sistema de fisuras y fracturas hasta una profundidad de 100 m. Eventualmente aumentada por el agua proveniente de la zona de intemperismo. Permeabilidad muy variable, caudales de pozos de 3,5 m³ /h y caudales específicos de 1 m³ / h /m en media.

*Sci *(Cerro León):* Constituido por cuarcitas y areniscas claras masivas de estratificación cruzada de escala grande. El agua subterránea está subordinada a los sistemas de fracturas. No se posee ningún dato sobre perforaciones realizadas en estas rocas. La elevación montañosa de Cerro León se puede considerar como sin acuífero por su condición topográfica elevada, con más de 200 m. de altura.

Sin acuífero o con escasos recursos de agua subterránea dulce

*Qccs *(chaco centro sur):* Sedimentos en mesocauces o sea formados en antiguos cauces de una generación de ríos y arroyos más jóvenes que los que los paleocauces colmatados; están constituidos por arena fina. Acuífero local, con espesor de 1-36 m., permeabilidad moderada, con caudales de pozos medianos de 8 m³ /h. El agua dulce se encuentra en forma de bolsones en ambiente de agua salobre y salado, y proviene de la infiltración directa de la precipitación local, a veces combinada con aportes de flujos superficiales. Su prospección en el campo es facilitada con el uso de las fotos aéreas.

Qcp(paleocauces colmatados):* Sedimentos en paleocauces colmatados de arena fina. Acuífero local, con espesor de 1-17 m., permeabilidad baja, con caudales de pozos reducidos de 1,6 m³ /h. en media. El agua dulce se

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

encuentra en forma de bolsones en ambiente de agua salobre y salado y proviene de la infiltración directa de la precipitación local.

Dsa (San Alfredo):* Areniscas finas, micáceas, laminares, muy fracturadas y rellenas con óxidos rojos (ocres). Están cubiertas por sedimentos limos arcillosos recientes, de espesor que varía de 1-20 m. En ciertas áreas estos sedimentos presentan intercalaciones de capas de yeso cristalino. En Cap. Pablo Lagerenza se perforó la formación con resultado negativo (320 m. de profundidad).

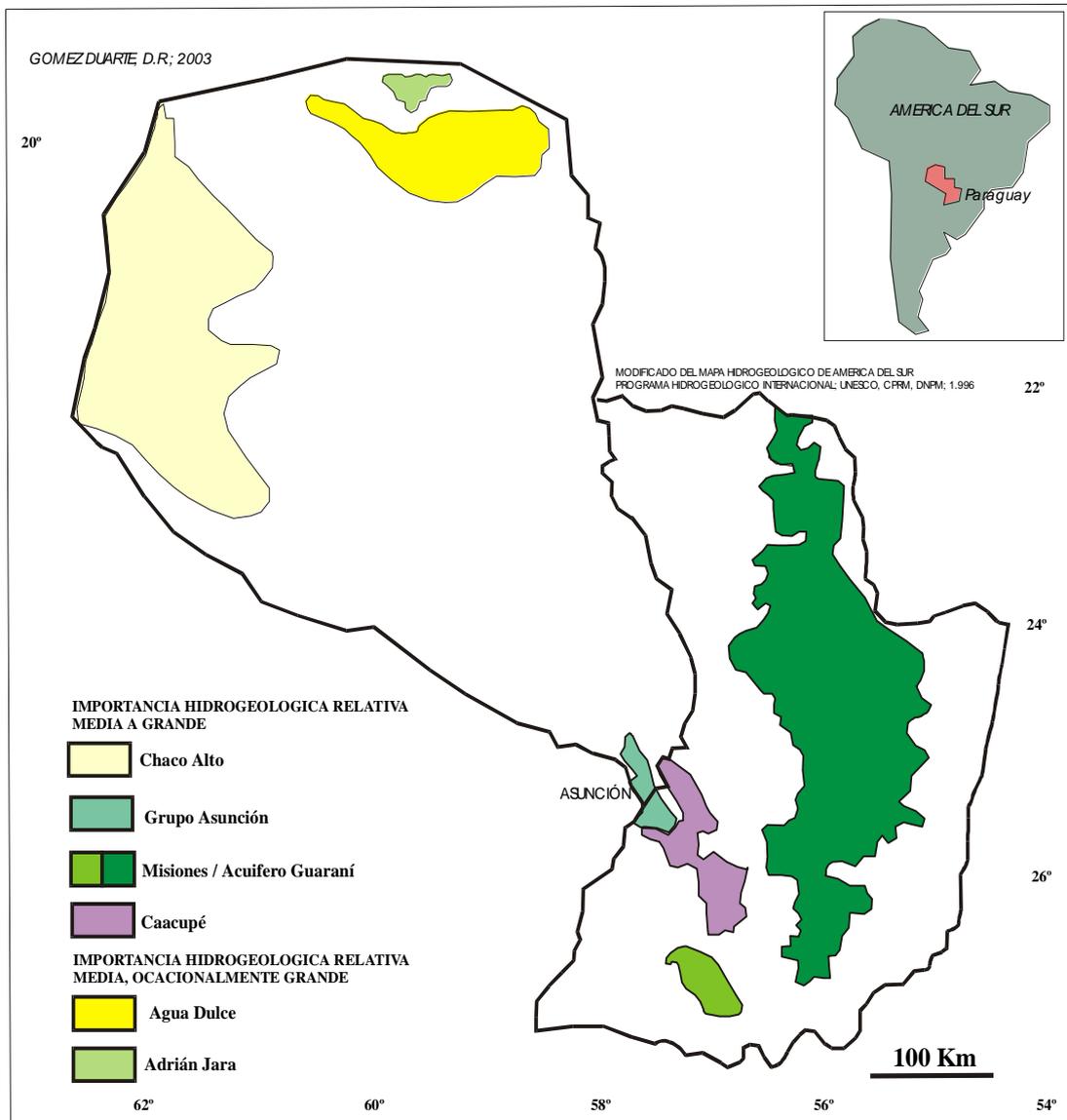
TQce (Chaco oeste):* Alternancia de arena fina limosa, limos y arcillas con intercalaciones delgadas de yeso y carbonato; su espesor puede alcanzar varias decenas de metros. Ausencia de agua subterránea dulce someras en cantidades significativas.

Tc(chaco):* Arena fina, arcilla, algo de limo y lentes de yeso y halita, de espesor de varias centenas de metros; acuífero regional confinado que solamente contiene agua salada.

TQcn(chaco norte):* En el área Lagerenza se han localizado acuíferos freáticos en lentejones arenosos de la planicie de la inundación del Río Lagerenza, de extensión reducida y discontinua irregular, constituida de arena fina a muy fina. Estos lentejones parecen meandros abandonados enterrados. En otras áreas de inundación de Lagerenza, se encontró a veces material detrítico heterogéneo variando de cantos hasta arcilla (Zona de Aguada), como también arcilla semiconsolidada de espesor variable. En algunas zonas, esta arcilla contiene concreciones y lentes de yeso cristalino. Las posibilidades de

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

encontrar agua subterránea dulce en cantidades significativas en estas áreas, son muy reducidas.



PARAGUAY : AREAS CON MEJORES POSIBILIDADES DE AGUA DULCE SUBTERRANEA

Figura 2.8 – Acuíferos del Paraguay

En base al Mapa Hidrogeológico de América del Sur, del Programa Hidrogeológico Internacional (UNESCO-CPRM-DNPM, 1.996), las mejores áreas con posibilidades de agua subterránea en el Paraguay, son el Chaco Alto (TQca), Agua Dulce (Kad), y Adrián Jara (Kaj) de la Región Occidental;

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Patiño (Kp); Misiones (Jm) y Caacupé (Sc) de la Región Oriental (Ver Figura: Paraguay – Áreas con mejores posibilidades de explotación de Agua Subterránea). El Acuífero Patiño, es granular, contiene en general agua de buena calidad en la Formación Itapytapunta. Los caudales más importantes proporcionan esta unidad, mientras que las unidades base, pueden ser considerados más como acuíferos fisurados, dado que por su litología, con escasa porosidad y permeabilidad, solo proveen agua mediante fracturas y fallas.

El Acuífero Misiones (Jm), constituye una secuencia sedimentaria que inicia con unos conglomerados rojizos, líticos de abundante matriz como base, siguiendo con unas areniscas rojas de grano fino a medio, masivas o con estratificación cruzada, medianamente madura con evidente carácter fluvial (a diferencia de las eólicas que se presentan mas maduras).

El Acuífero Misiones (Jm), se diferencia de aquel que se extiende al Oeste y debajo de los basaltos de la Formación Alto Paraná, constituido casi exclusivamente por areniscas eólicas de la Formación Misiones e identificada como Acuífero Guaraní, denominación dada por el Geólogo uruguayo Danilo Anton, y anteriormente conocido como Acuífero Gigante del MERCOSUR (Agua em Revista; 1996).

El Acuífero Caacupé (Sc), constituido por una secuencia sedimentaria que inicia con el conglomerado de la Formación Paraguari, seguido por las areniscas de las formaciones Carro Jhú y Tobatí, sucesivamente.

El Mapa considera a estos como acuíferos continuos de extensión regional o regional limitada. Libres y/o confinados en sedimentos clásticos o

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

granulares no consolidados y consolidados, permeabilidad generalmente alta a media. La calidad química de las aguas generalmente es buena.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

2.4 Acuífero Patiño

Características generales

El denominado Acuífero Patiño abarca una zona de 1173 km² de extensión entre latitudes 25°05' y 25°38' S y longitudes 57°08' y 57°41' W. Incluye la ciudad de Asunción, la parte norte del Departamento Central y una pequeña parte del Departamento de Paraguarí.

La zona tiene forma más o menos triangular y está bordeada en el NO y W por el río Paraguay. Tiene topografía bastante undulante, con dos lineamientos de lomas paralelos a los límites este y sur-oeste. Uno está corriendo de Limpio por Aregua y Ypacaraí a Paraguarí, alcanzando a alturas unos 300 m. El otro, con alturas hasta encima de 200 m, empieza en Asunción, pasa por San Lorenzo, cambia al norte de Guarambaré su rumbo hacia el este y se une con el primer en la zona de Ypacaraí. Las partes más bajas del área se encuentran a un nivel alrededor de 60 msnm, en los márgenes del río Paraguay.

El Acuífero Patiño se encuentra dentro de una fosa tectónica, en la cual durante el Cretácico Medio hasta finales del Terciario fueron depositadas las formaciones del Grupo Asunción, encima de rocas silúricas. Son sucesivamente la Formación Patiño, la Formación Cerro Perú y la Formación Itapytapunta. Son caracterizadas por areniscas friables de grano grueso a fino – en el caso de las Formaciones Patiño y Cerro Perú teniendo conglomerados en su parte basal. Intrusivos de edad oligocena-miocena penetran localmente los sedimentos del Grupo Asunción. Cerca al río Paraguay, a cotas por debajo

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

de 70 msnm, se depositaron encima del Grupo Asunción la Formación Lambaré (grauwackas) y la Formación San Antonio (arenas, gravas y arcillas).

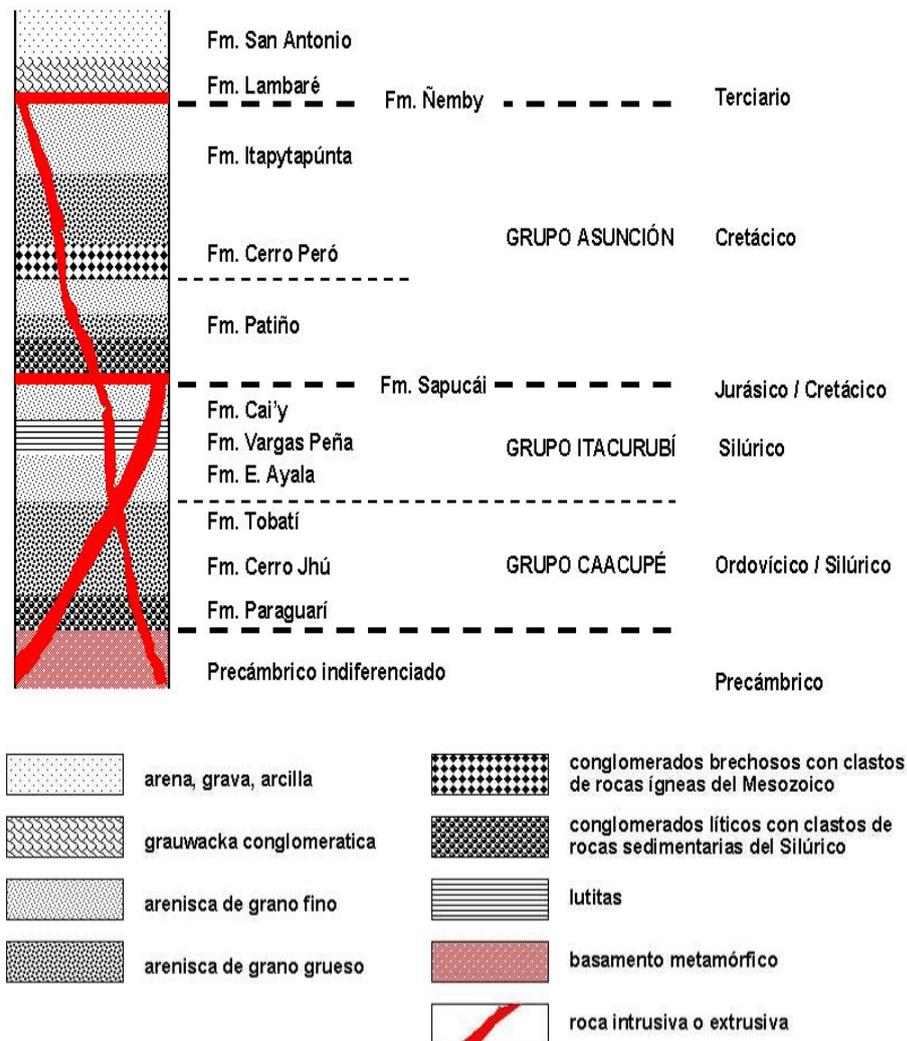


Figura 2.9 - Columna estratigráfica de la 'Antiforma de Asunción' (según Gomez, 1991)

Con Asunción y Villarrica como estaciones meteorológicas indicativas de la zona del Acuífero Patiño se puede inferir una precipitación media anual de 1400 a 1500 mm para dicha zona. Las precipitaciones se presentan durante todos los meses del año, pero es notable una variación estacional, con valores mínimos en agosto, máximos en octubre y valores por encima del promedio durante el período de octubre a marzo.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El régimen de las temperaturas atmosféricas demuestra una variación de unos 10oC entre las temperaturas medias mensuales máximas en enero y las mínimas en julio. Para la zona del Acuífero Patiño se estima una temperatura media anual de 22 a 23oC y una evapotranspiración potencial media anual de 1175 mm (calculada según Thornthwaite). Los datos permiten inferir que hay excedente de precipitación, especialmente en los períodos abril-junio y septiembre-octubre.

Las lluvias suelen tener intensidad bastante grande en la zona del Acuífero Patiño, y la morfología de la zona es caracterizada por pendientes topográficas hacia las zonas limítrofes. Por lo tanto se observa una red de drenaje divergente bien desarrollada para evacuar el excedente de las precipitaciones pluviales.

Por inspección de los mapas topográficos es posible subdividir la zona del Acuífero Patiño en tres zonas hidrográficas distintas:

Zona 1 (Sistema del Río Paraguay):

Esta zona es drenada por arroyos que descargan directamente al Río Paraguay. Consiste de una faja de 5-10 km de ancho bordeando el Río Paraguay, incluyendo las zonas urbanas de Limpio, Mariano Alonso, Asunción, Lambaré, Fernando de la Mora, Villa Elisa, San Antonio y Ñemby. Su extensión es de 410 km² o sea 35% del área total.

Zona 2 (Sistema del Lago Ypacaraí/Río Salado):

Esta zona consiste de la zona central y las zonas a lo largo del borde oriental, incluyendo las zonas urbanas de Luque, San Lorenzo, Areguá, Capiatá, Itaguá, Ypacaraí y Pirayú. Drena hacia el Lago Ypacaraí (zona 2a),

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

hacia el Río Salado que conecta el lago con el Río Paraguay (zona 2c) o hacia la zona pantanosa al norte del lago (zona 2b). Su extensión es de 507 km² o sea 43% del área total, con áreas de 152, 314 y 41, respectivamente, para las subzonas 2a, 2b y 2c.

Zona 3 (Sistema del Ao Caañabé):

Ocupa la zona sur, donde se encuentran los centros de Guarambaré, Ita y Yaguerón. Tiene extensión de 256 km² o sea el 22% del área total. Las aguas de drenaje de esta zona son conducidos por arroyos hacia el Ao Caañabé, el cual alimenta una zona extensa de pantanos al sur de Nueva Italia.

Aunque el Río Paraguay es la base de drenaje regional para toda el área, es claro que las aguas de drenaje de algunas zonas tienen importancia especial con respecto a las condiciones hidrológicas del lago y la sostenibilidad de los ecosistemas húmedos de los pantanos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Población y uso de las tierras

La zona está densamente poblada, especialmente en la parte urbanizada que abarca el oeste y norte. La población total es del orden de dos millones. Gran parte de las tierras es utilizada para fines residenciales e industriales. Son abundantes las zonas verdes y arboladas, también dentro de los límites urbanos.

El Acuífero Patiño está compuesto mayormente de las formaciones pertenecientes al Grupo Asunción, que sobreyacen una base de sedimentos silúricos consolidados. Son areniscas friables de grano variable, con intercalaciones de conglomerados y fanglomerados. Las formaciones que en los alrededores del río Paraguay se observan encima del Grupo Asunción (Formación Lambaré y Formación San Antonio), a cotas por debajo de 70 msnm, hidráulicamente pueden ser consideradas como parte del mismo sistema acuífero.

En el mapa de Naciones Unidas (1986) el acuífero es clasificado como poroso y de bajo potencial de explotación, es decir con capacidad específica inferior a 1.0 m³/h/m. Los datos del SENASA (1999) indican que el caudal específico de los pozos frecuentemente está en el intervalo de 0.5 a 2.0 m³/h/m, un poco más favorable que el promedio de 0.8 m³/h/m estimado por Naciones Unidas. Condiciones freáticas predominan en el acuífero a escala regional, pero localmente se observan también condiciones semiconfinadas y hasta surgentes.

El sistema acuífero tiene extensión restringida (1173 km²), pero su espesor es del orden de algunas centenas de metros. Contrariamente a los

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

acuíferos del Chaco, contiene generalmente agua de muy bajo grado de mineralización, con excepción de algunas zonas cerca al río Paraguay.

Las areniscas del Acuífero Patiño en la zona triangular Asunción-Limpio-Paraguarí están limitadas por fallas en todos sus lados. Al lado este (de Limpio a Paraguarí) se encuentra la falla de Ypacaraí, por la cual dichas areniscas se hallan yuxtapuestas a sedimentos cuaternarios, areniscas paleozoicas, materiales basálticos y rocas del basamento (Bartel y Muff, 1995). Una falla al lado sur ha creado condiciones más o menos similares en esta parte. En el área de Guarambaré a lo largo de esta falla hay intrusiones de la Formación Ñemby que forman localmente una barrera impermeable (Carvallo y otros, 1995). Este fenómeno posiblemente se presenta en otras partes también. Por el contraste en permeabilidad provocado por las fallas y por las condiciones topográficas, se produce descarga de las aguas subterráneas a lo largo de los límites este y sur.

Respecto al límite oeste, la información disponible es más escasa. En rasgos generales el Río Paraguay y el sistema de fallas que definen su curso son considerados como límite occidental. Sin embargo, faltan detalles al respecto en las publicaciones revisadas. Como se observa que existen afloramientos de la Formación Patiño en Villa Hayes y Benjamín Aceval, no es imposible que haya otras extensiones de las areniscas hacia el oeste o noroeste, enterradas bajo los sedimentos más recientes del Chaco. Los mapas y datos disponibles sugieren que hay contacto hidráulico entre el Acuífero Patiño y el Río Paraguay de modo que el último determina los niveles de base en dicho acuífero.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Régimen hídrico subterráneo

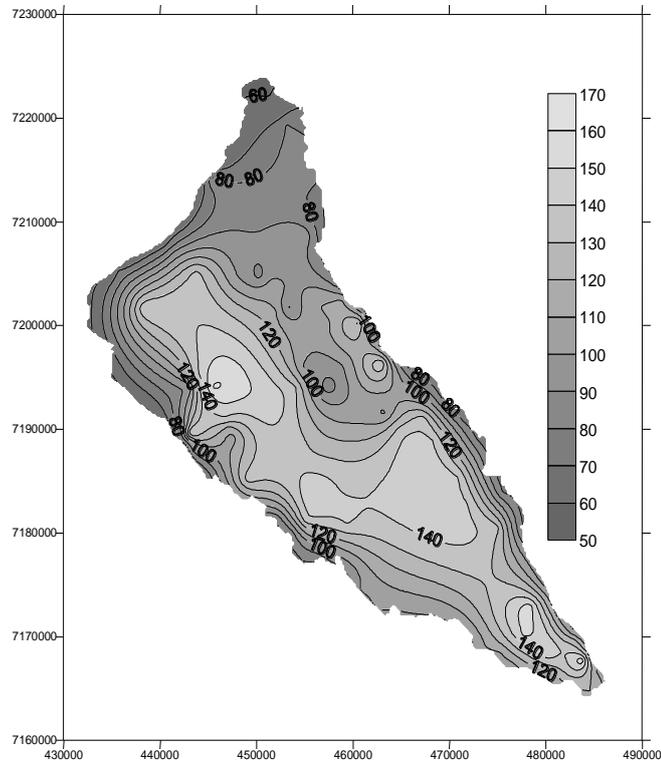


Figura 2.10 – Niveles piezométricos

La figura 2.10 muestra el nivel piezométrico regional deducido de valores de niveles estáticos observados en pozos. Mayor parte de estos pozos son pozos perforados con profundidades entre 50 y 200 m. Los valores fueron determinados en diferentes momentos en el tiempo (muchas veces en el momento de terminar el pozo) y no simultáneamente, ya que pocos pozos se prestan para medir el nivel estático. Sin embargo, el margen de error de presumidamente algunos metros no es muy significativo en vista de la morfología pronunciada del nivel piezométrico. Se observa en la Figura 3.2 que dicho nivel refleja la topografía del área, observándose los niveles piezométricos más elevados en las zonas de lomas y los más bajos cerca al río Paraguay. Es bien marcada la influencia del drenaje por el río Paraguay y por

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

los arroyos principales. Por consiguiente, la dirección del flujo subterráneo es divergente y corresponde en grandes rasgos a la dirección del flujo superficial.

Como consecuencia de la morfología del área, el Río Paraguay y otros cuerpos importantes de aguas superficiales (Lago Ypacaraí, Río Salado) no están en condiciones de recargar el Acuífero Patiño. Por lo tanto, la recarga natural del Acuífero Patiño básicamente proviene del excedente de las precipitaciones pluviales locales (recarga directa). Observaciones en el campo mostraron que las aguas remanentes en depresiones del terreno inmediatamente después de chaparrones fuertes suelen desaparecer rápidamente, lo cual indica una buena capacidad de infiltración.

Naciones Unidas (1986) estima que la recarga directa en la zona del Acuífero Patiño es de 1 a 2 % de la precipitación media, es decir unos 14 a 28 mm por año, en promedio. Aunque muchos autores estiman que esta tasa sea probablemente mucho mayor.

Componentes adicionales de la recarga son la recarga indirecta por la infiltración de aguas servidas, a menudo contaminada, y por pérdidas de las aguas distribuidas. En esta conexión hay que tomar en cuenta el agua suministrada por ESSAP, extraída en cantidades apreciables del Río Paraguay, entonces de una fuente de agua externa.

La descarga del agua subterránea es por una parte por flujos subterráneos directamente al río Paraguay, por otra parte por la exfiltración del agua a los numerosos arroyos de la zona (flujo base) y por evapotranspiración en humedales donde el nivel de agua se encuentra a profundidad somera. Además, el agua subterránea es explotada intensivamente mediante gran

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

cantidad de pozos, que son la fuente de agua potable para gran parte de los dos millones de personas que viven en la zona. Siendo muy obvia todavía la abundante descarga natural y desconocidos los casos de descensos supra-locales apreciables del nivel estático, parece que la tasa de explotación actual del agua subterránea es sostenible.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

CAPÍTULO 2.5 – CALIDAD DEL AGUA

Composición química de las aguas naturales

Las sustancias disueltas en un agua pueden sumar de unos pocos mg/l en un manantial de montaña hasta más de 100.000 mg/l. Las aguas potables tienen menos de 1000, hasta 10.000 se denominan salobres, el agua de mar 35.000 mg/l.

Más del 99% de estas sustancias disueltas en aguas no contaminadas corresponden a los siguientes:

Aniones	Cationes	No iones
Cl ⁻	Na ⁺ (K ⁺)	SiO ₂
SO ₄ ⁼	Mg ⁺⁺	CO ₂
CO ₃ H ⁻	Ca ⁺⁺	(O ₂)

Figura 2.11 – Iones del agua

Estos componentes mayores en las aguas subterráneas se encuentran siempre en concentraciones mayores a 1 mg/l. El nitrato generalmente se encuentra en este rango, pero siempre se debe a contaminación orgánica.

Los componentes menores (1 a 0,1 mg/l en aguas subterráneas) más frecuentes son F⁻ (Fluor), PO₄³⁺ (Fosfato), CO₃⁼ (Carbonato), Sr⁺⁺ (Estroncio), Fe⁺⁺ (Hierro). El resto (componentes traza) suelen estar en concentraciones menores a 0,1 mg/l. Las unidades empleadas son de mg/l (miligramo por litro), lo que es equivalente a ppm (partes por millón).

Los parámetros físico-químicos que normalmente se analizan para determinar la calidad del agua son: conductividad eléctrica, pH, sólidos totales disueltos (TSD), cloruros, sulfatos y nitratos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Conductividad Eléctrica

Al disolver un ácido, una base o una sal en el agua, se disocian en iones, unos positivos llamados cationes y otros negativos, llamados aniones, y que esta disolución tiene la propiedad de conducir la corriente eléctrica. Pero, a diferencia de cómo la conducen los metales (corriente de electrones), a los que, por no sufrir variación en la naturaleza del metal se les llama conductores de primera clase, en los electrolitos son los iones (caminantes) los que conducen la electricidad (conductores de segunda clase), dirigiéndose los cationes o iones positivos al cátodo (electrodo negativo) y los iones negativos o aniones al ánodo (electrodo positivo)

Esto se explica por la teoría de la disolución electrolítica (Arrhenius, 1887) según la cual se admite que cuando se disuelve en agua un ácido, una base o una sal, una parte variable de los mismos (la proporción de moléculas que se disocian se llama grado de disociación) se disocian espontáneamente en iones positivos y negativos, pudiéndose dichos iones moverse independientemente, dirigiéndose a los electrodos de signo opuesto como consecuencia de la acción de un campo eléctrico.

La conductividad puede ser vista así como la facilidad del agua para conducir corriente eléctrica.

El agua destilada es prácticamente aislante, pero la conductividad aumenta rápidamente con la cantidad de iones disueltos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Temperatura de la muestra 25 °C	Conductividad, $\mu\text{S/cm}$
Agua Pura	0,05
Agua Destilada	0,5 a 5
Lluvia	5 a 30
Agua potable (tratada)	50 a 100
Agua subterránea potable	30-1000
Agua de mar	53.000

Figura 2.12 – Valores típicos de conductividad

Su importancia radica en que se mide muy fácilmente y nos indica aproximadamente la salinidad del agua.

Sólidos Totales Disueltos (mg/l) $\approx 0,75 \times$ Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)

Esta relación varía de acuerdo a la fuente, pero normalmente se mantiene constante dentro del mismo recurso. Algunos autores determinan una relación general, que puede ser tomada como referencia, aunque lo concreto es la relación lineal que existe entre dos parámetros, lo que le da aún más importancia al parámetro de conductividad eléctrica. El factor de correlación para obtener los valores cuantitativos de los sólidos totales disueltos solo es válido cuando la muestra tiene un pH entre 5 y 8, a valores mayores o menores de pH, los resultados no serán confiables. Se tendrá que ajustar el valor del pH a cerca de 7.0 utilizando un ácido o una base débil según sea necesario.

La resistividad, constante que aparece en la Ley de Ohm, se mide en ohmios/metro. La conductividad es el inverso de ésta, de modo que sus unidades son $\text{ohmios}^{-1}/\text{m}$. El inverso de ohmio se denomina Mho o Siemens.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Por tanto sería Siemens/metro, aunque lo más usual es usar el $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microSiemens/cm)

Si disponemos de un análisis químico completo, la conductividad pasa a ser irrelevante. Normalmente es útil en las siguientes situaciones:

- En un estudio preliminar de la hidroquímica de una zona, disponiendo de muchos datos, se puede elaborar un mapa de isoconductividades, que indicará la iso-salinidad de las aguas subterráneas.
- En zonas con tipos de aguas muy distintos (muy salinas y poco salinas) permite establecer un muestreo inteligente, sabiendo de antemano que tipo de agua se muestrea, de modo a maximizar el uso de los recursos.
- En zonas costeros, permite determinar la profundidad de la interfase agua dulce-agua salada.

La conductividad y la resistividad dependen de la temperatura. A 25°C , un agua totalmente pura tiene una resistividad de $18,2 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ (una conductividad de $0,055 \mu\text{S}/\text{cm}$) debido a los iones hidrógeno e hidróxilo presentes.

Un aumento en la temperatura del agua producirá una mayor conductividad y una menor resistividad. Esto no debe interpretarse como un deterioro de la calidad del agua tratada. Si la temperatura aumenta un 1°C , la conductividad del agua de alimentación se incrementará alrededor del 2%, mientras que la del agua ultrapura aumentará hasta un 6%. La práctica normal

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

es corregir todos los valores de conductividad y resistividad a 25°C. Esto se realiza automáticamente en medidores de conductividad más sofisticados, y es fundamental para realizar un trabajo preciso.

pH

En 1909, el químico danés Sorensen definió el potencial hidrógeno (pH) como el logaritmo negativo de la concentración molar (mas exactamente de la actividad molar) de los iones hidrógeno. Esto es:

$$\mathbf{pH = - \log [H +]}$$

Desde entonces, el término pH ha sido universalmente utilizado por la facilidad de su uso, evitando así el manejo de cifras largas y complejas.

Por ejemplo, una concentración de $[H+] = 1 \times 10^{-8} \text{ M}$ (0,00000001) es simplemente un pH de 8 ya que: $pH = - \log[10^{-8}] = 8$

La relación entre pH y concentración de iones H se puede ver en la siguiente tabla, en la que se incluyen valores típicos de algunas sustancias conocidas:

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

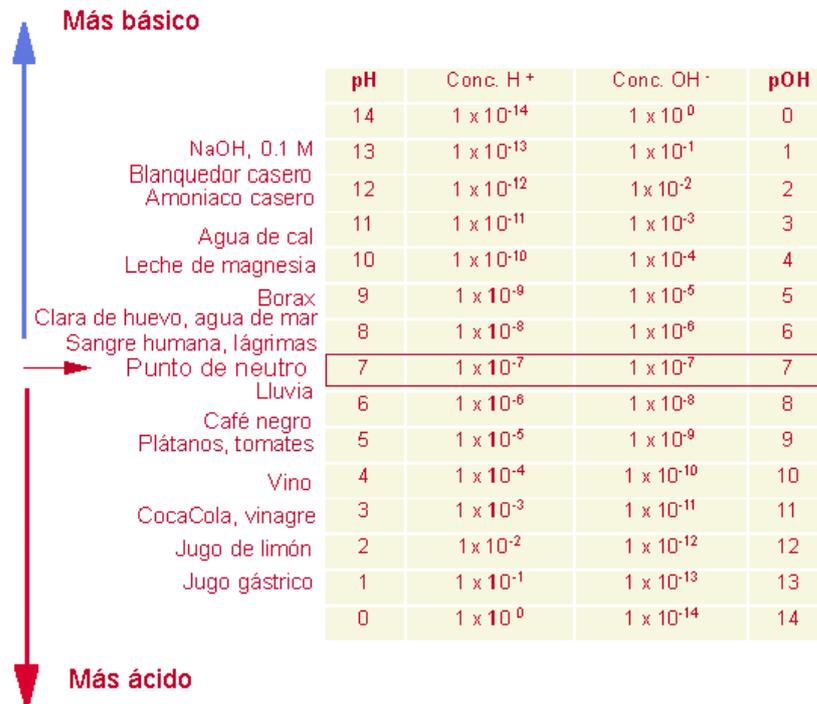


Figura 2.13 - Relación de pH, pOH y Concentración de H⁺ y OH⁻

La determinación del pH en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o de su alcalinidad. No mide el valor de la acidez o alcalinidad.

Un pH menor de 7.0 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un valor mayor de 7.0 muestra una tendencia hacia lo alcalino.

El pH del agua pura es de 7 a 25°C. Como consecuencia de la presencia de ácidos y bases, y de la hidrólisis de las sales disueltas, el valor puede disminuir o aumentar.

La presencia de sales de bases fuertes y ácidos débiles incrementa el pH. Sales de bases débiles y ácidos fuertes produce disminución del pH.

La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Un pH muy ácido o muy alcalino, puede ser indicio de contaminación.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El valor del pH en el agua, es utilizado también cuando nos interesa conocer su tendencia corrosiva o incrustante, y en las plantas de tratamiento de agua.

Sólidos Totales Disueltos

El total de sólidos disueltos en el agua, expresa el grado de mineralización de la misma, a la vez de estar relacionado con la conductividad eléctrica ya que esta indica el contenido de sales disueltas.

Con respecto a la alimentación humana hay que hacer notar que la cantidad límite de sales minerales que el hombre puede consumir varía de unos autores a otros. Algunos consideran como cantidad límite 750 mg/l y otros elevan bastante esta cantidad. Lo cierto es que en gran parte la cantidad tolerada depende de la costumbre, siendo numerosas las personas que beben regularmente aguas con cantidades mucho mayores, sin que haya advertido perjuicio alguno. Lo que ocurre es que al intentar beber esta agua cargada en sales, la mayoría de las personas no acostumbradas suelen rechazarla por repugnancia por tener un sabor calificable por lo no habituados como insoportable.

Hoy día se ha comprobado que el hombre puede consumir agua que contenga hasta 2.500 mg/l sin quebranto para la salud. Por encima de esta dosis no puede tolerarse para un uso continuo, pudiendo hacerse esporádicamente si su contenido en sales no alcanza los 5.000 mg/l.

El café o el té, preparados con agua muy mineralizada, adquieren sabor menos agradable que los preparados con agua poco mineralizada. En general,

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

debido a la distinta mineralización de las aguas, es por lo que las comidas tienen gustos deferentes, fácilmente reconocibles, en las distintas regiones. Las distintas normalizaciones existentes fijan cantidades variables según las aguas que disponen las regiones correspondientes.

Si pasamos a considerar el efecto fisiológico de cada una de las sales contenidas en el agua de bebida, se observa con respecto al cloruro sódico que la que contiene 400 mg/l no tiene sabor salino aún, manifestándose éste a partir de los 500 mg/l, pudiendo soportar el organismo humano hasta 2.500 mg/l de esta sal.

Ritcher (1939) realizó una experiencia con una serie de individuos para estudiar su reacción al gusto del cloruro sódico en agua destilada, llegando a la conclusión de que se podían distinguir 160 mg/l de cloruro sódico y de que el gusto salado era reconocido a una concentración media de 870 mg/l.

Whipple (1907), utilizando igualmente una serie de personas llegó a la confección del cuadro siguiente, en donde se expresan los límites superior e inferior a los cuales los componentes del plantel determinaban cada sal.

Sal	mg/l
Cloruro Cálcico	150 a 350
Cloruro Magnésico	200 a 750
Cloruro Potásico	350 a 600
Cloruro Sódico	200 a 450
Sulfato Cálcico	250 a 900
Sulfato Magnésico	400 a 600
Sulfato Sódico	250 a 550

Figura 2.14 – Cuadro de Whipple

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El carbonato cálcico no es nocivo y en pequeñas cantidades facilita la digestión y hace el agua agradable al paladar. No ocurre lo mismo con los carbonatos alcalinos, cuya presencia presenta graves inconvenientes.

El sulfato magnésico comunica al agua un sabor amargo. Los sulfatos alcalinos tienen efectos moderados.

Un contenido elevado de materias disueltas en el agua, en especial sulfatos, ejerce una acción laxante sobre las personas no habituadas. En una prueba realizada por Moore sobre los consumidores de 248 pozos, en aguas en que las sales disueltas sobrepasaban los 1.000 mg/l, siendo la mayoría sulfatos, encontró que un agua que contenía de 1.000 mg/l a 2.000 mg/l produjo desarreglos intestinales a un 21% de las personas del plantel. Con más de 2.000 mg/l producía efectos laxantes al 50% de los individuos cuando la concentración era de 4.000 mg/l o más, producía estos efectos en la casi totalidad de los miembros del panel.

Con respecto al uso de las aguas para riego, no es suficiente para establecer un dictamen sobre su utilidad o no, el conocer la cantidad de sales disueltas y su naturaleza, sino que debe tenerse en cuenta, además, la tolerancia a la salinidad de las plantas que han de cultivarse y las condiciones especiales del sistema agua-suelo. Aunque es sumamente arriesgado fijar cifras con respecto a la posibilidad de vida de las plantas en función de la sal aportada por las aguas, algunos autores fijan el tope máximo de 2.000 ppm como cifra media.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En relación con su aplicación para la industria, la calidad del agua depende de las necesidades de la misma. Debe tenerse en cuenta que los sólidos disueltos, tanto orgánicos como inorgánicos, son difíciles de evitar.

En la industria se emplea el agua para muy diversos fines, algunos de los cuales exigen una calidad química y biológica determinada.

Desde el punto de vista del residuo seco, las exigencias son variables; así por ejemplo, para industrias lecheras no debe pasar de 500 mg/l., para industrias cerveceras, según la clase que sea, entre límites que van de 50 a 1.500 mg/l, para industrias de la alimentación 800 mg/l, para papeleras de 200 a 500 mg/.

Es interesante estudiar la acción de las sales disueltas en un agua que se emplea para alimentar calderas. Ante todo, digamos que las aguas destinadas a este fin se pueden dividir en duras y blandas, ácidas y alcalinas.

Son las sales menos solubles las que al concentrarse en las calderas producirán depósitos e incrustaciones. Por lo tanto, las sales sódicas, debido a su alta solubilidad no producirán las citadas incrustaciones, como no se encuentran en grandes concentraciones.

Cloruros

El ión cloruro es uno de los iones que están siempre presentes en las aguas, dependiendo de su concentración de los terrenos drenados y pudiendo encontrarse entre límites muy amplios. En ríos, usualmente se encuentran valores desde 2 mg/L hasta 2.750 mg/L, aunque lo más frecuente es que se encuentre entre 10 y 30 mg/L.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En las aguas subterráneas oscila entre 10 y 20 mg/L.

Estas cantidades son muy pequeñas, sobre todo si se comparan con el contenido del agua de mar, el cual, normalmente alcanza alrededor de 18 a 19 gr/L de ión cloruro.

Por ello, en las aguas continentales, excepto en casos de aguas saladas, no son los cloruros sino los sulfatos y los carbonatos los principales responsables de la salinidad de las mismas.

El origen de los cloruros en las aguas es debido a intercambios con mares actuales o antiguos. En efecto, actualmente son causas de la salinidad la contaminación de las aguas dulces por agua de mar (pozos o ríos), el lavado de terrenos salados de origen marino o el llegar a la superficie del suelo sales, por capilaridad, que posteriormente pasan a las aguas. Igualmente, la disolución de rocas, principalmente evaporíticas, es otro origen de los cloruros.

El agua de lluvia, sobre todo en las proximidades de la costa, tiene una cantidad importante de cloruros. Es un hecho, la contaminación de los pozos profundos situados cerca de la costa, por agua de mar o por ríos de agua salada. Para que en los pozos haya contaminación de agua del mar es necesario que la profundidad del pozo y el nivel del agua en el mismo, esté por debajo del nivel del mar, además de que la estructura geológica del terreno sea tal que permita la filtración del agua.

En ocasiones, aunque se cumplan las condiciones anteriores, no hay normalmente contaminación hasta que no son muchos los pozos perforados y se ha extraído una cantidad de agua tal que altere el equilibrio interior de la misma.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

A veces, puede haber un incremento esporádico del contenido en cloruros como consecuencia de poluciones, en particular procedentes de la orina del hombre y de los animales, que contiene por término medio 5gr/L de cloruro. Este hecho se ha pretendido utilizar como una indicación de la contaminación con aguas negras humanas. Sin embargo, estos resultados no ofrecen gran confianza, sobre todo cuando existen pruebas más exactas para poder dictaminar una contaminación.

El incremento de cloruros en una agua puede ser también motivado por ciertos desechos industriales, como los de las fábricas de helados, salado de carnes, etc.

Con respecto a la cantidad de cloruros en el agua destinada a la bebida, un agua que contiene unos 400 mg/L de cloruro sódico no tiene gusto salino, manifestándose éste a partir de los 500 mg/L, pudiendo soportar el organismo humano hasta 2.500 mg/L de esta sal.

El grave inconveniente que presentan los cloruros es el sabor desagradable que dan al agua. Prácticamente, su efecto nocivo es nulo, por lo que en el control de un agua se atenderá más a los cambios bruscos de contenido, que a la cantidad de cloruro presente, ya que un salto brusco supondrá una contaminación del agua, bien por efectos de aguas residuales o de aguas negras de origen humano o animal.

Por ellos, el límite fijado por las distintas reglamentaciones es amplísimo, dependiendo de la salinidad de las aguas el país. Por ejemplo, Suiza lo fija en 10 mg/L que corresponde a una disponibilidad de aguas muy puras de montaña para las que un incremento sobre esta cifra supondrá una contaminación. Sin

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

embargo, Alemania lo fija en 250 mg/L, la OMS en 200 mg/L el admisible y 600 el excesivo y España en 250 mg/L y 350 mg/L, respectivamente.

Agresividad. Entendemos por tal la intensidad con la cual un agua es susceptibles de corroer un material o entrar en combinación con el. Según esto, lo primero que debe hacerse es establecer en relación a qué se considera un agua agresiva.

Las aguas fuertemente cloruradas son agresivas, entre otras razones porque en presencia de cloruro sódico ciertas sales son muchos más solubles que en al agua pura.

A partir de cierta concentración pueden ejercer una acción disolvente sobre los compuestos del cemento, ya que el ión cloruro es un ión mal bloqueado en estos compuestos, jugando un papel agresivo muy importante.

Además pueden ejercer una acción corrosiva sobre las tuberías. C

Como los cloruros son sustancias inorgánicas en solución no actúan sobre ellos los procesos biológicos. Tampoco la sedimentación tiene influencia apreciable en su contenido en el agua.

La eliminación de los cloruros del agua de mar, a fin de transformar ésta en potable, se realiza cuando se trata pequeñas cantidades (estuche para desalar) por medio de cambiadores de iones. Se suele presentar en el comercio un estuche que contiene una pastilla formada por zeolita de plata, una pequeña cantidad de hidróxido de bario, un poco de carbón activo y un dispersante.

Estas pastillas son de tal tamaño que pueden potabilizar cada una de ellas un cuarto de litro aproximadamente de agua de mar.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Para caudales importantes se realizan hoy en día montajes de grandes plantas potabilizadoras en lugares donde no hay o escasea el agua potable, siendo los procedimientos de desmineralización más importantes los siguientes:

- a) Destilación de uno o varios pisos
- b) Congelación
- c) Cambiadores de iones
- d) Electrodialisis
- e) Osmosis inversa
- f) Formación de hidratos
- g) Extracción con disolvente

Sulfatos

El ión sulfato es uno de los iones que contribuyen a la salinidad de las aguas, encontrándose en la mayoría de las aguas naturales. Algunas agua no lo contienen y otras llegan a tener hasta 2 gramos por litro e incluso más, dependiendo principalmente de los terrenos que hayan drenado.

El origen de los sulfatos es debido fundamentalmente a la disolución de los yesos $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. También pueden provenir de la oxidación de los sulfuros (piritas), los cuales darán ión sulfato o ácido sulfúrico libre, según la riqueza del agua en iones metálicos.

Los sulfatos son, después de los bicarbonatos y de los silicatos, los elementos principales de las aguas continentales, siendo muy importante el

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

conocimiento del contenido de este ión en las aguas naturales susceptibles de ser utilizadas.

Con respecto a las obras públicas, sabemos que las aguas que contienen 300 mg/L o más del ión sulfato son perjudiciales (aguas selenitosas), por atacar la cemento al formarse la sal llamada de Candolt-Michaelis, conocida como cáncer del cemento, de fórmula probable $Al_2O_3, 3CaO, 3CaSO_4, 30H_2O$. Esta sal se forma al ponerse en contacto el sulfato cálcico y el aluminio tricálcico, descomponiéndose hidrolíticamente y destruyéndose el hormigón. La estabilidad de éste es reforzada por el NaCl y el Na_2SO_4 , pero el $MgSO_4$ y el Na_2CO_3 lo destruyen.

Al sulfato de magnesio se le asigna una acción agresiva muy fuerte, porque además de reaccionar con el $Ca(OH)_2$ libre y los aluminatos, los hace también con los silicatos cálcicos hidratados, de tal forma que frente a la disolución de sulfato sódico y sulfato magnésico se forma, en contacto con el cemento, sulfato cálcico, hidróxido magnésico, hidróxido de aluminio y sulfoaluminato cálcico.

En general, todos los sulfatos presentes en las aguas están en forma de sales alcalinas o alcalinotérreas.

Los sulfatos de calcio y de magnesio contribuyen a la dureza del agua, constituyendo la dureza permanente.

El ión sulfato se encuentra disuelto en las aguas debido a su estabilidad y resistencia a la reducción. Su presencia es incompatible con la de los metales pesados, debido a que los valores del producto de solubilidad de sus sales son muy bajos, contribuyendo muy eficazmente a disminuir su toxicidad.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En general, cuando se analizan las aguas de un río a lo largo de su curso, nos encontramos con un aumento progresivo del contenido en sulfatos, dependiendo este aumento del contenido en sales solubles de las litofacies que se encuentran a lo largo de su cuenca, pudiendo, por medio del coeficiente de disolución o del selenitoso, dividir la cuenca de un río en zonas de mayor o menor erosionabilidad.

Si comparamos la cantidad total de materia disuelta transportada por los ríos con la cantidad total de sulfatos, vemos que éste es el principal ión eliminado y transportado de la superficie de la Tierra.

La concentración del ión sulfato en las aguas de bebida ha sido motivo de atención a su acción catártica, habiéndose encontrado que las aguas que contienen menos de 600 mg/L son buenas, mostrando efecto laxante las aguas que tienen más de 750 mg/L, aunque existen una variedad de opiniones y resultados, según los autores, por lo que es difícil establecer un nivel máximo para las aguas de bebida.

Entre los factores que influyen en la posible acción de los sulfatos como laxante, se encuentran, aparte de la sensibilidad del individuo, la costumbre de los usuarios, existiendo la posibilidad de la aclimatación, y sobre todo influye el catión que forma la sal. En efecto, se sabe que el sulfato cálcico es mucho menos activo que el sulfato sódico o magnésico, siendo estos como laxantes en forma de sal Glauber ($\text{Na}_2\text{SO}_4 - 10\text{H}_2\text{O}$) y sal de Epson ($\text{MgSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$) siendo la dosis aproximada de 2 g/L de sal. En general, la presencia de un contenido alto de magnesio, contribuirá a acrecentar la acción laxante de los

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

sulfatos frente a otros cationes, sobre todo en los niños, comunicando por otra parte sabor amargo al agua.

Las aguas con alto contenido en sulfatos dan sabor al café y al té hechos con esas aguas, así como a las papas cocidas en ellas.

Nitratos

Los nitratos actualmente constituyen la principal “fuente de contaminación difusa” de las aguas (superficiales y subterráneas).

La contaminación difusa tiende a adquirir cada vez mayor protagonismo en la degradación de los recursos hídricos, ya que cuanto mayor es el grado de depuración y limitación de los vertidos puntuales, mayor es el peso relativo de este tipo de contaminación.

La máxima preocupación en torno a la contaminación del agua por nitratos estriba en el efecto que puede tener sobre la salud humana la ingesta de nitratos, bien disueltos en el agua o bien en los alimentos.

Aunque los nitratos son un producto normal del metabolismo humano el agua con altas concentraciones en nitratos representa un riesgo para la salud, especialmente en los niños. Si se bebe agua con elevadas concentraciones de nitratos la acción de determinados microorganismos en el estómago puede transformar los nitratos en nitritos, que al ser absorbido en la sangre convierte a la hemoglobina en metahemoglobina. La metahemoglobina se caracteriza por inhibir el transporte de oxígeno en la sangre. Aunque la formación de metahemoglobina es un proceso reversible, si puede llegar a provocar la muerte, especialmente en niños (“síndrome del bebé azul”). Pero también los

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

nitratos pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas compuestos que pueden ser cancerígenos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) fija el límite de nitrato en el agua de consumo humano en 50 mg/l de nitrato. En cambio, la Agencia para la Protección del Medio Ambiente Norteamérica (EPA) sitúa este límite en 10 mg/l de nitrato. Por su parte, la Comunidad Europea y siguiendo sus directrices, el Ministerio de Sanidad español fijan los niveles máximos permitidos de nitratos en 50mg/l de N (Directiva 91/676/CEE).

Los problemas de calidad más habituales en las aguas subterráneas son la presencia de elevadas concentraciones de compuestos nitrogenados en áreas de desarrollo agrícolas y de cloruros y sodio, asociados a la intrusión marina en los acuíferos costeros.

Los mecanismos por los que un agente contaminante puede alcanzar un acuífero y propagarse en él son múltiples, y en ocasiones muy complejos. La contaminación de un acuífero desde la superficie del terreno se puede deber a los residuos o líquidos vertidos en cauces secos, a la existencia de vertederos incontrolados o a la acumulación de sustancias contaminantes. No obstante, las aguas subterráneas cuentan con el poder depurador del terreno, en especial en determinados tipos de acuíferos que pueden atenuar o reducir a niveles aceptables el deterioro de la calidad de las aguas. La magnitud del problema va a depender de numerosos factores entre los que destacan el tamaño de la zona afectada, la cantidad de contaminante implicado, su

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

solubilidad, toxicidad y densidad, así como la composición mineral y de las características hidrogeológicas del terreno por el cual se mueve.

Las fuentes de contaminación por nitratos en suelos y aguas (superficiales y subterráneas), aunque pueden ser muy diversas, se asocian mayoritariamente a actividades agrícolas y ganaderas, aunque en determinadas áreas, también pueden aparecer asociadas a ciertas actividades industriales, especialmente las relacionadas con el sector agrícola. No obstante, también existe una contaminación por nitratos de **tipo puntual**. En este caso la fuente de contaminación es más fácil de identificar ya que se suelen localizar en zonas de extensión restringida y frecuentemente se asocian con vertidos urbanos o industriales.

Fuentes de nitratos

- Aporte en el agua de lluvia de formas nitrogenadas.
- Fenómeno de nitrificación
- Actividades agrícolas (Fertilizantes inorgánicos y orgánico, Uso excesivo de purines, Herbicidas y pesticidas que contienen nitratos)
- Actividades ganaderas (Almacenamiento de estiércoles)
- Actividades industriales y urbanas (Vertidos efluentes y Aguas residuales)

Dentro de nuestra zona de estudio la principal fuente de contaminación por nitratos son la gran cantidad de pozos ciegos existentes, a los cuales no se les realiza ningún tipo de mantenimiento. La oxidación del amoníaco en las mismas es la principal fuente de contaminación por nitratos en las aguas subterráneas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Los compuestos nitrogenados en los excrementos humanos no representan un peligro tan inmediato para las aguas subterráneas, pero pueden causar problemas muchos más amplios y consistentes.

Son numerosos los diferentes compuestos de nitrógeno que se pueden formar en las distintas fases que componen el ciclo del nitrógeno, aunque algunos de ellos tienen una procedencia natural, la formación de muchos de estos compuestos se ve fuertemente incentivada de forma artificial, debido a la acción del hombre, constituyendo importantes fuentes de contaminación, tal es el caso de los nitratos.

Independientemente del origen de la fuente de contaminación, la cantidad de nitrato que se incorpora a las aguas subterráneas está controlada por un complejo conjunto de procesos biológicos, químicos e hidrológicos que se desarrollan en el medio subterráneo. Y para explicar dichos procesos se hace necesario conocer las relaciones entre las distintas fases del **ciclo del nitrógeno**.

Todos los seres vivos requieren de átomos de nitrógeno para la síntesis de proteínas de una variedad de otras moléculas orgánicas esenciales. El aire, contiene 79% de nitrógeno, se utiliza como el reservorio de esta sustancia. A pesar del gran tamaño del patrimonio de nitrógeno, a menudo es uno de los ingredientes limitantes de los seres vivos. Esto se debe a que la mayoría de los organismos no puede utilizar nitrógeno en forma elemental, es decir: como gas N_2 . Para que las plantas puedan sintetizar proteína tienen que obtener el nitrógeno en forma "fijada", es decir: incorporado en compuestos. La forma más comúnmente utilizada es la de iones de nitrato, NO_3 . Sin embargo, otras

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

sustancias tales como el amoníaco NH_3 y la urea $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, se utilizan con éxito tanto en los sistemas naturales como en forma de fertilizantes en la agricultura.

La molécula de nitrógeno, N_2 , es bastante inerte. Para separar los átomos, de tal manera que puedan combinarse con otros átomos, se necesita el suministro de grandes cantidades de energía. Tres procesos desempeñan un papel importante en la fijación del nitrógeno en la biosfera. Uno de estos es el relámpago. La energía enorme de un relámpago rompe las moléculas de nitrógeno y permite que se combinen con el oxígeno del aire. Los óxidos de nitrógeno formados se disuelven en el agua de lluvia y forman nitratos. En esta forma pueden ser transportados a la tierra. La fijación atmosférica del nitrógeno probablemente representa un 5 a 8% del total.

Las bacterias son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico tanto para su huésped como para sí mismas. En efecto, la capacidad para fijar nitrógeno parece ser exclusiva de los procariotes.

Otras bacterias fijadoras del nitrógeno viven libremente en el suelo. También algunas algas verde-azules son capaces de fijar nitrógeno y desempeñan un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad en medios semiacuáticos como campos de arroz.

A pesar de la amplia investigación desarrollada, todavía no es claro de que manera los fijadores del nitrógeno son capaces de vencer las barreras de alta energía inherentes al proceso. Ellos requieren de una enzima, llamada nitrogenasa, y un alto consumo de ATP. Aunque el primer producto estable del proceso es el amoníaco, este es incorporado rápidamente en las proteínas y en

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

otros compuestos orgánicos que contienen nitrógeno. Podemos decir, entonces, que la fijación del nitrógeno en las proteínas de la planta (y de los microbios). Las plantas carentes de los beneficios de la asociación con fijadores del nitrógeno, sintetizan sus proteínas con fijadores de nitrógeno absorbido del suelo, generalmente en forma de nitratos.

Las proteínas sintetizadas por las plantas entran y atraviesan redes alimentarias al igual que los carbohidratos. En cada nivel trófico se producen desprendimientos hacia el ambiente, principalmente en forma de excreciones. Los beneficiarios terminales de los compuestos nitrogenados orgánicos son microorganismos de descomposición. Mediante sus actividades, las moléculas nitrogenadas orgánicas de las excreciones y de los cadáveres son descompuestas y transformadas en amoníaco. Este puede ser absorbido directamente por las plantas a través de sus raíces y, como se ha demostrado en algunas especies, a través de sus hojas. Sin embargo, la mayor parte del amoníaco producido por descomposición se convierte en nitratos. Este proceso se cumple en dos pasos. Las bacterias del género nitrosomonas oxidizan el NH_3 y lo convierten en nitritos (NO_2^-). Los nitritos son luego oxidados y se convierten en nitratos (NO_3^-) mediante bacterias del género Nitrobacter. Estos dos grupos de bacterias quimioautotróficas se denominan bacterias nitrificantes. A través de sus actividades, el nitrógeno es puesto a disposición de las raíces de las plantas.

Si el proceso descrito antes comprendiera el ciclo completo del nitrógeno, estaríamos ante el problema de la reducción permanente del patrimonio de nitrógeno atmosférico libre, a medida que es fijado comienza el

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

ciclaje a través de diversos ecosistemas. Otro proceso, la desnitrificación, reduce los nitratos a nitrógeno, el cual se incorpora nuevamente a la atmósfera. Así, otra vez, las bacterias son los agentes implicados. Estos microorganismos viven a cierta profundidad en el suelo y en los sedimentos acuáticos donde existe escasez de oxígeno. Las bacterias utilizan los nitratos para sustituir al oxígeno como aceptor final de los electrones que se desprenden durante la respiración. Al hacerlo así, las bacterias cierran el ciclo del nitrógeno.

La constatación de esta concentración creciente señala un desequilibrio en la relación entre la planta, el suelo y el agua, cuya causa debe buscarse en el contexto de un balance de nitrógeno asociado al sistema de cultivo en cuestión.

Coliformes Totales y Fecales

La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.

Coliforme significa con forma de coli, refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la *Escherichia coli*, descubierta por el bacteriólogo alemán Theodor Von Escherich en 1860. Von Escherich la bautizó como *bacterium coli* ("bacteria del intestino", del griego, kolon, "intestino"). Con posterioridad, la microbiología sistemática nombraría el género *Escherichia* en honor a su descubridor.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Las bacterias de este género se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, es decir, homeotermos, pero también ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales.

Los coliformes se introducen en gran número al medio ambiente por las heces de humanos y animales. Por tal motivo suele deducirse que la mayoría de los coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal. Sin embargo, existen muchos coliformes de vida libre.

Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura.

Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces.

Los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. En general, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. Por su amplia diversidad el grupo coliformes ha sido dividido en dos grupos: coliformes totales y coliformes fecales.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Bacterias que integran el grupo: El grupo coliforme está formado por los siguientes géneros:

1. Escherichia
2. Klebsiella
3. Enterobacter
4. Citrobacter

No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales, que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales, aquellos de origen intestinal.

Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal.

Se define como coliformes fecales a aquellos que fermentan la lactosa a 44,5 – 45,5 °C, análisis que permite descartar a Enterobacter, puesto que ésta no crece a esa temperatura. Si se aplica este criterio crecerán en el medio de cultivo principalmente E. coli (90%) y algunas bacterias de los géneros Klebsiella y Citrobacter. La prueba de coliformes fecales positiva indica un 90% de probabilidad de que el coliforme aislado sea E. coli.

El aislamiento de esta bacteria en el agua da alto grado de certeza de contaminación de origen fecal, alrededor del 99%. No es absoluta porque se han aislado cepas de E. coli que no tienen origen fecal, pero es un grado de certeza es más que razonable para certificar contaminación con ese origen.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sin embargo, el aislamiento de este microorganismo no permite distinguir si la contaminación proviene de excretas humanas o animales, lo cual puede ser importante, puesto que la contaminación que se desea habitualmente controlar es la de origen humano. Esto no significa menospreciar la de origen animal, especialmente dada la existencia de zoonosis, enfermedades que son comunes al hombre y animales, que también se pueden transmitir por el agua.

La *Escherichia coli* de origen animal y la de origen humano son idénticas. Sin embargo, algunos investigadores han encontrado que las bacterias del género *Rodococcus* se asocian solamente a la contaminación fecal por animales.

En la higiene de alimentos los coliformes no se consideran indicadores de contaminación fecal sino solamente indicadores de calidad.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

CAPÍTULO 6 - POZOS PROFUNDOS

Generalidades

Un pozo profundo es una obra hidráulica que consiste en la captación de aguas subterráneas mediante una perforación de pequeño diámetro, que puede ir desde 6" hasta 16", y una profundidad que puede variar según una serie de factores como la importancia del proyecto, el tipo de terreno, la ubicación, la calidad y el espesor del acuífero.

Debe ser realizado cumpliendo ciertas normas de diseño y construcción, y en nuestro país es la Secretaria del Ambiente la encargada de controlarlos, y mediante la Resolución N° 2155/2005 establecen las especificaciones técnicas de construcción de pozos tubulares destinados a la captación de aguas subterráneas.

La construcción de un pozo profundo comprende las etapas de Estudios Previos, Perforación, Entubación, Engravillado, Cimentación, Desarrollo del pozo, Prueba de Bombeo y Plano e Informe Final.

Estudios previos. En esta etapa se determina la mejor ubicación del punto de perforación, la profundidad estimada del pozo, caudal posible de obtener, niveles del agua (con y sin bombeo), y diámetro de la tubería definitiva. Para ello se recurre a mapas y estudios hidrogeológicos, catastros de pozos existentes e información del comportamiento de las napas en los últimos años.

Perforación. Es el conjunto de operaciones que permiten atravesar las capas que componen el subsuelo, hasta la profundidad establecida en el proyecto, dejando un espacio libre entre la pared del pozo y la cañería de

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

entubación definitiva. Durante la perforación, es recomendable guardar muestras del terreno atravesado en cajas ordenadas por estratos de profundidad, para realizar los análisis de granulometría con los cuales es posible determinar la ubicación de los acuíferos aportantes y dimensionar la abertura de las cribas. Se utilizan métodos y técnicas de perforación con equipos que utilizan sistemas de roto percusión (mediante martillo DTH) y rotación directa pero sin entubamiento definitivo. Los fluidos de perforación utilizados consisten en materiales exclusivamente biodegradables.

Entubación. Consiste en la colocación de la cañería de entubación definitiva, que debe contar con las cribas necesarias, instaladas frente a los acuíferos aportantes, según la estratigrafía del terreno perforado. El material que se utilizamos en esta etapa siempre es de primer uso y de muy buena calidad para que la obra de captación tenga una vida útil elevada y sea posible efectuar trabajos de limpieza. Es muy importante que la tubería quede con una verticalidad dentro de las normas y perfectamente alineadas para la correcta instalación de la bomba.

Engravillado. Esta labor consiste en rellenar el espacio que queda entre la pared del pozo perforado y la tubería definitiva con grava de canto rodado lo más uniforme posible de manera de formar un filtro que impida que las partículas de suelo entren al pozo durante el funcionamiento de la bomba. También es posible conformar un filtro natural con los mismos materiales de suelo que quedan alrededor del pozo, mediante inyección forzada de aire.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Cimentación. La cimentación consiste en sellar con pasta de cemento el espacio anular existente entre la tubería de revestimiento y la pared del pozo.

Difiere en virtud del tipo de pozo que se realice.

Desarrollo del pozo. Esta etapa corresponde a la extracción de los materiales finos del acuífero en torno a las cribas para formar un filtro y eliminar así la posibilidad de entrada de sólidos al interior del pozo. Al momento de completar la prueba de bombeo, el pozo no debe quedar arrojando finos que reducen la vida útil del equipo de bombeo para la explotación del pozo.

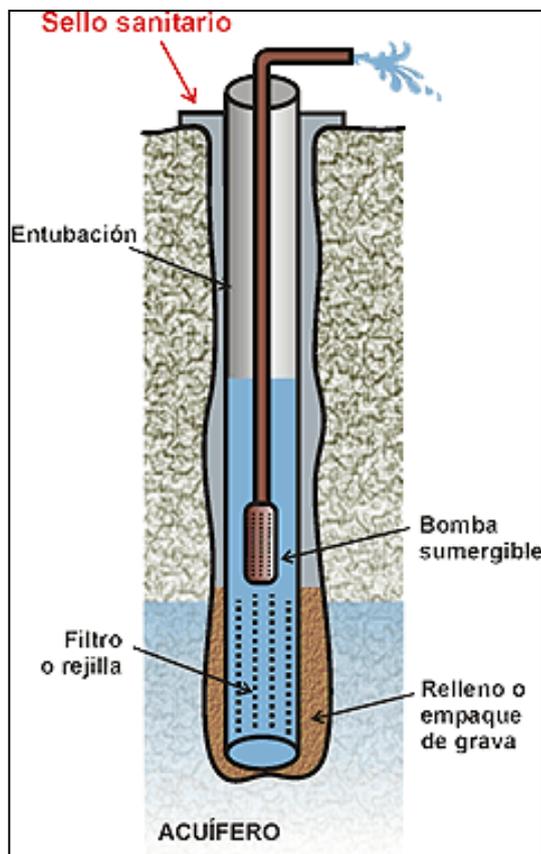


Figura 2.15 – Perfil de pozo perforado profundo

Prueba de bombeo. Los ensayos de bombeo se iniciaran una vez finalizados los trabajos de desarrollo del pozo. Para esta prueba se instala una bomba lo más profundo posible con una capacidad suficiente para determinar

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

los valores de recarga y medición de cambios en la altura de succión con el fin calcular el caudal máximo de explotación.

Cuando se refiere a ensayos de producción a caudal constante el mismo deberá ser realizado con bomba sumergible durante un mínimo de 24 horas, debiendo alcanzar la estabilización total del nivel dinámico para el caudal recomendado. El equipo de bombeo utilizado deberá tener como mínimo un 20% más de capacidad que el caudal del pozo tubular. Cuando el pozo tubular sea destinado a explotación intensiva la duración del ensayo se extenderá por 48 horas a nivel dinámico estabilizado.

Planos e informe final. En esta etapa se redacta un informe, con todas las especificaciones técnicas del pozo construido (diseño del pozo, espesores, aberturas en cribas, planos eléctricos, bombas, etc.). Este informe debe contener además los planos de construcción del pozo en CAD, el perfil del terreno y todos los registros de la prueba de bombeo, incluyendo las curvas de agotamiento. Según su finalidad, se realiza un análisis de laboratorio para determinar la calidad del agua. Estos antecedentes son necesarios para la inscripción del pozo en los registros del ente regulador respectivo.

Objeto de las perforaciones profundas

Las Perforaciones Exploratorias se ejecutan para:

- Obtener información sobre las condiciones: del subsuelo (Geotecnia), Estructurales.
- Comprobación científica.
- Conocer el contenido del subsuelo en : minerales, gas, petróleo, agua

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

- Obtener información del estado de las sustancias presentes. (ej. Extracción de muestra de agua para determinar grado de contaminación)

Las Perforaciones para pozos de Explotación son aquellas que se ejecutan para extraer del subsuelo algún tipo de recurso natural (ej., agua, petróleo, gas).

Sistemas de perforación de pozos

La penetración del terreno se puede realizar por el choque producido por la caída de la herramienta trituradora (Sistema de Perforación a Percusión), por la acción de una mecha que al girar corta o rompe y disgrega el mismo (Sistema de Perforación a Rotación) o por una herramienta que gira y a la vez percusiona sobre el terreno produciendo rotura y disgregación (Sistema de Perforación a Rotopercusión).

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sistema de perforación a percusión

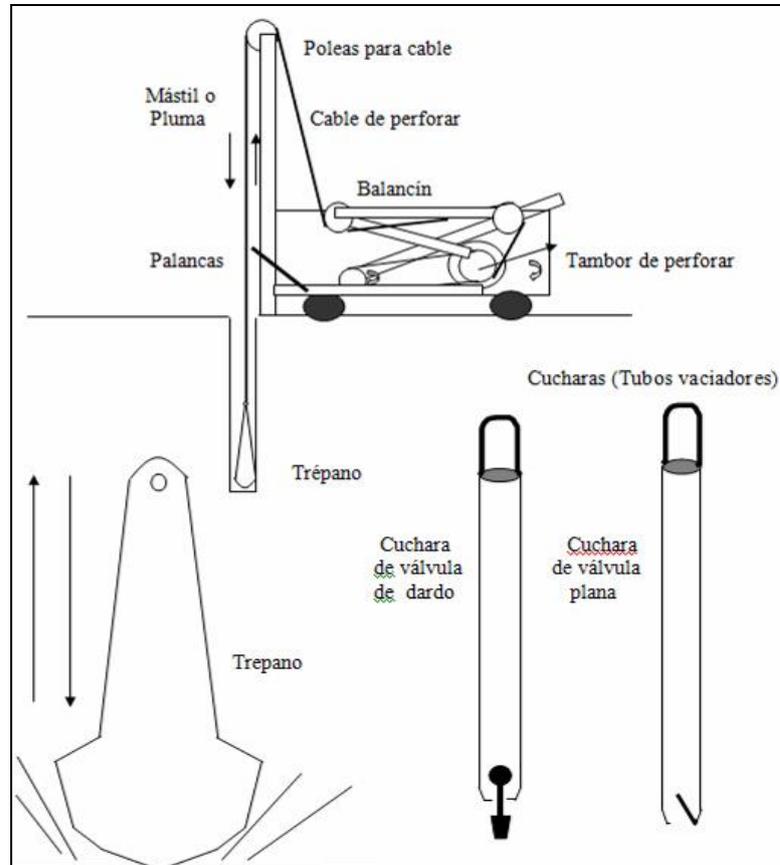


Figura 2.16 – Sistema de perforación a percusión

Se la puede practicar de 2 maneras: a cable o a barras. Se denomina perforación a cable o también en seco ya que se emplean cables, tanto para bajar o elevar las herramientas, al igual que para triturar el terreno por golpes. En este sistema de perforación la extracción del material triturado se efectúa por medio de una cuchara. En el sistema de perforación a percusión con barras el cable es sustituido por una sarta de barras huecas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sistema de perforación a rotación

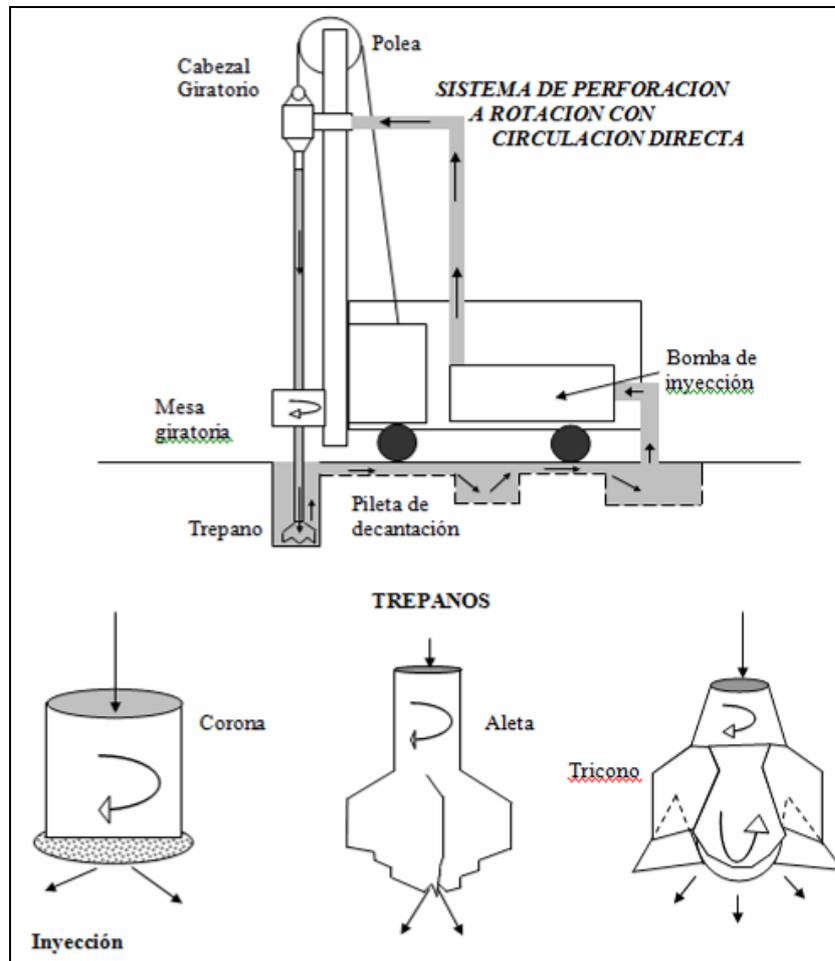


Figura 2.17 – Sistema de perforación a rotación

Recibe esta denominación debido a que el avance de la herramienta se produce cuando se acciona una herramienta que, al girar a manera de un taladro, corta o rompe y disgrega el terreno que atraviesa. En este sistema de perforación la extracción del material triturado se hace por medio de la inyección de fluidos que mantiene limpio el fondo del pozo, facilitando el avance de la herramienta. La perforación rotativa puede ser de circulación directa o circulación inversa.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

La inyección es un elemento muy importante en el trabajo de perforación de pozos en el sistema rotativo puede ser de agua, lodo arcilloso, bentonítica, o con polímeros.

Sus funciones son la de:

- Elevar a la superficie y decantar allí los materiales triturados
- Evitar el desmoronamiento del pozo sosteniendo consolidando las paredes del pozo.
- Impedir, la entrada de agua o la pérdida de la inyección, impermeabilizando las paredes del pozo.
- Mantener en suspensión los materiales triturados por el trepano, el mayor tiempo posible cuando, por alguna razón, la circulación se interrumpe.
- Refrigerar el trepano evitando altas temperaturas.
- Disminuir el desgaste de las barras de sondeo

Durante la perforación es preciso llevar el control de la viscosidad del lodo, para tal efecto se utiliza el embudo de March o viscosímetro. De igual manera se debe hacer lo propio con el peso específico del lodo.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sistema de perforación a rotopercusión

En este sistema de perforación el avance de la misma se realiza triturando el terreno por medio de golpes producidos por un martillo de fondo ubicado en el extremo inferior de la sarta de barras. Los materiales triturados son extraídos por medio de inyección de aire, esta misma inyección es la encargada de accionar el martillo.

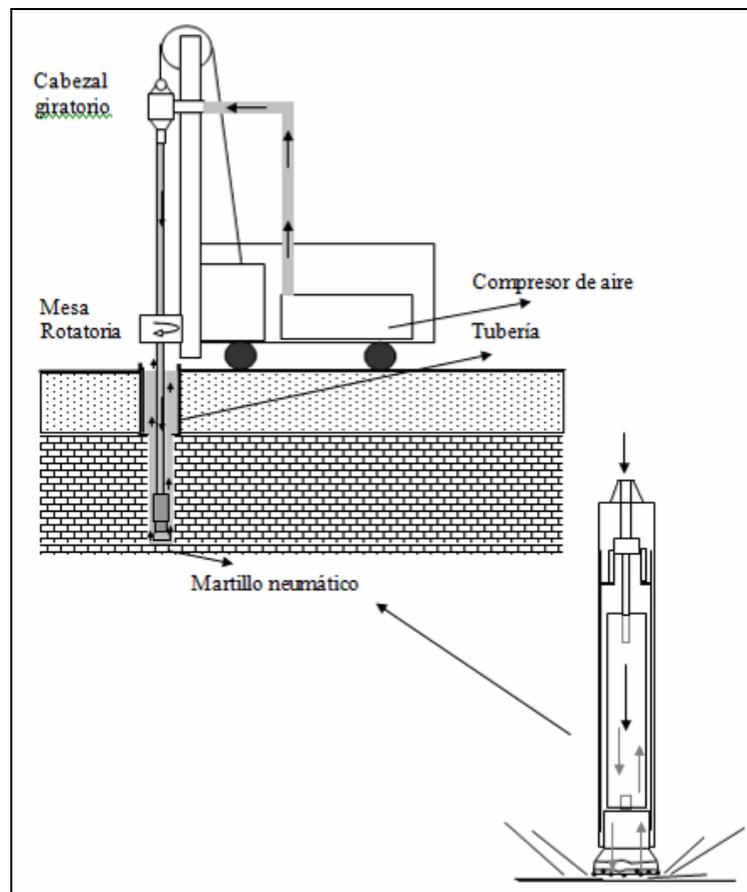


Figura 2.18 – Sistema de perforación a roto-percusión

Para evitar que parte de los materiales triturados queden adheridos a las paredes o a las barras de perforación se inyecta, junto con el agua, agua o agua con detergente.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Durante la perforación con martillo es importante vigilar la presión, para evitar atascamiento del martillo, así como el caudal del aire, para asegurar la limpieza del pozo.

Elección del equipo de perforación

La adopción de cualquiera de los sistemas de perforación descriptos debe ser efectuada teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Finalidad y características de los trabajos.
- Características del terreno que se prevé atravesar.
- Capacidad perforante necesaria.

La máquina seleccionada debe tener la capacidad para perforar con mayor diámetro requerido, arribar a la profundidad determinada con el diámetro establecido, debiendo quedar siempre un margen de capacidad por si se presentan imprevistos.

A continuación se presentan cuadros guías del comportamiento de los distintos Sistemas de Perforación, basados en la experiencia de perforación de pozos, en el Paraguay.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tabla 2.5 – Guía de avance de la perforación según la formación rocosa

TIPO DE FORMACION	SISTEMA DE PERFORACION		
	PERCUSION	ROTATIVA	ROTOPERCUSION
ARENAS DE DUNAS	DIFICULTOSO	RAPIDO	NO RECOMENDADO
ARENA Y GRAVA SUELTA	DIFICULTOSO	RAPIDO	NO RECOMENDADO
ARCILLAS Y LIMO	LENTO	RAPIDO	NO RECOMENDADO
ARCILLAS DURAS	RAPIDO	RAPIDO	NO RECOMENDADO
LUTITAS	LENTO	LENTO	RAPIDO
LIMOLITAS	RAPIDO	LENTO	RAPIDO
ARENISCAS POCO CEMENTADAS	LENTO	LENTO	NO RECOMENDADO
ARENISCA BIEN CEMENTADAS	LENTO	LENTO	RAPIDO
CALIZAS	RAPIDO	LENTO	MUY RAPIDO
BASALTOS	LENTO	LENTO	RAPIDO
GRANITOS	MUY LENTO	MUY LENTO	RAPIDO

Fuente: Apuntes de clases, Cátedra: Aguas Subterráneas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción

Tabla 2.6 – Comportamiento de los sistemas de perforación en la región
Oriental del Paraguay

FORMACIONES	SISTEMA DE PERFORACION		
	PERCUSION	ROTATIVA	ROTOPERCUSION
FORMACIONES CUATERNARIAS	R.B	R.A.	N.R.
FORMACION PATIÑO	R.B	R.A.	N.R.
FORMACION ALTO PARANA	R.B	N.R.	R.A.
FORMACION MISIONES	R.B.	R.A.	#
FORMACIONES PERMICAS	R.B.	R.B.	R.A.
FORMACIONES CARBONIFERAS	R.B.	R.B.	R.A.
GRUPO ITACURUBI	R.M.	R.B.	R.A.
GRUPO CAACUPE	R.B.	R.B.	R.A.
FORMACIONES CALCAREAS	R.M.	R.B.	R.A.
PRECAMBRICO	R.B.	N.R.	R.A.
N.R.=NO RECOMENDABLE -R.A.=RENDIMIENTO ALTO - R.M.=RENDIMIENTO MEDIO			
R.B.=RENDIMIENTO BAJO			
# Debe extremarse cuidado cuando la arenisca subyace a la formación Alto Paraná			

Fuente: Apuntes de clases, Cátedra: Aguas Subterráneas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

2.7 - Recolección de Datos

Introducción

La recolección de datos se refiere al uso de una gran diversidad de técnicas y herramientas que pueden ser utilizadas por el analista para desarrollar los sistemas de información, los cuales pueden ser la entrevistas, la encuesta, el cuestionario, la observación, el diagrama de flujo y el diccionario de datos.

Todos estos instrumentos se aplicarán en un momento en particular, con la finalidad de buscar información que será útil a una investigación en común.

Técnicas para hallar datos

Los analistas utilizan una variedad de métodos a fin de recopilar los datos sobre una situación existente, como entrevistas, cuestionarios, inspección de registros (revisión en el sitio) y observación. Cada uno tiene ventajas y desventajas. Generalmente, se utilizan dos o tres para complementar el trabajo de cada una y ayudar a asegurar una investigación completa.

La Entrevista

Las entrevistas se utilizan para recabar información en forma verbal, a través de preguntas que propone el analista. Quienes responden pueden ser gerentes o empleados, los cuales son usuarios actuales del sistema existente, usuarios potenciales del sistema propuesto o aquellos que proporcionarán datos o serán afectados por la aplicación propuesta. El analista puede

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

entrevistar al personal en forma individual o en grupos algunos analistas prefieren este método a las otras técnicas que se estudiarán más adelante. Sin embargo, las entrevistas no siempre son la mejor fuente de datos de aplicación.

Dentro de una organización, la entrevista es la técnica más significativa y productiva de que dispone el analista para recabar datos. En otras palabras, la entrevista es un intercambio de información que se efectúa cara a cara. Es un canal de comunicación entre el analista y la organización; sirve para obtener información acerca de las necesidades y la manera de satisfacerlas, así como concejo y comprensión por parte del usuario para toda idea o método nuevos. Por otra parte, la entrevista ofrece al analista una excelente oportunidad para establecer una corriente de simpatía con el personal usuario, lo cual es fundamental en transcurso del estudio.

Cuestionario

Los cuestionarios proporcionan una alternativa muy útil para la entrevista; si embargo, existen ciertas características que pueden ser apropiada en algunas situaciones e inapropiadas en otra. Al igual que la entrevistas, deben diseñarse cuidadosamente para una máxima efectividad.

Para los analistas los cuestionarios pueden ser la única forma posible de relacionarse con un gran número de personas para conocer varios aspectos del sistema. Cuando se llevan a cabo largos estudios en varios departamentos, se puede distribuir los cuestionarios a todas las personas apropiadas para recabar hechos en relación al sistema. En mayor parte de los casos, el analista no verá a los que responde; no obstante, también esto es una ventaja porque aplican

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

muchas entrevista ayuda a asegurar que el interpelado cuenta con mayor anonimato y puedan darse respuestas mas honesta (y menos respuestas pre hechas o estereotipadas). También las preguntas estandarizadas pueden proporcionar datos más confiables.

Existen dos formas de cuestionarios para recabar datos: cuestionarios abiertos y cerrados, y se aplican dependiendo de si los analistas conocen de antemano todas las posibles respuestas de las preguntas y pueden incluirlas. Con frecuencia se utilizan ambas formas en los estudios de sistemas.

Al igual que las entrevistas, los cuestionarios pueden ser abiertos y se aplican cuando se quieren conocer los sentimientos, opiniones y experiencias generales; también son útiles al explorar el problema básico, por ejemplo, un analista que utiliza cuestionarios para estudiar los métodos de verificación de crédito, es un medio.

El cuestionario cerrado limita las respuestas posibles del interrogado. Por medio de un cuidadoso estilo en la pregunta, el analista puede controlar el marco de referencia. Este formato es el método para obtener información sobre los hechos. También fuerza a los individuos para que tomen una posición y forma su opinión sobre los aspectos importantes.

La Observación

Otra técnica útil para el analista en su progreso de investigación, consiste en observar a las personas cuando efectúan su trabajo. Como técnica de investigación, la observación tiene amplia aceptación científica. Los sociólogos, psicólogos e ingenieros industriales utilizan extensamente ésta

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

técnica con el fin de estudiar a las personas en sus actividades de grupo y como miembros de la organización. El propósito de la organización es múltiple: permite al analista determinar que se está haciendo, como se está haciendo, quien lo hace, cuando se lleva a cabo, cuánto tiempo toma, dónde se hace y por qué se hace.

El analista de sistemas puede observar de tres maneras básicas. Primero, puede observar a una persona o actitud sin que el observado se dé cuenta y su interacción por aparte del propio analista. Quizá esta alternativa tenga poca importancia para el análisis de sistemas, puesto que resulta casi imposible reunir las condiciones necesarias. Segundo, el analista puede observar una operación sin intervenir para nada, pero estando la persona observada enteramente consciente de la observación. Por último, puede observar y a la vez estar en contacto con las personas observadas. La interacción puede consistir simplemente en preguntar respecto a una tarea específica, pedir una explicación, etc.

La Encuesta

Es una técnica de investigación y de recolección de datos que consiste en formular una serie de preguntas recogidas de un cuestionario a una muestra de personas, representativa de un colectivo más amplio, que se lleva a cabo utilizando procedimientos estandarizados de interrogación para conocer la opinión de las personas sobre un asunto determinado y reflejarla mediante estadísticas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El Cuestionario es el instrumento de la encuesta y es un instrumento de recogida de datos rigurosamente estandarizado que operacionaliza las variables objeto de observación e investigación, por ello las preguntas de un cuestionario son los indicadores.

Entre las ventajas de esta técnica podemos mencionar que es la técnica más utilizada y permite obtener información de casi cualquier tipo de población. El costo que genera es bajo y proporciona información más exacta (mejor calidad) que la del censo debido al menor número de encuestados, lo que permite capacitar mejor y más selectivamente a los encuestadores. Además con esta técnica es posible introducir métodos científicos objetivos de medición para corregir errores y se obtienen los resultados con mayor rapidez.

Como desventajas podríamos decir que su planeamiento y ejecución suele ser más complejo que si se realizara por censo, y requiere para su diseño de profesionales con buenos conocimientos de teoría y habilidad en su aplicación.

Los tipos de preguntas pueden ser:

a) Según la contestación que admitan:

- Abiertas (preguntas que sólo formulan las preguntas, sin establecer categorías de respuesta). Se deben utilizar muy poco en las encuestas porque después de la encuesta hay que cerrarlas y luego estandarizarlas.
- Cerradas: Establecen sólo 2 alternativas de respuesta, "Si o No" y a veces, deben utilizar sólo para temas muy bien definidos que admiten estas 2 alternativas como respuesta.

b) Según su función en el cuestionario:

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

- Filtro: se utilizan mucho en los cuestionarios para eliminar aquellas personas que no les afecten determinadas preguntas, es decir que marcan la realización o no de preguntas posteriores.
- Batería: todas las preguntas tratan sobre un mismo tema y que siempre deben ir juntas en el cuestionario en forma de batería, empezando por las más sencillas y luego las más complejas. Esto se denomina "embudo de preguntas".
- De control: se utilizan para comprobar la veracidad de las respuestas de los encuestados y normalmente lo que se hace en estos casos es colocar la misma pregunta pero redactada de forma distinta en lugares separados una de la otra.
- Amortiguadoras: se refieren a que cuando estamos preguntando temas escabrosos o pensamos que serán reticentes a contestar, hay que preguntar suavizando la pregunta y no preguntar de modo brusco y directo.

Encuesta piloto

Un tipo particular de encuesta, que tiene por objetivo preparar la verdadera encuesta. Se busca tener unos pocos criterios para diseñar o rediseñar las herramientas de trabajo, teniendo una idea previa de la población. Esta exploración es útil porque esta libre de conclusiones sobre el tema de estudio y sirve solo para mejorar la investigación; incluso restablecer un diagrama de flujo u otro tipo de planificación. Hay otras aplicaciones novedosas y son construir una muestra completamente estratificada y solo con los componentes de la población seleccionados para nuestro final interés; esta muestra no tiene valor predictor, pero sí puede utilizarse de una forma experimental, como grupo de control, y comparar sus resultados -parciales- con

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

los que posteriormente hayamos obtenido en el muestreo probabilístico principal de toda la población y que así ya estaría estadísticamente bajo control.

Muestreo

El muestreo es una herramienta de la investigación científica. Su función básica es determinar que parte de una realidad en estudio (población o universo) debe examinarse con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población. El error que se comete debido a hecho de que se obtienen conclusiones sobre cierta realidad a partir de la observación de sólo una parte de ella, se denomina error de muestreo. Obtener una muestra adecuada significa lograr una versión simplificada de la población, que reproduzca de algún modo sus rasgos básicos.

En todas las ocasiones en que no es posible o conveniente realizar un censo, lo que hacemos es trabajar con una muestra, entendiendo por tal una parte representativa de la población. Para que una muestra sea representativa, y por lo tanto útil, debe de reflejar las similitudes y diferencias encontradas en la población, ejemplificar las características de la misma.

Cuando decimos que una muestra es representativa indicamos que reúne aproximadamente las características de la población que son importantes para la investigación.

Los estadísticos usan la palabra población para referirse no sólo a personas si no a todos los elementos que han sido escogidos para su estudio. A partir de este concepto, emplean la palabra muestra para describir una

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

porción escogida de la población. Matemáticamente, podemos describir muestras y poblaciones al emplear mediciones como la Media, Mediana, la Moda, la Desviación estándar. Cuando estos términos describen una muestra se denominan estadísticas.

Una estadística es una característica de una muestra, los estadísticos emplean letras latinas minúsculas para denotar estadísticas y muestras.

Tipos de muestreo

Los autores proponen diferentes criterios de clasificación de los diferentes tipos de muestreo, aunque en general pueden dividirse en dos grandes grupos: métodos de muestreo probabilísticos y métodos de muestreo no probabilísticos.

Muestreo probabilístico

Los métodos de muestreo probabilísticos son aquellos que se basan en el principio de equiprobabilidad. Es decir, aquellos en los que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para formar parte de una muestra y, consiguientemente, todas las posibles muestras de tamaño N tienen la misma probabilidad de ser elegidas. Sólo estos métodos de muestreo probabilísticos nos aseguran la representatividad de la muestra extraída y son, por tanto, los más recomendables

El método otorga una probabilidad conocida de integrar la muestra a cada elemento de la población, y dicha probabilidad no es nula para ningún elemento.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Entre los métodos de muestreo probabilísticos más utilizados en investigación encontramos:

- Muestreo aleatorio simple
- Muestreo aleatorio sistemático
- Muestreo aleatorio estratificado
- Muestreo polietápico o por conglomerados

Muestreo aleatorio simple

El procedimiento empleado es el siguiente:

- 1) se asigna un número a cada individuo de la población y,
- 2) a través de algún medio mecánico (bolas dentro de una bolsa, tablas de números aleatorios, números aleatorios generados con una calculadora u ordenador, etc.) se eligen tantos sujetos como sea necesario para completar el tamaño de muestra requerido.

Este procedimiento, atractivo por su simpleza, tiene poca o nula utilidad práctica cuando la población que estamos manejando es muy grande.

Muestreo aleatorio sistemático

Este procedimiento exige, como el anterior, numerar todos los elementos de la población, pero en lugar de extraer n números aleatorios sólo se extrae uno. Se parte de ese número aleatorio i , que es un número elegido al azar, y los elementos que integran la muestra son los que ocupa los lugares $i, i+k, i+2k, i+3k, \dots, i+(n-1)k$, es decir se toman los individuos de k en k , siendo k el resultado de dividir el tamaño de la población entre el tamaño de la muestra: $k=$

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

N/n . El número i que empleamos como punto de partida será un número al azar entre 1 y k .

El riesgo este tipo de muestreo está en los casos en que se dan periodicidades en la población ya que al elegir a los miembros de la muestra con una periodicidad constante (k) podemos introducir una homogeneidad que no se da en la población. Imaginemos que estamos seleccionando una muestra sobre listas de 10 individuos en los que los 5 primeros son varones y los 5 últimos mujeres, si empleamos un muestreo aleatorio sistemático con $k=10$ siempre seleccionaríamos o sólo hombres o sólo mujeres, no podría haber una representación de los dos sexos.

Muestreo aleatorio estratificado

Trata de obviar las dificultades que presentan los anteriores ya que simplifican los procesos y suelen reducir el error muestral para un tamaño dado de la muestra. Consiste en considerar categorías típicas diferentes entre sí (estratos) que poseen gran homogeneidad respecto a alguna característica (se puede estratificar, por ejemplo, según la profesión, el municipio de residencia, el sexo, el estado civil, etc.). Lo que se pretende con este tipo de muestreo es asegurarse de que todos los estratos de interés estarán representados adecuadamente en la muestra. Cada estrato funciona independientemente, pudiendo aplicarse dentro de ellos el muestreo aleatorio simple o el estratificado para elegir los elementos concretos que formarán parte de la muestra. En ocasiones las dificultades que plantean son demasiado grandes,

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

pues exige un conocimiento detallado de la población. (Tamaño geográfico, sexos, edades,...).

Muestreo aleatorio por conglomerados

Los métodos presentados hasta ahora están pensados para seleccionar directamente los elementos de la población, es decir, que las unidades muestrales son los elementos de la población.

En el muestreo por conglomerados la unidad muestral es un grupo de elementos de la población que forman una unidad, a la que llamamos conglomerado. Las unidades hospitalarias, los departamentos universitarios, una caja de determinado producto, etc., son conglomerados naturales. En otras ocasiones se pueden utilizar conglomerados no naturales como, por ejemplo, las urnas electorales. Cuando los conglomerados son áreas geográficas suele hablarse de "muestreo por áreas".

El muestreo por conglomerados consiste en seleccionar aleatoriamente un cierto número de conglomerados (el necesario para alcanzar el tamaño muestral establecido) y en investigar después todos los elementos pertenecientes a los conglomerados elegidos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tabla 2.7 - Ventajas y desventajas de los tipos de muestreo probabilísticos

	Características	Ventajas	Desventajas
Aleatorio simple	Se selecciona una muestra de tamaño n de una población de N unidades, cada elemento tiene una probabilidad de inclusión igual y conocida de n/N .	Sencillo y de fácil comprensión. Cálculo rápido de medias y varianzas. Se basa en la teoría estadística, y por tanto existen paquetes informáticos para analizar los datos	Requiere que se posea de antemano un listado completo de toda la población. Cuando se trabaja con muestras pequeñas es posible que no represente a la población adecuadamente.
Sistemático	Conseguir un listado de los N elementos de la población Determinar tamaño muestral n . Definir un intervalo $k = N/n$. Elegir un número aleatorio, r , entre 1 y k ($r =$ arranque aleatorio). Seleccionar los elementos de la lista.	Fácil de aplicar. No siempre es necesario tener un listado de toda la población. Cuando la población está ordenada siguiendo una tendencia conocida, asegura una cobertura de unidades de todos los tipos.	Si la constante de muestreo está asociada con el fenómeno de interés, las estimaciones obtenidas a partir de la muestra pueden contener sesgo de selección
Estratificado	En ciertas ocasiones resultará conveniente estratificar la muestra según ciertas variables de interés. Para ello debemos conocer la composición estratificada de la población objetivo a hacer un muestreo. Una vez calculado el tamaño muestral apropiado, este se reparte de manera proporcional entre los distintos estratos definidos en la población usando la regla de tres.	Tiende a asegurar que la muestra represente adecuadamente a la población en función de unas variables seleccionadas. Se obtienen estimaciones más precisas Su objetivo es conseguir una muestra lo más semejante posible a la población en lo que a la o las variables estratificadoras se refiere.	Se ha de conocer la distribución en la población de las variables utilizadas para la estratificación.
Conglomerados	Se realizan varias fases de muestreo sucesivas (polietápico) La necesidad de listados de las unidades de una etapa se limita a aquellas unidades de muestreo seleccionadas en la etapa anterior.	Es muy eficiente cuando la población es muy grande y dispersa. No es preciso tener un listado de toda la población, sólo de las unidades primarias de muestreo.	El error estándar es mayor que en el muestreo aleatorio simple o estratificado. El cálculo del error estándar es complejo.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Muestreo no probabilístico

A veces, para estudios exploratorios, el muestreo probabilístico resulta excesivamente costoso y se acude a métodos no probabilísticos, aun siendo conscientes de que no sirven para realizar generalizaciones, pues no se tiene certeza de que la muestra extraída sea representativa, ya que no todos los sujetos de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos. En general se seleccionan a los sujetos siguiendo determinados criterios procurando que la muestra sea representativa.

Muestreos No Probabilísticos:

- de Conveniencia
- de Juicios
- por Cuotas
- de Bola de Nieve
- Discrecional

Muestreo de conveniencia

Este tipo de muestreo se caracteriza por un esfuerzo deliberado de obtener muestras "representativas" mediante la inclusión en la muestra de grupos supuestamente típicos. Es muy frecuente su utilización en sondeos preelectorales de zonas que en anteriores votaciones han marcado tendencias de voto.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Muestreo de Juicios

Se trata de un proceso en el que el investigador selecciona directa e intencionadamente los individuos de la población. El caso más frecuente de este procedimiento es utilizar como muestra los individuos a los que se tiene fácil acceso (los profesores de universidad emplean con mucha frecuencia a sus propios alumnos).

Muestreo por cuotas

También denominado en ocasiones "accidental". Se asienta generalmente sobre la base de un buen conocimiento de los estratos de la población y/o de los individuos más "representativos" o "adecuados" para los fines de la investigación. Mantiene, por tanto, semejanzas con el muestreo aleatorio estratificado, pero no tiene el carácter de aleatoriedad de aquél.

Bola de nieve

Se localiza a algunos individuos, los cuales conducen a otros, y estos a otros, y así hasta conseguir una muestra suficiente. Este tipo se emplea muy frecuentemente cuando se hacen estudios con poblaciones "marginales", delincuentes, sectas, determinados tipos de enfermos, etc.

Muestreo Discrecional

A criterio del investigador los elementos son elegidos sobre lo que él cree que pueden aportar al estudio. Ej. : Muestreo por juicios; cajeros de un banco o un supermercado; etc.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tamaño de la muestra

El tamaño de muestra requerido en una encuesta depende en parte de la calidad estadística necesaria para los establecer los hallazgos; esto a su vez, está relacionado en cómo esos hallazgos serán usados.

Aún así, no hay una regla simple para el tamaño de muestra que pueda ser usada en todas las encuestas. Mucho de esto depende de los recursos profesionales y fiscales disponibles. Los analistas frecuentemente encuentran que una muestra de tamaño moderado es suficiente estadística y operacionalmente. Por *ejemplo*, las muy conocidas encuestas nacionales frecuentemente usan cerca de 1,000 personas para obtener información razonable sobre actitudes y opiniones nacionales.

Cuando nos damos cuenta que una muestra apropiadamente seleccionada de sólo 1,000 individuos puede reflejar varias características de la población total, es fácil apreciar el valor de usar encuestas para tomar decisiones informadas en una sociedad compleja como la nuestra. Las encuestas proveen medios rápidos y económicos de determinar la realidad de nuestra economía y sobre los conocimientos, actitudes, creencias, expectativas y comportamientos de las personas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Cálculo del tamaño muestral

Tamaño de la población infinito o desconocido

$$n = Z_{\alpha}^2 \frac{p \cdot q}{i^2}$$

Tamaño de la población finito

$$n = Z_{\alpha}^2 \frac{N \cdot p \cdot q}{i^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}$$

Cada estudio tiene un tamaño muestral idóneo, que permite comprobar lo que se pretende con la seguridad y precisión fijadas por el investigador.

Depende de:

- n** Tamaño muestral
- N** Tamaño de la población, número total de historias.
- Z** Valor correspondiente a la distribución de Gauss 1,96 para $\alpha = 0,05$ y 2,58 para $\alpha = 0,01$.
- p** Prevalencia esperada del parámetro a evaluar. En caso de desconocerse, aplicar la opción más desfavorable ($p=0,5$), que hace mayor el tamaño muestral.
- q** $1-p$ (Si $p=30\%$, $q=70\%$)
- i** Error que se prevé cometer. Por ejemplo, para un error del 10%, introduciremos en la fórmula el valor 0,1. Así, con un error del 10%, si el parámetro estimado resulta del 80%, tendríamos una seguridad del 95% (para $\alpha = 0,05$) de que el parámetro real se

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

sitúa entre el 70% y el 90%. Vemos, por tanto, que la amplitud total del intervalo es el doble del error que introducimos en la fórmula.

Si aumentamos el tamaño muestral n , podremos mejorar la calidad de la estimación bien aumentando la precisión (disminuye amplitud del intervalo) o bien aumentando la seguridad (disminuye el error admitido).

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Marco Conceptual

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Uso de terminologías más usuales referidos al agua:

A

Acidez: La capacidad cuantitativa del agua de neutralizar una base, expresada en equivalente de carbonato de calcio en PPM o del mg/l. El número de los átomos de hidrógeno que están presente determina esto. Es medido generalmente por medio de una valoración con una solución de hidróxido sódico estándar.

Acuífero: Una capa en el subsuelo que es capaz de almacenar y transportar un volumen significativo de agua subterránea.

Agua blanda: Cualquier agua que no contiene grandes concentraciones de minerales disueltos como calcio y magnesio.

Agua contaminada: La presencia en el agua de elementos perjudiciales o desagradables para causar un daño en la calidad del agua.

Agua destilada: es aquella a la que se le ha eliminado prácticamente la totalidad de impurezas e iones mediante destilación.

Agua dura: Agua que contiene un gran número de iones positivos. La dureza está determinada por el número de átomos de calcio y magnesio presentes. El jabón generalmente se disuelve malamente en las aguas duras.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Agua negra: Agua que contiene los residuos de seres humanos, de animales o de alimentos.

Agua potable: Agua que es segura para beber y para cocinar.

Agua residual: es el fluido residual en un sistema de alcantarillado. El gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.

Agua superficial: Toda agua natural abierta a la atmósfera, concerniente a ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, mares, estuarios y humedales.

Agua servida: Agua domésticas residuales compuestas por agua de lavar procedente de la cocina, cuarto de baño, aguas de los fregaderos, y lavaderos.

Agua subterránea: Agua que puede ser encontrada en la zona saturada del suelo; zona que consiste principalmente en agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos.

Alcalinidad: La alcalinidad significa la capacidad tapón del agua; la capacidad del agua de neutralizar. Evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básico o ácido. Es También añadir carbón al agua. La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7. Sin embargo, cuando la

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

acidez es alta en el agua la alcalinidad disminuye, puede causar condiciones dañinas para la vida acuática.

En química del agua la alcalinidad se expresa en PPM o el mg/l de carbonato equivalente del calcio. La alcalinidad total del agua es la suma de las tres clases de alcalinidad; alcalinidad del carbonato, del bicarbonato y del hidróxido.

Alcantarillado sanitario: Un sistema de tubería que transporta aguas negras derivando a una planta de tratamiento.

Área de recarga: Un área donde el agua de lluvia se introduce a través del suelo para alcanzar el acuífero.

B

1.1.1 **Bacterias:** Pequeños microorganismos unicelulares, que se reproducen por la fisión de esporas.

Bacteria coliforme: Bacteria que sirve como indicador de contaminantes y patógenos cuando son encontradas en las aguas. Estas son usualmente encontradas en el tracto intestinal de los seres humanos y otros animales de sangre caliente.

Bioacumulación: El término hace referencia a la acumulación neta, con el paso del tiempo, de metales (u otras sustancias persistentes) en un organismo

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticas (suelo, aire y agua).

Biosfera: es el sistema material formado por el conjunto de los seres vivos propios del planeta Tierra, junto con el medio físico que les rodea y que ellos contribuyen a conformar.

C

Calor específico: o mejor dicho, **capacidad calorífica específica** de una sustancia es una magnitud física que indica la capacidad de un material para almacenar energía interna en forma de calor.

Capilaridad: es la cualidad que posee una sustancia para absorber un líquido.

Caudal: Flujo de agua superficial en un río o en un canal, o descarga de aguas subterráneas a través de un pozo tubular profundo.

Coloide: es un sistema fisico-químico compuesto por dos fases: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas, de tamaño mesoscópico (a medio camino entre los mundos macroscópico y microscópico). Así, se trata de partículas que no son apreciables a simple vista, pero mucho más grandes que cualquier molécula.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Condensación: es el proceso físico que consiste en el paso de una sustancia del estado gaseoso al líquido.

Conductividad eléctrica: La cantidad de electricidad que un agua puede conducir. Esta expresada en magnitudes químicas.

Criptobiótico: referido a la Criptobiosis, que es un estado que consiste en la suspensión de los procesos metabólicos, a la que algunos seres vivos entran cuando las condiciones medioambientales llegan a ser extremas. Un organismo en estado criptobiótico puede vivir indefinidamente hasta que las condiciones sean habitables de nuevo.

D

Densidad: es la cantidad de masa contenida en una unidad de volumen.

Diaclasa: es una fractura en las rocas que no va acompañada de deslizamiento de los bloques que determina, no siendo el desplazamiento más que una mínima separación transversal. Se distinguen así de las fallas, fracturas en las que si hay deslizamiento de los bloques. Son estructuras muy abundantes.

Disolvente: es una sustancia que permite la dispersión de otra en su seno.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Disolución: es una mezcla homogénea, a nivel molecular de una o más especies químicas que no reaccionan entre sí; cuyos componentes se encuentran en proporción que varía entre ciertos límites.

E

Efluente: La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua, a un tanque de oxidación, a un tanque para un proceso de depuración biológica del agua, etc. Este es el agua producto dada por el sistema.

Erosión: es el proceso de sustracción o desgaste del suelo, por acción de procesos geológicos exógenos como las corrientes superficiales de agua o hielo glaciar, el viento, o los cambios de temperatura.

Escorrentía: Parte del agua de precipitación que discurre por la superficie de la tierra hacia corrientes u otras aguas superficiales.

Evaporación: es el proceso físico por el cual una sustancia en estado líquido pasa al estado gaseoso, tras haber adquirido energía suficiente para vencer la tensión superficial. A diferencia de la ebullición, este proceso se produce a cualquier temperatura, siendo más rápido cuanto más elevada sea la misma, y sin que sea necesario que toda la masa alcance el punto de ebullición.

Evapotranspiración: Pérdida de agua del suelo a través de la vaporación, por vaporación directa y por la transpiración de las plantas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Exurgencia: manantial en la zona de infiltración, que procede de las aguas de arroyada durante su breve periodo de permanencia sobre la superficie del terreno.

F

Fase: Estado de la materia. Este puede ser líquido, sólido o gaseoso.

Filtración: Separación de sólidos y líquidos usando una sustancia porosa que solo permite pasar al líquido a través de él.

Floculación: Acumulación de partículas desestabilizadas y micro partículas, y posteriormente la formación de copos de tamaño deseado. Uno debe añadir otra sustancia química llamada floculante en orden de facilitar la formación de copos llamados flóculos.

Flóculo: Masa floculada que es formada por la acumulación de partículas suspendidas. Puede ocurrir de forma natural, pero es usualmente inducido e orden de ser capaz de eliminar ciertas partículas del agua residual.

Flujo: El valor del caudal de un recurso, expresado en volumen por unidad de tiempo.

Flujo laminar: o corriente laminar, es el tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, estratificado, de manera que el fluido

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse si la corriente tiene lugar entre dos planos paralelos, o en capas cilíndricas coaxiales. Las capas no se mezclan entre sí. El mecanismo de transporte es exclusivamente molecular.

Flujo turbulento: o corriente turbulenta es el movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos aperiódicos, como por ejemplo el agua en un canal de gran pendiente. Debido a esto, la trayectoria de una partícula se puede predecir hasta una cierta escala, a partir de la cual la trayectoria de la misma es impredecible, más precisamente caótica.

Fuente puntual: Localización estacionaria desde la cual los contaminantes son descargados. Es una fuente identificable individual de contaminación, Como los sistemas de tuberías y las fábricas.

Fuentes difusas: Fuentes de contaminación del agua difusa sin un punto de origen específico. Los contaminantes son generalmente llevados a la tierra por las tormentas. Comúnmente fuentes difusas son la agricultura y la deposición atmosférica.

G

Géiser: es un tipo de fuente termal que erupción periódicamente, expulsando una columna de agua caliente y vapor en el aire.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

H

Hidrogeología: Ciencia de la química y el movimiento de las aguas subterráneas.

I

Impermeabilidad: Que no deja pasar el agua de un lado a otro.

Infiltración: Penetración del agua en un medio, por ejemplo el suelo.

Inodoro: que no tiene olor.

Insípido: que no tiene sabor

Intrusión: Una intrusión ígnea es una masa de roca consolidada por cristalización de materia fundida (magma) a cierta profundidad bajo la superficie de la Tierra.

L

Lixiviado: es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable. Puede contener tanto materia en suspensión como disuelta, generalmente se da en ambos casos. Este líquido es más comúnmente hallado asociado a rellenos sanitarios, en donde, como resultado de las lluvias percolando a través de los desechos sólidos y reaccionando con

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

los productos de descomposición, químicos, y otros compuestos, es producido el lixiviado.

M

Manto freático: Cuerpo de agua de infiltración en el subsuelo que se encuentra ubicado a poca profundidad, generalmente a unos pocos metros de la superficie.

N

Nivel piezométrico del agua: La superficie del agua subterránea en el suelo.

Nutrientes: son productos químicos interiores que necesitan las células para realizar sus funciones vitales.

P

Partes por millón: Expresado como ppm; medida de la concentración. Un ppm es una unidad de peso de soluto por peso de solución. En análisis de agua un ppm es equivalente a mg/l.

Patógeno: Enfermedad producida por microorganismos.

Percolar: Acción por la que el agua atraviesa un medio poroso.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Perforaciones: Recibe la denominación de “Perforación” la puesta en práctica de un conjunto sistemático de operaciones técnicas cuyo objetivo es penetrar la tierra a fin de satisfacer diferentes finalidades; obtención de informaciones (Perforaciones Exploratorias) o extracción de algún tipo de recurso natural (Perforaciones de Explotación).

Permeabilidad: La habilidad de un fluido para pasar a través de un medio bajo presión.

Ph: Índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución. Entre 0 y 7 la disolución es ácida, y de 7 a 14, básica. El pH es la concentración de hidrógenos presentes en determinada sustancia. El término significa “potencial de hidrógeno” y está definido como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno.

Pozo: Hoyo profundo con el objetivo de alcanzar agua subterránea para suministros.

Precipitación: En meteorología, es cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. Esto incluye lluvia, llovizna, nieve, cinarra, granizo, pero no la virga, neblina ni rocío.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

R

Reflectividad: Porcentaje de radiación incidente que es reflejada por una superficie.

S

SDT: Sólidos disueltos totales. El peso por unidad de volumen de agua de sólidos suspendidos en un medio de filtro después de la filtración o evaporación.

Sedimentos: Suelo, arena, y minerales lavados desde el suelo hacia la tierra generalmente después de la lluvia.

Sistema de abastecimiento de agua: La colección, tratamiento, almacenaje, y distribución de un agua desde su fuente hasta los consumidores.

Sistema de agua público: Un sistema que provee agua por tubería para consumo humano para al menos 15 servicios conectados o 25 servicios regulares individuales.

Sistema de aguas residuales: Todo el sistema de recolección de aguas residuales, tratamiento, y traspaso al cuerpo receptor.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sistema de alcantarillado: Tuberías que colectan y transportan aguas residuales desde fuentes individuales hasta una alcantarilla mayor que la transportará a continuación hacia una planta de tratamiento.

Socavar: Excavar por debajo algo, dejándolo en falso.

Soluto: Se llama soluto a la sustancia minoritaria (aunque existen excepciones) en una disolución o, en general, a la sustancia de interés.

T

Tanque séptico: Es una caja rectangular de uno o varios compartimientos que reciben las excretas y las aguas grises. Es la unidad fundamental del sistema de fosa séptica ya que en este se separa la parte sólida de las aguas servidas por un proceso de sedimentación simple; a demás se realiza en su interior lo que se conoce como proceso séptico, que es la estabilización de la materia orgánica por acción de las bacterias anaerobias, convirtiéndola entonces en lodo inofensivo.

Tensión superficial: es el fenómeno por el cual la superficie de un líquido tiende a comportarse como si fuera una delgada película elástica. La tensión superficial (una manifestación de las fuerzas intermoleculares en los líquidos), junto a las fuerzas que se dan entre los líquidos y las superficies sólidas que entran en contacto con ellos, da lugar a la capilaridad.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

V

Vaho: Vapor que despiden los cuerpos en determinadas condiciones.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Desarrollo

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

4.1 - METODOLOGÍA

Este trabajo pretende ser una recopilación histórica de los conocimientos en relación al Acuífero Patiño.

Los conocimientos, no se limitan estrictamente a los aspectos técnicos, sino que también intenta adentrarse en otros aspectos poco abarcados en el pasado como lo social, así como el marco jurídico e institucional, porque creemos que solamente al relacionar todos estos aspectos se puede tener una visión clara del problema y una receta completa para una gestión eficiente de las aguas subterráneas.

Para esto, lo primero que se realizará es una recopilación de todos los estudios técnicos relacionados al recurso, para establecer una cronología de los conocimientos.

De esta manera se podrá establecer la evolución histórica del conocimiento acerca Acuífero Patiño, hasta llegar al presente y lo que sabemos hoy en día. Esto nos permitirá evaluar los problemas encontrados, las carencias presentadas y los puntos débiles que se deben estudiar con más profundidad.

Una vez determinado uno de estos puntos débiles, nos adentraremos en uno de estos problemas, para aumentar el conocimiento sobre el mismo, de manera que nuestro aporte contribuya a la gestión y la conservación de las aguas subterráneas.

En lo referente al aspecto social y acorde a los objetivos propuestos, se proyecta determinar el nivel de conocimiento de la población que vive sobre el Acuífero Patiño en relación a las aguas subterráneas. Para esto se realizará

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

una encuesta usando como universo muestral a la población que vive sobre el recurso, que es la directamente afectada por cualquier modificación que sufra la calidad de sus aguas, además de ocasionar al mismo tiempo los problemas por la mala disposición de sus aguas residuales.

Creemos que este problema existe por el desconocimiento, más que por la predisposición de la gente, y es lo que pretendemos probar.

Por último, se realiza una revisión tanto del marco jurídico como del institucional, para determinar cuales son las leyes que protegen las aguas subterráneas, así como las instituciones encargadas de velar por la aplicación de las mismas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

4.2 - ANÁLISIS DE ESTUDIOS TÉCNICOS PREVIOS

Cronología de los conocimientos del Acuífero Patiño

Fuentes de información

El Acuífero Patiño es explotado intensamente y existe información puntual de muchos de sus pozos, de la cual alguna parte se encuentra en los archivos del Departamento de Recursos Hídricos del SENASA. Sin embargo, es relativamente pequeña la cantidad de informes y publicaciones con respecto al Acuífero Patiño o de interés para el mismo. A continuación se mencionan los informes y publicaciones relevantes que fueron identificados.

Mapa Geológico y Mapa Hidrogeológico del Paraguay

El proyecto PAR 83/05, ejecutado por la Comisión Nacional de Desarrollo Integrado del Chaco (Ministerio de Defensa Nacional) y la Organización de las Naciones Unidas, ha dado pautas importantes al desarrollo y la diseminación del conocimiento de la geología e hidrogeología del Paraguay. El proyecto publicó en 1986 el Mapa Geológico 1: 1 000 000 y el Mapa Hidrogeológico 1: 1 000 000 de todo el territorio nacional. Ambos mapas se confeccionaron con base en una metodología internacionalmente estandarizada. Por ejemplo, para el mapeo hidrogeológico se utilizó la clasificación y leyenda desarrolladas por la UNESCO que son utilizadas mundialmente. Ambos mapas están acompañados por un texto explicativo (Naciones Unidas, 1986a y 1986b), en el cual se resumen los conocimientos acerca del tema, con referencias a trabajos previos y las fuentes principales de información. Aunque parte de la información ha perdido actualidad por datos y

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

análisis posteriores, los mapas y sus textos explicativos todavía constituyen una referencia muy valiosa con respecto a la geología e hidrogeología del país.

1er Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay

Este simposio tuvo lugar del 22 a 26 de julio 1991, en la Casa de la Cultura (Salón de Actos) en Asunción. Fue organizado por CNDRICH, SENASA, CORPOSANA, COMINGE, FACEN-UNA y AGP, con apoyo de GTZ. Las memorias del simposio contienen varias contribuciones que son de interés para el estudio del Acuífero Patiño. Cabe destacar: “Acuíferos potenciales del Paraguay” por Eugenio Godoy; “Evolución y estado actual del conocimiento hidrogeológico del Paraguay” por Eugenio Godoy, Félix Villar, Félix Carvallo y Santiago Jara; y “Consideraciones morfoestructurales y estratigráficas de la antifforma de Asunción y su relación con la exploración de aguas subterráneas” de Dario Gomez.

2do Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay

Organizado por la Sociedad Paraguaya de Aguas Subterráneas, este simposio Paraguay, tuvo lugar de 20 a 24 de noviembre de 1995 en la Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo. Entre los artículos publicados en las memorias del simposio son de relevancia especial para el Estudio del Acuífero Patiño: “Observaciones geológicas de Paraguay Central en relación al agua subterránea.” por Wilmar Bartel y Rolf Muff; “Contribución al conocimiento

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

hidrogeológico del área de Guarambaré” por Félix Carvallo, Félix Villar, Humberto Villalba y Antonio Montanholi; y “Contaminación del Agua Subterránea del Gran Asunción” por Juan Rios Otero, Oscar Martinez y Carlos Centurión.

Publicaciones del SENASA

Dos publicaciones recientes preparadas por profesionales del SENASA contribuyen altamente al conocimiento de las condiciones del Acuífero Patiño y sus aguas subterráneas. La primera es “Riesgos en la explotación del Acuífero Patiño en el área noreste del Departamento Central. SENASA” (1996) por Félix Villar, Félix Carvallo y Antonio Montanholi. Presenta la visión de los autores con respecto a la sostenibilidad de la explotación de las aguas de dicha acuífero y llama la atención hacia la necesidad de la planificación racional del uso de las mismas. La segunda es la publicación No.2 del Departamento de Recursos Hídricos, Dirección de Agua y Saneamiento del SENASA, bajo el título: “Departamento Central del Paraguay: Banco de Datos de pozos perforados por SENASA” (1999). Es un resumen muy sistemático y altamente útil de datos hidrogeológicos de los pozos perforados por SENASA en el Departamento Central. La mayoría de estos pozos están situados en el Acuífero Patiño.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

“Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA”

(FEHS)

En este proyecto se ha estudiado el Acuífero Patiño a través de una zona piloto que corresponde a las cuencas hidrográficas de los arroyos Mbocayaty y Ñemby. Dentro de esta Zona Piloto se ejecutaron trabajos de campo bastante intensivos, mientras que en otras partes del Acuífero Patiño el trabajo de campo fue limitado al muestreo y análisis de muestras de agua.

Este estudio incluye diferentes actividades realizadas en su mayoría en la Zona Piloto, de manera a inferir a partir de esta las propiedades en toda el área del acuífero. Entre las actividades realizadas encontramos un inventario de pozos y manantiales, la investigación geoelectrica la perforación de pozos exploratorios, el estudio de las condiciones geohidráulicas, el monitoreo piezométrico y la determinación de los riesgos de polución, además de un estudio de la calidad de las aguas del Acuífero Patiño en la totalidad de su área.

Este proyecto también incluyó la capacitación proporcionada al personal del SENASA y un plan preliminar de capacitación para el futuro próximo. Trata de integrar la información, sacar conclusiones y formular recomendaciones para el uso sostenible y la protección adecuada del Acuífero Patiño.

El estudio ha aumentado considerablemente la información existente y ha dado lugar a nuevas ideas con respecto a ciertos aspectos de las aguas subterráneas del Acuífero Patiño. La información ha permitido identificar temas importantes para la explotación racional y la protección adecuada de las aguas subterráneas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

***Chuo Kaihatsu Corporation - JNS - “Estudio de Políticas y Manejo
Ambiental de Aguas Subterráneas en el Área Metropolitana de Asunción”
(Acuífero Patiño)***

El objetivo de este Proyecto fue la elaboración de un Plan de Gestión del Agua Subterránea para el Aprovechamiento Sostenible del Acuífero Patiño basado en un modelo matemático hidrodinámico y de calidad a ser desarrollado por los consultores. Como resultado esperado de este estudio, SENASA incrementará su capacidad para la utilización efectiva de esta herramienta tecnológica esencial para la buena gestión del acuífero Patiño, proporcionando así las condiciones básicas para la explotación racional del agua subterránea en la Región Metropolitana de Asunción.

El proyecto se desarrolló en tres etapas, que correspondieron a la recolección de datos, la elaboración de un modelo matemático y un plan de gestión.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Estratigrafía

Los primeros Investigadores de la geología del Paraguay, tales como Harrington, Eckel y Putzer, confundieron a la Formación Patiño con las unidades geológicas de la Formación Misiones. Franco y otros, durante el Proyecto PAR 83/005, caracterizaron una secuencia clástica de granulometría gruesa, con espesor de algunos centenares de metros y constituido principalmente por conglomerados, denominados estos Conglomerados Patiño (Spinzi 1983). El Proyecto PAR 83/005 (Naciones Unidas, 1986), empleó por primera vez, en su texto explicativo, el término Formación Patiño para designar una asociación litológica consistente en conglomerados y areniscas. (Carvalho, 2001).

El afloramiento principal de la Formación Patiño forma una zona aproximadamente triangular situada entre Paraguarí, Limpio y la curva en el Río Paraguay al oeste de la ciudad de Asunción.

Al lado oriental está separada por una falla de sedimentos silúricos, al lado sur está bordeada por rocas cristalinas, y al oeste está yuxtapuesta a los sedimentos más jóvenes del Chaco, al otro lado del Río Paraguay. La formación aflora también en la zona de La Colmena (Departamento de Paraguarí) y en una zona limitada al noroeste del Río Paraguay (Villa Hayes y Benjamín Aceval). Las areniscas de la última zona podrían estar en contacto subterráneo con las de la zona triangular Asunción – Limpio – Paraguarí, pero las fuentes de información no comentan al respecto.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Naturaleza del acuífero

La Tabla 4.1, basada en Naciones Unidas (1986b) presenta los sistemas acuíferos principales del Paraguay. Según las dimensiones y la continuidad hidráulica se distinguen acuíferos locales y acuíferos regionales. Los acuíferos regionales de mayor extensión incluyen en primer lugar los aluviones cuaternarios de los ríos principales, que abarcan alrededor de 48,000 km². Luego, exclusivamente en el Chaco, tienen gran extensión los acuíferos terciarios del Chaco Oeste y el Chaco Este, y el acuífero cretácico de Adrian Jara. En la Región Oriental, finalmente, tiene gran extensión (mayor de 37,000 km²) el acuífero regional de la Formación Misiones (Acuífero Guaraní), el cual además tiene continuación en zonas del Brasil, de la Argentina y del Uruguay. Con excepción del Acuífero Adrian Jara, todos estos acuíferos regionales de gran extensión son de permeabilidad con base en la porosidad intergranular de los sedimentos que forman la matriz litológica (acuíferos porosos).

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tabla 4.1 – Formaciones de acuíferos

	<i>Acuíferos regionales de gran extensión</i>	<i>Acuíferos regionales de extensión restringida</i>	<i>Acuíferos locales</i>
Cenozoico	Cuaternario (Q) Chaco Oeste (Tco*) Chaco Este (Tqce*)		Paleocauces (Qcp*) Mesocauces (Qccs)
Mesozoico	Adrián Jara (Kaj*) Misiones (Jm)	Patiño (Kp) Agua Dulce (Kad*)	Acaray (Ka) Basalto (Kb)
Paleozoico		Caacupé (Sc)	Independencia (Pi) Cnel Oviedo (Cco) Palmar de las Islas (Cpi*) Itacurubí (Si) Itapucumbí (Ei)
Precámbrico			Basamento cristalino (Pe)

Fuente: Naciones Unidas, 1986a

(las formaciones acuíferas con * corresponden exclusivamente a la región del Chaco)

El Acuífero Patiño está indicado en el mapa de Naciones Unidas (1986b) como un acuífero poroso de bajo potencial de explotación, es decir con capacidad específica inferior a 1.0 m³/h/m. Aunque es de carácter regional, el Acuífero Patiño fue clasificado como acuífero de extensión restringida, por tener una superficie total de solamente unos 2000 km² (las estimaciones varían de 1770 a 2010 km²). Sin embargo, en contraste con el carácter somero de los acuíferos cuaternarios, su espesor es del orden de algunas centenas de metros; y contrariamente a los acuíferos del Chaco, contiene generalmente agua de muy bajo grado de mineralización.

Cabe observar que el Acuífero Patiño se presenta en tres partes separadas: la zona de forma más o menos triangular Asunción-Limpio-Paraguarí, la pequeña zona de Villa Hayes-Benjamin Aceval (extensión de la

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

zona anterior, al otro lado del río) y una zona de afloramientos de la Formación Patiño en el área de La Colmena (Paraguarí) a Villarrica (Guairá). El énfasis en este informe es en la primera zona, de unos 1173 km² de extensión.

Godoy (1991) menciona que cambios acentuados de sedimentos pelíticos a arenosos en cortas distancias controlan el caudal explotable de este acuífero, por lo cual es necesario un riguroso control geológico para el éxito de perforaciones de pozos. Según el mismo autor, por la condición litológica, la conductividad hidráulica varía de 0.1 y 3.4 m/día y la transmisividad varía de 0.2 a 135 m²/día. Esto concuerda con los datos del caudal de los pozos reportados por SENASA (1999), que oscilan entre 2 y 130 m³/hora, con la mayoría entre 25 y 40 m³/hora. Los mismos datos indican que el caudal específico de los pozos frecuentemente está en el intervalo de 0.5 a 2.0 m³/h/m, un poco más favorable que el promedio de 0.8 m³/h/m estimado por Naciones Unidas (1986b).

En el acuífero predominan condiciones hidráulicas libres y semi-confinadas (Bartel & Muff, 1995) – lo cual corresponde con los registros litológicos de SENASA (1999) – aunque a veces se presentan condiciones de artesianismo con surgencia (Naciones Unidas, 1986b).

Clima

La Memoria del Mapa Hidrogeológico del Paraguay (Naciones Unidas, 1986b) presenta un sinopsis de las condiciones meteorológicas en todo el país. Muestra en dirección este-oeste una tendencia monótona de las precipitaciones anuales medias decrecientes de unos 1700 mm en la frontera oriental (Río

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Paraná) a menos de 500 mm cerca a la frontera occidental con Bolivia (Gral. E.A. Garay). Con Asunción y Villarrica como estaciones meteorológicas indicativas de la zona del Acuífero Patiño se puede inferir una precipitación media anual de 1400 a 1500 mm para dicha zona.

El informe de Naciones Unidas (1986b) muestra también que la temperatura media anual varia de 21°C en el sureste del país hasta más de 25°C en la zona norte. La evapotranspiración potencial según Thornthwaite sigue la misma tendencia, con valores numéricos de 1100 mm/año a 1500 mm/año. Los valores interpolados para la zona del Acuífero Patiño son una temperatura media de 22 °C y la evapotranspiración anual media de 1175 mm. Entonces, se hace inferir que hay excedente de precipitación, especialmente en los períodos abril-junio y octubre-noviembre.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Hidrología

Las lluvias suelen tener intensidad bastante grande en la zona del Acuífero Patiño, y la morfología de la zona es caracterizada por pendientes topográficas hacia las zonas limítrofes. Por lo tanto se observa una red de drenaje centrifugal bien desarrollada para evacuar el excedente de las precipitaciones pluviales.

Por inspección de los mapas topográficos es posible subdividir la zona del Acuífero Patiño en tres zonas hidrográficas distintas:

Zona 1 (Sistema del Río Paraguay): Esta zona es drenada por arroyos que descargan directamente al Río Paraguay. Consiste de una faja de 5-10 km de ancho bordeando el Río Paraguay, incluyendo las zonas urbanas de Limpio, Mariano Alonso, Asunción, Lambaré, Fernando de la Mora, Villa Elisa, San Antonio y Ñemby. Su extensión es de 410 km² o sea 35% del área total.

Zona 2 (Sistema del Lago Ypacaraí/Río Salado): Esta zona consiste de la zona central y las zonas a lo largo del borde oriental, y incluye las zonas urbanas de Luque, San Lorenzo, Areguá, Capiatá, Itaguá, Ypacaraí y Pirayú. Drena hacia el Lago Ypacaraí (zona 2a), hacia el Río Salado que conecta el lago con el Río Paraguay (zona 2c) o hacia la zona pantanosa al norte del lago (zona 2b). Su extensión es de 507 km² o sea 43% del área total, con áreas de 152, 314 y 41, respectivamente, para las subzonas 2a, 2b y 2c.

Zona 3 (Sistema del Ao Caañabé): Ocupa la zona sur, donde se encuentran Guarambaré, Ita y Yaguarón. Tiene extensión de 256 km² o sea el 22% del área total. Las aguas de drenaje de esta zona son conducidos por

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

arroyos hacia el Ao Caañabé, el cual alimenta una zona extensa de pantanos al sur de Nueva Italia.

Aunque el Río Paraguay es la base de drenaje regional para toda el área, es claro que las aguas de drenaje de algunas zonas tienen importancia especial con respecto a las condiciones hidrológicas del lago (zona 2a) y la sostenibilidad de los ecosistemas húmedos de los pantanos (zonas 2b y 3).

Recarga y descarga de las aguas subterráneas

Como consecuencia de la morfología del área, el Río Paraguay y otros cuerpos importantes de aguas superficiales (Lago Ypacaraí, Río Salado) no están en condiciones de recargar el Acuífero Patiño. Por lo tanto, la recarga natural del Acuífero Patiño básicamente proviene del excedente de las precipitaciones pluviales locales. Naciones Unidas (1986b) estima que esta recarga directa es de 1 a 2 % de la precipitación media, es decir unos 14 a 28 mm por año, en promedio.

Esta tasa de recarga ha sido adaptada por otros autores también (por ejemplo, Godoy, 1991; Villar et al., 1996), pero no se ha podido sacar en claro como se determinó el valor mencionado, ni hay evidencia que ha sido verificado de alguna manera con datos locales. Entonces, las estimaciones de la recarga promedia con base en dicha tasa pueden divergir bastante de los valores reales; por lo tanto, mucha cautela es requerida cuando se sacan conclusiones.

No se ha encontrado todavía ninguna referencia a componentes de recarga indirecta del agua subterránea, como por la infiltración de aguas

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

servidas y por pérdidas de las aguas distribuidas. En esta conexión hay que tomar en cuenta el agua suministrada por ESSAP, extraída en cantidades apreciables del Río Paraguay, entonces de una fuente de agua externa.

Con respecto a la descarga de las aguas del Acuífero Patiño, los informes y artículos consultados se limitan a la descarga por bombeo. Aunque evidentemente hay descarga de las aguas subterráneas por manantiales y por alimentación de los flujos base de los ríos y arroyos, no se encontraron estimaciones al respecto, ni balances hídricos subterráneos que la toman en cuenta.

Extracción de las aguas subterráneas

Varias fuentes (Naciones Unidas, 1986b; Godoy, 1991; Villar y otros, 1996) mencionan la explotación intensiva del Acuífero Patiño. El mismo acuífero está situado en la zona más densamente poblada y más industrializada del país, entonces la demanda de agua es alta.

Parte de esta demanda está cubierta por ESSAP, otra parte tiene que suplirse con agua subterránea. Según Naciones Unidas (1986b) a mediados de los años '80 el 75.5% de la población de la capital fue atendida por ESSAP, planificándose aumentar la capacidad de 240 000 m³/día a 520 000 m³/día durante el período 1985-2008. Además estaba en pleno funcionamiento el abastecimiento de agua por ESSAP de San Lorenzo, Mariano Roque Alonso, Fernando de la Mora y Luque, encontrándose en estado avanzado (70%) la terminación del sistema de agua para la ciudad de Paraguari.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Las proyecciones demográficas de la DGEEC (1999) permiten estimar la población dentro del área del Acuífero Patiño. La población acumulada de las municipalidades situadas enteramente o parcialmente dentro del área del acuífero se proyectó para el año 2000 en 1.93 millones. Algunas municipalidades se extienden hacia fuera del área delineada, entonces parte de su población no vive dentro de la misma. Después de corregir para los habitantes correspondientes, resultaría según estos datos para el año 2000 unos 1.2 a 1.5 millones de personas dentro de la zona triangular delineada del Acuífero Patiño. Sin embargo, de acuerdo a experiencia del SENASA en el área, la tasa de crecimiento de la población es mucho mayor que la asumida por la DGEEC, debido al fenómeno de migración hacia la zona. En la estimación del SENASA el área actualmente debe tener aproximadamente 2.0 millones de habitantes. Sin duda, una parte considerable de esta población depende del agua subterránea para uso doméstico y también debe ser importante el uso de la misma para fines industriales.

Villar y otros (1996) estimaron la extracción de aguas subterráneas en parte del área considerada, más o menos correspondiendo con la Zona Hidrográfica no. 2 (*Sistema del Lago Ypacaraí/Río Salado*) definida arriba. En esta zona de unos 247 km² y con una población cercana a los 500 000 habitantes, se estimó la descarga solamente por pozos perforados por SENASA en un 7.5 millones de metros cúbicos por año, con la observación que no están incluidos los pozos particulares. Luego se estimó la recarga – con base en 1.5% de la precipitación de 1500 mm/año – obteniéndose 7.41 millones de metros cúbicos por año. Los autores concluyeron que las aguas

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

subterráneas en la zona están sobreexplotadas, lo cual puede resultar en daños que “irían desde la reducción de caudales de los pozos, pasando por la sensible variación de niveles estáticos, hasta el reacomodo del subsuelo por la ausencia de uno de los factores de equilibrio, provocando desplazamientos en el subsuelo.” Los autores, consecuentemente, incluyen una propuesta para estudios, registros y otras actividades preparatorias para planificar el uso racional de los recursos hídricos subterráneos, dentro del concepto de desarrollo sustentable.

Evidentemente las estimaciones tienen su margen de imprecisión y una elaboración completa del balance hídrico sin duda contribuiría a conocimientos más profundos de los cambios que se están produciendo. Sin embargo, con razón los autores llaman atención para el problema de las extracciones de agua cada vez mayores, que tarde o temprano provocarán problemas si no son controladas.

Calidad de las aguas subterráneas del Acuífero Patiño

El informe de Naciones Unidas (1986b) comenta que el agua en el Acuífero Patiño “es generalmente de buena calidad química.” Los análisis químicos incluidos en SENASA (1999) confirman que el grado de mineralización generalmente es muy bajo, ya que la conductividad eléctrica es inferior a 100 microsiemens/cm en la mayoría de las muestras y pasa los 300 microsiemens/cm en solamente el 10% de las muestras.

Sin embargo, Godoy (1991) menciona la contaminación de los cursos de agua en la zona del Acuífero Patiño y en consecuencia la contaminación de los

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

acuíferos. Añade que “es altamente prioritario realizar una evaluación de este acuífero, referente a la evolución de los niveles y calidades del agua”. Tomando en cuenta la gran densidad de la población y las condiciones generalmente freáticas del acuífero, existen fuentes importantes de contaminación en un ambiente bastante vulnerable. Por consiguiente, es realista anticipar el riesgo de la contaminación de las aguas subterráneas.

Bartel & Muff (1995) llaman atención a la “contaminación natural” de las aguas subterráneas por el ingreso de agua salada desde el oeste a través de los acuíferos salinos ubicados en la provincia Bajo Chaco. Según ellos, el fenómeno se produce en mayor escala en toda la franja a lo largo del Río Paraguay, y en especial en la zona de Villa Hayes – Benjamin Aceval. No proporcionan datos o referencias para validar este tipo de contaminación, ni presentan un análisis para demostrar la plausibilidad hidráulica de dicho ingreso bajo condiciones de fuerte gradiente hidráulico en la dirección opuesta. Los mismos autores mencionan también –otra vez sin datos de validación - la contaminación natural por alteración y lixiviación de diques y sills basálticos en horizontes saturados, y la contaminación superficial antropogénica bien observable en la provincia hidrogeológica de Asunción.

Ríos Otero y otros (1995) llevaron a cabo un estudio de contaminación del agua subterránea en áreas puntuales del Gran Asunción. Las diferentes áreas de estudio fueron seleccionadas por su proximidad a un potencial foco de polución conocido, tales como arroyos, vertederos de basura, canteras, etc. Se realizaron el análisis físico-químico en 44 muestras provenientes de pozos y el análisis bacteriológico en 24 muestras.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Como también fue el caso en el estudio de Carvalho y otros (1995), se ha encontrado una amplia gama de tipos químicos de agua, incluyéndose las bicarbonatadas, sulfatadas y cloruradas. Algunas interpretaciones presentadas en términos del intercambio de iones no convencen plenamente, debido al hecho que no se conoce el perfil hidroquímico original de las aguas involucradas. Sin embargo, los altos contenidos de colonias de bacterias y las altas concentraciones de nitratos (hasta 143 mg/l) en la ubicación del Hotel del Paraguay) evidentemente indican la presencia de contaminaciones. Una muestra sacada en el norte de la ciudad, a unos 5 km del Río Paraguay, tiene conductividad de 1455 microsiemens/cm, anomalía tentativamente asociada con una intrusión salina del acuífero de la Formación Chaco.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO - Servicio

***Geológico Nacional - “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos
del SENASA”***

En enero de 2000, seis empresas consultores e instituciones internacionales fueron invitados por el Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA) a presentar propuestas para proveer servicios de consultoría con respecto al “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA” (Pedido de Propuestas PP N°. 09/99).

El Concurso de Precios resultó en la selección del Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO para la ejecución del proyecto considerado, indicado abajo con el acrónimo de FEHS. El contrato correspondiente entre SENASA y TNO (Contrato 28/2000) se firmó a mediados de agosto de 2000. Se inició el proyecto el día 11 de septiembre 2000, cuando viajaron dos profesionales de TNO a Paraguay para iniciar los servicios de consultoría, que tendrán una duración total de seis meses.

En su propuesta, TNO agregó las actividades técnicas del proyecto FEHS en cuatro categorías principales (TNO, 2000):

- (a) Desarrollo de Banco de Datos Hidrogeológicos Relacional
- (b) Estudio del Acuífero Patiño, a través de un Plan Piloto
- (c) Análisis de la metodología utilizada por el Departamento de Recursos Hídricos
- (d) Capacitación y transmisión de conocimientos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

TNO ejecutó el proyecto. Sin embargo, el concepto del proyecto implicó una cooperación intensiva entre los profesionales del SENASA y de TNO, no solamente para lograr los objetivos de la capacitación, sino también para alcanzar el debido progreso en los trabajos previstos.

Durante el proyecto se realizó un inventario de la información hidrogeológica disponible, incluyendo datos sobre perforaciones, pozos, geofísica, pruebas de bombeo, calidad del agua, etc. La mayoría de estos datos estaban disponibles en el archivo de pozos bien ordenado del departamento.

El Departamento de Recursos Hídricos del SENASA es responsable de las investigaciones hidrogeológicas y la perforación y el diseño de los pozos para el abastecimiento de agua ante dichos proyectos. Durante su actividad el departamento recoge mucha información sobre las condiciones hidrogeológicas y la construcción del pozo, que se guarda en un archivo de pozos extenso y también en informes. Otros departamentos del SENASA también recogen datos, por ejemplo sobre la calidad del agua y sobre la explotación del agua subterránea, tal información normalmente, a veces también es guardada en el archivo de pozos.

(a) Desarrollo de Banco de Datos Hidrogeológicos Relacional

REGIS son las siglas para el Sistema de Información Geohidrológico Regional. Es un sistema de información hidrogeológica completo, en el cual los datos hidrogeológicos y los datos relacionados relevantes se guardan, se manejan, se procesan y se consultan de una manera uniforme. REGIS puede ser utilizado para la evaluación de situaciones hidrogeológicas en una escala

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

nacional, regional o local. Las funciones en REGIS para guardar, procesar e interpretar se pueden aplicar en datos de cualquier escala.

REGIS fue desarrollado por el Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO y es utilizado por las organizaciones gubernamentales así como por organizaciones privadas en varios países como Holanda, Hungría, Moldavia, Alemania y África del Sur. En Holanda las organizaciones gubernamentales que utilizan el sistema incluyen las autoridades nacionales, provinciales y regionales involucradas en el manejo del agua. En el sector semiprivado el sistema es utilizado por organizaciones tales como instituciones regionales encargados con el manejo de las aguas, universidades y empresas de ingenieros. En Holanda TNO-NITG tiene convenios con el gobierno central y las provincias para el mantenimiento del software y los datos de REGIS. De esta manera la actualización del sistema y de los datos está garantizada.

(b) Estudio del Acuífero Patiño, a través de un Plan Piloto

Se ha estudiado el Acuífero Patiño a través de una zona piloto que corresponde a las cuencas hidrográficas de los arroyos Mbocayaty y Ñemby. Dentro de esta Zona Piloto se ejecutaron trabajos de campo bastante intensivos, mientras que en otras partes del Acuífero Patiño el trabajo de campo fue limitado al muestreo y análisis de muestras de agua.

Conviene seleccionar la Zona Piloto para ganar experiencia al respecto y para observar al mismo tiempo tendencias y cambios que pueden ser indicativos para otras partes del Acuífero Patiño.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Entre los resultados de las investigaciones en la Zona Piloto destacan:

(1) la identificación de una zona cerca al Río Paraguay con capa profunda de baja resistividad eléctrica, posiblemente relacionada a aguas saladas profundas; (2) la cuantificación del balance hídrico subterráneo, indicando tasa de recarga mucho mayor que la asumida en estudios anteriores del Acuífero Patiño; (3) la determinación tentativa del riesgo de polución, que constituye amenaza apreciable para el uso de las aguas para fines potables.

Las principales amenazas identificadas con respecto a la sostenibilidad del uso de las aguas subterráneas dulces son: (1) la presencia y el riesgo de invasión de aguas saladas en una franja a lo largo del Río Paraguay, y (2) el riesgo de contaminación en toda la zona del Acuífero Patiño. El riesgo de la sobre-explotación requiere vigilancia mediante monitoreo, pero en forma regional todavía no parece agudo.

Trabajo de campo

Inventario de puntos de agua

Se hizo el inventario integral de pozos y manantiales presentes en toda la Zona Piloto. En total se ubicaron 164 pozos profundos, 23 zonas de pozos excavados y 8 zonas de manantiales. Con ayuda de mapas topográficos y un sistema GPS se determinaron en cada punto de agua los datos geográficos de referencia, siendo las coordenadas UTM y la altura en msnm. Luego por entrevista se registraron datos administrativos (municipio, sector/barrio, nombre del predio o sitio, propietario del pozo, etc.), datos con respecto a la

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

construcción del pozo y a la bomba y su fuente de energía, al bombeo, y datos respecto al uso del agua (cantidad de agua, tipo de uso, no. de usuarios, etc.).

La importancia de los inventarios es que esta es la forma de tener un conocimiento primario directo del "estado" del sistema de aguas subterráneas. Desafortunadamente el agua subterránea es un sistema oculto y solamente se logra tener un conocimiento parcial de su estado mediante unos cuantos puntos discretos (pozos y manantiales).

Las conclusiones principales a la que se llegó con estos trabajos fueron que ya se tiene ya un inventario bastante completo y consistente. Con este inventario y los demás estudios que se llevaron a cabo se tiene un mejor conocimiento del sistema hidrogeológico del Acuífero Patiño en la Zona Piloto. Un punto que tiene importancia destacar es la extracción total del acuífero en la Zona Piloto, el cual se ha estimado 13.5 millones de m³/año, lo que da un caudal de extracción efectiva media de 1541 m³/hr (428 l/s). Este caudal de extracción corresponde para el área de la Zona Piloto a 278 mm/año. Teniendo en cuenta el caudal de extracción (278 mm/año), y dado que en general la disminución de niveles de agua subterránea no es muy pronunciada (solo en sitios locales), y además por cálculos preliminares de modelos numéricos, se estima que la recarga hacia el acuífero en la Zona Piloto debe estar entre 200 a 300 mm/año.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Investigación geoelectrica

En la Zona Piloto se llevó a cabo una investigación geoelectrica durante octubre – noviembre del año 2000. Se ejecutaron 50 sondeos eléctricos verticales con el fin de determinar la geometría y otras características del sistema acuífero

Los objetivos específicos del levantamiento geoelectrico en la zona piloto del acuífero Patiño son determinar la geometría del acuífero, diferenciando entre capas permeables y zonas poco permeables o impermeables. Asi como también detectar variaciones significantes de la salinidad del agua subterránea.

El resultado más destacado del presente estudio, es la división de la zona piloto en dos regiones principales. En la parte meridional, una capa de baja resistividad (30 - 60 Ω m) forma la base del acuífero Patino. La naturaleza de esta base se desconoce, pero su baja resistividad sugiera estratos arcillosos o formaciones con agua de alta salinidad. La profundidad de esta base del acuífero, como deducida de los sondeos geoelectricos, varia entre 170 y 350 m. En la parte septentrional del área, formaciones con altas resistividades (160 - 410 Ω m) se extienden hasta una profundidad mayor que la profundidad de investigación (>400 m), con las máximas distancias electródicas utilizadas. Estas rocas son las areniscas de la Formación Patiño, y posiblemente también de areniscas de formaciones más antiguas y subyacentes.

En el sur y el centro del área de estudio se encuentra la tercera zona con rocas ígneas intrusivas y extrusivas de edad Terciaria. Un testimonio de estas últimas son los basaltos que afloran en el Cerro Ñemby. Las rocas ígneas

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

producen resistividades muy altas ($>1000 \Omega\text{m}$), como fueron deducidas de unos cuatro sondeos geoelectrónicos.

Pozo exploratorio

Un pozo exploratorio de 300 m de profundidad fue perforado por SENASA en febrero del 2001, en la zona de Villa Elisa.

Con el pozo exploratorio se pudo determinar la litología hasta una profundidad de 300 metros, no alcanzada hasta ahora en las perforaciones existentes. También se pudieron reevaluar los modelos geoelectrónicos en el área de estudio, con sus similitudes y diferencias.

Desafortunadamente el pozo se construyó hacia el final del proyecto y aun no se tiene la totalidad de la información que el mismo puede suministrar.

La columna litológica obtenida es similar a las de los pozos perforados en los alrededores, característica de la formación Patiño, predominando el material granular arenoso a gravoso, de tamaño grueso con algunos cantos, y ocasionalmente limos y arcillas en cantidades muy bajas. Las muestras no presentaron evidencias de metamorfismo, si lo hay debe ser mínimo.

El pozo aún falta purgarlo para poder obtener datos representativos sobre la calidad del agua, ya que se espera a esta profundidad tener más sólidos disueltos, tal como los sugiere el estudio geofísico, y el estudio de calidad del agua, en donde se encuentra agua salada en varias zonas limítrofes con el Río Paraguay.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Ensayos hidráulicos

En la zona piloto se ejecutaron cuatro pruebas de bombeo, tres de ellas utilizando pozos cercanos como pozos de observación. Los resultados de las pruebas dan como resultado la determinación de un acuífero con algunas condiciones acuíferas similares, pero también con algunas diferencias. En varios sitios se puede considerar como un acuífero multicapa entre 2 y 4 capas. Las capas superiores se comportan como libres a semilibres con transmisividades entre 10 a 30 m²/d, conductividades hidráulicas horizontales entre 0.3 a 0.6 m/d, las verticales de 2 a 5 veces menores; la porosidad eficaz estimada entre el 10% al 20% y un coeficiente de almacenamiento para condiciones elásticas de 10⁻³ a 10⁻⁵. La capa inferior fundamentalmente de tipo semiconfinado (localmente se puede comportar como confinado), con transmisividades entre 30 a 200 m²/d, conductividades hidráulicas horizontales entre 1 a 4 m/d, y el coeficiente de almacenamiento elástico de 10⁻⁴ a 10⁻⁷. En una de las pruebas se registraron además una capa entre el acuífero superficial y el profundo con resistencias hidráulicas altas del orden de los 2500 días.

La importancia de la determinación de los parámetros geohidráulicos radica fundamentalmente en el siguiente aspecto: el Acuífero Patiño es la fuente principal de abastecimiento de agua potable e industrial en la Zona Piloto. Actualmente en esta zona de 45 km² se usa intensivamente el acuífero, extrayendo aproximadamente 13.5 millones de m³ de agua al año, lo que equivale a un caudal de extracción media de 1541 m³/hr (428 l/s). Por lo tanto para manejar, optimizar y desarrollar esta fuente de agua, es importante conocer la hidrodinámica del sistema acuífero, la forma como se ha

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

comportado en el pasado, con su sistema de flujo, sus variaciones espaciales y temporales, y la forma como se espera se comporte en el futuro. Para poder cuantificar esta dinámica del acuífero es necesario previamente conocer sus parámetros geohidráulicos.

Red piezométrica

Dado el hecho que los pozos existentes en general no son aptos para el monitoreo de los niveles estáticos del agua subterránea, se ha subcontratado la construcción de diez pozos de observación piezométrica, con un total de 550 m perforados. Los diez pozos forman una red inicial satisfactoria para el monitorio de la zona.

En la Zona Piloto se determinaron profundidades máximas de 55 a 60 metros, 8 zonas de agua aflorante (manantiales) y 3 zonas de agua surgente. También se observó la incidencia que tienen los niveles con la hidrología superficial.

La importancia del monitoreo piezométrico radica fundamentalmente en el conocimiento directo del nivel estático del agua subterránea en los acuíferos es posible solamente a través de pozos que no se estén bombeando, y en el agua aflorante en manantiales.

Las conclusiones a las que se llegó en estos estudios fue que las profundidades máximas de agua están entre 50 a 60 metros, localizadas en las zonas altas de El Cerrito, Pai Nú y Villa Elisa. Las profundidades mínimas están en la superficie del terreno en forma de manantiales, localizados fundamentalmente cerca de los cauces superficiales a partir de la parte media

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

de la cuenca. Existen también zonas de agua surgente por debajo de los 40 m de profundidad, localizados hacia las zonas de Caaguazú y Ñemby.

Inventario de fuentes potenciales de contaminación

En la Zona Piloto se llevó a cabo en el campo el inventario de fuentes potenciales de contaminación de las aguas subterráneas. Se ubicaron 65 fuentes potenciales de contaminación, además se observó la presencia de contaminación difusa correspondiente a la infiltración de aguas servidas

Se incluye también el grado de vulnerabilidad del acuífero a ser impactado, utilizando dos metodologías para su cuantificación, obteniendo con ambos procedimientos resultados similares, teniendo un acuífero con vulnerabilidad predominantemente moderada. Sin embargo, hay que anotar que en general los acuíferos menos vulnerables, una vez contaminados son más difíciles de restaurar. El riesgo que tiene un acuífero a ser contaminado depende básicamente de dos factores: la vulnerabilidad del acuífero a ser contaminado, y la presencia de fuentes de contaminación.

Las conclusiones a las que se llegó con este trabajo fueron que se cuenta con dos mapas de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación teniendo una vulnerabilidad moderada a baja, predominando la moderada en el área de la Zona Piloto. Así como también se tiene un inventario del tipo de fuentes potenciales de contaminación con su localización espacial, teniendo una fuente de contaminación difusa de aguas servidas (cloacales ó negras), y un total de 65 fuentes puntuales de contaminación potencial correspondiente a industrias, estaciones de servicio, lavanderías, talleres, zonas de desechos

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

sólidos (basureros), terminales de autobuses, subestaciones eléctricas, desechos hospitalarios y cementerios.

Muestreo y análisis de la calidad del agua

Entre inicios de diciembre del 2000 y fines de febrero del 2001 se tomaron 125 muestras de agua en toda la zona del Acuífero Patiño y las vecindades. La mayor parte de las muestras proviene del mismo acuífero, pero un número limitado fue tomado de aguas superficiales. Se analizaron en el laboratorio del SENASA, en forma de análisis físico-químico-bacteriológicos completos para aguas potables. El objetivo fue obtener un imagen regional consistente de la calidad de las aguas del Acuífero Patiño e identificar posibles amenazas.

Casi el 70% de las aguas contiene coliformes, las cuales incluyen coliformes fecales en el 28% de las muestras. Esta contaminación bacteriológica, el alto contenido de hierro y la turbidez constituyen las limitaciones principales del agua con respecto a su potabilidad. Comparando con las normas Paraguayas vigentes, el 78% de las aguas no es apta para consumo doméstico sin tratamiento previo. Considerando que no se ha determinado todos los componentes mencionados en las normas, es posible que el porcentaje apto para consumo es más pequeño todavía.

La información obtenida indica la marcada vulnerabilidad del sistema acuífero con respecto a polución. Es muy probable que el agua subterráneas en varias zonas esté contaminada con sustancias de origen doméstico o industrial. Son escasas las prácticas de eliminación y saneamiento de

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

contaminantes en la zona, y aquellos fácilmente migran hacia las aguas subterráneas

(c)Análisis de la metodología utilizada por el Departamento de Recursos Hídricos

Las conclusiones a las que se llegó en este trabajo fueron que los métodos usados por el Departamento de Recursos Hídricos del SENASA para la ubicación, la construcción y las pruebas de bombeo son en general bastante racionales y – con algunas excepciones – profesionalmente bien desarrollados. Sin embargo, hay opciones para mejoras técnicas, como se indicará abajo en la sección de las recomendaciones. Se trata especialmente de los archivos de datos, los estudios geofísicos, los perfilajes geofísicos, las pruebas de bombeo y la capacitación profesional.

En las prácticas actuales las metas son de carácter local e inmediato. No se da mucha importancia a esfuerzos adicionales que podrían producir beneficios a mediano o largo plazo. El número de profesionales dentro del Departamento de Recursos Hídricos del SENASA es reducido y la experiencia en la aplicación de algunos métodos (por ejemplo métodos geofísicos) no es compartida. Esto tiende a limitar el desarrollo profesional con respecto a los métodos considerados – por falta de interacción – y significa cierto riesgo potencial de continuidad.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

(d)Capacitación y transmisión de conocimientos

El programa de capacitación ofrecido por el Proyecto FEHS ha sido substancial, tomando en cuenta la duración del proyecto de solamente seis meses. Incluyó cursos internos, cursos externos y transferencia de conocimientos durante el trabajo. Según las respuestas obtenidas en la evaluación posterior, el programa ha sido generalmente de buena calidad y el impacto bastante satisfactorio.

Para desarrollar un plan preliminar de capacitación para los próximos tres años se han inventariado - por un lado - por encuesta las demandas y preferencias de los profesionales del Departamento, y - por otro - las prioridades para el Departamento.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

***Tesis Final de Grado “Estudio de la Contaminación del Acuífero
Patiño” - Sergio Cardozo López y Claudia Crosa Rivarola (2006)***

Esta Tesis Final de Grado fue desarrollada por alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción en el año 2006

Tuvo como objetivo general la determinación cuantitativa de las áreas con presencia de agua salada y coliformes en el Acuífero Patiño. Para dar un panorama de la situación y del estado de contaminación del Acuífero Patiño en ese momento.

También tuvieron como otros objetivo saber cómo se encontraba el Acuífero Patiño a partir de los estudios realizados en el año 2000 por la firma holandesa (TNO) que realizó un estudio bastante detallado del acuífero, y se enfocó principalmente en una zona piloto, en la cuenca del arroyo Ñemby. Con lo que buscaban determinar el comportamiento en materia de contaminación en el Acuífero a partir de este estudio.

Otro objetivo importante fue el de determinar qué áreas del Acuífero están más expuestas a la contaminación trabajamos mucho con la información espacial de los pozos y los valores de calidad de los mismos. Para permitir determinar las zonas más vulnerables a la contaminación en el área. Esto con el fin de delimitar políticas públicas para la preservación y remediación del recurso hídrico.

También pretendían determinar cómo afecta la contaminación del recurso en el aspecto social ya que la población sobre el acuífero es la más perjudicada en el caso de que el Acuífero llegue a estados de contaminación irreversible. El manejo del mismo debe ser sostenible económica y

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

socialmente. Plantearon en este punto pintar un panorama de la salud pública en materia de enfermedades de origen hídrico, las cuales pueden ser causadas por el consumo de agua subterránea contaminada.

Su metodología fue la de realizar primeramente una recopilación general de los datos existentes y una evaluación de la información obtenida.

Seguidamente realizaron una planificación de los puntos a muestrear en base al estudio anterior del TNO, seleccionando los pozos a ser analizados teniendo en cuenta una distribución uniforme, con el fin de abarcar toda el área y sin dejar espacios sin representación. Esto además les permite hacer una comparación de sus resultados con los resultados del estudio anterior para determinar el cambio en las condiciones del recurso.

Luego teniendo esa base de datos realizaron las salidas de campo para obtener las muestras de los 105 puntos y realizar los análisis correspondientes. Los trabajos de laboratorio fueron realizados en los laboratorios de ESSAP, bajo las normas de los Standards Methods. Los parámetros analizados en cada muestra fueron los de los análisis de coliformes fecales, totales, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, pH, temperatura, conductividad.

Luego realizaron el procesamiento y análisis de los datos obteniendo las siguientes conclusiones y recomendaciones al respecto.

El Acuífero Patiño, es un recurso imprescindible para el desarrollo de la región y una fuente importante de agua para el abastecimiento local. Es por eso que es imperativo que sea controlado y protegido para asegurar que siga siendo una fuente sostenible de abastecimiento de agua, y que su explotación no implique una degradación ambiental inaceptable.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Identificaros puntualmente tres grandes riesgos principales que corre el Acuífero Patiño, y que serían irreversibles si no se los trata convenientemente a tiempo.

El primero de ellos es el riesgo de polución por presencia y actividades humanas. Identificaron los parámetros que indican la influencia antrópica en el Acuífero Patiño. Concretamente se destacó la presencia de coliformes fecales y totales, los cuales ponen en riesgo el uso sostenible del recurso, sin necesidad de tratamiento. Muchos lugares en donde anteriormente no era necesario el uso de clorificadores para el suministro de agua a la red, ya se recomendó la introducción del halógeno como desinfectante. No obstante, en ese tiempo todavía existía un buen porcentaje de pozos en los que no es necesario el uso de los mismos.

El segundo, es la presencia de compuestos derivados del nitrógeno en cantidades mayores a las permitidas por las normas en algunos pozos, estos compuestos son peligrosos para el consumo humano. Se encontraron en muy pocos pozos por lo que concluyeron que puede deberse a una contaminación local, particular de cada pozo y no generalizada, lo cual puede solucionarse fácilmente con un estudio y trabajos en las zonas afectadas. Aunque esto nos da un panorama de que el acuífero no se encuentra en tan mal estado, cabe destacar que en más del 90% de los pozos se encontraron dichos compuestos pero en concentraciones no peligrosas, lo crítico es que en el estudio con el cual ellos compararon en el año 2000 estos compuestos sólo aparecían en el 10% de las muestras, esto demuestra la tendencia de avance de este tipo de contaminación, que es principalmente debida al uso de fertilizantes orgánicos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En tercer punto, el pH del agua del acuífero estaban muy bajo, la cual debe elevarse antes del consumo humano para evitar problemas de salud en la población, es también importante elevar el pH del agua para que los tratamientos de desinfección tengan efecto.

En lo que al proceso de salinización se refiere, este estudio concluyo que comparativamente con los estudios realizados en el 2000 no ha existido un gran avance del proceso como se suponía, lo cual indicaría que sigue siendo un problema localizado en algunas zonas y no avanza como se suponía. En algunos puntos fuera de las zonas conocidas por sus aguas con altas concentraciones de sal, existen algunos pozos con valores elevados de conductividad, esto podría deberse a circunstancias particulares del pozo y no indica que la zona este salinizada.

Las recomendaciones que dio este trabajo fueron que la protección contra la contaminación de nuestra agua subterránea requerirá un manejo consciente y la cooperación por parte de los ciudadanos y de varias instancias gubernamentales. En varios casos, la planificación del uso del suelo es la mejor medida disponible para proteger el acuífero que aún contienen agua de buena calidad. Si se planifica la localización de fuentes potenciales de contaminación y se les ubica lejos de las áreas críticas de recarga, el riesgo de contaminación se reducirá notablemente, esto debe ser promovido por las instancias pertinentes del gobierno y con el asesoramiento de especialistas en el tema, basados en un proyecto de planificación de toda el área en base a la infraestructura existente y las expectativas futuras.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

También recomendaron que es muy importante el uso cuidadoso y la eliminación apropiada de los productos químicos y desechos de los mismos, que causan contaminación, son también necesarios. Las industrias, las granjas, las estaciones de servicio, talleres de mantenimiento y los vecinos asentados sobre el área del acuífero necesitan practicar un buen manejo con respecto al uso y eliminación de productos químicos y otros desechos.

En lo que respecta al uso de fertilizantes de origen orgánico, dijeron que se debe formar a los agricultores para un uso racional de los mismos, y sobre las técnicas adecuadas, para evitar que siga el avance de la contaminación por derivados del nitrógeno. Se debe regular u obligar a las industrias hidro-intensivas tales como lavaderos, industrias de bebidas, mataderos, frigoríficos y otras, a la explotación racional del recurso o a la obtención de agua de una fuente alternativa, así como a disponer adecuadamente de las aguas residuales resultantes de sus procesos.

Otra recomendación fue que, debido al alto índice de contaminación con coliformes de las zonas más pobladas, una medida de carácter urgente es la instalación de alcantarillado sanitario para la recolección de las aguas servidas, y plantas de tratamiento de estas, ya que en estos momentos esta agua servidas están siendo depositadas directamente en el suelo lo cual contamina el acuífero por el arrastre de contaminantes por el agua de recarga o por mala protección de los pozos cercanos a las zonas contaminantes. La instalación de alcantarillado sanitario en las zonas de más alta densidad poblacional es un paso obligatorio por cuestiones de salud de la población, con estos sistemas, la diferencia entre la descarga y la recarga del recurso se acrecienta, y los

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

problemas de la sobre explotación se harán más evidentes, para solucionar esto, se plantearon en este trabajo distintas soluciones, tales como: La ampliación de la planta de tratamiento de ESSAP, o la construcción de otra, para cubrir con agua proveniente del río Paraguay ampliando la cobertura del sistema del Ente, en este escenario, se debería implementar una nueva relación de ESSAP con las aguaterías privadas que operan en el área, a fin de que estas sean distribuidoras de las aguas tratadas por el Ente, con los arreglos económicos necesarios.

La segunda posible solución que plantearon fue la implementación de sistemas de infiltración de agua de lluvia, ya sea, a nivel domiciliario a través de sistemas de drenaje en la fuente, así como por micro cuencas, donde el agua de lluvia se deriva a una zona no poblada y preparada especialmente para la infiltración, esta medida también requiere las protecciones de las zonas principales de recarga así como la obligación por parte de las autoridades a los propietarios de terrenos a disponer de un área reglamentada para la infiltración en sus predios. Este sistema se utiliza en países de la región con mucho éxito, sistemas similares se utilizan actualmente en el Chaco paraguayo para la recarga de tajamares.

En lo que a la salinización respecta dijeron que son necesarios estudios más profundos sobre el acuífero, su flujo, las fuentes y el comportamiento de las aguas saladas para determinar las protecciones o medidas a tomar para evitar su propagación en el interior del acuífero.

Según lo determinado por el citado estudios, muchas de las contaminaciones son locales, lo cual evidencia problemas en las perforaciones

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

o cuidados de los pozos, se debe hacer cumplir las normativas existentes sobre el tema de las perforaciones, y obligar a las personas del rubro a asistir a cursos de capacitación sobre esta y una formación continua, así como a seguir los planes de ordenamiento.

Un paso, quizás el más importante, es hacer que las personas estén conscientes del impacto potencial que ellos pudieran tener en el agua subterránea, implementar programas de educación para las familias en lo que respecta al manejo eficiente del agua, e incluir en la educación básica capítulos de cuidados de esta. Se debe enseñar a todos los ciudadanos sobre la importancia del agua en su vida, que es un bien de todos y de las generaciones futuras, que cada uno puede aportar para su conservación y no sólo debe ser un actuar de un gobierno o autoridades, que esta es un bien finito y vulnerable, por ahora de buena calidad, y si no la cuidamos todos quizás nuestros hijos no puedan disponer de ella.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

***Chuo Kaihatsu Corporation - JNS - “Estudio de Políticas y Manejo
Ambiental de Aguas Subterráneas en el Área Metropolitana de Asunción”
(Acuífero Patiño) 2007***

La República del Paraguay recibió una cooperación técnica no reembolsable proveniente del Fondo Fiduciario Japonés (JCF) para servicios de Consultoría, el cual fue administrado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Dichos recursos fueron destinados al “Estudio de Políticas y Manejo Ambiental de Aguas Subterráneas en el Área Metropolitana de Asunción”, bajo la denominación de Cooperación Técnica ATN/JC-8228.

En marzo de 2004, cinco consorcios y empresas consultoras presentaron sus propuestas para proveer los servicios requeridos, resultando seleccionado el Consorcio integrado por las firmas Chuo Kaihatsu Corporation-JNS con la mejor calificación técnica, iniciándose el proceso de negociación de la oferta económica el cual culminó con la firma del contrato correspondiente entre el BID y el Consorcio CKC-JNS el 07 de junio de 2005, iniciándose los trabajos efectivamente el 3 de julio del mismo año y extendiéndose los mismos hasta el 31 de mayo del 2007

Mediante la consultoría se pretendió el desarrollo de un modelo matemático asociado a un plan de gestión de uso sostenible del acuífero Patiño, y se consignan como beneficiarios directos al SENASA, SEAM, ERSSAN, ESSAP S.A. y las Municipalidades del Área Metropolitana de Asunción.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El objetivo de este Proyecto fue la elaboración de un Plan de Gestión del Agua Subterránea para el Aprovechamiento Sostenible del Acuífero Patiño basado en un modelo matemático hidrodinámico y de calidad a ser desarrollado por los consultores. Como resultado esperado de este estudio, SENASA incrementará su capacidad para la utilización efectiva de esta herramienta tecnológica esencial para la buena gestión del acuífero Patiño, proporcionando así las condiciones básicas para la explotación racional del agua subterránea en la Región Metropolitana de Asunción.

Como objetivos específicos tenían:

a) el establecimiento, transferencia y montaje de un modelo matemático del acuífero Patiño, que detalle la hidrodinámica y la calidad de agua de este recurso;

b) la elaboración de un Plan de Gestión de Agua Subterránea, con énfasis en el uso sostenible y protección del acuífero Patiño a ser utilizado como un instrumento de planeamiento;

c) la capacitación y entrenamiento del personal de SENASA y profesionales de otras instituciones involucradas en el tema, para la transferencia de tecnología en el uso del modelo como instrumento de gestión de este recurso natural.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El proyecto se desarrollo en tres etapas:

a- Recolección de datos:

En esta etapa se recopiló toda la información existente del área de estudio como ser: consumo de agua, habitantes en el área del acuífero, industrias, perforaciones de pozos existentes, focos potenciales de contaminación etc.; además de la información a recabar con las actividades previstas durante el desarrollo del proyecto que abarca estudios geofísicos, perforación de piezómetros, monitoreo de aguas superficiales y subterráneas, etc. Toda esta información fue interpretada, analizada y sistematizada e introducida en la base de datos que alimentó el modelo matemático del acuífero.

La información base más importante fue sin dudas la elaborada por el Instituto Holandés de Geociencias Aplicada en el proyecto “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA- Estudio del Acuífero Patiño”, en el cual realizaron trabajos de investigación en el área Piloto de la Cuenca del Arroyo Guazu.

También se consultaron con las demás instituciones que realizaron trabajos de investigación dentro del área del acuífero Patiño como ser el propio SENASA, la DGEEC, SEAM, ESSAP, ERSSAN, FIUNA, MOPC, entre otros.

Como primera actividad se realizó un análisis de la información disponible en la base de datos del SENASA, la misma cuenta con información muy variada. De los pozos construidos por SENASA se cuenta con bastante información como ser ubicación, caudal, niveles del agua, perfil litológico, ensayo de bombeo, análisis químicos, entre otros

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En base a este análisis, teniendo en cuenta que el SENASA cuenta con información de los municipios del departamento Central y de Paraguari, siendo casi nula la información con la que cuentan de la ciudad de Asunción y su área circundante, se determino realizar el inventario de pozos en dicha área.

Teniendo en cuenta los datos de los pozos con los que contaba el SENASA y los inventariados en este proyecto actualmente se tiene la siguiente distribución de pozos en el Acuífero Patiño.

Tabla 4.2 – Pozos sobre el acuífero Patiño

MUNICIPIO	DEARTAMENTO	Pozos
Asunción	Asunción	291
Aregua	Central	40
Capiatá	Central	125
Fernando de la Mora	Central	155
Guarambaré	Central	9
Itá	Central	26
Itaugua	Central	45
J. Augusto Saldívar	Central	26
Lambaré	Central	98
Limpio	Central	55
Luque	Central	418
Mariano R. Alonso	Central	75
Nemby	Central	84
Paraguarí	Paraguarí	10
Pirayú	Paraguarí	4
San Antonio	Central	18
San Lorenzo	Central	310
Villa Elisa	Central	115
Yaguarón	Paraguarí	15
Ypacarai	Central	0
Ypané	Central	3
Total		1,922

Se realizaron 41 sondeos eléctricos verticales en el área del Acuífero Patiño para determinar con ellos la geometría y las formaciones hidrogeológicas que la componen. En el mes de enero del 2006 se terminaron los trabajos de campo relativos a los SEV.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En base a la información de los SEV se definieron los sitios para la perforación de los pozos exploratorios y además con toda la información de los 41 SEV ejecutados dentro del Proyecto y de otros proyectos anteriores, se realizaron los cortes transversales del acuífero para conocer su geometría y las diferentes formaciones hidrogeológicas que la componen, información que será confirmada con la realización de los pozos exploratorios.

Los trabajos de SEV fueron la base para la elaboración del modelo matemático ya que con los pozos solamente se tenía información hasta una profundidad de 150 a 180 metros y en algunos pocos pozos de 200 metros. Por lo tanto luego de realizar la perforación del pozo exploratorio en el sitio donde se realizó el SEV 41 y después de contrastar la información obtenida con el SEV y la obtenida directamente de la perforación, tanto en la descripción litológica como en la respuesta geofísica del perfilaje del pozo se determinó que el SEV tuvo una muy buena respuesta en determinar las formaciones hidrogeológicas que se investigó.

Uno de los objetivos principales del trabajo fue el de calcular el **BALANCE HÍDRICO INTEGRADO** en la cuenca del Acuífero Patiño y de esa manera:

- Investigar y seleccionar el mejor método de cálculo del Balance Hídrico Integrado (BHI), aplicado a la cuenca del Patiño, en concordancia con los criterios técnicos del proyecto.
- Colectar y procesar los datos históricos necesarios para la elaboración del BHI.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

- Colectar, controlar y procesar los datos del monitoreo hidrometeorológico operativo del proyecto, generando tablas, gráficos y utilizarlos para la calibración del modelo de balance hídrico.

Para lograr los objetivos se ha diseñado e implementado una red pluviométrica en la cuenca del acuífero Patiño, con el objetivo de monitorear el volumen y la variabilidad espacial de las lluvias diarias en la cuenca. Se montaron pluviómetros de bajo costo pero de elevada precisión en 14 puntos, por lo menos una en cada microcuenca, además de reglas hidrométricas para medir los niveles del agua en los arroyos. Se realizaron mediciones de caudal para tener el caudal base de los arroyos

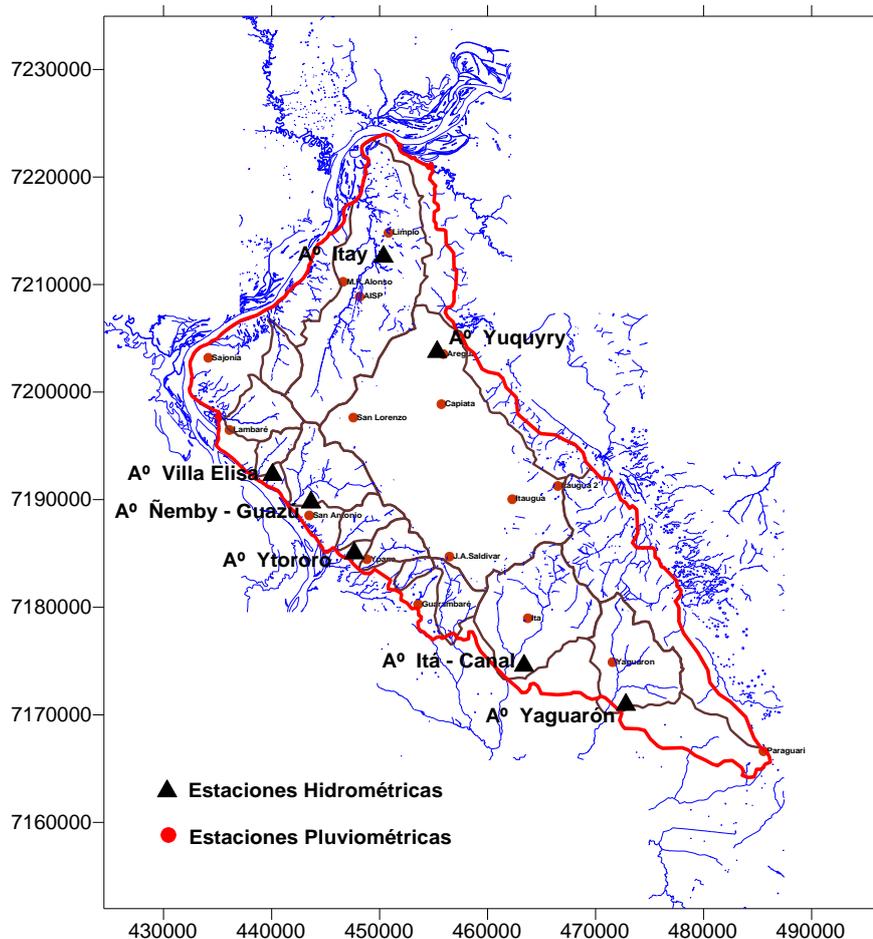


Figura 4.1 – Estaciones hidrométricas y pluviométricas

**ACUÍFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Luego de analizado los diferentes métodos, se ha seleccionado el método aplicado por Lafragua et al, que lo utilizan para determinar el balance de agua del valle de México. Este método es aplicable al área de estudio del acuífero Patiño, por ser una cuenca con características similares, salvando la topografía y el área de la misma.

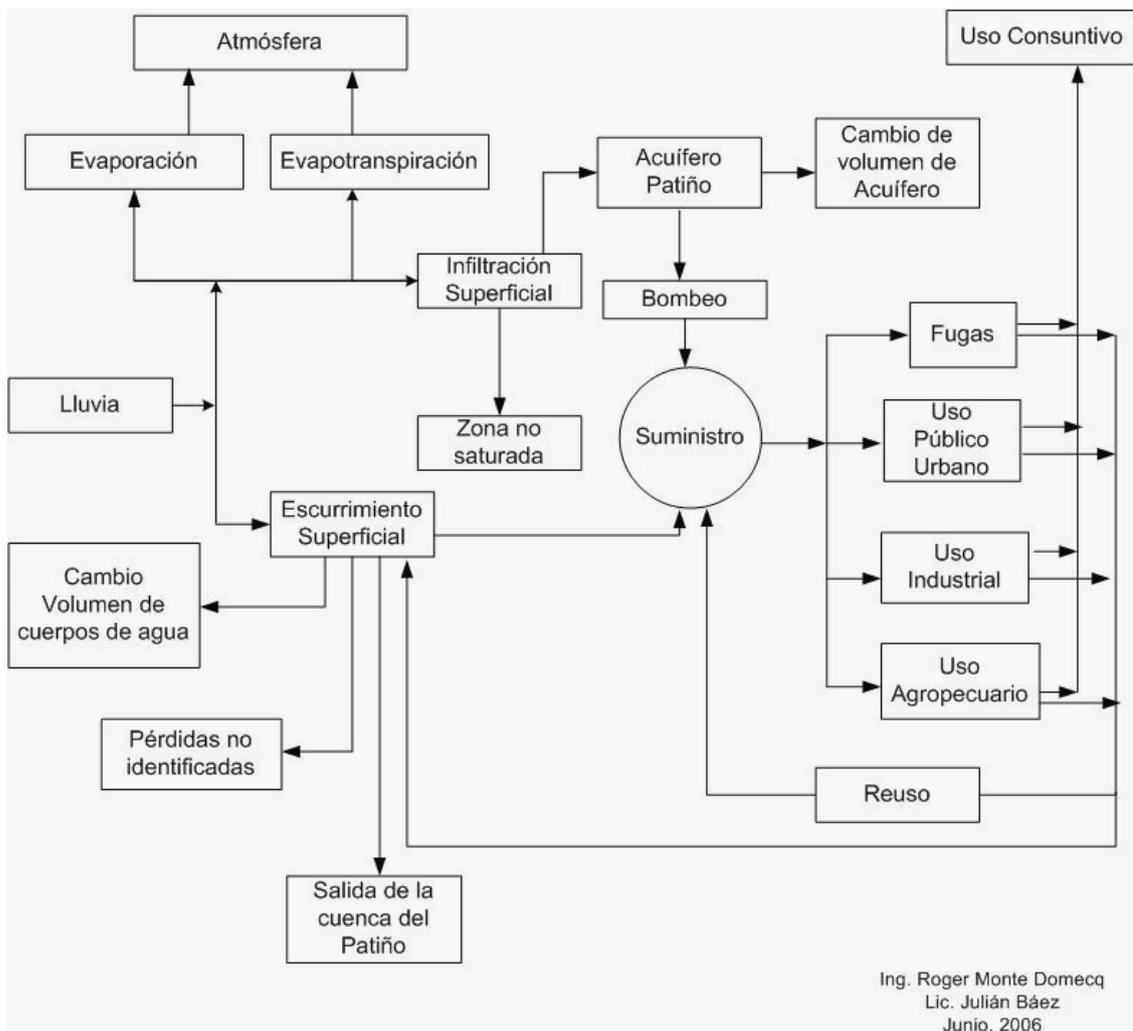


Figura 4.2 – Balance hídrico

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

La fórmula utilizada en el Balance Hídrico Integrado es:

$\Delta V = (P + I_m + R + B) - (ET + E_s + C + I_r + I_{II})$	ecuación (1)
--	---------------------

El Balance Hídrico Subterráneo se calcula con la siguiente ecuación:

$\Delta S = I_r + I_{II} - B - E_{ss}$ (del caudal base)	ecuación (2)
--	---------------------

Observación: $E_s = E_{ss}$ (caudal base) + Escorrentía de flujo superficial (lluvia)

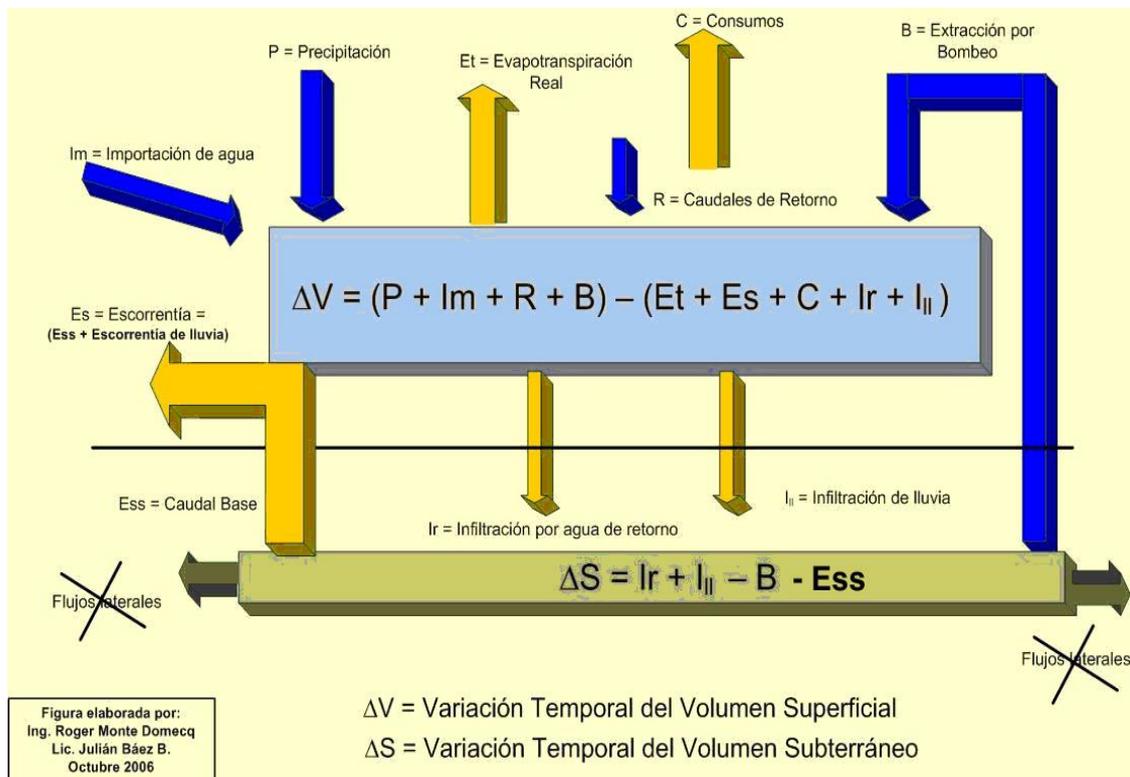


Figura 4.3 - Balance Hídrico Integrado (Balance Superficial + Subterráneo)

Con toda la información existente y recopilada se procedió a determinar cada uno de los parámetros intervinientes en el Balance Hídrico

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Determinación del Balance Promedio Anual

Se utilizan datos de las series históricas para el cálculo de los promedios de las variables naturales como la precipitación y evapotranspiración. Para los datos de consumos, los caudales de retorno, infiltración y agua no contabilizada, se utilizan datos de los años 2005-2006.

Tabla 4.3 - Balance Hídrico Integrado Año 2005

Ítem	Variables del Balance	Año
	Entradas	
1	Precipitación (P)	1624
2	Importación de Cuencas Ext. (Im)	105.6
3	Retornos (Cons. H, I, A) (R)	93.6
4	Retorno de ANC (R1)	37.1
5	Bombeos (B)	126.0
	Salidas	
6	Evapotranspiración Real	1265
7	Escorrentía de caudal Base (Ess)	123
8	Escorrentía de lluvia (Ell)	211
9	Consumo Humano (Ch)	162.3
10	Consumo Industrial (Ci)	10
11	Consumo Agrícola (Ca)	10
12	Infiltración de retorno (Ir)	9.3
13	Infiltración de ANC (Ir1)	18.5
14	Infiltración de lluvia (I)	148
	ΔV (Variación del volumen superficial)	29.2
	ΔS (Variación del volumen subterráneo)	-73.2

En el balance hídrico anual histórico, en el 2005 ya se presenta valores de ΔS negativos, lo cual implica que el consumo supera a la infiltración natural. La variación del volumen ΔV en este caso, representa la diferencia entre las

**ACUÍFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

entradas y salidas en la superficie, lo cual al ser positivo indica que debido al bombeo y consumo de agua, el mismo queda retenida sobre la superficie un tiempo superior al necesario requerido para la infiltración al subsuelo.

Proyectando los datos de consumo y otros de intervención física del territorio en base a escenarios conservadores de desarrollo, se obtienen los valores de la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 – Proyecciones del Balance Hídrico Integrado hasta el año 2035

Item	Variables del Balance	Años						
		2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
	Entradas							
1	Precipitación (P)	1624	1624.0	1624.0	1624.0	1624.0	1624.0	1624.0
2	Importación de Cuencas Ext. (Im)	105.6	111.0	116.7	122.6	128.8	135.4	142.3
3	Retornos (Cons. H, I, A) (R)	93.6	101.2	122.2	143.1	164.0	185.0	219.5
4	Retorno de ANC (R1)	37.1	37.9	40.0	42.2	44.3	46.4	49.9
5	Bombeos (B)	126.0	154.1	182.4	210.7	238.9	267.2	295.6
	Salidas							
6	Evapotranspiración Real	1265	1265	1265	1265	1265	1265	1265
7	Escorrentía de caudal Base (Ess)	123	123	123	123	123	123	123
8	Escorrentía de lluvia (EII)	211	224.7	238.2	251.7	265.3	278.8	292.3
9	Consumo Humano (Ch)	162.3	193.5	225.0	256.5	287.9	319.4	351.1
10	Consumo Industrial (Ci)	10	13.4	16.7	20.0	23.4	26.7	30
11	Consumo Agrícola (Ca)	10	16.6	23.3	30.0	36.6	43.3	50
12	Infiltración de retorno (Ir)	9.3	11.5	13.6	15.6	17.7	19.8	21.9
13	Infiltración de ANC (Ir1)	18.5	19.5	20.6	21.6	22.7	23.8	24.9
14	Infiltración de lluvia (I)	148	134.5	120.95	107.4	93.85	80.3	66.7
	□ V (Variación del volumen superficial)	29.2	26.5	39.0	51.6	64.6	78.0	106.4
	□ S (Variación del volumen subterráneo)	-73.2	-111.6	-150.3	-189.0	-227.7	-266.4	-305.1

Todos estos datos y estos escenarios también fueron introducidos y analizados con el Modelo Matemático del Acuífero Patiño para determinar la respuesta y el comportamiento del acuífero ante esas situaciones.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

b- Modelo Matemático:

Con toda la información recopilada se elaboro un Modelo Matemático Tridimensional que permitirá simular el flujo subterráneo y el transporte de contaminantes, para poder presentar distintos escenarios de uso del recurso hídrico. Esta herramienta, la simulación del acuífero, será fundamental para definir los niveles aceptables de explotación, como así también las zonas vulnerables del acuífero, con lo cual se planifico la gestión del acuífero y de las aguas superficiales en la Región Metropolitana de Asunción.

Basado en los resultados de sondeos eléctricos verticales y en las informaciones de perforaciones disponibles, un modelo conceptual del área del estudio fue preparado.

La recarga del acuífero es principalmente de la precipitación. Los ríos y sistemas de drenaje constituyen la descarga natural principal del sistema. La descarga antropogénica se atribuye al bombeo de pozos privados y públicos cuyo número se estima ser alrededor de 1400 pozos. Sin embargo, la información estaba solamente disponible para los pozos públicos y éstos fueron utilizados en la sección de modelación.

Visual MODFLOW V 4.2. fue seleccionado como el software más conveniente para este estado de la modelación del Acuífero Patiño. Esta versión es la más reciente de la gama de softwares desarrollados por Waterloo Hydrogeologic Inc.

El área del estudio fue dividida en celdas iguales de 500 x 500m, con un total de 76 filas y de 143 columnas. Para evitar computaciones innecesarias las áreas fuera de la zona de interés fueron desactivadas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El presente estudio reveló información importante sobre las condiciones presentes y futuras del Acuífero Patiño a la luz de proyecciones de consumo del agua subterránea. El estudio de vulnerabilidad demostró que la mayoría del acuífero está altamente vulnerable a la contaminación debido a sus características litológicas permeables. Las áreas más vulnerables (referidas como extremadamente vulnerable) fueron encontradas alrededor de los ríos y de los cuerpos del agua donde está la más baja profundidad del agua.

El modelo encontró los niveles de abastecimiento en declino debido al aumento en el bombeo del agua subterránea. El nivel actual de bombeo es responsable de un abastecimiento regional máximo de 10m a través del área del estudio comparado con el escenario sin bombeo. Sin embargo, en ausencia de información sobre la localización y los niveles de la descarga de pozos privados, los niveles calculados son de escala regional. En consecuencia, los niveles locales del abastecimiento pueden exceder los valores calculados si los pozos públicos son rodeados por pozos privados.

Áreas de protección de pozos fueron calculadas bajo tres escenarios. La duración hasta la intercepción de partículas por los pozos fue representada como 0-10 años, 10-20 años, 20-30 años y años >30. Las zonas revelan las áreas críticamente vulnerables del acuífero. Éstas formarían la base de cualquiera regulación de actividades, especialmente las zonas generadas bajo condiciones de bombeo futuro.

Finalmente, el riesgo de la intrusión del agua salada fue determinado basado sobre mediciones discretas de concentraciones del cloruro. En principio, los pozos públicos no son responsables de la salinidad creciente en el

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

área del estudio, ni bajo sus presente bombeos ni bajo condiciones futuras. El avance del frente salino se atribuye al efecto de los pozos privados cerca del Río Paraguay. Sin embargo, el avance del frente no era posible analizar bajo un sistema dinámico debido a la carencia de monitoreo de salinidad.

c- Plan de Gestión:

El Plan de Gestión es un instrumento participativo de planes, basado en fundamentos científicos, tecnológicos y legales, buscando promover las condiciones esenciales para el uso sostenible de los recursos hídricos, particularmente el agua subterránea. En dicho plan se definen la disponibilidad y demanda de agua y la protección de áreas vulnerables para así poder evitar la salinización, y la eventual contaminación del recurso.

El efluente generado por la población que se ubica en el área del Acuífero Patiño es uno de los mayores responsables por colocar en riesgo el Acuífero Patiño con vistas a su utilización como manantial de agua potable. Además, los efluentes industriales, en especial los de mataderos, industrias químicas, siderúrgicas, entre otras también se caracterizan como una importante fuente de polución. Igualmente los vertederos de basura pueden colocar en riesgo la calidad del agua del Acuífero.

Las proyecciones poblacionales efectuadas en el ámbito de este estudio estiman que la población en el área del Acuífero pasará de los poco más de 2 millones de habitantes en 2005 para cerca de 4.2 millones de habitantes en 2035, que se distribuyeran por cerca de 900 mil viviendas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En 2005, cerca 85 % de la población recibía agua potable suministrada por uno de los proveedores de agua, siendo que 40% de estos eran suplidos con agua del Acuífero. Se estima que son producidos 605 mil m³/día de agua, siendo casi 300 mil provenientes del Patiño. Manteniendo las tendencias actuales se prevé que serán necesarios cerca de 900 mil m³/día de agua del Acuífero para suplir la demanda de casi 1.5 millones de m³/día en 2035.

Por otro lado, respecto a la red pública de alcantarillado se considera un pequeño avance de la situación de la cobertura de 2005 de cerca de 27% en el área urbana para 35% en 2035. En esta hipótesis el volumen de efluente de la red pública pasa de 178 mil m³/día en 2005 para 479 mil m³/día en 2035, y de 550 mil m³/día por fosas o otro tipo de destinación en 2005 para 1,0 millón de m³/día en 2035, lo que generaría una carga orgánica potencial de cerca de 230 toneladas de DBO/día.

El Plan de Gestión pretende ser un instrumento de planeamiento que permita promover las condiciones esenciales para el uso sostenible del Acuífero Patino. Como principios básicos se destacan: (i) la adopción del acuífero Patiño como unidad de gestión; (ii) la interdependencia entre el acuífero y las aguas superficiales y meteóricas; (iii) el reconocimiento del agua subterránea como un recurso renovable pero finito y vulnerable a la degradación; (iv) la gestión integrada y participativa; (v) la adopción de los sistemas de subcuencas hidrográficas sobreyacientes al acuífero como las unidades de planeamiento diferenciado; (vi) la urgente necesidad de ordenamiento de la explotación del agua subterránea; (vii) el reconocimiento del valor económico del agua; (viii) la actual situación socio-económica adversa

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

del país y, particularmente, de muchos de los usuarios del agua y de la mayoría de la población que vive en el área del proyecto.

El estudio del Balance Hídrico Integrado elaborado para el año 2005 indica una sobreexplotación de 73.200.000 de m³ en el Acuífero, que no está siendo reingresado en el mismo tiempo de la extracción del agua. Para el período de 2005 a 2035 las proyecciones indican un decrecimiento gradual en la reserva de agua subterránea, llegando a una sobreexplotación 305,1 Hm³ en el año 2035, lo que corresponderá a una baja de cerca 60 metros en el nivel del agua hasta 2035, indicando una necesidad de se establecer acciones con el objetivo de interferir en el curso de las proyecciones para que los riesgos apuntados en las estimativas no se tornen realidad.

A pesar de que las informaciones de contaminación no sean precisas, las proyecciones de las cargas orgánicas potenciales por alcantarillado como por basura indican que los riesgos involucrados y las contaminaciones decurrentes llevaran a una anticipación del año en que la disponibilidad hídrica del Acuífero Patiño quedará agotada.

Para proteger el Acuífero contra la contaminación es esencial controlar las prácticas de uso del suelo, las descargas de efluentes y los depósitos finales de residuos. Sin embargo, es necesario definir estrategias pragmáticas que permitan equilibrar diversos intereses que compiten entre sí.

Las estrategias para el Patiño implican en el mapeo de la vulnerabilidad a la contaminación en áreas extensas y planificación general, seguido por un inventario de la carga de contaminantes subsuperficiales a escala más detallada para cubrir, por lo menos, las áreas más vulnerables.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Los riesgos potenciales, las consideraciones de orden cuantitativa y el proceso de salinización en la zona noroeste del área del Acuífero imponen como necesidad inmediata la definición de acciones destinadas a preservar tanto cuantitativa como cualitativamente el agua del Acuífero Patiño. Estas acciones que constituyen un Plan de Gestión del Acuífero Patiño tienen como objetivo alcanzar una gestión integral y compartida del agua eficiente, racional y equitativa, en beneficio de la sociedad y su producción, en un marco de desarrollo sustentable.

Como Instrumentos de Gestión para el Acuífero Patiño se recomiendan la implementación de un sistema de derechos de extracción y uso de agua subterránea que permita evitar conflictos, reducir la interferencia de pozos y solucionar disputas entre extractores vecinos. La simple existencia de un derecho de agua subterránea no puede garantizar un suministro de agua de cierta calidad y cantidad, sin embargo, ofrecen a los usuarios de agua una mayor seguridad para realizar inversiones.

También sería muy necesario un sistema de permisos para descarga de aguas residuales. Las mismas condiciones que se aplican a los derechos de extracción deben ser observadas en los permisos para descarga. Los permisos para descarga de aguas residuales deben preferiblemente ser emitidos de manera concomitante con los derechos de extracción y uso del agua, con el fin de garantizar el enfoque integrado de la gestión de recursos hídricos.

Luego realizar un programa de monitoreo del recurso, que se debe establecer a través de un conjunto de pozos de observación acoplado con una selección de pozos de extracción.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Es fundamental un monitoreo detallado del uso y extracción del agua subterránea, y de la respuesta del acuífero a dicha extracción (niveles y calidad del agua subterránea). Esto lo deberían llevar a cabo la administración de recursos hídricos, las asociaciones de grupos interesados y los usuarios individuales. La existencia de permisos con límite de tiempo sujetos a revisión normalmente estimularán a los poseedores de permisos a proporcionar información periódica sobre los pozos. Corresponderá a la administración de recursos hídricos hacer los arreglos institucionales apropiados, a través de algún tipo de base de datos del acuífero (banco o centro de datos), para archivar, procesar, interpretar y difundir esta información.

Se debe poseer también un programa de control y reducción de pérdidas de agua con el objetivo de disminuir las necesidades de extracción de agua del Acuífero. Con el conocimiento actual es perfectamente posible estructurar un programa que asegure una disminución rápida de las pérdidas reales.

Y de esta manera implementar un plan maestro de agua para que se analice la viabilidad de sustituir la explotación del agua del acuífero por aprovechamiento del Río Paraguay o otras medidas complementarias que garanticen la explotación segura del Acuífero Patiño y estableciendo estrategias de cambios graduales. Deberá también ser analizadas alternativas de recarga complementar de efluentes residenciales previamente tratados.

Las consideraciones económicas pueden contribuir al proceso de toma de decisiones y promover un uso más eficiente del recurso. Cuando comparadas a las aguas superficiales, las aguas subterráneas presentan costos más elevados y más complejos para su evaluación, usos altamente

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

descentralizados que dificultan la gestión, invisibilidad para el público, impactos que demoran para manifestarse y que varían según la vulnerabilidad y casi-irreversibilidad de la contaminación.

El cobro puede proporcionar incentivos al uso más eficiente del agua y también estimular a un usuario del acuífero la adopción de cierto comportamiento de manera voluntaria. Se recomienda que se inicie un proceso de formulación y discusión para madurar el concepto y hacerlo más representativo para cuando se decida implementarlo.

Así como también el cobro a las personas contaminantes. El instrumento se recomienda para disminuir la contaminación del agua superficial, todavía para acuíferos se recomienda incentivos económicos para que las industrias y las empresas públicas de servicios de agua inviertan en tratamiento y reciclaje adecuado de aguas residuales en áreas de riesgo elevado.

El establecimiento de una legislación del Acuífero Patiño debe aspectos relacionados con el uso del suelo, como procedimientos para áreas de protección y disposiciones para conservación de áreas de recarga, y aspectos relacionados con la regulación del usuario, como administración de los derechos de extracción y uso y de permisos de descarga de aguas residuales, fomento a la creación de asociaciones de usuarios e interesados y procedimientos de apelación y sanción.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

4.3 – PROFUNDIZACIÓN DE LOS ESTUDIO

Justificación

Una vez terminada la revisión y el análisis de los estudios técnicos sobre el Acuífero Patiño se decidió estudiar el problema de la intrusión salina en los bordes norte y oeste lindantes con el Río Paraguay.

Esto está basado en tres puntos principales:

1. Las conclusiones y recomendaciones de los trabajos de consultoría hechos para la SENASA, que citan este problema y lo ubican en la zona de estudio elegida.
2. La experiencia de profesionales en el área de las aguas subterráneas, que mencionan cada vez con mayor frecuencia el problema de la salinidad.
3. Industrias que se encuentran dentro de esta zona y que han tenido malas experiencias por la salinización de sus pozos.

En base al punto 1, encontramos que los estudios técnicos más importantes sobre el acuífero hablan sobre el problema de las aguas saladas en la zona lindante con el Río Paraguay.

El estudio de realizado por el Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO - Servicio Geológico Nacional - y denominado “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA” expresa que las aguas subterráneas del Acuífero Patiño son en general de baja mineralización, excepto en algunos casos de polución puntual. Sin embargo, en una faja de 2 a 8 km de ancho a lo largo del río Paraguay se ha comprobado o (en otras

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

partes) se asume la presencia de agua salada a partir de cierta profundidad variable. Estas aguas saladas de origen antiguo amenazan la calidad del agua dulce que se encuentra encima y al lado de las mismas. El origen distinto se refleja en las características hidroquímicas de las aguas, caracterizándose el agua salada por el tipo NaCl.

Al realizar un diagnóstico con relación al control y a la protección de las aguas subterráneas, concluyeron que es imperativo que un acuífero de gran importancia socio-económica como el Acuífero Patiño sea debidamente controlado y protegido para asegurar que siga siendo una fuente sostenible de abastecimiento de agua, y que su explotación no cause degradación ambiental inaceptable. Con respecto a este tema, se diagnostican tres riesgos principales para el Acuífero Patiño:

1. Riesgo de **salinización** en la zona bordeando el río Paraguay
2. Riesgo de polución por presencia y actividades humana
3. Riesgo de sobre-explotación

En lo referente a la presencia de aguas saladas en el Acuífero Patiño cerca al Río Paraguay, posiblemente en una franja más o menos continua, no solamente limita las posibilidades de explotar localmente las aguas subterráneas someras de buena calidad, sino también es una amenaza para zonas vecinas que exclusivamente contienen agua dulce. Existe el peligro que las aguas saladas invadan zonas todavía buenas, con el efecto de la degradación paulatina de partes del Acuífero Patiño. Antes de poder combatir y controlar efectivamente la posible invasión, hay que delinear con cierta precisión la zona salada y conocer los mecanismos de su posible migración.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Con relación al riesgo de la salinización, este proyecto recomienda continuar explorando y mapeando toda la zona a lo largo del Río Paraguay donde se encuentran aguas subterráneas saladas o salobres

Se recomienda monitorear la variabilidad de los límites de la zona de las aguas saladas, así como desarrollar e implementar medidas de control, una vez que se conocen la extensión de la franja de las aguas saladas y los mecanismos de su posible movimiento.

El Trabajo Final de Grado “Estudio de la Contaminación del Acuífero Patiño” realizado por Cardozo-Crosa, llegó a la conclusión que el avance de la salinización no se produjo como se esperaba en el estudio de TNO, e indicaba que se debía realizar un estudio mas profundo sobre el origen del agua salada y su comportamiento. La zona de alta conductividad seguía siendo la zona de la margen del río Paraguay hacia Limpio hasta la bahía de asunción, lo cual sigue sustentando la hipótesis de que el origen de las aguas saladas es la intrusión de sales del suelo chaqueño.

En algunos puntos fuera de las zonas conocidas por sus aguas con altas concentraciones de sal, encontraron algunos pozos con valores elevados de conductividad, que podría deberse a circunstancias particulares del pozo y no indicaba que la zona estaba salinizada.

Recomendaron estudios más profundos sobre el acuífero, su flujo, las fuentes y el comportamiento de las aguas saladas para determinar las protecciones o medidas a tomar para evitar su propagación en el interior del acuífero.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El Estudio de Políticas y Manejo Ambiental de Aguas Subterráneas en el Área Metropolitana de Asunción. Consorcio CKC-JNS entre las recomendaciones del Plan de Gestión propuesto, además de proponer El Monitoreo de distintos componentes como los valores explotados, los consumos, los niveles, la calidad del agua y otros, y El Estudio de la Contaminación, realiza unas recomendaciones sobre la intrusión salina.

Teniendo en cuenta los resultados del modelo matemático que confirma la intrusión salina en el borde noroeste del área del Acuífero Patiño basado en mediciones discretas de concentraciones del cloruro, es necesario que se obtenga, lo más rápido posible, un conjunto de datos complementarios. El avance del frente salino se atribuye al efecto de los pozos privados cerca del Río Paraguay. Sin embargo, el avance del frente no era posible analizar bajo un sistema dinámico debido a la carencia de monitoreo de salinidad.

Las recomendaciones para el trabajo futuro incluyen la necesidad de investigar los pozos privados principales para poder representar condiciones locales del agua subterránea. El modelo necesitará después una actualización a una escala más fina para representar condiciones locales de flujo. Una caracterización más detallada del borde noroeste con el Río Paraguay sería beneficiosa para la conceptualización del avance del agua salada. En efecto, el frente parece ser bastante heterogéneo y una caracterización más detallada de los parámetros implicados mejoraría predicciones a largo plazo.

Continuar con un programa de monitoreo de niveles y calidad de agua en los piezómetros instalados y en algunos pozos que se encuentren en o próximos a la zona de intrusión salina. Solo un continuo programa de medición

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

de niveles permitirá evaluar la evolución estacional y de largo plazo del acuífero, calibrar el modelo numérico y establecer un sistema de alerta temprana. Se recomienda que los parámetros de calidad se midan con mayor periodicidad en los sectores más próximos al gran Asunción (anillo de pozos de Aguaterías y de Senasa).

Además de los estudios técnicos, las malas experiencias de geólogos y perforadores de pozos demuestran cada vez con mayor frecuencia que las aguas saladas ya son un problema latente en algunas zonas del acuífero.

Esto se suma a las experiencias negativas que han tenido industrias ubicadas en las zonas más vulnerables, con la salinización paulatina de sus pozos. Algunas de estas empresas son Cervecería Munich, ubicada en Itá Enramada, la cual ya tuvo que abandonar la explotación de 4 pozos por los altos contenidos de sales. La empresa industrializadora de agua Seltz, ubicada en el norte de la ciudad de Asunción, que debido a los contenidos altos de sales, utiliza el proceso de ósmosis inversa para el mejoramiento de la calidad del agua, además de poseer un proyecto de relocalización de su planta a corto y mediano plazo por los costos que genera mejorar la calidad de las aguas. La propia ESSAP, tuvo que dejar de utilizar el pozo que explotaba en la ciudad de Mariano Roque Alonso y que servía para el abastecimiento público, debido al sabor de las aguas y a la negativa de los pobladores de seguir consumiendo la misma.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Trabajo de Gabinete previo a las salidas de campo

Este trabajo consistió en analizar las bases de datos de los trabajos encontrados en las etapas anteriores del presente trabajo, con el objetivo de filtrar de las mismas la información sobre los pozos que se encuentran dentro de nuestra zona de estudio.

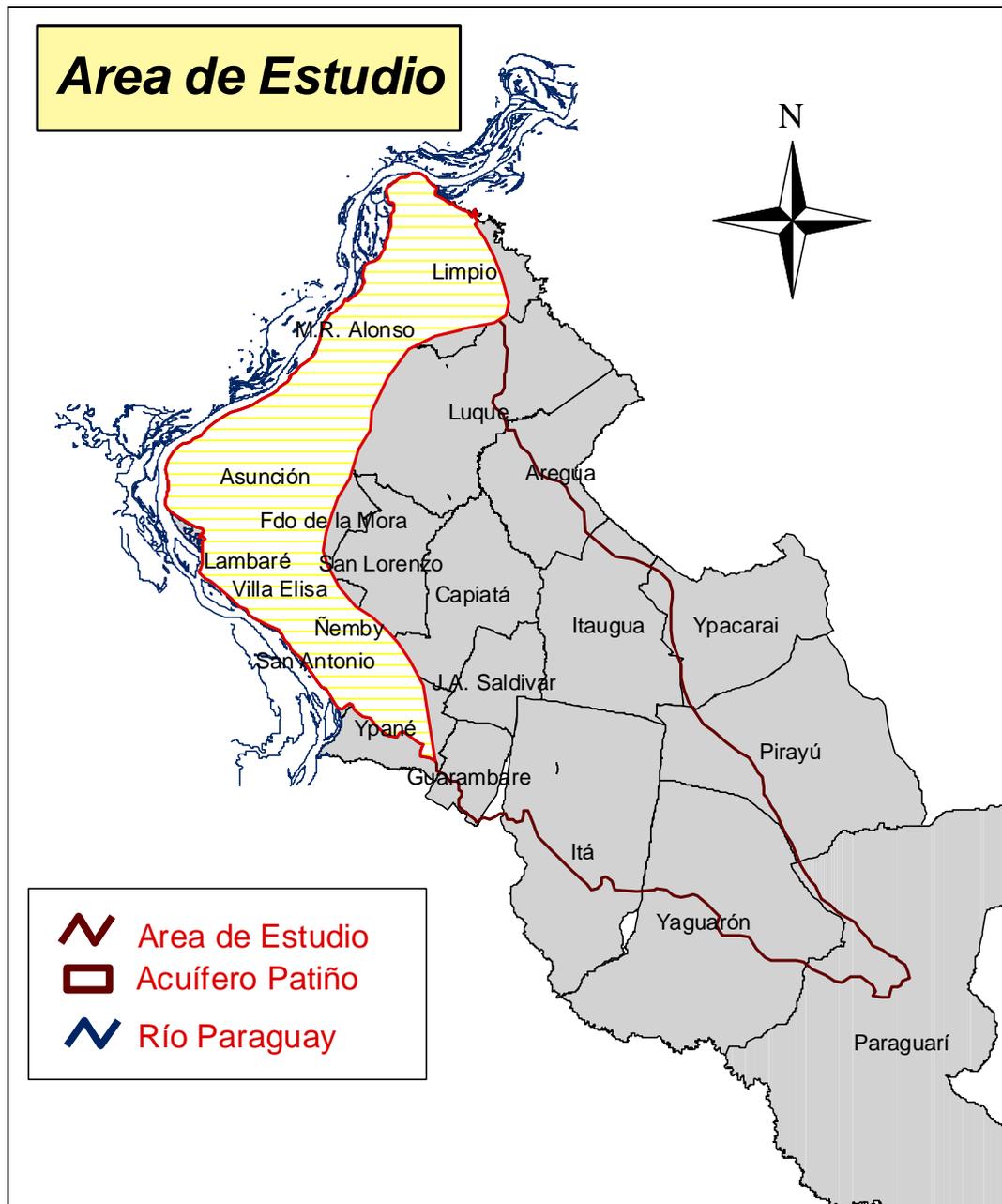


Figura 4.4 – Área de Estudio

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Nuestra zona de estudio consiste de una faja de 5-10 km de ancho bordeando el Río Paraguay, incluyendo en mayor medida las zonas urbanas de Limpio, Mariano Alonso, Asunción, Lambaré, Villa Elisa, San Antonio, Ñemby e Ypané, y en menor medida los distritos de Luque y Fernando de la Mora.

Elegimos esta zona por ser la más vulnerable a la intrusión salina por influencia de las condiciones de la Región Occidental.

En esta etapa le dimos una mayor importancia al trabajo “Contaminación de aguas subterráneas en áreas puntuales del Gran Asunción” presentado por Juan Ríos Otero, Oscar Martínez y Carlos Centurión en el “2º Simposio sobre aguas subterráneas y perforaciones de pozos en el Paraguay” realizado en San Lorenzo del 20 al 24 de Noviembre de 1995. Este trabajo consistió en el análisis de 44 pozos ubicados en la zona del Gran Asunción de los cuales de todos se hizo un análisis físico-químico completo y de 24 se sacaron muestras para análisis bacteriológico.

Este estudio se constituyó, dentro de nuestro trabajo, en el principal antecedente y sustento para nuestro estudio de la salinidad de las aguas subterráneas en la zona, debido a su antigüedad y por ser el primero que analizó este parámetro dentro del Gran Asunción.

Otros de los estudios analizados fue el documento “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA” (Proyecto FEHS), producto del trabajo de consultoría realizado por el Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO, el cual fue realizado en el año 2000 para el SENASA. Este trabajo cuenta con un inventario que incluye 195 pozos profundos ubicados en las ciudades de Ñemby, San Antonio, San Lorenzo, Villa Elisa y Fernando de la

**ACUÍFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Mora. Cabe mencionar que este estudio se centró en una superficie pequeña en comparación al total del recurso con el objetivo de representar todo el Acuífero Patiño a partir de una zona piloto. A Partir de esta base de datos, nuestro trabajo consistió en filtrarla utilizando como herramienta principal el software ArcView de manera a observar en el mapa cuales de estos pozos se encontraban dentro de nuestra zona de estudio.

El mismo procedimiento se aplicó al Trabajo Final de Grado “Estudio de la Contaminación del Acuífero Patiño” presentado por Sergio Cardozo y Claudia Crosa en el año 2006 en la Facultad de Ingeniería de Universidad Nacional de Asunción, en el cual se incluyeron parámetros bacteriológicos, físicos y químicos de 105 muestras de aguas distribuidas en toda la superficie del acuífero, de las cuales una gran mayoría correspondieron a pozos profundos, siendo el resto de las muestras de fuentes superficiales como ríos y lagos, o pozos someros y surgentes. Como estos pozos están distribuidos en toda la superficie del acuífero, también tuvimos que seleccionar como parte de nuestra base de datos solamente los pozos que están ubicados en nuestra zona de estudio.

El último estudio técnico analizado fue el “Estudio de políticas y manejo ambiental de aguas subterráneas en el área metropolitana de Asunción” (Acuífero Patiño) preparado por Chuo Kaihatsu Corporation (CKC), JNS Engenharia, Hidrocontrol S.A. y Waterloo Hydrogeologic. Este trabajo fue elaborado para SENASA y presentado en mayo de 2007, por lo que constituye el antecedente más reciente de todos los analizados. Posee una base de datos con 513 pozos profundos inventariados, de los cuales la mayoría se encuentran

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

en la zona de Asunción. Esto se debió a que el SENASA tiene en su base de datos información sobre los municipios del departamento Central y Paraguari, siendo casi nula la información sobre la capital del país. Nuevamente, tuvimos que realizar el trabajo de filtrado del listado de pozos para extraer los que se encuentran en nuestra zona de estudio.

Una vez terminado el filtrado de las bases de datos de los trabajos analizados, reunimos la información en un listado único de pozos con sus datos respectivos, como coordenadas UTM, nombre del pozo, referencias para su ubicación y conductividad eléctrica en todos los pozos, y en algunos además, datos de ph y sólidos totales disueltos.

El listado final quedó conformado por 118 pozos, cantidad que supera ampliamente nuestras expectativas iniciales de analizar los 44 pozos muestreados en el año 1995 por Ríos Otero, Martínez y Centurión, pero que de alguna forma, se constituye como una base de seguridad para el caso de no encontrar los pozos que formaron parte de dicho trabajo, o de encontrarnos con inconvenientes para acceder a los mismos teniendo en cuenta que dependemos de la buena voluntad de los propietarios o encargados para acceder a las muestras.

Otro punto que nos llevó a ampliar esta base de datos fue la de obtener un gráfico de salinidad (líneas de isoconductividad) en la zona de estudio lo más representativo posible, por lo que mientras más pozos muestreados con valores de conductividad poseamos, estos gráficos estarían mas completos y con valores mas reales.

El listado es el siguiente:

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tabla 4.5 – Base de datos inicial

Orden	Código		Local	Coordenadas UTM		Cond	pH	STD
	Trabajo	Nº		X	Y			
1	Rios	1	Taller Chapería	444500	7200950	52	5,7	
2	Rios	2	PEPSI	444425	7202175	103	6,5	
3	Rios	3	Salum	444550	7203275	141	6,8	
4	Rios	4	Arq. Crosa	444125	7203375	203	5,9	
5	Rios	5	Lab Químico	444875	7204500	111	6,4	
6	Rios	6	Frogorífico	445100	7201750	301	6,7	
7	Rios	7	Servicio Shell	446150	7209750	142	7,3	
8	Rios	8	Las Mercedes	444250	7207675	668	7,5	
9	Rios	9	Lawn Tennis Club	442225	7205625	425	5,8	
10	Rios	10	E. Servicio Villa Aurelia	443300	7201475	153	5,9	
11	Rios	11	Record Electric	443100	7200125	78	5,4	
12	Rios	12	Lamas C. 1178 c/ C. Co	443225	7200225	46	5,6	
13	Rios	13	Asunción T. Club	438925	7203100	259	5,6	
14	Rios	14	Baumann (España c/ Bu)	441675	7203150	138	5,9	
15	Rios	15	Parq Ñu Guazú	445475	7205250	292	6,7	
16	Rios	16	Concretos Mezc	444900	7203925	98	6,4	
17	Rios	17	Pizarro 2ª-Cateura	436150	7198250	333	5,9	
18	Rios	18	Laguna Cateura	436200	7198150	315	5,6	
19	Rios	19	Pizarro y 2ª	436225	7198050	309	5,5	
20	Rios	20	Pizarro y 2ª-Cateura	436050	7198150	407	6,8	
21	Rios	21	Res(Pizarro)	436125	7198000	211	9,8	
22	Rios	22	Shell	444200	7207175	1455	6,9	
23	Rios	23	Hotel del Paraguay	437925	7203100	423	5,7	
24	Rios	24	Servicentro	440150	7204050	275	6,0	
25	Rios	25	Concretos Mezc	444675	7207800	64	6,8	
26	Rios	26	Club Centenario	440175	7202875	139	6,1	
27	Rios	27	Heladería	441675	7202000	102	5,6	
28	Rios	28	Frigobeet	440275	7206250	284	6,7	
29	Rios	29	Frigorífico (Tablada)	440050	7206100	373	7,0	
30	Rios	30	Residencia	443250	7204800	364	5,0	
31	Rios	31	Cantera (Ñemby)	446050	7190450	340	8,2	
32	Rios	32	Acuña (Ñemby)	445700	7190000	76	5,9	
33	Rios	33	Cabrera (Ñemby)	445450	7189450	348	6,3	
34	Rios	34	Ocampo (Ñemby)	446000	7190850	167	6,1	
35	Rios	35	Olmedo (Ñemby)	445900	7190650	802	6,9	
36	Rios	36	Davalos (Ñemby)	445850	7190500	199	6,6	
37	Rios	37	Pto. Pabla (Vertedero)	438300	7192800	377	6,2	
38	Rios	38	Pto. Pabla (Vertedero)	438250	7193000	621	6,7	
39	Rios	39	Pto. Pabla (Vertedero)	438150	7192700	264	7,7	
40	Rios	40	Pto. Pabla (Vertedero)	437850	7193200	362	6,1	
41	Rios	41	Pto. Pabla (Vertedero)	437800	7192950	1044	7,2	
42	Rios	42	Pto. Pabla (Vertedero)	437750	7192650	989	7,3	
43	Rios	43	Pto. Pabla (Vertedero)	438150	7192700	660	6,5	
44	Rios	44	Pto. Pabla (Vertedero)	438000	7193150	218	8,0	
45	TNO	8	Junta de Saneamiento P1	444797	7189375	96	5,8	65
46	TNO	9	San Blas P2	444445	7189214	108	5,8	73

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tabla 4.5 (continuación)

Orden	Código		Local	Coordenadas UTM		Cond	pH	STD
	Trabajo	Nº		X	Y			
47	TNO	10	Acosta-Ñu P3	445348	7188376	93	5,8	63
48	TNO	11	Pereco P4	444888	7189924	87	6,4	59
49	TNO	12	Don Pedro P5	444194	7190111	37	6,2	25
50	TNO	13	IPVU Proy 36 Ñemby 5	444455	7189740	75	6,0	51
51	TNO	17		443915	7192530	70	5,4	48
52	TNO	21	Aguateria Comunitaria	444051	7192335	58	5,5	39
53	TNO	23	Aguateria San Francisco	443000	7192240	34	6,9	23
54	TNO	24	Aguateria	443098	7191558	47	5,7	32
55	TNO	50	Ñemby P2	444781	7191779	86	6,6	58
56	TNO	65		447065	7188764	92	6,1	63
57	TNO	66	Asoc. Comunitaria 8 dic	447057	7188135	67	6,4	46
58	TNO	68	Aguateria	446595	7188062	138	6,1	94
59	TNO	71	Asoc. Vec. Manos Unidas	446443	7187840	177	6,0	120
60	TNO	75		442447	7191520	63	6,2	43
61	TNO	76		442382	7191683	86	5,5	58
62	TNO	79	Excavado	442286	7189526	960	8,7	653
63	TNO	85		441786	7192592	67	5,7	46
64	TNO	86	Urb costa alta	441340	7191971	135	5,4	92
65	TNO	93		442129	7193494	75	6,4	51
66	TNO	95	Pozo 1	443641	7189285	65	7,0	44
67	TNO	97	Conavi 2	441452	7190193	44	5,5	30
68	TNO	98	Las Mercedes	443244	7189662	33	5,7	22
69	Tesis C-C	1	Est. Def. Chaco (Sajonia)	433876	7202567	140	0,0	
70	Tesis C-C	2	Tacumbu Com. Ingeniería	434234	7201052	40	0,0	
71	Tesis C-C	3	Club River Plate	439774	7201240	294	0,0	
72	Tesis C-C	4	Parque Nu Guazu	445839	7205147	210	0,0	
73	Tesis C-C	9	Residencia Castiglioni	442823	7201238	102	6,0	
74	Tesis C-C	11	Frigorifico Guarani	445085	7201755	239	0,0	
75	Tesis C-C	12	Shell el Sol - M.R.Alonso	446220	7209707	62	0,0	
76	Tesis C-C	15	Curtiembre	438742	7204212	238	0,0	
77	Tesis C-C	16	Curtiembre Vernom	439834	7205775	221	0,0	
78	Tesis C-C	29	Sra Juanita	445601	7214141	27	5,5	
79	Tesis C-C	30	Antonio Palacio	445632	7214134	66	5,7	
80	Tesis C-C	31	Shell - puente Remanso	445551	7214023	38	6,4	
81	Tesis C-C	32	Limpio	451750	7216347	66	6,5	
82	Tesis C-C	33	Piquete Cue	452411	7220339	31	5,8	
83	Tesis C-C	34	Limpio	452804	7219792	22	5,6	
84	Tesis C-C	35	Limpio	452263	7216482	33	6,1	
85	Tesis C-C	38	Canal 100 Antena	441511	7194192	49	0,0	
86	Tesis C-C	37	Salado-Limpio	454474	7214602	78	5,6	
87	Tesis C-C	39	Club Sol de América	441082	7194274	59	0,0	
88	Tesis C-C	40	Aguatería municipal	441020	7195835	116	0,0	
89	Tesis C-C	43	Junta de Saneamiento	446766	7190969	47	6,6	
90	Tesis C-C	44	Mario Agustín Vian	442667	7195310	378	6,1	
91	Tesis C-C	46	Junta de Saneamiento-Ñemby	442687	7193945	85	0,0	
92	Tesis C-C	47	Ing Chavez	438133	7196588	304	0,0	

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tabla 4.5 (continuación)

Orden	Código		Local	Coordenadas UTM		Cond	pH	STD
	Trabajo	Nº		X	Y			
93	Tesis C-C	65	Ypané P1	449102	7184173	96	6,3	
94	Tesis C-C	66	Ypané P3	449073	7185191	84	6,1	
95	Tesis C-C	67	Junta de Saneamiento Cerrito P2	444468	7189247	104	5,7	
96	Tesis C-C	69	ESSAP San Antonio	443638	7189271	73	5,2	
97	Tesis C-C	72	Edgar Ruiz Díaz	442489	7190365	52	5,2	
98	Tesis C-C	79	Emergencias Médicas	438323	7201689	711	6,7	
99	Tesis C-C	104	Club Mbiguá	435685	7205209	26400	7,6	
100	CKC	1	BR TESAU	445879	7213761	156	4,5	102
101	CKC	2	LUBRIPAR CERRO CORA	447022	7212696	1251	3,9	825
102	CKC	3	EL RODEO	446650	7211189	500	4,0	330
103	CKC	4	EST. SERV. EL SOL	446201	7209707	130	3,4	87
104	CKC	5	EST. SERV. INTEGRAL	445363	7208445	138	4,6	91
105	CKC	6	LAV. RPM	440843	7206287	125	4,0	82
106	CKC	7	EST. BR SACRAMENTO	441341	7205309	248	4,5	163
107	CKC	8	SHELL TAPE IRU	440057	7205635	267	4,0	177
108	CKC	9	EST. LA CANDELARIA	439933	7205555	342	4,8	225
109	CKC	10	LAV. MAYO	439475	7205149	377	4,1	248
110	CKC	11	PARTICULAR	439442	7204739	387	3,7	255
111	CKC	12	AUTOMOTOR S.A.	439071	7204824	238	3,9	157
112	CKC	13	HOSP. FRANCES	439671	7204345	111	3,7	71
113	CKC	14	CLUB ALEMAN	438756	7203706	143	3,2	93
114	CKC	15	SHELL IFISA	437169	7202541	147	4,3	97
115	CKC	16	LAVADERO LITORAL	437053	7202786	611	1,9	403
116	CKC	17	EST. SERV SHELL IFISA	437097	7202923	648	2,3	427
117	CKC	18	CIRC. PYO. DE MEDICOS	436652	7203126	518	2,8	341
118	CKC	19	EDIFICIO EL ALTO	436380	7202910	738	2,2	487
119	CKC	20	HOTEL YASAINDY	435792	7203659	552	3,6	363
120	CKC	21	EDIFICIO OLIVA	435791	7203658	561	3,6	350
121	CKC	22	COPETROL COLON	435215	7203900	239	3,8	158
122	CKC	288	COPETROL COLON	454486	72146000	76	3,5	51

Fuente: elaboración propia

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Una vez terminado este listado, el siguiente paso fue armar los viajes de manera a obtener la mayor cantidad de muestras posibles en cada salida de campo.



Figura 4.5 – Ubicación de Planta de tratamiento de ESSAP

Cada salida fue planificada de manera a obtener por lo menos 10 muestras, antes de llevarlas al laboratorio de la ESSAP, ubicado en Viñas Cué, para su posterior análisis.

Cabe mencionar que no solamente nos centramos en buscar los pozos del listado presentado anteriormente, sino que también estuvimos abiertos a ampliar esta base de datos con nuevos pozos que no estaban inventariados en ninguno de los trabajos anteriores de manera a aumentar el conocimiento sobre la explotación de las aguas subterráneas en esta zona.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Trabajo de Campo

Para cada salida de campo, preparamos un listado de pozos a buscar, con sus coordenadas UTM, de forma a poder ubicar fácilmente los lugares, y confirmar su posición mediante el GPS.

El procedimiento al llegar a cada lugar previsto fue el siguiente:

1. Lo primero que se hace es presentarse como estudiantes de la Facultad de Ingeniería, y alumno de Tesis Final de Grado, de manera de explicarle al responsable el alcance meramente académico de nuestro trabajo. De esta manera se solicita el ingreso al lugar y la posibilidad de sacar una muestra de agua para los ensayos correspondientes.

2. Se investiga como está armado el sistema de cañerías. Si el sistema tiene una canilla de muestreo, la muestra obviamente se debe sacar directamente de la misma. Pero la



gran mayoría de los sistemas no cuentan con una. Por lo tanto, la siguiente opción sería buscar la canilla más cercana a la boca del pozo. Lo más recomendable es buscar un punto en el sistema para sacar la muestra antes de que el agua llegue a algún reservorio, ya que el almacenamiento prolongado

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

modifica algunas propiedades
variando así los parámetros
que estamos estudiando.

3. Tomamos la muestra de
agua del pozo, siguiendo el
siguiente procedimiento:

a) Diluimos lavandina en
agua, para luego aplicar la



mezcla con ayuda de un
algodón a la boca de la canilla
de muestreo. Esto se hace
para limpiar la boca de la
canilla, para que la suciedad
que se acumula en ella a lo
largo del tiempo no afecte los
resultados de los análisis de

laboratorio. Una vez que se haya aplicado esto en una buena medida, se
enguada con el agua de la misma canilla.

b) Al abrir la canilla, se debe dejar correr el agua por lo menos por un tiempo
aproximado de un minuto, para que el agua que estuvo retenida en la cañería
se elimine y está no forme parte de la muestra, ya que la idea es que el agua
analizada sea lo mas natural posible y que venga directamente del subsuelo sin
almacenamiento previo. En la realidad, lo más sencillo es sentir la temperatura
del agua con la palma de la mano, ya que al abrir la canilla normalmente se

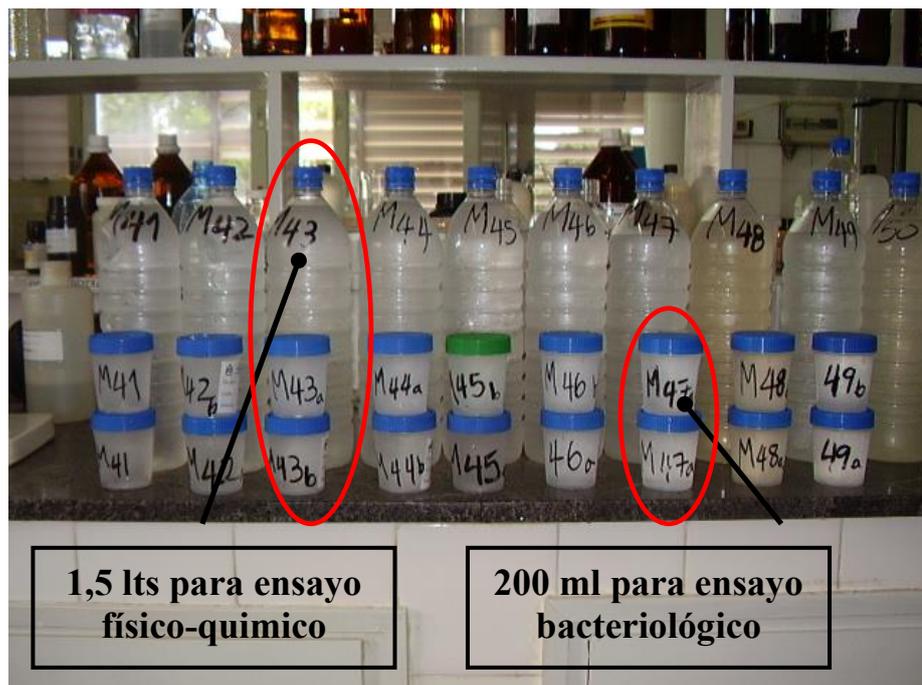
**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

siente el agua tibia, y a medida que va saliendo el agua que estuvo retenida en las cañerías está se va sintiendo cada vez mas fría hasta que la temperatura se estabiliza. Cuando el agua se siente fresca, ya se puede sacar la muestra.



c) Según las indicaciones de las personas encargadas del laboratorio de la ESSAP en Viñas Cué, para los parámetros que queremos analizar del agua necesitamos por lo menos 1,5 lts para los ensayos físico-químicos para los cuales adquirimos botella de plástico de dicha capacidad de volumen. Sin embargo, para las muestras de agua destinadas a los análisis bacteriológicos se necesitan

envases especiales que hayan sido esterilizados previamente, para no cometer errores en la



**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

detección de coliformes por motivos equivocados. El volumen de agua necesario para tal efecto es de 200 ml.

d) Luego de llenar todos los envases, y teniendo en cuenta todos los cuidados antes explicados, se procede a tomar la medida de la conductividad eléctrica del agua, con el conductímetro marca Oakton, en mili Siemens por centímetro (mS/cm). Se registra en la planilla de campo el valor medido por el equipo y se procede a la limpieza del embudo del mismo con agua destilada, de manera a que la sobra de la muestra tomada no afecte a la siguiente medición.

5. Tomamos fotografías del pozo y el lugar, para darle veracidad a la muestra.

6. Los análisis físicos solicitados a la ESSAP son los valores de pH y Conductividad

7. Los parámetros químicos pedidos fueron los de Cloruros, Nitratos y Sulfatos.

8. Los parámetros bacteriológicos pedidos fueron los de Coliformes Fecales y Totales.

9. Una vez terminado el muestreo, los envases deben ser puestos en refrigeración para que se mantengan sus condiciones naturales hasta llegar al laboratorio. Para eso se meten las botellas en una conservadora con mucho hielo de modo a que no suba su temperatura.

10. Se llevan las muestras al laboratorio de la ESSAP de Viñas Cué, donde se guardan las botellas y envases en heladera hasta el momento de empezar los análisis.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Trabajo de Laboratorio

Los ensayos para determinar la calidad del agua muestreada fueron realizados en los laboratorios Físico-Químico y Bacteriológico de la Planta de Tratamiento de la ESSAP en Viñas Cué.

Estos ensayos se realizaron bajo las normas de los Standards Methods para los análisis físicos como conductividad y ph, así como para los químicos como sulfatos, nitratos y cloruros, y los bacteriológicos como coliformes fecales y totales.

Para los análisis físicos se utilizaron directamente equipos que miden dichos valores, mientras que para los análisis químicos y bacteriológicos se realizaron los ensayos mediante los cuales son posibles la determinación de dichos parámetros



Laboratorio de la ESSAP

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Los equipos utilizados por el Laboratorio de la ESSAP para los diferentes análisis son los siguientes:

- a) Conductímetro para medición de valores de conductividad eléctrica



- b) Peachimetro para determinar el PH de las muestras



- c) Elementos de laboratorio y químicos utilizados en los ensayos para la obtención de los valores de Cloruro y Sulfatos



- d) Espectrofómetro para medir valores de nitratos en las muestras



**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

e) Para los ensayos bacteriológicos se utilizaron los siguientes equipos



Filtro de membranas para
el cultivo de bacterias



Placas Petri para cultivo
de bacterias



Estufa de cultivo de bacterias

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Elaboración de Bases de Datos

Una vez que los resultados de los ensayos nos fueran entregados, el siguiente paso fue el procesamiento de la información de manera a expresarla de la manera más representativa posible.

Para esto se cargaron los resultados en una base de datos central, para luego proceder a georreferenciar los mismos mediante el uso de softwares apropiados.

Para las tareas de territorialización de la información utilizamos Sistemas de Información Geográfica (SIG) como ArcView 3.2 y Surfer 8. Mediante el uso de estos softwares georreferenciamos los datos obtenidos en el laboratorio, de manera a ubicar en el espacio los valores de los parámetros establecidos como objetivos en la etapa de planificación.

Mediante la georreferenciación de los valores, se puede mostrar de manera sencilla y clara, la ubicación de las muestras, la zona de estudio, la cantidad de habitantes en cada área, entre otras cosas, de manera a relacionar los resultados con cualquier factor geográfico.

Pero antes es preciso determinar cual es la mejor manera de expresar los resultados para cada parámetro.

La conductividad eléctrica de las aguas subterráneas por ejemplo, puede mostrarse mediante líneas isopleas, que no son otra cosa más que líneas que representan un mismo valor de una variable.

Para esto se usa el software Surfer 8, que es capaz de proporcionarnos a partir de los valores puntuales de conductividad obtenidos en el laboratorio

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

una expresión regional de la conductividad mediante líneas de isoconductividad.

Para cada punto el programa necesita 3 valores. Los dos primeros son las coordenadas X e Y, del sistema UTM, y el tercer valor es la conductividad eléctrica medida en uS/cm.

El resultado es un gráfico que permite estimar las condiciones de las aguas subterráneas en cualquier lugar de la zona de estudio, de manera a caracterizar las mismas y simplificar los estudios para las futuras perforaciones.

Sin embargo, para los valores de coliformes, este sistema no es factible, debido que por la naturaleza de los coliformes, su presencia en un punto no razón suficiente para concluir su presencia en lugares aledaños, debido a que esto es consecuencia de contaminaciones puntuales. De este modo el método anterior no se puede aplicar a estos valores.

Por lo dicho, la mejor manera de expresar los resultados es georreferenciando los mismos puntualmente, de manera a que se pueda conocer fácilmente en que lugar hay valores de coliformes totales y fecales fuera de los valores aceptados por las normas nacionales.

Luego, el resultado se expresa en forma de un mapa, en el que se expone el punto exacto del pozo con valores fuera de los límites aceptables.

También estos datos se exponen en formato digital, con su base de datos respectiva, de manera que los resultados de todos los ensayos puedan ser consultados con solo ubicar los pozos estudiados en el mapa.

Todo esto es posible gracias a la utilización de los SIG.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Pozos muestreados

Se elaboró un informe individual de capa pozo visitado y muestreado, con fotografías y tablas de resultados de los ensayos realizados, el cual se presenta en el ANEXO 1. Cabe resaltar que para algunos, no tuvimos autorización para obtener las fotografías.

Para identificar de manera sencilla y rápida capa pozo, codificamos la base de datos dándole un nombre a cada muestra. Así para dar un ejemplo, el pozo N° 1 pasó a denominarse M1, para facilitar las tareas en el laboratorio, y posteriormente nuestros trabajos de procesamiento de datos.

El informe muestra datos como el nombre del pozo, el distrito al que pertenece, el tipo de fuente y sus coordenadas geográficas expresadas en el sistema UTM. Además incluye por supuesto, los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio.

Los resultados incluyen valores de:

- Conductividad uS/cm
- Sólidos Totales Disueltos mg/l
- Ph
- Cloruros mg/l
- Sulfatos mg/l
- Nitratos mg/l
- Coliformes Totales UFC/100 ml
- Coliformes Fecales UFC/100 ml

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Además, cada informe expone de manera sencilla la comparación de los valores arrojados por los ensayos con los Límites de Calidad de Agua Potable según la Ley 1614/2000. En sus reglamentos, esta ley establece las características o componentes que afectan la aceptabilidad del Agua por parte del consumidor, los componentes que afectan a la Salud y los componentes Bacteriológicos básicos. Estos valores límites, se expresan de dos maneras. Un primer valor, que es considerado como Límite Admisible, y un segundo que es el Límite Recomendado según las guías de la Organización Panamericana de Salud y la Organización Mundial de la Salud.

Se pretende resaltar los resultados que están fuera de los Límites Aceptables por dicha ley coloreando las celdas de dichos valores con el color rojo, de manera que estos valores sean fácilmente identificados.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Procesamiento de Datos

En esta etapa, lo que se pretende es analizar los resultados encontrados y llegar a conclusiones válidas apoyadas en métodos y teorías científicas para representar gráficamente el estado del Acuífero Patiño en la zona de estudio.

Para esto hicimos uso de softwares tipo SIG (Sistemas de Información Geográfica) de modo a georreferenciar los datos levantados.

Después de discutir, como sería la mejor manera de analizar los datos, llegamos a la conclusión de que lo más recomendable sería dividir el análisis en dos partes.

La primera parte sería destinada a la evolución de los parámetros estudiados a lo largo del tiempo, lo que forma parte de lo que llamamos Análisis Longitudinal. Esto se debe a que el objetivo de esta parte es comparar los valores obtenidos por estudios anteriores, con los obtenidos en nuestro estudio, de manera a sacar conclusiones sobre la evolución en el tiempo de los mismos. De esta manera, se pretende marcar la línea de tendencia sobre el aumento o disminución de los valores de conductividad eléctrica del agua subterránea, además de los de Sólidos Totales Disueltos, parámetro que está muy relacionado con la conductividad. Este análisis es de principal importancia para sacar conclusiones sobre el avance de la salinidad por sobre explotación desde la región occidental del país. Como parte de este análisis longitudinal, también se pretende realizar gráficos de líneas isopletas para mostrar de manera más sencilla la evolución de dicho parámetro. Sin embargo, el análisis longitudinal queda restringido a las zonas en las que se posean datos anteriores con una densidad aceptable de puntos de muestreo de manera que

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

los gráficos sean representativos. Por esto, en esta parte los gráficos que se pretenden realizar estarán limitados a zonas puntuales en la que se posea mayor cantidad de información.

La segunda parte es la destina al Análisis Transversal. En esta parte el objetivo es mostrar la situación actual del acuífero en lo referente a los parámetros marcados como principales para este estudio. Para esta parte del análisis, debido a la cantidad de información levantada, es posible realizar gráficos que involucren a la totalidad de la superficie de la zona de estudio, de manera a conocer la situación general de la misma, y tener una “fotografía del momento” principalmente en relación a la salinidad de las aguas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Análisis Longitudinal

Para este estudio se utilizaron las bases de datos de los siguientes estudios:

1. “Contaminación de aguas subterráneas en áreas puntuales del Gran Asunción” (1995). Juan Ríos Otero, Oscar Martínez y Carlos Centurión
2. “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA” (Proyecto FEHS) (2000). Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO
3. “Estudio de la Contaminación del Acuífero Patiño” (2006). Trabajo Final de Grado. Facultad Ingeniería U.N.A. Sergio Cardozo y Claudia Crosa.
4. “Estudio de políticas y manejo ambiental de aguas subterráneas en el área metropolitana de Asunción” (Acuífero Patiño) (2007). Chuo Kaihatsu Corporation (CKC), JNS Engenharia, Hidrocontrol S.A. y Waterloo Hydrogeologic.

El criterio para empezar este análisis es el de compararlos cronológicamente con los resultados obtenidos en el 2009 en nuestro trabajo de investigación.

Por esta razón el primer trabajo a analizar es el realizado por Juan Ríos Otero, Oscar Martínez y Carlos Centurión en el año 1995, denominado “Contaminación de aguas subterráneas en áreas puntuales del Gran Asunción”, que fuera presentado en el “2º Simposio sobre aguas subterráneas y

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

perforaciones de pozos en el Paraguay” realizado en San Lorenzo en ese mismo año.

El trabajo realizado por el Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO denominado Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA y realizado en el año 2000 estableció una base de datos de pozos que a la vez fue utilizada por el Trabajo Final de Grado “Estudio de la Contaminación del Acuífero Patiño” realizado por Claudia Crosa y Sergio Cardozo en el año 2006, por lo que para nuestro análisis, dentro del estudio de la evolución de los parámetros en el tiempo, haremos una comparación de los mismos en los tres periodos de tiempo correspondientes (2000/2006/2009).

Por último se tomaron los pozos muestreados dentro del trabajo “Estudio de políticas y manejo ambiental de aguas subterráneas en el área metropolitana de Asunción” realizado en el 2007 para contrastar los valores y su evolución correspondiente.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Ríos Otero, Martínez y Centurión - 1995

El área de estudio de este trabajo comprende las cuencas de los arroyos Ytay y Mburicaó (Asunción), y una franja que se extiende desde el Km. 13 de la ruta N° 9 Transchaco hasta el local de la Asociación Rural del Paraguay (Mariano Roque Alonso), los vertederos de basura de la Laguna Cateura (Asunción), y de Puerto Pabla (Lambaré), y las inmediaciones del Cerro Ñemby (Ñemby).

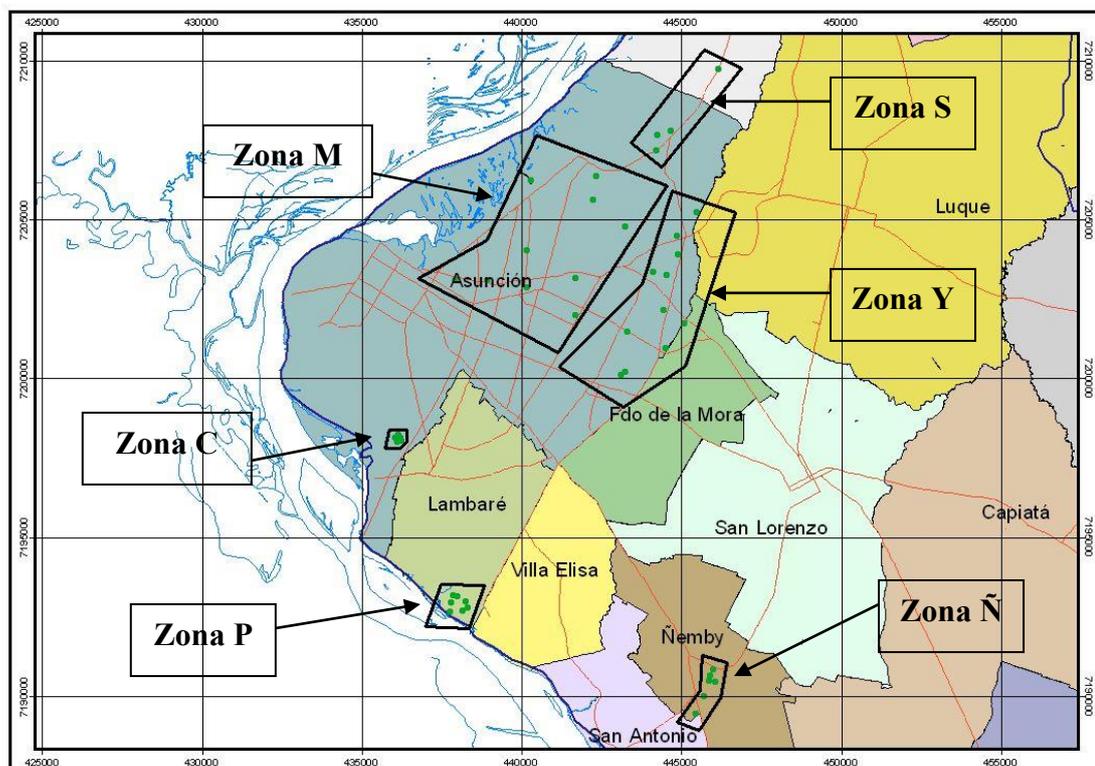


Figura 4.6 - Zonas de estudio – Ríos Otero, Martínez y Centurión

Para facilitar la interpretación se estableció la siguiente nomenclatura:

- Zona Y: Cuenca del Arroyo Ytay
- Zona M: Cuenca del Arroyo Mburicaó
- Zona S: Ruta N° 9 Transchaco, entre el Km. 13 y el local de la A.R.P.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

- Zona C: Inmediaciones de la Laguna Cateura
- Zona P: Inmediaciones del vertedero de Puerto Pabla
- Zona Ñ: Alrededores del Cerro Ñemby

Este trabajo consistió en la realización de 44 análisis físico químicos y 24 análisis bacteriológicos, efectuados en lugares con diferentes tipos de focos de polución. Las áreas de estudio están relacionadas con cursos de agua superficial, vertederos y una cantera en explotación.

De los 44 pozos muestreados, cabe mencionar que la mayoría son pozos artesianos, aunque una buena parte está conformada por pozos excavados de boca ancha.

De los 44 pozos, pudimos obtener la ubicación de 42 de ellos (95,5%), aunque en algunos casos no pudimos conseguir a las muestras. Algunos de los problemas con los que nos topamos fueron los siguientes:

1. Pozos artesianos fuera de funcionamiento, razón por la cual no fue posible sacar la muestra.
2. Pozos artesianos cerrados.
3. Extrema burocracia de los propietarios, que intuyen riesgos al no entender el alcance meramente académico del trabajo.
4. Pozos excavados cerrados o tapados, lo que hizo imposible sacar la muestra.
5. Pozos excavados secos afectados por la falta de lluvias.

Debido a estos problemas se hizo imposible obtener las muestras en algunos casos, por lo que tuvimos que reemplazar las que no conseguimos con

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

otras de pozos que estuvieran relativamente cerca, de modo a sustituirlas para nuestros fines. Obtuvimos así muestras de 35 fuentes, logrando cubrir 34 de los 44 locales, y llegando de esta manera al 77,3% de los pozos.

Los parámetros que analizamos dentro de este trabajo son los de Conductividad Eléctrica, ph, Cloruros, Sulfatos y Nitratos.

En lo referente a la Conductividad Eléctrica, estos fueron los resultados:

Tabla 4.6 – Conductividad 1995/2009

Nº Muestra	Local	Municipio	Conductividad (uS/cm)			
			2009	1995	Variación	Conclusión
M10	Hotel del Paraguay	Asunción	458	423	8,27%	Aumentó
M12	Ex residencia Baumann	Asunción	190,6	138	38,12%	Aumentó
M13	Club Centenario 1	Asunción	327	139	135,25%	Aumentó
M14	Club Centenario 2	Asunción	134,2	139	-3,45%	Disminuyó
M15	Asunción Tennis Club	Asunción	317	259	22,39%	Aumentó
M29	Frigorífico Mutti	Asunción	253	373	-32,17%	Disminuyó
M30	Paraguay Lawn Tennis Club	Asunción	505	425	18,82%	Aumentó
M31	Frigobeef 1	Asunción	287	284	1,06%	Aumentó
M32	Frigobeef 2	Asunción	1065	284	275,00%	Aumentó
M39	Petrobrás-Transchaco	Asunción	201	1455	-86,19%	Disminuyó
M42	Heladería Via Apia	Asunción	103,3	101,5	1,77%	Aumentó
M44	Mayor José C. Lamas 1178	Asunción	169,9	46	269,35%	Aumentó
M45	Record Electric	Asunción	58,1	78	-25,51%	Disminuyó
M46	Taller	Asunción	65,7	52	26,35%	Aumentó
M47	Ykuá Satí 1	Asunción	269	141	90,78%	Aumentó
M49	Parque Ñu Guazú	Luque	889	292	204,45%	Aumentó
M50	Ex-Laboratorio	Asunción	456	111	310,81%	Aumentó
M51	Pizarro e/ San Fernando y Mons Rodriguez	Asunción	493	309	59,55%	Aumentó
M52	Pizarro y Mons Rodriguez	Asunción	347	211	64,45%	Aumentó
M53	Pizarro y San Fernando	Asunción	139,9	407	-65,63%	Disminuyó
M65	Ex-Concretmix	Asunción	143	64	123,44%	Aumentó
M68	Las Mercedes-Flía Balbuena	Asunción	628	668	-5,99%	Disminuyó
M69	Petrobrás-Expo	M.R. Alonso	76,6	142	-46,06%	Disminuyó
M70	Arq Crosa - Vivero	Asunción	229	203	12,81%	Aumentó
M71	Puerto Pabla 1	Lambaré	451	377	19,63%	Aumentó
M73	Puerto Pabla 3	Lambaré	593	989	-40,04%	Disminuyó
M74	Puerto Pabla 4	Lambaré	896	1044	-14,18%	Disminuyó
M75	Puerto Pabla 5	Lambaré	410	362	13,26%	Aumentó
M76	Puerto Pabla 6	Lambaré	250	218	14,68%	Aumentó
M77	Puerto Pabla 7	Lambaré	119,1	621	-80,82%	Disminuyó
M79	Cantera-Nemby 1	Nemby	435	167,2	160,17%	Aumentó
M80	Cantera-Nemby 2	Nemby	245	802	-69,45%	Disminuyó
M85	Junta de Saneamiento Cerrito P4	Nemby	90,8	76	19,47%	Aumentó
M88	Junta de Saneamiento Cerrito P1	San Antonio	101,8	348	-70,75%	Disminuyó
M100	Residencia Martín	Asunción	212	364	-41,76%	Disminuyó

Fuente: elaboración propia

En resumen, de las 35 muestras analizadas podemos decir:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	Aumentó en:	Disminuyó en:	% de Aumento	% de Disminución
Conductividad	35	22	13	62,86%	37,14%

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

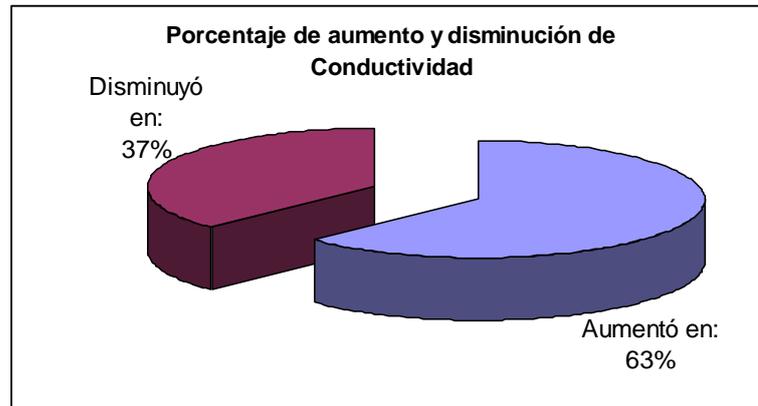


Figura 4.7 – Variación de conductividad 1995/2009

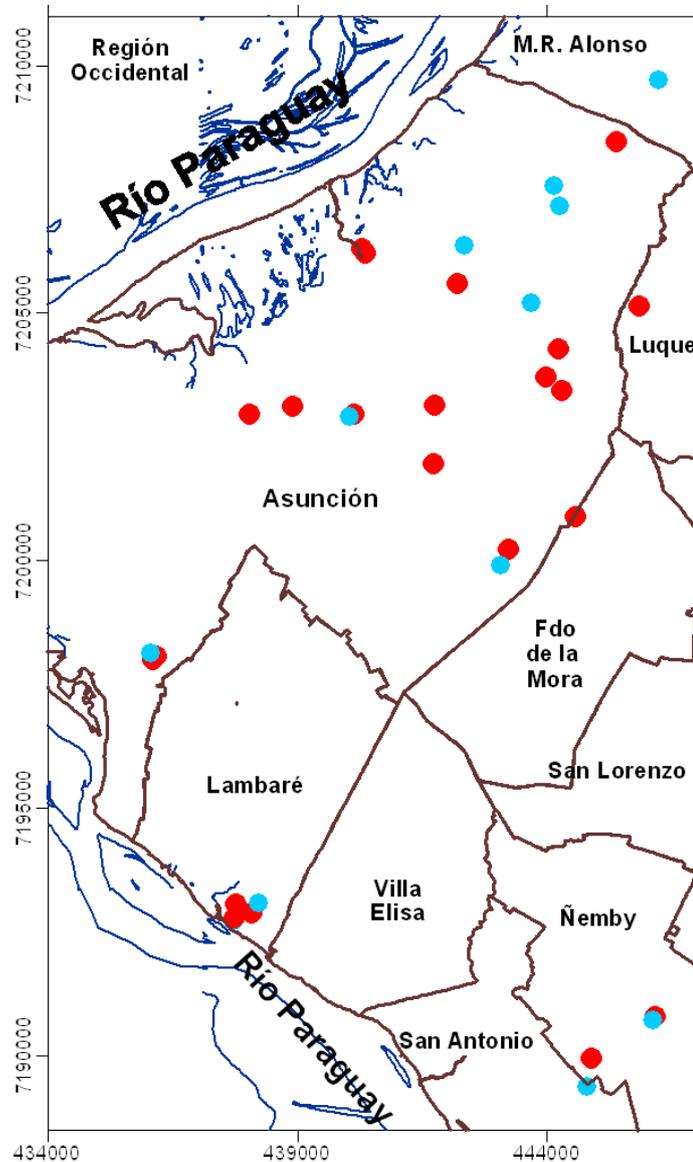


Figura 4.8 – Distribución de la variación de conductividad 1995/2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En el gráfico se puede observar de color rojo, la ubicación de los pozos que han experimentado aumentos en sus valores de conductividad, mientras que figuran de celeste los que sufrieron disminuciones.

En relación a los límites admisibles para la calidad del agua, comparamos los valores obtenidos en cada periodo de tiempo con el establecido por la normativa paraguaya como valor último admitido, que es el de 1250 uS/cm. Estos fueron los resultados:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	CE ≤ 1250	CE > 1250	Dentro del rango	Fuera del rango
Conduct 1995	35	34	1	97,14%	2,86%
Conduct 2009	35	35	0	100,00%	0,00%

La normativa también establece el valor de 400 uS/cm como recomendado por organismos internacionales para asegurar la calidad del agua, y por encima del cual existen indicios de problemas, aunque todavía sin afectar la salud de las personas. Comparando los resultados con este valor, se obtuvieron los siguientes resultados:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	CE ≤ 400	CE > 400	Dentro del rango	Fuera del rango
Conduct 1995	35	26	9	74,29%	25,71%
Conduct 2009	35	23	12	65,71%	34,29%

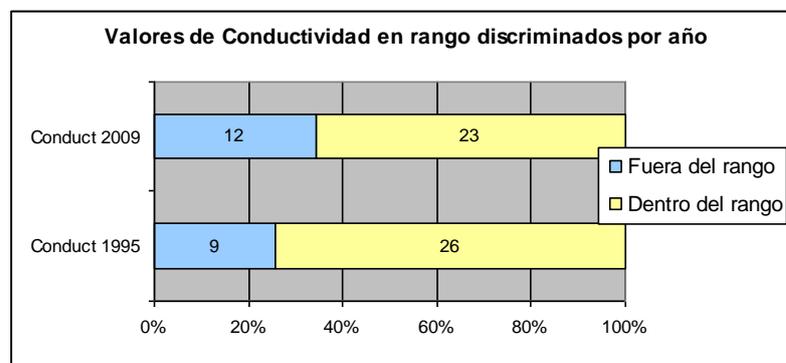


Figura 4.9 – Valores de conductividad en rango 1995/2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sin embargo, para este parámetro la manera más fácil de representarlo es mediante las líneas de isoconductividad. Para este fin, usamos el software Surfer 8, que es un SIG (Sistema de Información Geográfica) capaz de generar este tipo de curvas con datos puntuales como los que poseemos en este caso.

Pero como la densidad de datos no es la adecuada para generar gráficos de toda la zona de estudio, la manera más eficaz de representar los resultados es la de sectorizar los mismos de manera a obtener resultados zonales que resulten más representativos.

Para esto, generamos 4 gráficos agrupando las zonas de estudio de la siguiente manera:

1. Zonas S, Y y M
2. Zona C
3. Zona P
4. Zona Ñ

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Zonas Y, M y S

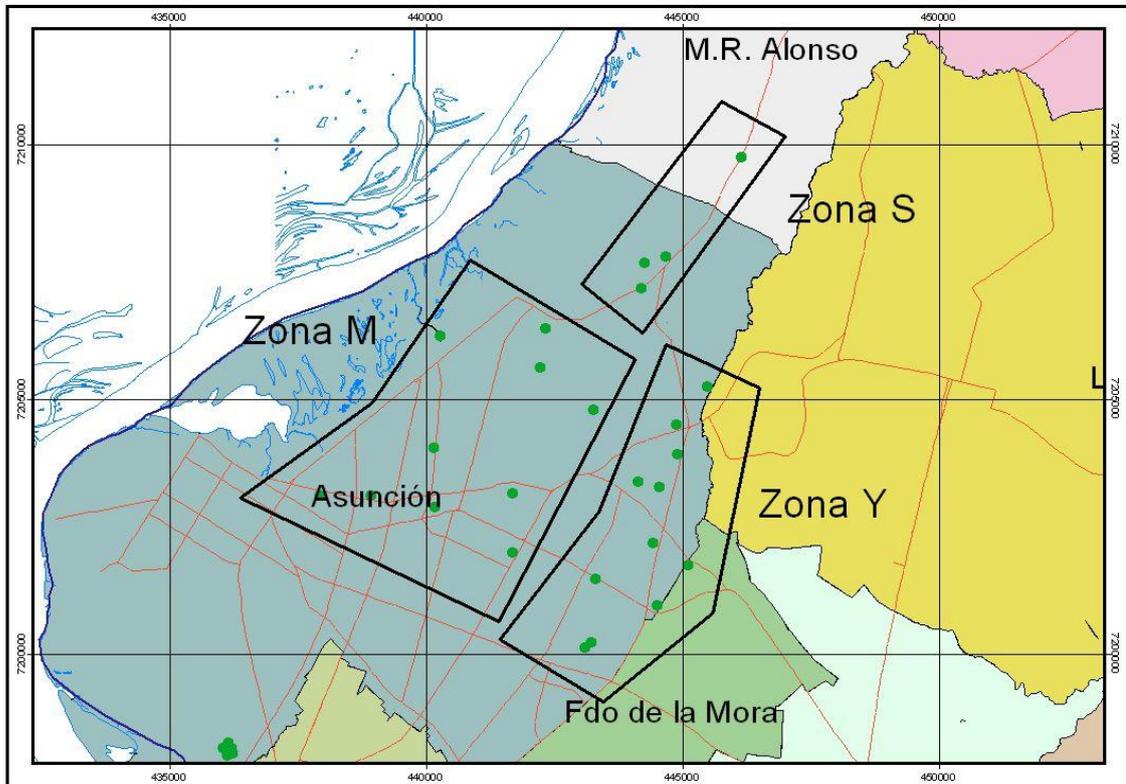


Figura 4.10 - Zonas Y, M y S – Ríos Otero, Martínez y Centurión

Debido a la densidad de datos y su buena distribución en el espacio, es posible combinar estas tres áreas para obtener un gráfico de salinidad del área completa.

Para esto cargamos los valores de conductividad eléctrica obtenidos en el año 1995 en el programa Surfer 8, obteniendo como resultado las líneas de isoconductividad de dicha área. Se realiza lo mismo con los datos que levantamos entre noviembre de 2008 y enero de 2009, para apreciar de esta manera la evolución de la salinidad en esta zona.

Estos son los gráficos obtenidos:

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

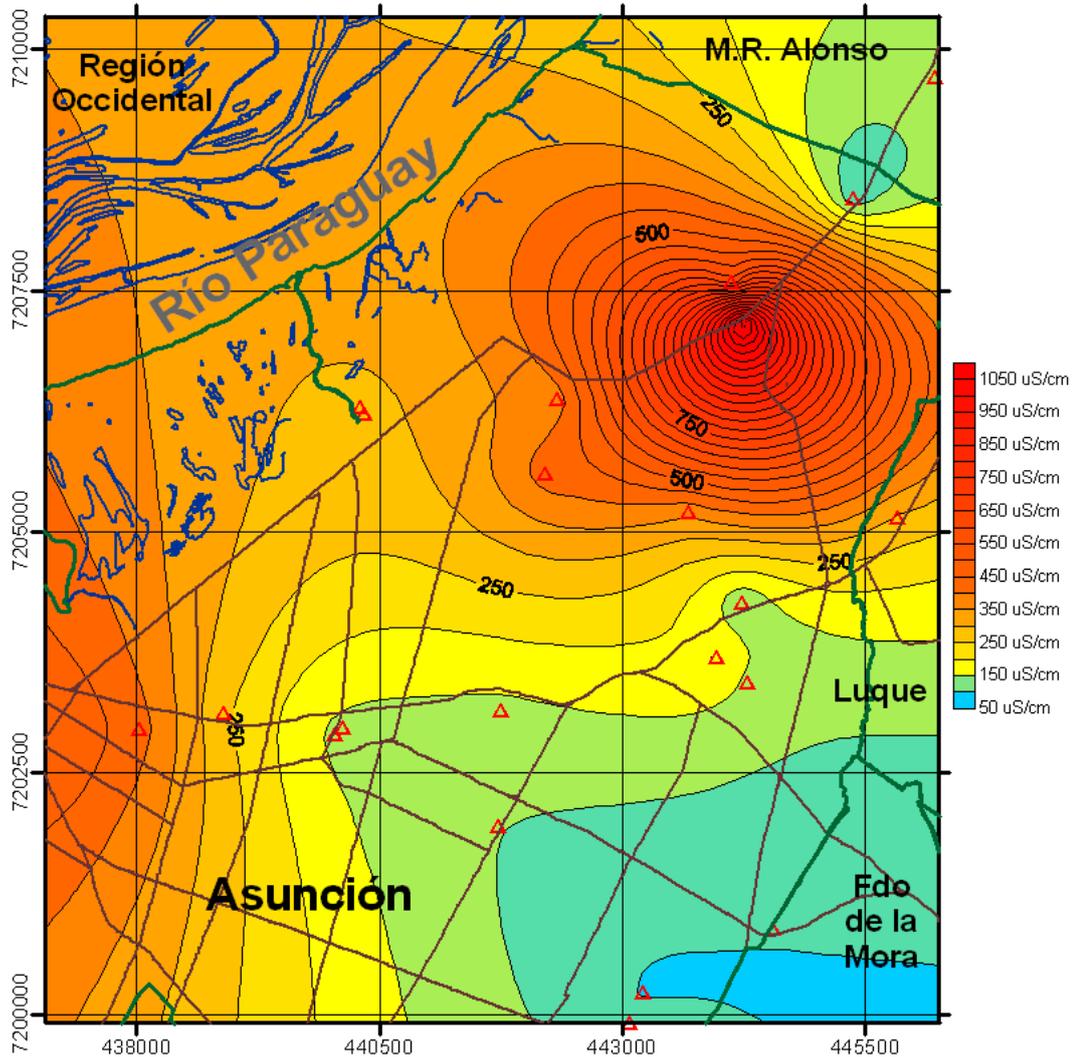


Figura 4.11 – Líneas de isoconductividad eléctrica – 1995 (Zonas Y, M y S)

Este gráfico de líneas de isoconductividad nos muestra de forma clara y sencilla como varían los valores de conductividad en la zona. Se puede notar, como los valores de conductividad, medidos en uS/cm (micro Siemens por centímetro), aumentan hacia los valores más oscuros. También a lado se observa, la escala de valores de conductividad según la intensidad de los colores.

Los triángulos rojos indican los pozos muestreados en el año 1995 para el trabajo en cuestión. Las líneas verdes indican los límites interdistritales, formando parte del gráfico en mayor medida el distrito de Asunción y en menor

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

medida los de Mariano Roque Alonso, Luque y Fernando de la Mora. Las líneas de color marrón indican las principales vías de comunicación, mientras que las azules son los límites del Río Paraguay.

De la misma manera, se elaboró un gráfico con los valores de conductividad obtenidos en nuestro Trabajo Final de Grado.

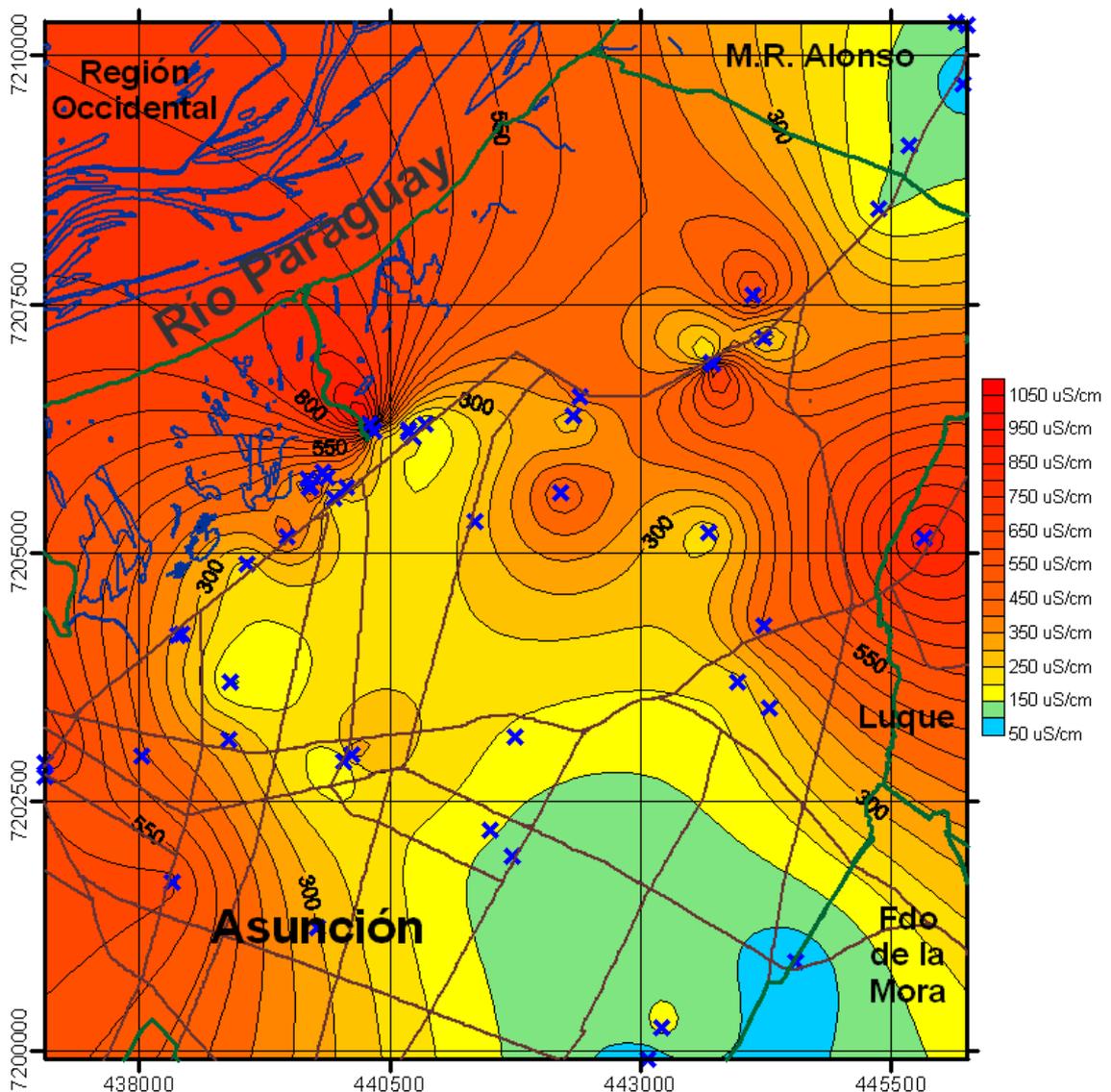


Figura 4.12 - Líneas de isoconductividad eléctrica – 2009 (Zonas Y, M y S)

En este gráfico, las equis azules son las que indican los pozos muestreados en el marco de nuestro trabajo.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Zona C

El mismo proceso se aplicó a la Zona C, correspondiente a las inmediaciones de la laguna Cateura. La principal característica de esta área es la cercanía con el principal lugar de disposición de residuos sólidos de la ciudad de asunción, con el correspondiente riesgo de contaminación de las aguas subterráneas que esto pudiera ocasionar.

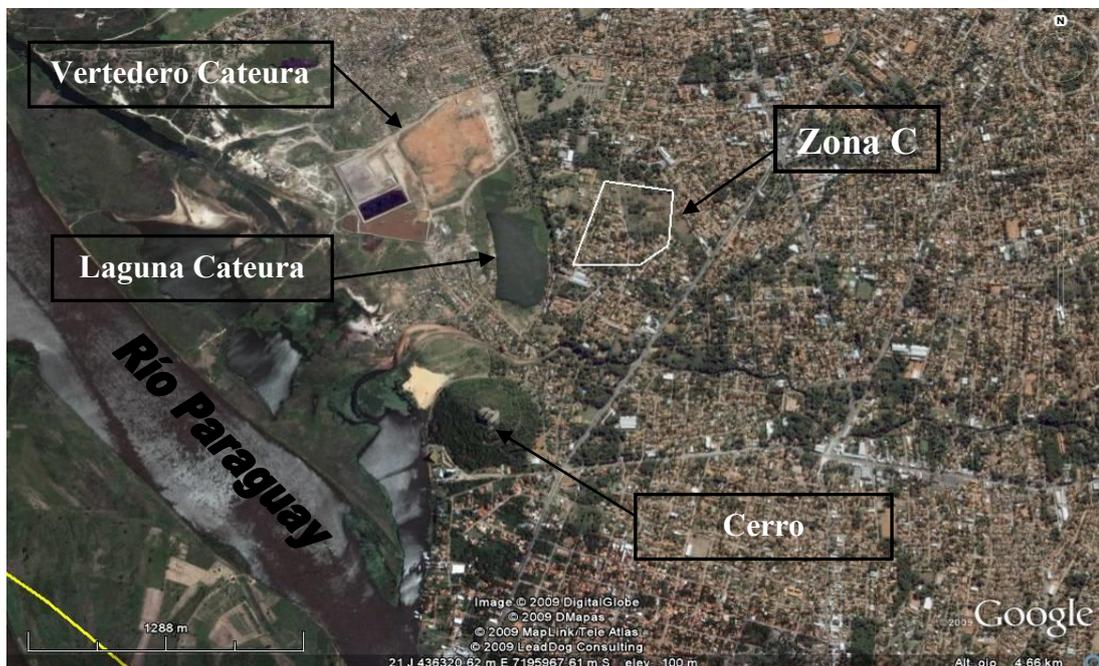


Figura 4.13 - Zona C – Ríos Otero, Martínez y Centurión

De esta zona, el trabajo presentado en el año 1995 obtuvo 5 muestras, de las cuales la mayoría son pozos excavados de boca ancha. Como estos pozos son de poca profundidad, no demuestran fehacientemente la situación de las aguas subterráneas más profundas, por lo que nuestro objetivo fue ubicar pozos artesianos para conocer las características de las mismas, sin dejar de lado los pozos excavados.

Sin embargo, tenemos que acotar que la situación de la distribución de agua de la zona cambió mucho desde ese entonces. En el año 1995, una gran

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

cantidad de pobladores contaban con pozos excavados para su consumo personal, pero gracias a los avances en el servicio de las aguateras y la ESSAP, el porcentaje de cobertura ha aumentado en gran medida, haciendo que la población deje de lado los pozos. Debido a esto, la mayoría de los pozos muestreados en el trabajo de Ríos Otero, Martínez y Centurión ya no existen, por lo que nos resultó imposible volver a sacar muestras para comparar los valores de los parámetros estudiados.

Esto nos llevó a la búsqueda de nuevos pozos en el área, que nos permitieron comparar de igual manera la situación de la salinidad de las aguas mediante la medición de la conductividad eléctrica.

En definitiva, a continuación presentamos el gráfico de salinidad que obtuvimos con los valores de conductividad obtenidos por Ríos Otero, Martínez y Centurión en el año 1995.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

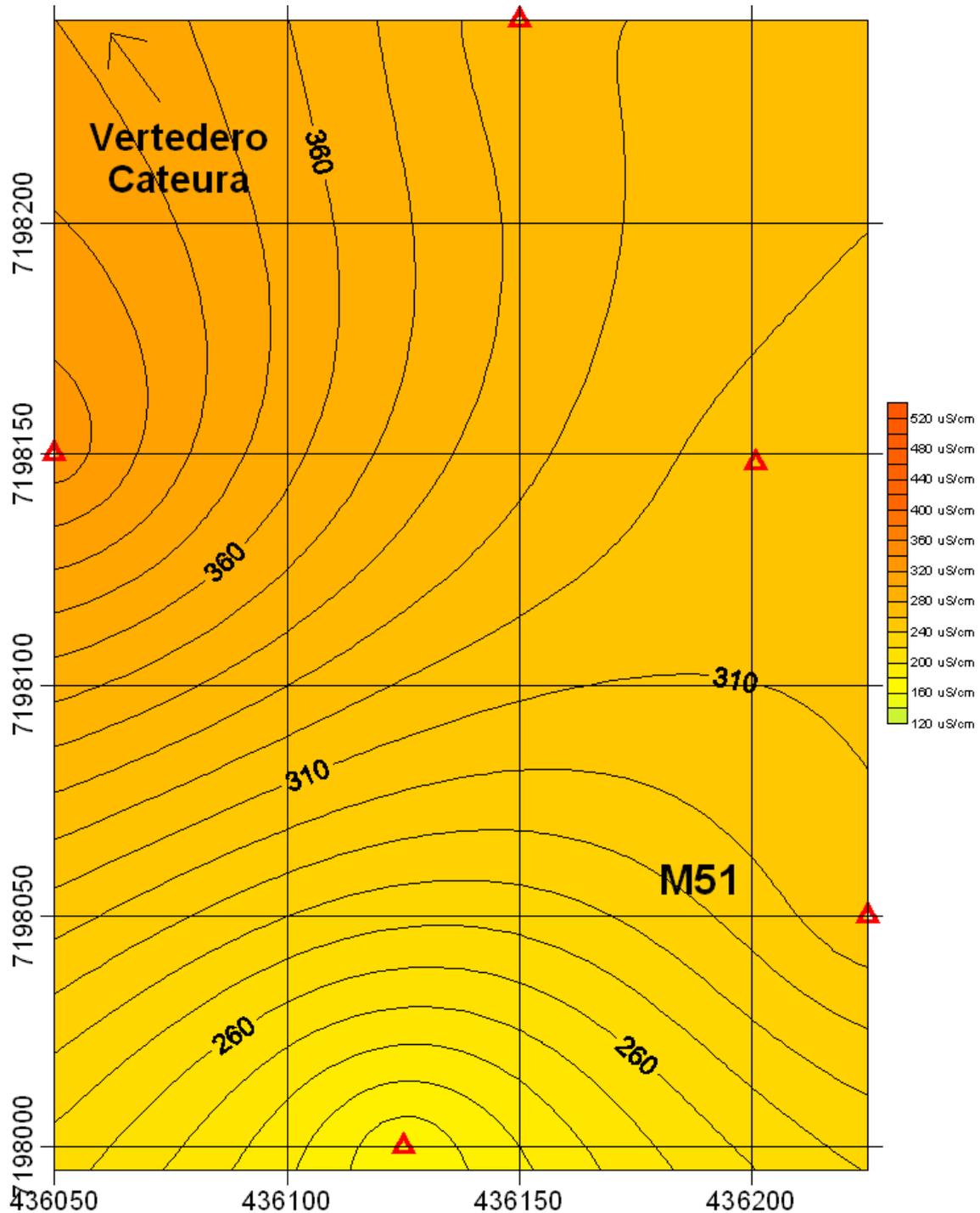


Figura 4.14 – Líneas de isoconductividad eléctrica – 1995 (Zona C)

En el gráfico se pueden observar los pozos muestreados, indicados como triángulos de color rojo, y se nota como en ese entonces, la tendencia al aumento de la salinidad estaba orientada hacia la posición del vertedero de residuos sólidos,

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

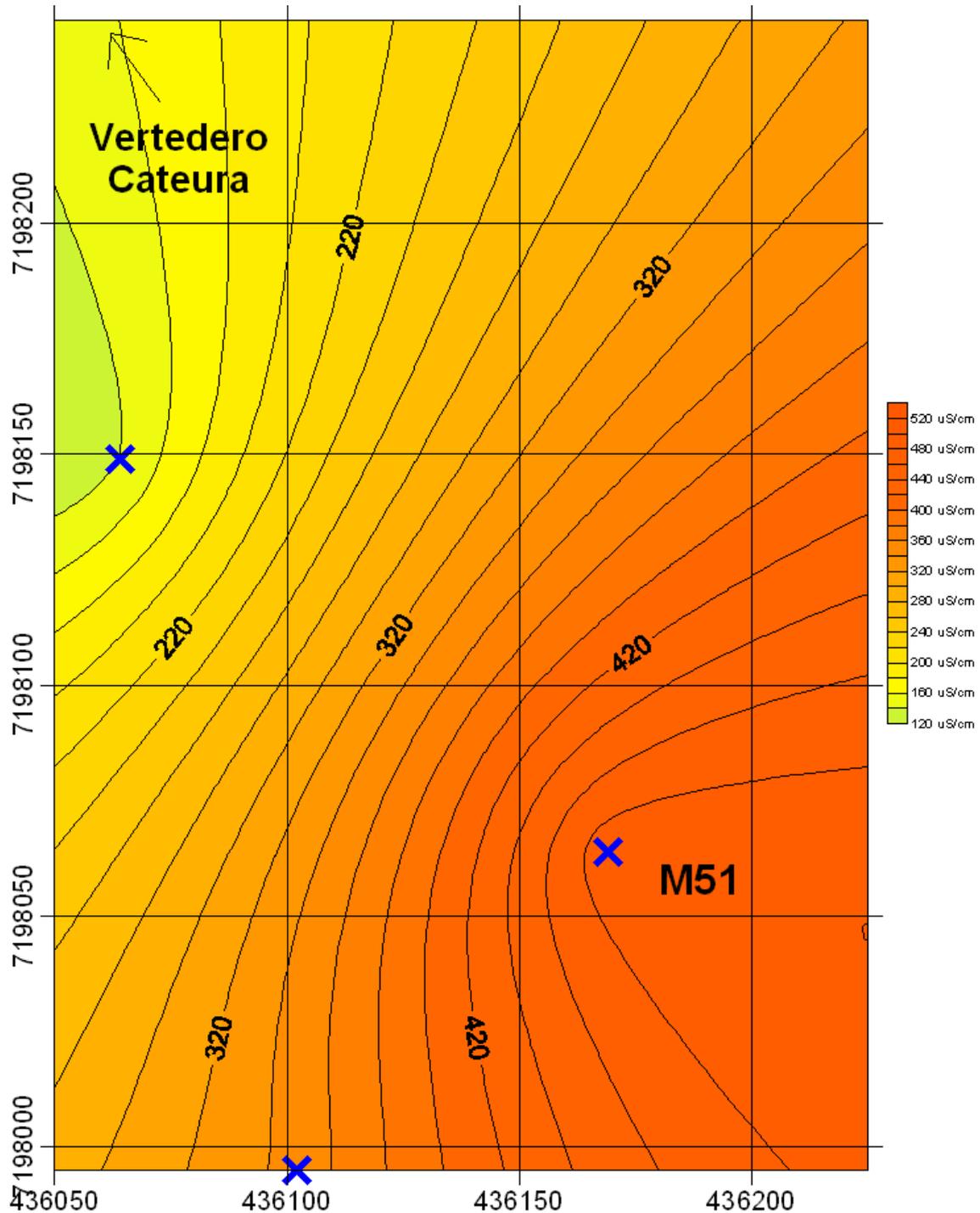


Figura 4.15 – Líneas de isoconductividad eléctrica – 2009 (Zona C)

En este gráfico, obtenido con los datos más recientes, no se nota esa tendencia, aunque esto está ocasionado porque las muestras en este caso no fueron sacadas de pozos someros, siendo el agua obtenida de los pozos

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

profundos de mejor calidad. El valor alto obtenido, es el único que corresponde a un pozo excavado y es el que produce el aumento de la conductividad en esa zona, cambiando la tendencia observada en el primer gráfico. Cabe resaltar que en la muestra de este pozo (M51) también se detectó la presencia de Coliformes Totales.

Zona P

Esta zona es la correspondiente a las inmediaciones del vertedero de Puerto Pabla, en la ciudad de Lambaré.



Figura 4.16 - Zona P – Ríos Otero, Martínez y Centurión

En el trabajo de Ríos Otero, Martínez y Centurión, de esta zona se tomaron muestras de 8 pozos, los cuales en su totalidad eran pozos excavados. De estos ocho pozos, pudimos ubicar seis, pero para no afectar la

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

densidad de los datos buscamos otros pozos para contrarrestar los dos que por motivos de la ampliación del servicio de la aguatera de la zona, ya se dejaron de usar, hasta el punto que fueron tapados y clausurados, haciendo de esta manera imposible sacar el agua para hacer la muestra correspondiente.

Los gráficos obtenidos son los siguientes:

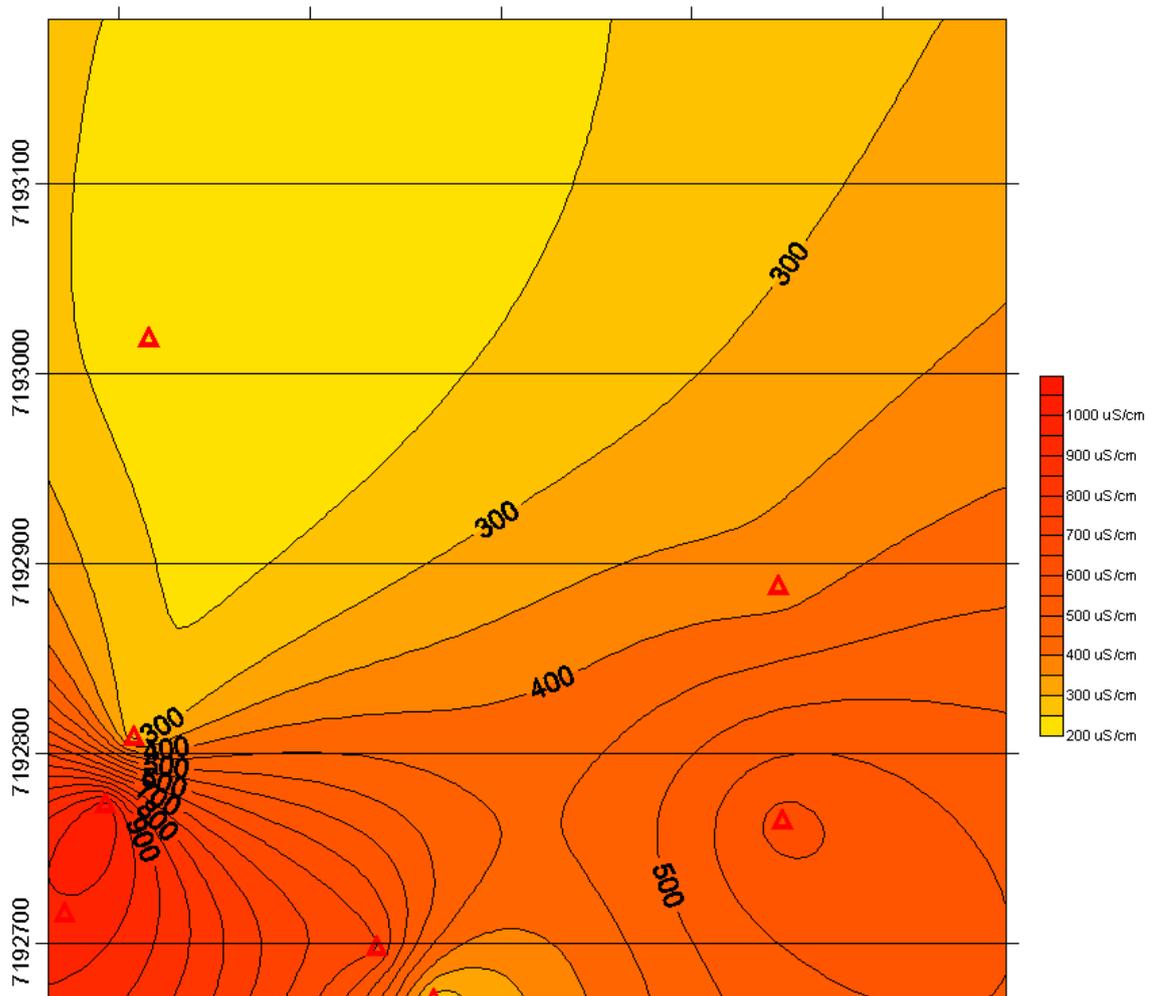


Figura 4.17 – Líneas de isoconductividad eléctrica – 1995 (Zona P)

En este gráfico se observa, a igual que en los anteriores los pozos muestreados por Ríos Otero, Martínez y Centurión como triángulos de color rojo, y se puede notar fácilmente hacia donde están los valores de conductividad eléctrica mas altos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Para los valores de conductividad eléctrica registrados por nuestras muestras, este es el gráfico obtenido:

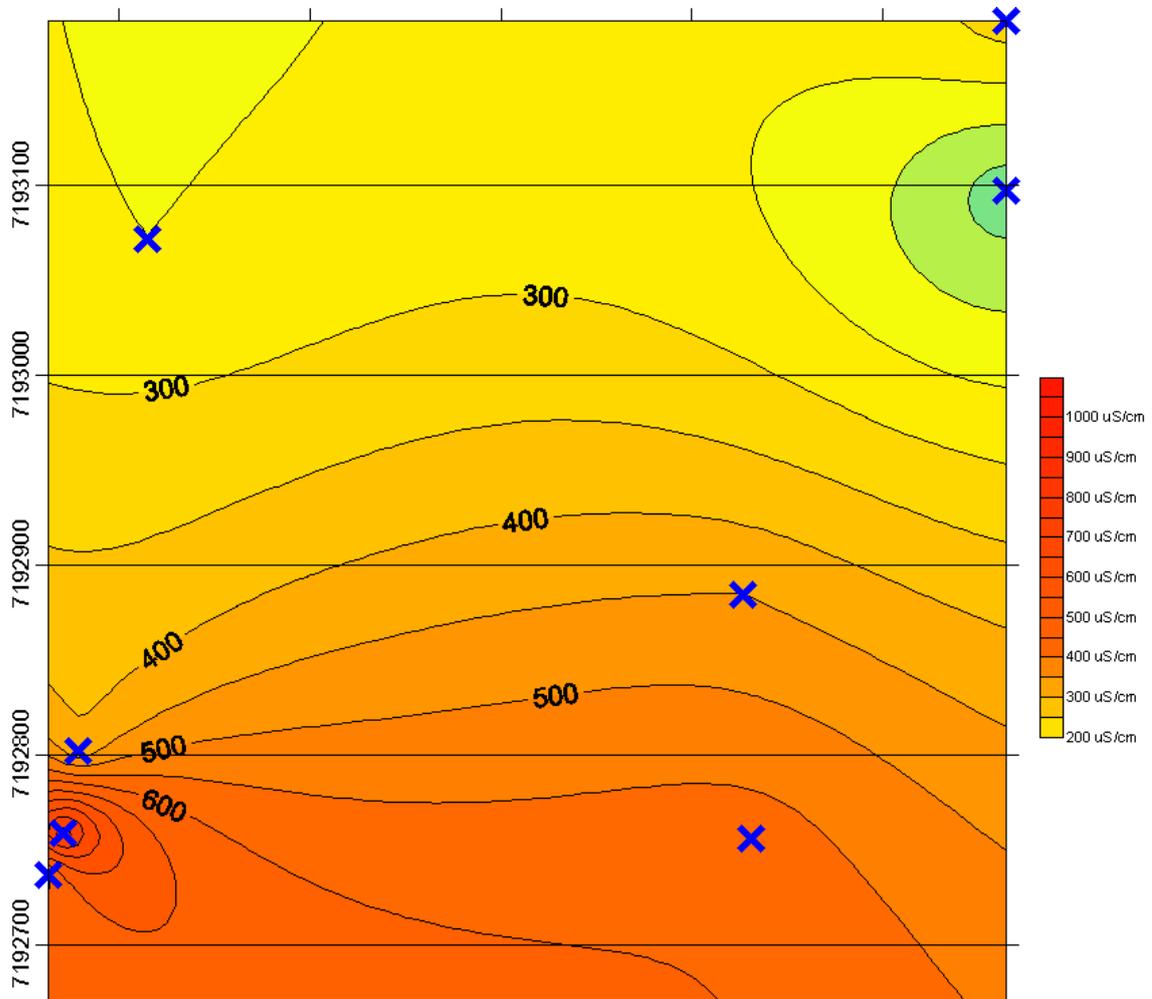


Figura 4.18 – Líneas de isoconductividad eléctrica – 2009 (Zona P)

Se puede notar en este gráfico que los valores límites han disminuido, ya que no se observan colores tan intensos como en la primera imagen. Sin embargo, hay que hacer hincapié en dos cosas. Por un lado la tendencia se mantiene, concentrándose los valores altos del parámetro hacia la zona baja del área de estudio, que es la más cercana al río. Y por otro, aunque los valores mayores han disminuido, se observa una situación general de mayor salinidad, ya que en el primer gráfico existen valores que distorsionan y ejercen

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

una gran influencia con valores altos, pero en el segundo la situación de la salinidad es más amplia, pero sin registrarse picos muy altos.

Zona Ñ

Esta área corresponde a las inmediaciones del Cerro Ñemby.



Figura 4.19 - Zona Ñ – Ríos Otero, Martínez y Centurión

En esta zona, hay una cantera en explotación, aunque una gran población viviendo en los alrededores. La mayoría de estas personas cuentan en la actualidad con el servicio de agua del SENASA, que explota un pozo artesiano no muy lejos del área estudiada por Ríos Otero, Martínez y Centurión.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Al evaluar los datos obtenidos en el año 1995, se obtuvo esta gráfica de conductividad de las aguas.

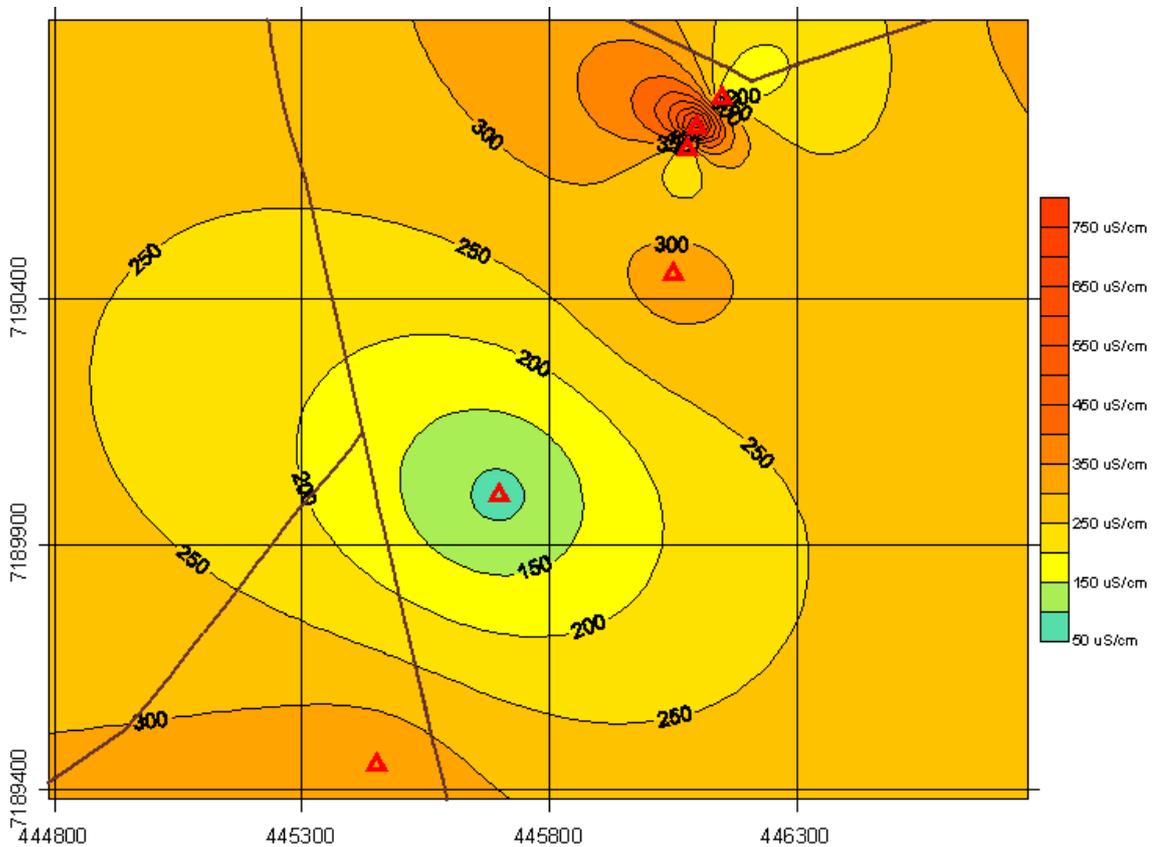


Figura 4.20 – Líneas de isoconductividad eléctrica – 1995 (Zona Ñ)

En ese entonces, según lo descrito por Ríos Otero, Martínez y Centurión, en la zona existían rústicos sistemas de eliminación de aguas residuales y residuos sólidos, por lo que con esto se puede explicar los valores puntuales altos. Sin embargo, la presencia de coliformes es importante en el área, debido a la misma razón.

Con el avance de los sistemas públicos de abastecimiento de agua, estos pozos ya no son usados para el consumo humano, aunque todavía persiste el problema por la falta de un sistema efectivo de eliminación de las aguas negras. Se observa sin embargo, una mejoría en los valores de conductividad de la zona.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

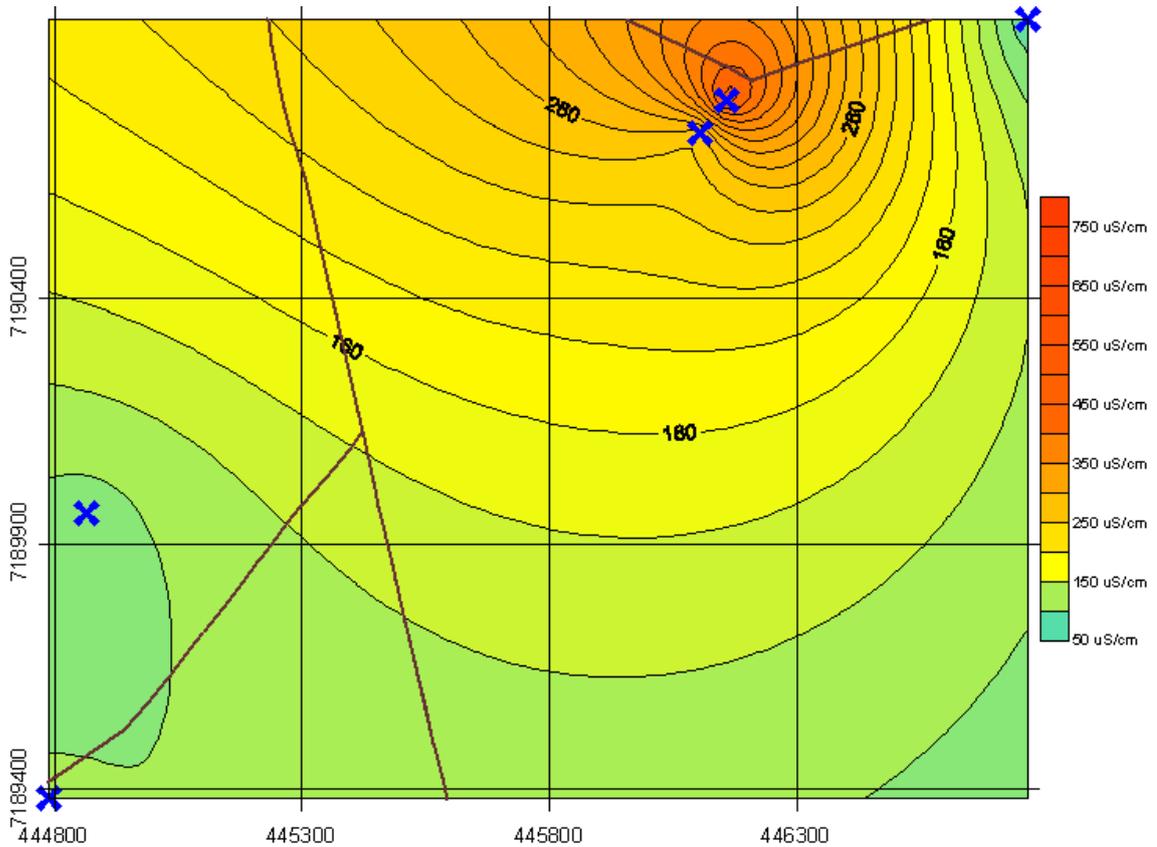


Figura 4.21 – Líneas de isoconductividad eléctrica – 2009 (Zona Ñ)

Esta mejoría queda demostrada con las líneas de isoconductividad actuales, en la que los colores más claros expresan valores más bajos de conductividad eléctrica, en relación a lo que se observa en el gráfico de 1995.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

pH

Tabla 4.17 – pH 1995/2009

Nº Muestra	Local	Municipio	pH			
			2009	1995	Variación	Conclusión
M10	Hotel del Paraguay	Asunción	5,3	5,68	-6,69%	Más Ácido
M12	Ex residencia Baumann	Asunción	5,6	5,94	-5,72%	Más Ácido
M13	Club Centenario 1	Asunción	6,3	6,09	3,45%	Más Neutro
M14	Club Centenario 2	Asunción	5,9	6,09	-3,12%	Más Ácido
M15	Asunción Tenis Club	Asunción	5,7	5,59	1,97%	Más Neutro
M29	Frigorífico Mutti	Asunción	6,8	6,98	-2,58%	Más Ácido
M30	Paraguay Lawn Tennis Club	Asunción	6,1	5,84	4,45%	Más Neutro
M31	Frigobeef 1	Asunción	5,2	6,66	-21,92%	Más Ácido
M32	Frigobeef 2	Asunción	6,8	6,66	2,10%	Más Neutro
M39	Petrobrás-Transchaco	Asunción	5,2	6,89	-24,53%	Más Ácido
M42	Heladería Vía Apia	Asunción	5,2	5,57	-6,64%	Más Ácido
M44	Mayor José C. Lamas 1178	Asunción	5,2	5,56	-6,47%	Más Ácido
M45	Record Electric	Asunción	5,9	5,39	9,46%	Más Neutro
M46	Taller	Asunción	5,5	5,71	-3,68%	Más Ácido
M47	Ykuá Satí 1	Asunción	5,2	6,78	-23,30%	Más Ácido
M49	Parque Nu Guazú	Luque	6,8	6,71	1,34%	Más Neutro
M50	Ex-Laboratorio	Asunción	7,2	6,42	12,15%	Más Básico
M51	Pizarro e/ San Fernando y Mons Rodriguez	Asunción	6,9	5,50	25,45%	Más Neutro
M52	Pizarro y Mons Rodriguez	Asunción	6,8	9,76	-30,33%	Más Ácido
M53	Pizarro y San Fernando	Asunción	6,7	6,78	-1,18%	Más Ácido
M65	Ex-Concretmix	Asunción	6,4	6,82	-6,16%	Más Ácido
M68	Las Mercedes-Flia Balbuena	Asunción	6,9	7,48	-7,75%	Más Ácido
M69	Petrobrás-Expo	M.R. Alonso	6,1	7,31	-16,55%	Más Ácido
M70	Arq Crosa - Vivero	Asunción	5,3	5,92	-10,47%	Más Ácido
M71	Puerto Pabla 1	Lambaré	6,7	6,19	8,24%	Más Neutro
M73	Puerto Pabla 3	Lambaré	6,7	7,31	-8,34%	Más Ácido
M74	Puerto Pabla 4	Lambaré	7,2	7,22	-0,28%	Más Neutro
M75	Puerto Pabla 5	Lambaré	7,4	6,07	21,91%	Más Básico
M76	Puerto Pabla 6	Lambaré	6,7	7,98	-16,04%	Más Ácido
M77	Puerto Pabla 7	Lambaré	5,3	6,67	-20,54%	Más Ácido
M79	Cantera-Nemby 1	Nemby	7,2	6,11	17,84%	Más Básico
M80	Cantera-Nemby 2	Nemby	6,3	6,88	-8,43%	Más Ácido
M85	Junta de Saneamiento Cerrito P4	Nemby	6,0	5,87	2,21%	Más Neutro
M88	Junta de Saneamiento Cerrito P1	San Antonio	6,2	6,25	-0,80%	Más Ácido
M100	Residencia Martín	Asunción	5,4	4,95	9,09%	Más Neutro

Fuente: elaboración propia

El siguiente valor a analizar como varió en el tiempo fue el pH, que es un indicador del tiempo que se encuentra el agua en el sub-suelo, ya que al caer en forma de precipitaciones tiene un carácter ligeramente ácido, y al ir entrando hacia las profundidades se va mineralizando, elevando su pH naturalmente a medida que intercambia sales con el suelo.

Esta acidez puede causar cierto malestar estomacal y problemas odontológicos si se pasan los límites admitidos por la ley. Sin embargo, hay que hacer notar que este valor se mantiene bajo (ácido) debido a la alta rotación de las aguas causado por el alto nivel de explotación. También es

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

preciso acotar, que a menor profundidad es también menor el tiempo que el agua tiene para mineralizarse, por lo que en los pozos de boca ancha el ph no podrá elevarse conservándose ácida en la mayoría de los casos.

En el siguiente gráfico se puede observar la ubicación de cada uno de estos pozos, clasificados por colores según la tendencia de sus aguas de volverse “Más Ácida” (color naranja), “Más Neutra” (color celeste) o “Más Básica” (color verde).

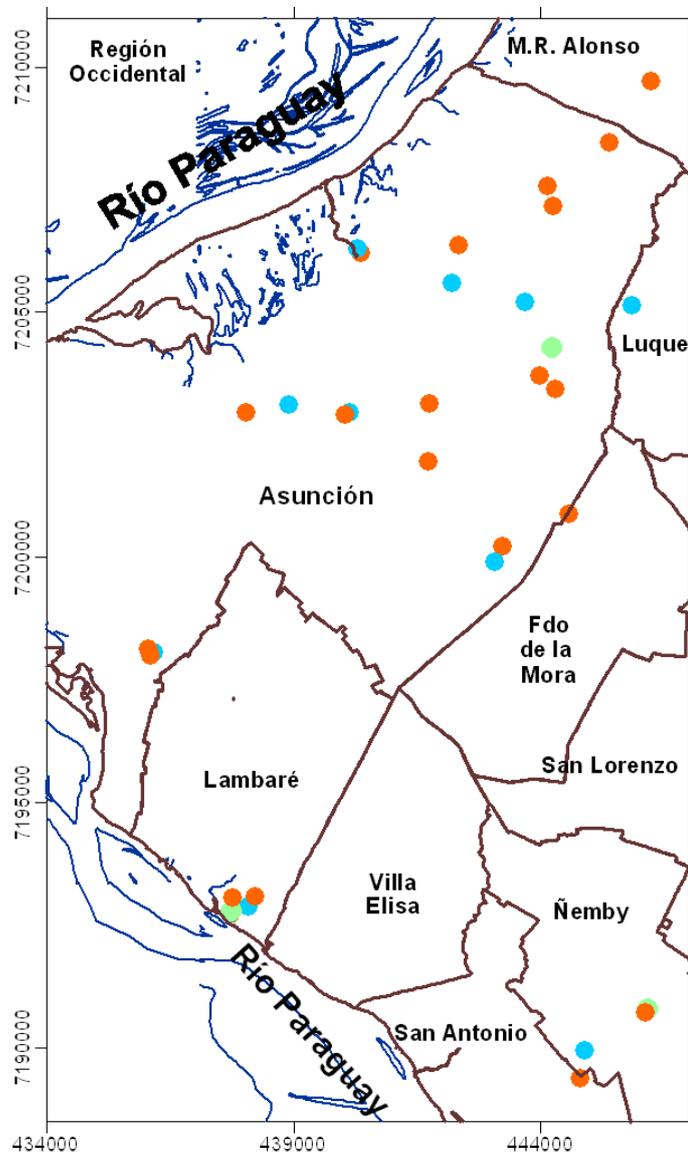


Figura 4.22 – Distribución de la variación de pH 1995/2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Dentro de la misma temática para analizar los datos longitudinalmente, en la tabla se puede observar el resultado del análisis de este parámetro.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	pH > 7 Básico	pH < 7 Acido	% de Aguas Básicas	% de Aguas Acidas
ph 1995	35	6	29	17,14%	82,86%
ph 2009	35	4	31	11,43%	88,57%

Teniendo en cuenta la evolución de los 35 pozos que pueden ser contrastados por los valores actuales, de un 82,86% de las muestras con pH menor a 7, actualmente tenemos un 88,57% de las muestras, por lo que la rotación de las aguas va en aumento, debido a la explotación alta del recurso.

Haciendo un análisis de los porcentajes variación de los valores y sus tendencias, obtuvimos los siguientes resultados:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	Más Acido	Más Neutro	Más Básico
ph	35	21	11	3
%	35	60,00%	31,43%	8,57%

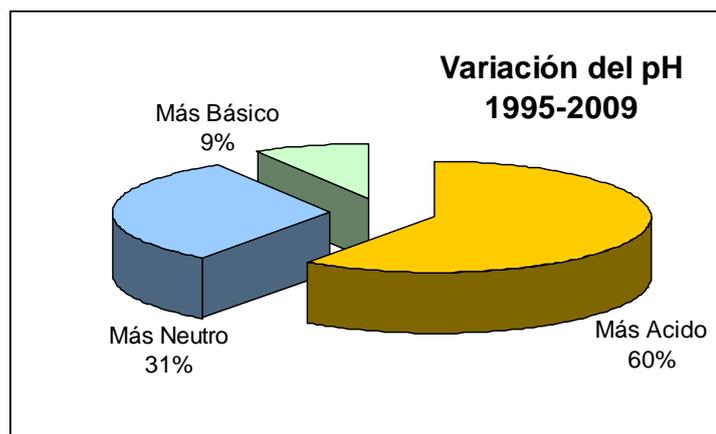


Figura 4.23 – Variación de ph 1995/2009

La tabla nos brinda el dato de la tendencia del parámetro, y junto con el gráfico nos muestran que el 60% de las muestras se volvieron más ácidas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Este dato, no hace más que brindar aún más argumentos a la teoría de la alta explotación de las aguas del acuífero.

Haciendo otro tipo de análisis, podemos analizar también la cantidad de muestras que están contenidas dentro de los Límites de Calidad de Agua Potable según la Ley 1614/2000.

Para dicha Ley, el valor del pH para pozos artesianos debe estar comprendido entre 6,5 y 8,5.

Como se puede observar en la siguiente tabla, la mayoría de las muestras tienen valor de pH por debajo de los límites admitidos.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	ph < 6,5	6,5 < ph < 8,5	ph > 8,5	Dentro del rango	Fuera del rango
ph 1995	35	19	15	1	42,86%	57,14%
ph 2009	35	21	14	0	40,00%	60,00%

Hablando en términos porcentuales, con la gráfica siguiente podemos darnos cuenta que del año 1995 al 2009 no varió mucho el porcentaje de muestras fuera de los límites admisibles, sin embargo se sigue manteniendo alrededor del 60%. En otras palabras, el 60% de los pozos muestreados por este trabajo pertenecientes al trabajo de Ríos Otero, Martínez y Centurión, no son aptos para el consumo por ser muy ácidas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

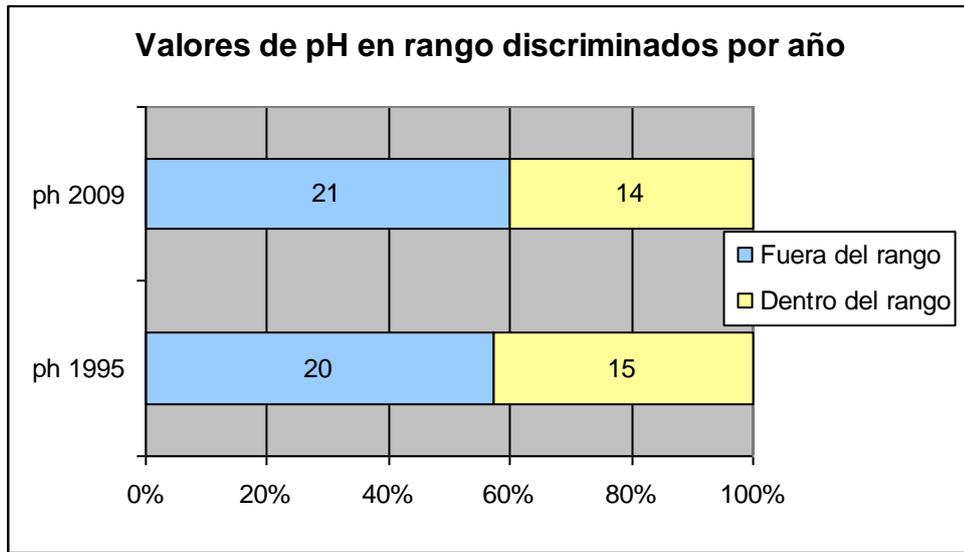


Figura 4.24 – Valores de pH en rango 1995/2009

Este mismo análisis se realizará para otros parámetros como Cloruros, Sulfatos y Nitratos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Cloruros

Tabla 4.8 – Cloruros 1995/2009

Nº Muestra	Local	Municipio	Cloruros (mg/l)			
			2009	1995	Variación	Conclusión
M10	Hotel del Paraguay	Asunción	52,5	33	59,09%	Aumentó
M12	Ex residencia Baumann	Asunción	25	11,3	121,24%	Aumentó
M13	Club Centenario 1	Asunción	31,7	8,9	256,18%	Aumentó
M14	Club Centenario 2	Asunción	8,3	8,9	-6,74%	Disminuyó
M15	Asunción Tenis Club	Asunción	35	19,2	82,29%	Aumentó
M29	Frigorífico Mutti	Asunción	37,5	11,34	230,69%	Aumentó
M30	Paraguay Lawn Tenis Club	Asunción	95,5	48,2	98,13%	Aumentó
M31	Frigobeef 1	Asunción	26,9	5,1	427,45%	Aumentó
M32	Frigobeef 2	Asunción	250	5,1	4801,96%	Aumentó
M39	Petrobrás-Transchaco	Asunción	528,3	211,3	150,02%	Aumentó
M42	Heladería Vía Apia	Asunción	14	9,9	41,41%	Aumentó
M44	Mayor José C. Lamas 1178	Asunción	1,5	3,6	-58,33%	Disminuyó
M45	Record Electric	Asunción	19,5	6,3	209,52%	Aumentó
M46	Taller	Asunción	0,9	2,7	-66,67%	Disminuyó
M47	Ykuá Satí 1	Asunción	40,5	1,8	2150,00%	Aumentó
M49	Parque Ñu Guazú	Luque	15,9	15,9	0,00%	Disminuyó
M50	Ex-Laboratorio	Asunción	45,5	8,8	417,05%	Aumentó
M51	Pizarro e/ San Fernando y Mons Rodriguez	Asunción	35	34,4	1,74%	Aumentó
M52	Pizarro y Mons Rodriguez	Asunción	32,5	26,9	20,82%	Aumentó
M53	Pizarro y San Fernando	Asunción	11	47,5	-76,84%	Disminuyó
M65	Ex-Concretmix	Asunción	14	3,6	288,89%	Aumentó
M68	Las Mercedes-Fliá Balbuena	Asunción	50	67,7	-26,14%	Disminuyó
M69	Petrobrás-Expo	M.R. Alonso	7,5	6,4	17,19%	Aumentó
M70	Arq Crosa - Vivero	Asunción	26,5	23	15,22%	Aumentó
M71	Puerto Pabla 1	Lambaré	65	40	62,50%	Aumentó
M73	Puerto Pabla 3	Lambaré	65	109	-40,37%	Disminuyó
M74	Puerto Pabla 4	Lambaré	65	149,24	-56,45%	Disminuyó
M75	Puerto Pabla 5	Lambaré	35	12,05	190,46%	Aumentó
M76	Puerto Pabla 6	Lambaré	3	30,13	-90,04%	Disminuyó
M77	Puerto Pabla 7	Lambaré	17,5	69,68	-74,89%	Disminuyó
M79	Cantera-Nemby 1	Nemby	40	23,4	70,94%	Aumentó
M80	Cantera-Nemby 2	Nemby	30	35,5	-15,49%	Disminuyó
M85	Junta de Saneamiento Cerrito P4	Nemby	4	1,77	125,99%	Aumentó
M88	Junta de Saneamiento Cerrito P1	San Antonio	6	32	-81,25%	Disminuyó
M100	Residencia Martín	Asunción	24,5	110	-77,73%	Disminuyó

Fuente: elaboración propia

Al comparar los valores de 1995 con los obtenidos en 2009, los porcentajes de aumento del nivel de cloruros son importantes.

Parámetros estudiados	Nº de muestras	Aumentó en:	Disminuyó en:	% de Aumento	% de Disminución
Cloruros	35	22	13	62,86%	37,14%

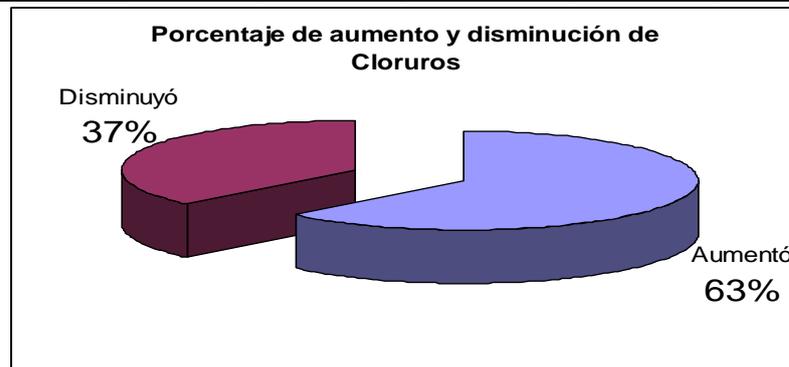


Figura 4.25 – Variación de cloruros 1995/2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

De 35 muestras, en 22 de ellas el nivel de cloruros ha aumentado, representando un 63% del total.

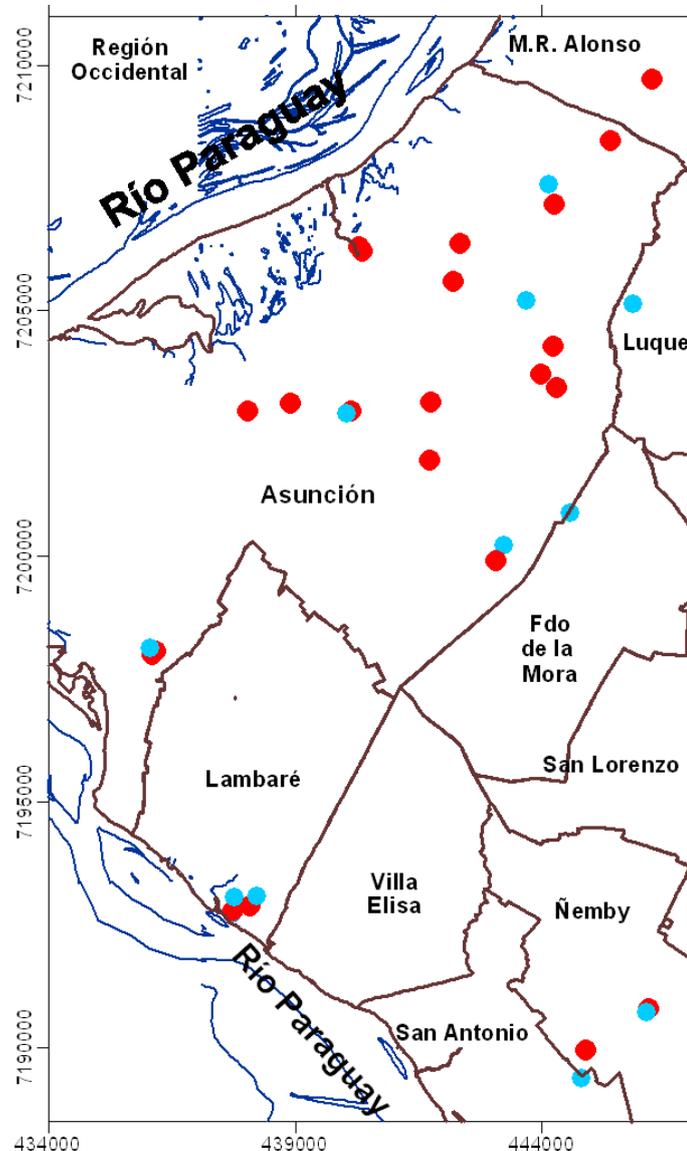


Figura 4.26 – Distribución de la variación de cloruros 1995/2009

En el gráfico se puede observar de color rojo, la ubicación de los pozos que han experimentado aumentos en sus valores de cloruros, mientras que figuran de celeste los que sufrieron disminuciones.

El valor admisible por las normas nacionales para este parámetro es de 250 mg/l. Teniendo en cuenta este límite, comparamos la cantidad de muestras

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

dentro y fuera de este rango para los dos trabajos que se pretenden contrastar, obteniendo estos resultados.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	CI ≤ 250	CI > 250	Dentro del rango	Fuera del rango
Cloruros 1995	35	35	0	100,00%	0,00%
Cloruros 2009	35	34	1	97,14%	2,86%

Aunque el 63% de las muestras experimentaron aumentos, los valores permanecen en forma general por debajo de los límites admisibles de calidad.

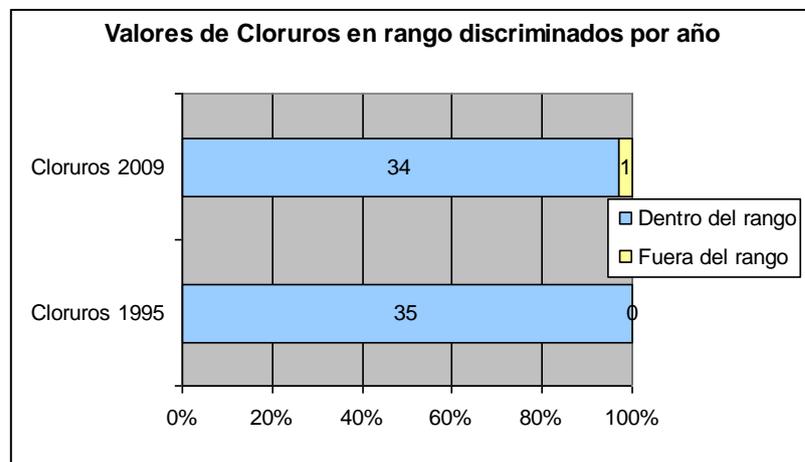


Figura 4.27 – Valores de cloruro en rango 1995/2009

A continuación se presenta la ubicación geográfica de cada muestra obtenida, clasificada por rangos, de acuerdo a la importancia de los valores obtenidos y su límite admisible de acuerdo a las normas paraguayas. De esta manera se puede tener una idea clara, de la ubicación de las muestras ya que la información está georreferenciada.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

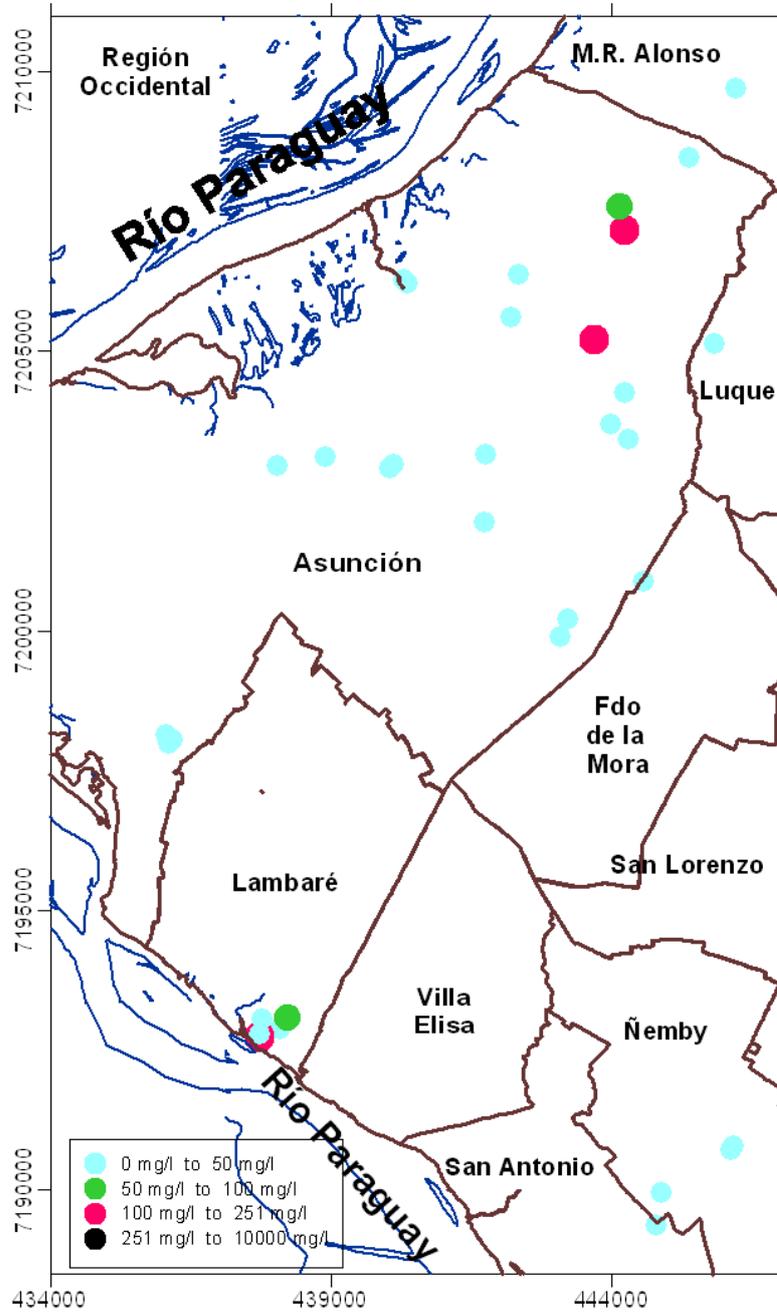


Figura 4.28 – Clasificación de cloruros por rango 1995

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

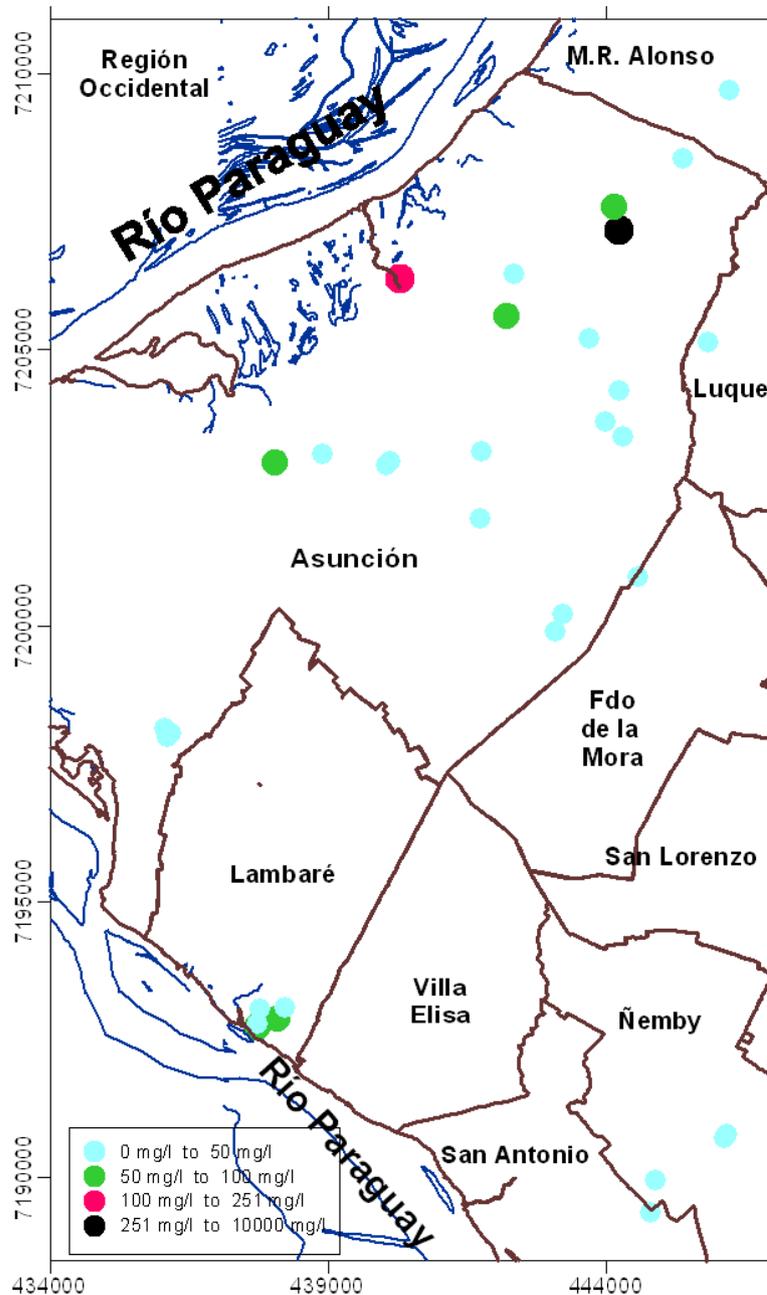


Figura 4.29 – Clasificación de cloruros por rango 2009

En el año 1995, se puede ver que tres muestras se encontraban por encima de 100 mg/l, considerándose un valor riesgoso. Sin embargo en la actualidad, un valor se encuentra en la zona de riesgo y un valor ya se coloca por encima de 250 mg/l, superando los límites admitidos para la calidad del agua para consumo humano.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sulfatos

Tabla 4.9 – Sulfatos 1995/2009

Nº Muestra	Local	Municipio	Sulfatos (mg/l)			
			2009	1995	Variación	Conclusión
M10	Hotel del Paraguay	Asunción	20,78	12,5	66,24%	Aumentó
M12	Ex residencia Baumann	Asunción	19,88	15,1	31,66%	Aumentó
M13	Club Centenario 1	Asunción	26,61	8,7	205,86%	Aumentó
M14	Club Centenario 2	Asunción	14,99	8,7	72,30%	Aumentó
M15	Asunción Tenis Club	Asunción	21,5	21,8	-1,38%	Disminuyó
M29	Frigorífico Mutti	Asunción	9,97	8,11	22,93%	Aumentó
M30	Paraguay Lawn Tenis Club	Asunción	16,24	75,6	-78,52%	Disminuyó
M31	Frigobeef 1	Asunción	11,45	7,55	51,66%	Aumentó
M32	Frigobeef 2	Asunción	21,34	7,55	182,65%	Aumentó
M39	Petrobrás-Transchaco	Asunción	34,13	47,3	-27,84%	Disminuyó
M42	Heladería Via Apía	Asunción	9,05	8,53	6,10%	Aumentó
M44	Mayor José C. Lamas 1178	Asunción	31,48	2,8	1024,29%	Aumentó
M45	Record Electric	Asunción	16,4	2,5	556,00%	Aumentó
M46	Taller	Asunción	14,29	1,5	852,67%	Aumentó
M47	Ykuá Satí 1	Asunción	2,46	11,9	-79,33%	Disminuyó
M49	Parque Ñu Guazú	Luque	54,15	14	286,79%	Aumentó
M50	Ex-Laboratorio	Asunción	81,48	24,2	236,69%	Aumentó
M51	Pizarro e/ San Fernando y Mons Rodriguez	Asunción	86,42	23,1	274,11%	Aumentó
M52	Pizarro y Mons Rodriguez	Asunción	53,16	8	564,50%	Aumentó
M53	Pizarro y San Fernando	Asunción	25,16	23,6	6,61%	Aumentó
M65	Ex-Concretmix	Asunción	50,13	2,6	1828,08%	Aumentó
M68	Las Mercedes-Flia Balbuena	Asunción	42,3	34,9	21,20%	Aumentó
M69	Petrobrás-Expo	M.R. Alonso	0,8	4,5	-82,22%	Disminuyó
M70	Arq Crosa - Vivero	Asunción	27,08	17,1	58,36%	Aumentó
M71	Puerto Pabla 1	Lambaré	51,75	12,77	305,25%	Aumentó
M73	Puerto Pabla 3	Lambaré	53,31	22,28	139,27%	Aumentó
M74	Puerto Pabla 4	Lambaré	70,05	30,28	131,34%	Aumentó
M75	Puerto Pabla 5	Lambaré	60	17,24	248,03%	Aumentó
M76	Puerto Pabla 6	Lambaré	39,15	14,23	175,12%	Aumentó
M77	Puerto Pabla 7	Lambaré	23,8	34,69	-31,39%	Disminuyó
M79	Cantera-Nemby 1	Nemby	46,34	9,32	397,21%	Aumentó
M80	Cantera-Nemby 2	Nemby	0	11,64	-100,00%	Disminuyó
M85	Junta de Saneamiento Cerrito P4	Nemby	9,59	2,3	316,96%	Aumentó
M88	Junta de Saneamiento Cerrito P1	San Antonio	10,91	22,94	-52,44%	Disminuyó
M100	Residencia Martín	Asunción	27,22	15,67	73,71%	Aumentó

Fuente: elaboración propia

Los sulfatos, así como los otros parámetros analizados, también experimentaron aumentos en gran porcentaje, aunque en este caso los valores permanecían muy por debajo de los límites en 1995, y lo siguen estando en el 2009.

Parámetros estudiados	Nº de muestras	Aumentó en:	Disminuyó en:	% de Aumento	% de Disminución
Sulfatos	35	27	8	77,14%	22,86%

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

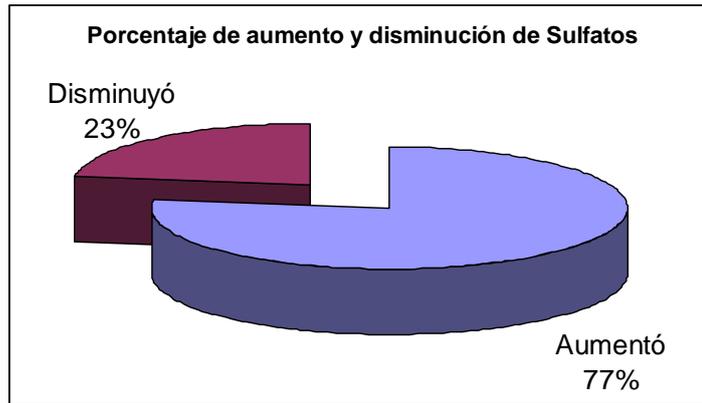


Figura 4.30 – Variación de sulfatos 1995/2009

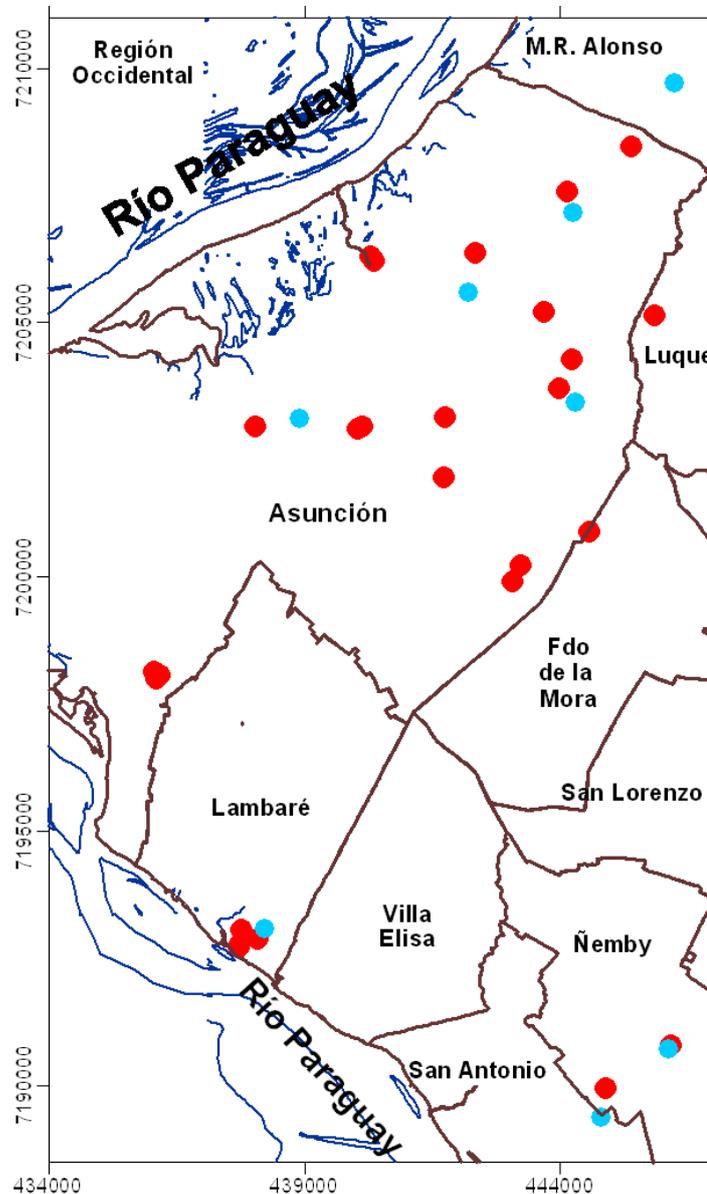


Figura 4.31 – Distribución de la variación de Sulfatos 1995/2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En el gráfico se puede observar de color rojo, la ubicación de los pozos que han experimentado aumentos en sus valores de sulfatos, mientras que figuran de celeste los que sufrieron disminuciones.

De las 35 muestras, ninguna pasa el límite de 400 mg/l establecido por la normativa paraguaya, siendo el máximo valor encontrado para estos pozos en el año 2009 el de 86,42 mg/l, permaneciendo muy por debajo de 400, por lo que no existe riesgo de salinización por sulfatos en esta zona.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	SO ₄ ≤ 400	SO ₄ > 400	Dentro del rango	Fuera del rango
Sulfatos 1995	35	35	0	100,00%	0,00%
Sulfatos 2009	35	35	0	100,00%	0,00%

El máximo valor encontrado en el año 1995, dentro del trabajo de Ríos Otero, Martínez y Centurión fue el 75,6 mg/l para los mismos pozos. Todos los valores encontrados permanecen dentro de lo admisible para el consumo.

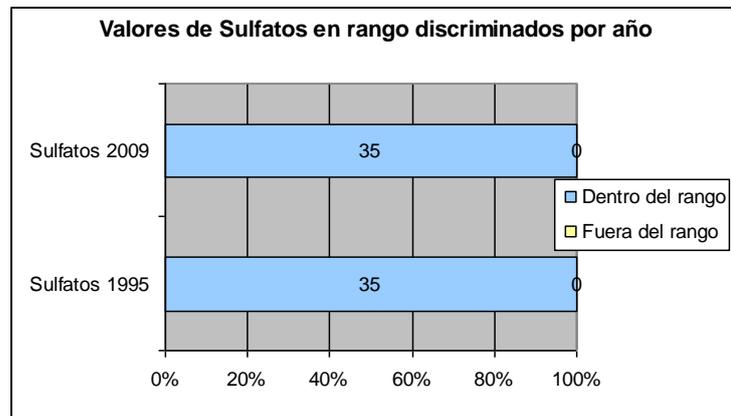


Figura 4.32 – Valores de sulfato en rango 1995/2009

Ubicando estos valores sobre un mapa general y clasificándolos por rangos de niveles de riesgo, se puede tener otra apreciación de los resultados.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

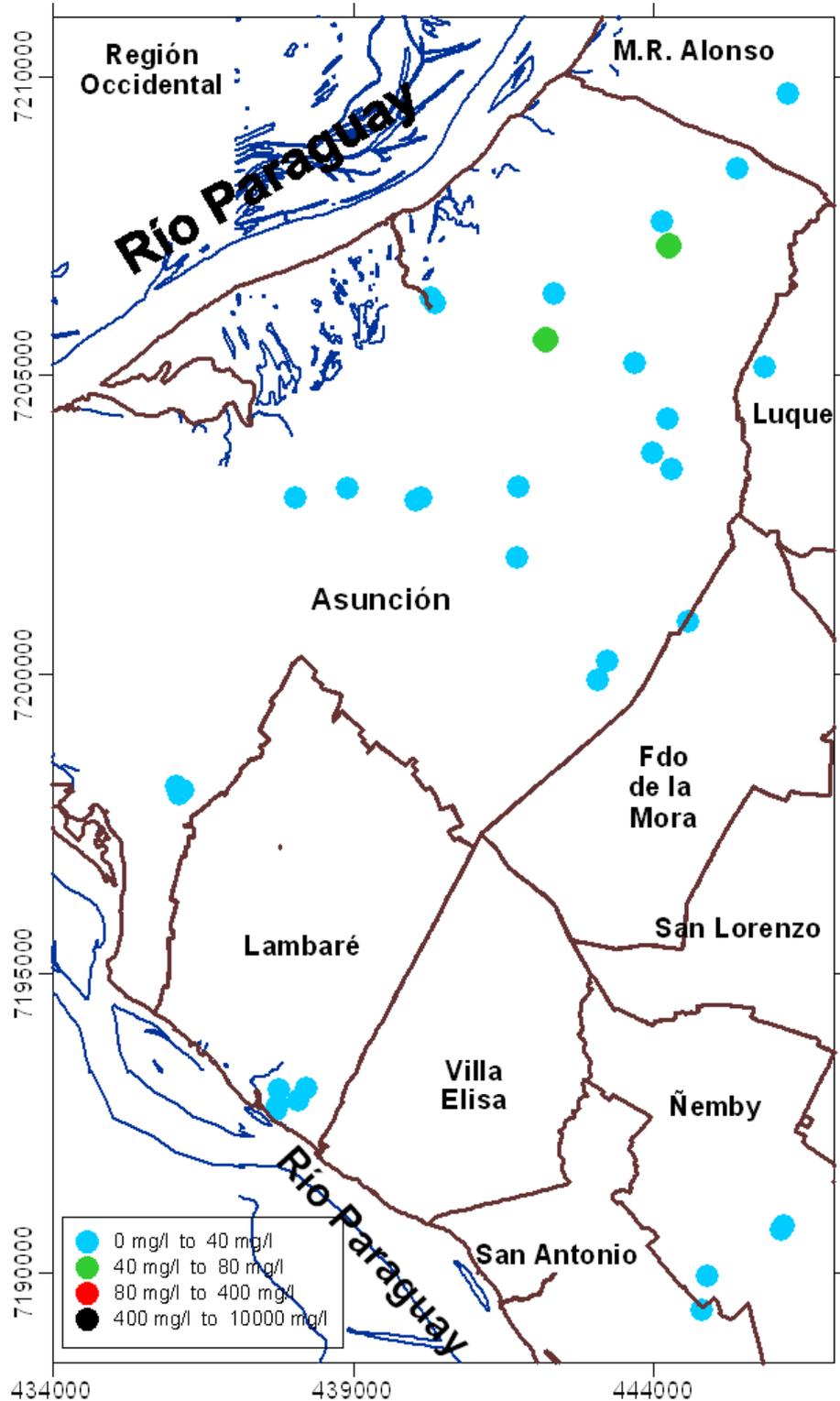


Figura 4.33 – Clasificación de sulfatos por rango 1995

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

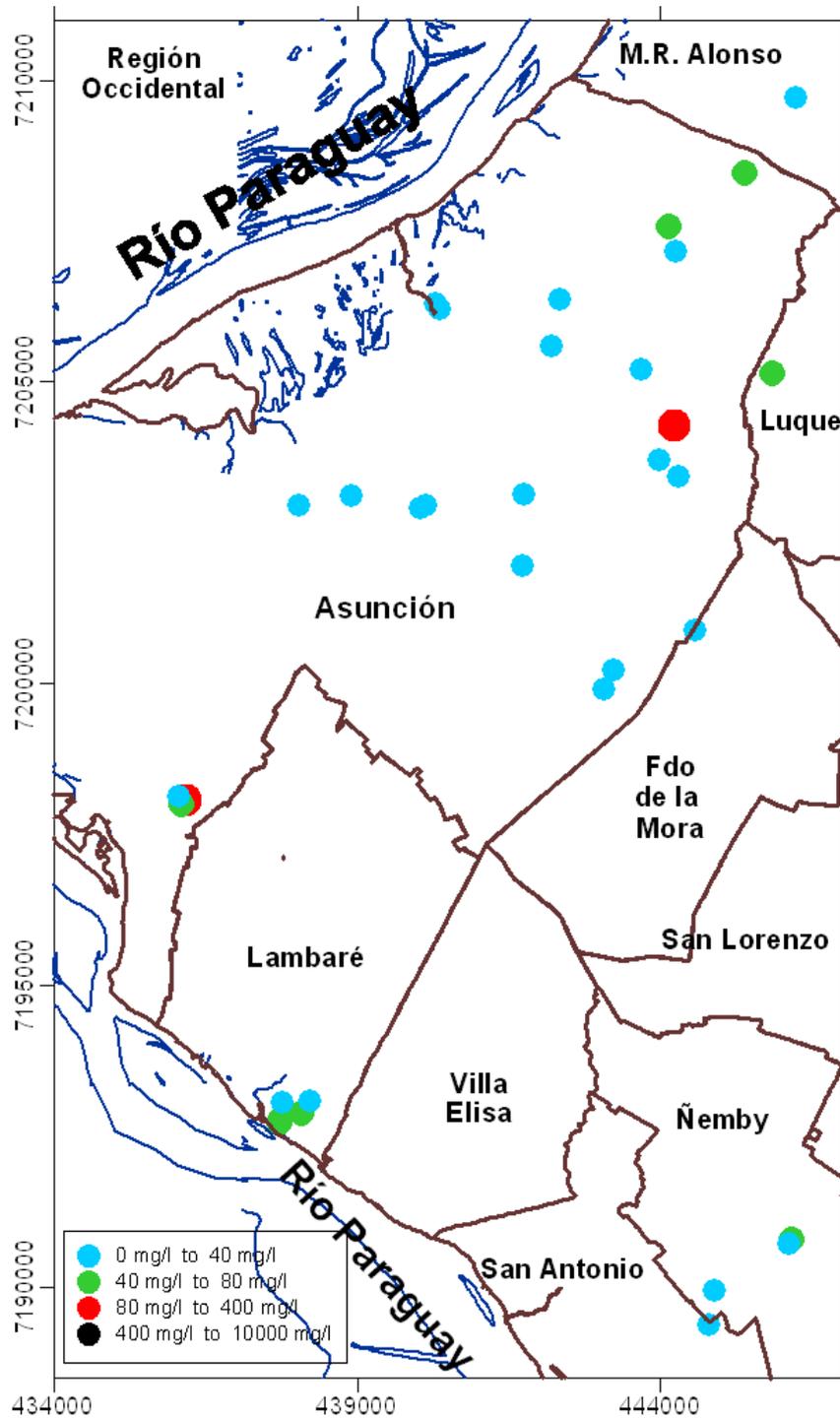


Figura 4.34 – Clasificación de sulfatos por rango 2009

En el año 1995 no existían muestras con valores considerados riesgosos, sin embargo en el año 2009 ya se registran 2 valores llamativos, y se puede apreciar la tendencia al aumento.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Nitratos

Tabla 4.10 – Nitratos 1995/2009

Nº Muestra	Local	Municipio	Nitratos (mg/l)			
			2009	1995	Variación	Conclusión
M10	Hotel del Paraguay	Asunción	13,2	121,7	-89,15%	Disminuyó
M12	Ex residencia Baumann	Asunción	28,8	7	311,43%	Aumentó
M13	Club Centenario 1	Asunción	26,6	16	66,25%	Aumentó
M14	Club Centenario 2	Asunción	15,5	16	-3,13%	Disminuyó
M15	Asunción Tennis Club	Asunción	21,7	34,5	-37,10%	Disminuyó
M29	Frigorífico Mutti	Asunción	16,3	1,99	719,10%	Aumentó
M30	Paraguay Lawn Tennis Club	Asunción	16,8	11,2	50,00%	Aumentó
M31	Frigobeef 1	Asunción	14,1	81,4	-82,68%	Disminuyó
M32	Frigobeef 2	Asunción	14,6	81,4	-82,06%	Disminuyó
M39	Petrobrás-Transchaco	Asunción	17,7	38,1	-53,54%	Disminuyó
M42	Heladería Via Apia	Asunción	18,6	3,45	439,13%	Aumentó
M44	Mayor José C. Lamas 1178	Asunción	17,7	5,2	240,38%	Aumentó
M45	Record Electric	Asunción	13,2	11,2	17,86%	Aumentó
M46	Taller	Asunción	11,9	7,7	54,55%	Aumentó
M47	Ykuá Sati 1	Asunción	15,1	2	655,00%	Aumentó
M49	Parque Nu Guazú	Luque	8,9	3,6	147,22%	Aumentó
M50	Ex-Laboratorio	Asunción	15,1	1,1	1272,73%	Aumentó
M51	Pizarro e/ San Fernando y Mons Rodriguez	Asunción	18,36	60,4	-69,60%	Disminuyó
M52	Pizarro y Mons Rodriguez	Asunción	9,36	1,9	392,63%	Aumentó
M53	Pizarro y San Fernando	Asunción	12,32	28,7	-57,07%	Disminuyó
M65	Ex-Concretmix	Asunción	74,8	3,2	2237,50%	Aumentó
M68	Las Mercedes-Fliá Balbuena	Asunción	9,7	3	223,33%	Aumentó
M69	Petrobrás-Expo	M.R. Alonso	163	2,6	6169,23%	Aumentó
M70	Arq Crosa - Vivero	Asunción	113,6	27,26	316,73%	Aumentó
M71	Puerto Pabla 1	Lambaré	113,6	100,6	12,92%	Aumentó
M73	Puerto Pabla 3	Lambaré	8	142,6	-94,39%	Disminuyó
M74	Puerto Pabla 4	Lambaré	234,2	141,8	65,16%	Aumentó
M75	Puerto Pabla 5	Lambaré	143,9	121,3	18,63%	Aumentó
M76	Puerto Pabla 6	Lambaré	167,2	1,89	8746,56%	Aumentó
M77	Puerto Pabla 7	Lambaré	64,2	2,18	2844,95%	Aumentó
M79	Cantera-Nemby 1	Nemby	47,6	3,95	1105,06%	Aumentó
M80	Cantera-Nemby 2	Nemby	31,6	27,52	14,83%	Aumentó
M85	Junta de Saneamiento Cerrito P4	Nemby	10,51	11,05	-4,89%	Disminuyó
M88	Junta de Saneamiento Cerrito P1	San Antonio	11,25	5,86	91,98%	Aumentó
M100	Residencia Martín	Asunción	22,55	4,38	414,84%	Aumentó

Fuente: elaboración propia

En lo referente a nitratos, los resultados más recientes también experimentaron un aumento en un porcentaje importante de las muestras.

Parámetros estudiados	Nº de muestras	Aumentó en:	Disminuyó en:	% de Aumento	% de Disminución
Nitratos	35	25	10	71,43%	28,57%

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

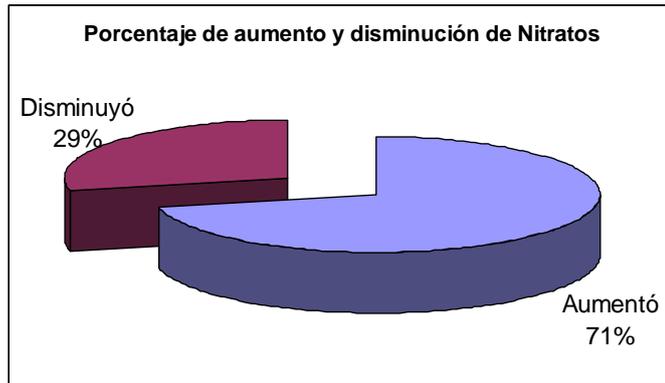


Figura 4.35 – Variación de nitratos 1995/2009

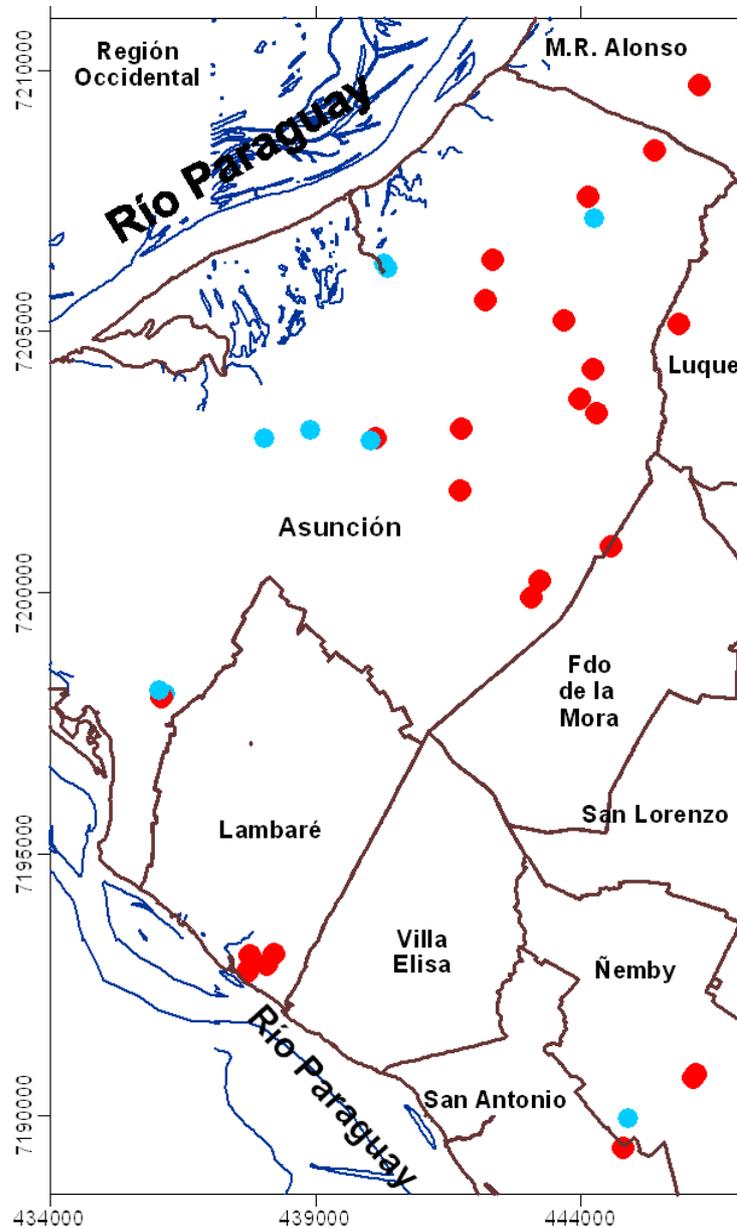


Figura 4.36 – Distribución de la variación de Nitratos 1995/2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En el gráfico se puede observar de color rojo, la ubicación de los pozos que han experimentado aumentos en sus valores de nitratos, mientras que figuran de celeste los que sufrieron disminuciones.

El límite admisible considerado es de 45 mg/l, el cual fue sobrepasado por 8 muestras en 1995, y por 9 en el 2009.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	NO ₃ ≤ 45	NO ₃ > 45	Dentro del rango	Fuera del rango
Nitratos 1995	35	27	8	77,14%	22,86%
Nitratos 2009	35	26	9	74,29%	25,71%

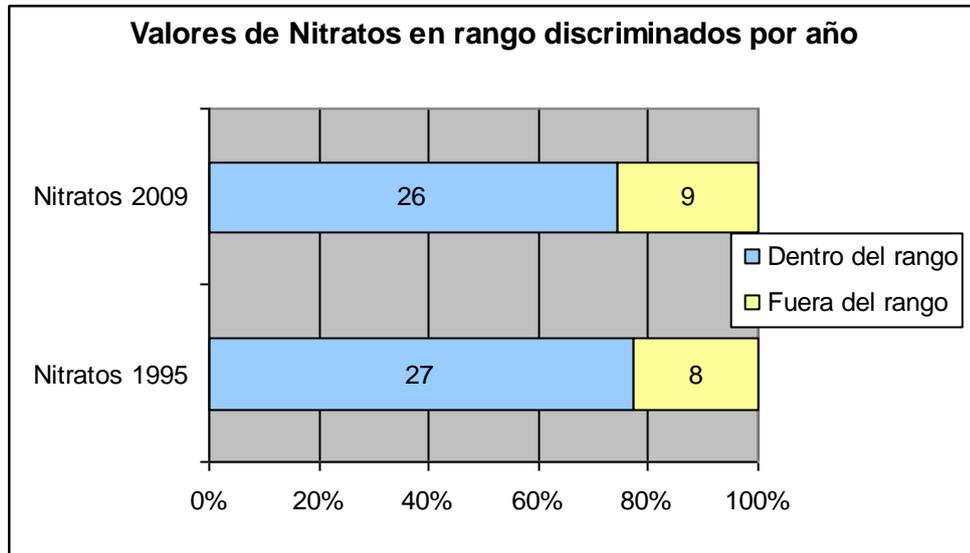


Figura 4.37 – Valores de nitratos en rango 1995/2009

Ubicando estos valores sobre un mapa general y clasificándolos por rangos de niveles de riesgo, se puede tener otra apreciación de los resultados.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

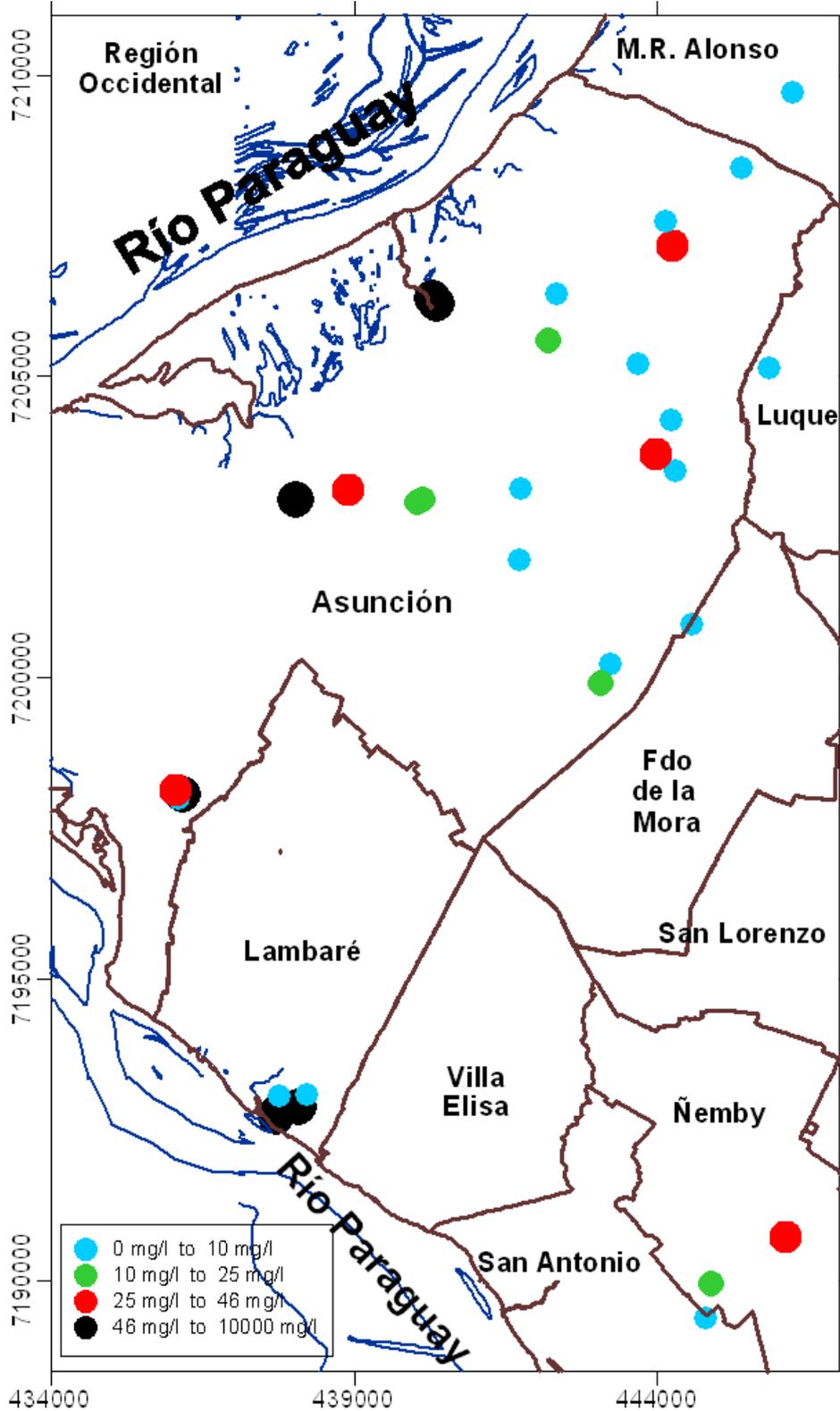


Figura 4.38 – Clasificación de nitratos por rango 1995

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

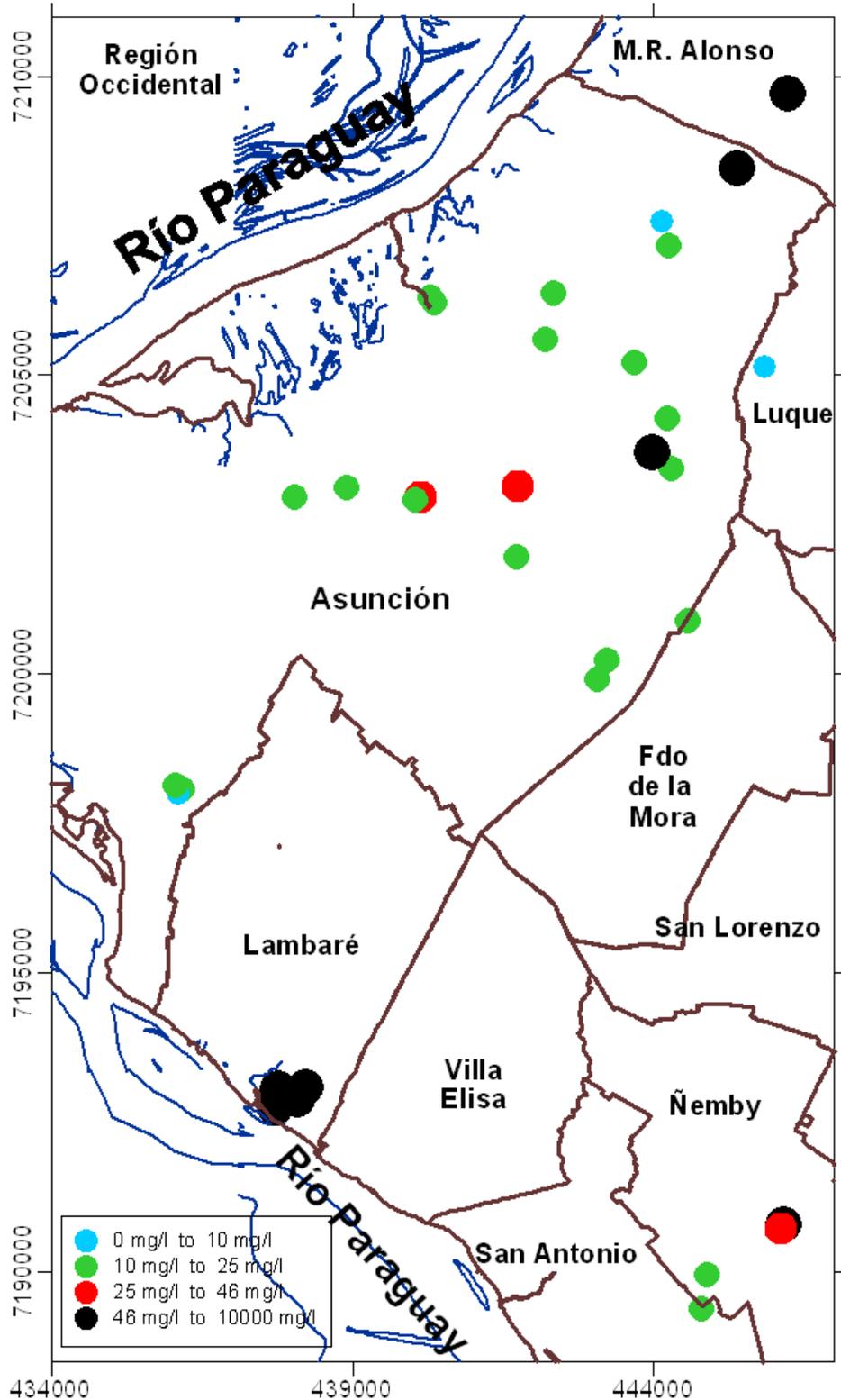


Figura 4.39 – Clasificación de nitratos por rango 2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En resumen, este parámetro, al igual que los demás tenidos en cuenta dentro del presente trabajo, mantiene su tendencia de aumento, y aunque la velocidad no es preocupante, sigue manteniendo un sentido que implicará más temprano que tarde la regulación para la conservación del recurso.

El máximo valor encontrado en el año 1995 fue de 142,6 mg/l, mientras que en el 2009 el máximo fue de 234,2 mg/l.

Esto, al igual que todas las tendencias, nos indica que ningún parámetro se detiene en su evolución hacia la contaminación, y que absolutamente todos están en peores condiciones que hace 16 años.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO – 2000

Tesis FIUNA Estudio de la Contaminación del Acuífero Patiño - 2006

El proyecto “Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA”, en su capítulo 2.9 “Calidad de las aguas del Acuífero Patiño” presenta un estudio regional de la calidad de las aguas subterráneas en el que se presentan los resultados del muestreo y análisis de laboratorio de las aguas subterráneas de toda la zona del acuífero. Este trabajo incluyó una lista de las fuentes muestreadas y la descripción de los datos analizados, además de la evaluación de potabilidad de las aguas y de las variaciones espaciales de los parámetros. También se sacaron muestras de aguas superficiales en la zona del acuífero, además de aguas subterráneas de la Región Occidental del país. Se analizaron en total 125 muestras de agua, que proporcionaron la base para conocer en gran medida la calidad de las aguas del Acuífero Patiño.

Este trabajo dividió la superficie del acuífero en tres zonas, de acuerdo a sus características topográficas.

Zona 1 (Sistema del Río Paraguay): que consiste de una faja de 5-10 km de ancho bordeando el Río Paraguay, incluyendo las zonas urbanas de Limpio, Mariano Alonso, Asunción, Lambaré, Fernando de la Mora, Villa Elisa, San Antonio y Ñemby. Su extensión es de 410 km² o sea 35% del área total.

Zona 2 (Sistema del Lago Ypacaraí/Río Salado): que consiste de la zona central y las zonas a lo largo del borde oriental, incluyéndose las urbanizaciones de Luque, San Lorenzo, Areguá, Capiatá, Itaguá, Ypacaraí y Pirayú. Su extensión es de 507 km² o sea 43% del área total.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Zona 3 (Sistema del Ao Caañabé): que consiste en la zona sur, donde se encuentran los centros de Guarambaré, Ita y Yaguarón. Tiene extensión de 256 km² o sea el 22% del área total.

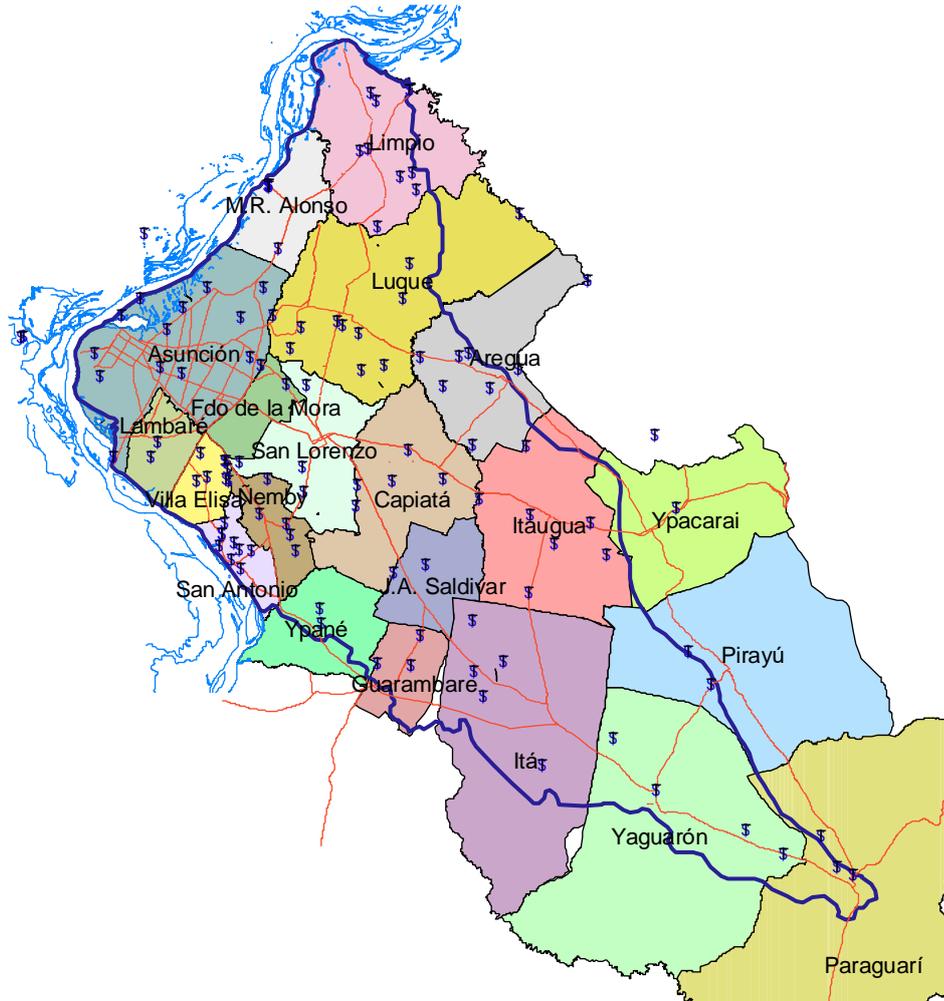


Figura 4.40 - Pozos muestreados TNO - 2000

En la imagen, se pueden observar los límites del acuífero, los distritos a los que involucra y las referencias a los 125 pozos muestreados dentro del marco del trabajo realizado por el Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO.

Cabe mencionar que estos límites, que fueron definidos y georreferenciados como parte de este trabajo, son los considerados en nuestro

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

trabajo como los límites del Acuífero Patiño, y utilizados tanto en la parte de muestreo de aguas, como para el capítulo de Encuestas para definir el alcance y la influencia del recurso sobre la población del país.

La zona 1 definida por este estudio, es la considera en nuestro Trabajo Final de Grado como la más vulnerable a la intrusión salina por influencia de las condiciones de la Región Occidental, y en la que se centraron nuestros esfuerzos por conocer en profundidad las características del agua subterránea.

El Trabajo Final de Grado presentado en la FIUNA en el año 2006, y denominado “Estudio de la Contaminación del Acuífero Patiño” consistió en el análisis de parámetros de la calidad del agua de 105 fuentes. Los lugares de los que se muestreó, fueron los mismos estudiados por El Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO en el año 2000, por lo que nos permitió hacer una comparación de la evolución de ciertos parámetros en este periodo de tiempo. Además, muchos de estos pozos, se encuentran en nuestra zona de estudio, por lo que en estos casos procedimos a estudiar el cambio en los tres periodos de tiempo correspondientes.

En la siguiente imagen se puede apreciar la distribución de los pozos estudiados dentro de este trabajo, de manera a tener una idea de la distribución de los mismos. Como se había mencionado, la base de datos utilizada fue la misma, por lo que los puntos de muestreo en su mayoría son los mismos que los realizados por el Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**



Figura 4.41 - Pozos muestreados TFG Cardozo-Crosa - 2006

De estos pozos, solamente 23 se encuentran en nuestra zona de estudio, por lo que esta parte se centra en la evolución de los valores de conductividad, ph y nitratos de los 23 pozos mencionados. Además de los parámetros bacteriológicos. Por último se analizarán los valores de sulfatos y de cloruros de estos pozos, pero solamente contrastando los resultados con el estudio del 2000, ya que en el 2006 no se analizaron estos parámetros.

Los valores de conductividad encontrados son los siguientes:

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tabla 4.11 Conductividad 2000/2006/2009

N° Muestra	Local	Municipio	Conductividad (uS/cm)				Conductividad (uS/cm)					
			2009	2006	2000		2000/2006	2006/2009	2000/2009			
M9	Emergencias Médicas	Asunción	613	711	448		58,71%	Aumentó	-13,78%	Disminuyó	36,83%	Aumentó
M34	Curtiembre Vernon 2	Asunción	363	221	239		-7,53%	Disminuyó	64,25%	Aumentó	51,88%	Aumentó
M41	Club River Plate	Asunción	299	294	329		-10,64%	Disminuyó	1,70%	Aumentó	-9,12%	Disminuyó
M49	Parque Nu Guazú	Luque	889	210	277		-24,19%	Disminuyó	323,33%	Aumentó	220,94%	Aumentó
M54	Plaza	Limpio	990	66,4	549		-87,91%	Disminuyó	1390,96%	Aumentó	80,33%	Aumentó
M55	Junta de Saneamiento-Limpio	Limpio	1339	33	287		-88,50%	Disminuyó	3957,58%	Aumentó	366,55%	Aumentó
M56	Salado-Limpio	Limpio	83,4	78,3	80		-2,13%	Disminuyó	6,51%	Aumentó	4,25%	Aumentó
M58	Junta de Saneamiento-Piquete Cué	Limpio	428	22,3	223		-90,00%	Disminuyó	1819,28%	Aumentó	91,93%	Aumentó
M62	Particular-Antonio Palacio	M.R. Alonso	408	66,2	558		-88,14%	Disminuyó	516,31%	Aumentó	-26,88%	Disminuyó
M63	Particular-Sra Juanita	M.R. Alonso	527	27,1	365		-92,58%	Disminuyó	1844,65%	Aumentó	44,38%	Aumentó
M82	Ypané P1	Ypané	108,6	95,6	113		-15,40%	Disminuyó	13,60%	Aumentó	-3,89%	Disminuyó
M83	Ypané P3	Ypané	78,9	84,4	86		-1,86%	Disminuyó	-6,52%	Disminuyó	-8,26%	Disminuyó
M87	Junta de Saneamiento Cerrito P2	San Antonio	101,8	104,2	116		-10,17%	Disminuyó	-2,30%	Disminuyó	-12,24%	Disminuyó
M89	ESSAP San Antonio	San Antonio	89,4	73,1	55		32,91%	Aumentó	22,30%	Aumentó	62,55%	Aumentó
M91	Edgar Ruiz Díaz	San Antonio	68,4	51,5	69		-25,36%	Disminuyó	32,82%	Aumentó	-0,87%	Disminuyó
M97	Estadio Defensores del Chaco	Asunción	197,6	140	186		-24,73%	Disminuyó	41,14%	Aumentó	6,24%	Aumentó
M98	Comando de Ingeniería	Asunción	96,8	40	102		-60,78%	Disminuyó	142,00%	Aumentó	-5,10%	Disminuyó
M99	Ing Chavez	Lambaré	456	304	245		24,08%	Aumentó	50,00%	Aumentó	86,12%	Aumentó
M102	Aguatería municipal-Villa Elisa	Villa Elisa	286	116	124		-6,45%	Disminuyó	146,55%	Aumentó	130,65%	Aumentó
M103	Club Sol de America	Villa Elisa	78,4	59	85		-30,59%	Disminuyó	32,88%	Aumentó	-7,76%	Disminuyó
M107	Junta de Saneamiento-Mbocayaty	Villa Elisa	97,8	85	87		-2,30%	Disminuyó	15,06%	Aumentó	12,41%	Aumentó
M108	Mario Agustín Vian	Villa Elisa	511	378	376		0,53%	Aumentó	35,19%	Aumentó	35,90%	Aumentó
M112	Junta de saneamiento	Nemby	62,3	47	65		-27,69%	Disminuyó	32,55%	Aumentó	-4,15%	Disminuyó

Fuente: elaboración propia

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En la tabla, se pueden observar los valores de conductividad eléctrica obtenidos por los dos estudios anteriores, además del obtenido en nuestro estudio, y las comparaciones porcentuales de disminución o aumento, de modo que se pueda apreciar fácilmente como varían en el tiempo.

Estas comparaciones se realizan inicialmente entre el valor obtenido en el Estudio realizado por el Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO (2000) y el Trabajo Final de Grado “Estudio de la Contaminación del Acuífero Patiño” (2006). Luego se comparan los valores del 2006 con los resultados de los análisis realizados en este Trabajo Final de Grado (2009), para terminar con una comparación entre los valores del 2000 y del 2009, de modo a obtener el avance desde el primer valor registrado y el más actual.

Para hacer más notoria la comparación, se presenta de color rojo las celdas cuyos resultados hayan experimentado aumentos en los valores, y de color celesta a los que hayan experimentado disminuciones.

En relación a estas variaciones, los resultados se exponen en la siguiente tabla.

Parámetros estudiados	Nº de muestras	Conductividad		% de Aumento	% de Disminución
		Aumentó en:	Disminuyó en:		
2000/2006	23	4	19	17,39%	82,61%
2006/2009	23	20	3	86,96%	13,04%
2000/2009	23	14	9	60,87%	39,13%

De 23 muestras contrastadas, podemos notar que del año 2000 al 2006, solamente en el 17,39% de las mismas se registraron aumentos en los valores de conductividad eléctrica. Sin embargo, del 2006 al 2009, se produjeron aumentos en 86,96% de los pozos, por lo que se presume que durante este

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

periodo de tiempo la intrusión salina fue más generalizada debido a los aumentos en la explotación del recurso. Pero si tomamos en cuenta las comparaciones entre los valores más antiguos (2000) y los más recientes (2009), podemos observar que en el 60,87% de las muestras se registraron aumentos en los valores.

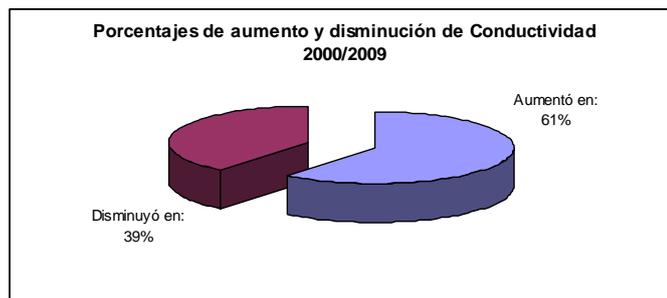


Figura 4.42 – Variación de conductividad 2000/2009

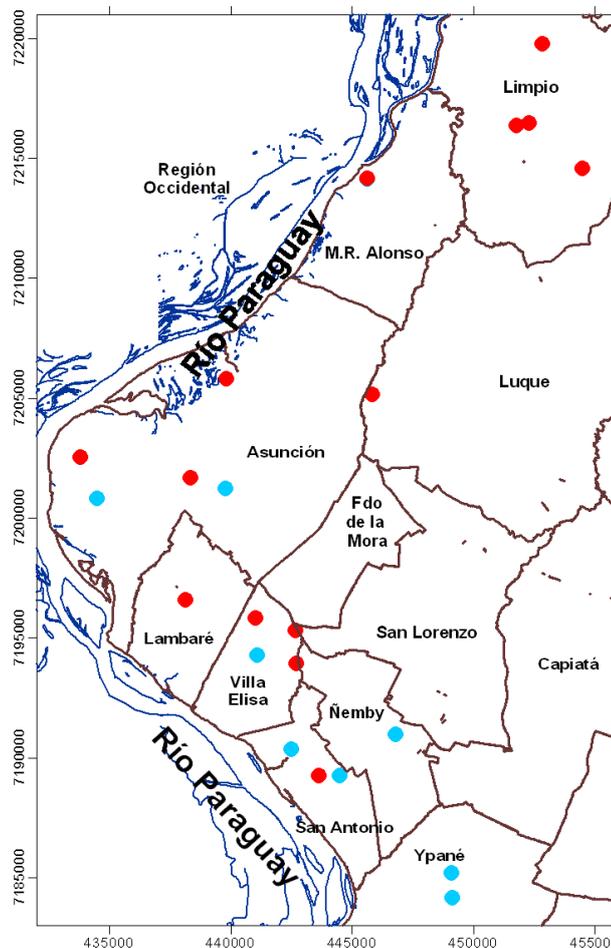


Figura 4.43 – Distribución de la variación de conductividad 2000/2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En el gráfico se puede observar de color rojo, la ubicación de los pozos que han experimentado aumentos en sus valores de conductividad entre los años 2000 y 2009, mientras que figuran de celeste los que sufrieron disminuciones en el mismo periodo de tiempo.

Es necesario hacer notar que en el primer periodo de tiempo se registraron muchas mas disminuciones que aumentos, hasta el punto que en el Trabajo Final de Grado “Estudio de la Contaminación del Acuífero Patiño” se concluía *“En lo que al proceso de salinización se refiere, comparativamente con los estudios realizados en el 2000 no ha existido un gran avance del proceso como se suponía, lo cual indica que sigue siendo un problema localizado en algunas zonas”*

Muy alejada de esta realidad, está lo ocurrido desde ese entonces hasta el 2009, en la que los valores subieron en casi la totalidad de las muestras. Teniendo en cuenta el mismo criterio, podemos decir que es obvio el avance de la salinidad en esta zona en este último periodo de tiempo, ya que de 23 pozos analizados, en 20 se registraron aumentos.

Sin embargo, el análisis no quedó ahí. También se compararon los valores del 2000 con los del 2009, resultando que en 14 pozos de 23, se obtuvieron aumentos. Esto no hace más que confirmar la tendencia, y darnos la pauta de que el riesgo de salinización sigue presente.

Haciendo otro tipo de análisis, también podemos comparar los valores de conductividad con el valor límite admitido por la reglamentación paraguaya para la calidad de las aguas. Este valor límite es 1.250 uS/cm, al comparar este valor con los obtenidos en cada estudio, obtuvimos los siguientes resultados:

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Parámetro estudiado	Nº de muestras	CE ≤ 1250	CE > 1250	Dentro del rango	Fuera del rango
Conduct 2000	23	23	0	100,00%	0,00%
Conduct 2006	23	23	0	100,00%	0,00%
Conduct 2009	23	22	1	95,65%	4,35%

Solamente un valor se posicionó por encima de los valores admisibles, aunque si tenemos en cuenta la misma normativa, esta recomienda que la conductividad se mantenga por debajo de 400 uS/cm.

Comparando con este valor obtenemos lo siguiente:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	CE ≤ 400	CE > 400	Dentro del rango	Fuera del rango
Conduct 2000	23	20	3	86,96%	13,04%
Conduct 2006	23	22	1	95,65%	4,35%
Conduct 2009	23	14	9	60,87%	39,13%

Esto nos vuelve a confirmar lo que pasaba en los anteriores análisis. Del 2000 al 2006 se mostraba una mejoría, ya que de 3 valores por encima de 400 uS/cm, solamente 1 en el 2006 se ubicaba por encima. Pero en los últimos 3 años 9 pozos pasaron a tener valores por encima del límite recomendado, por lo que se demuestra también con esto que la salinidad está aumentando en toda la zona de estudio.

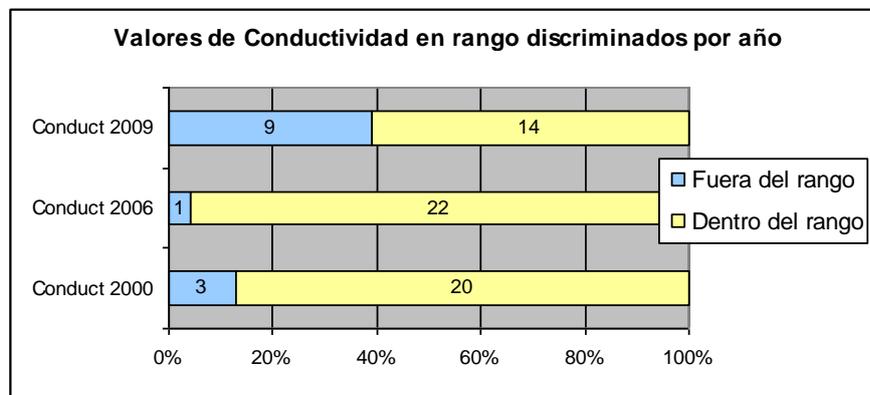


Figura 4.44 – Valores de conductividad en rango 200/2006/2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Este avance se puede apreciar fácilmente con las líneas de isoconductividad, por lo que elaboramos los mapas respectivos a los 3 periodos de tiempo, y los presentamos a continuación.

De esta manera se puede apreciar fácilmente como estaba la situación de la conductividad en los tres momentos estudiados, así como su evolución hasta el escenario actual.

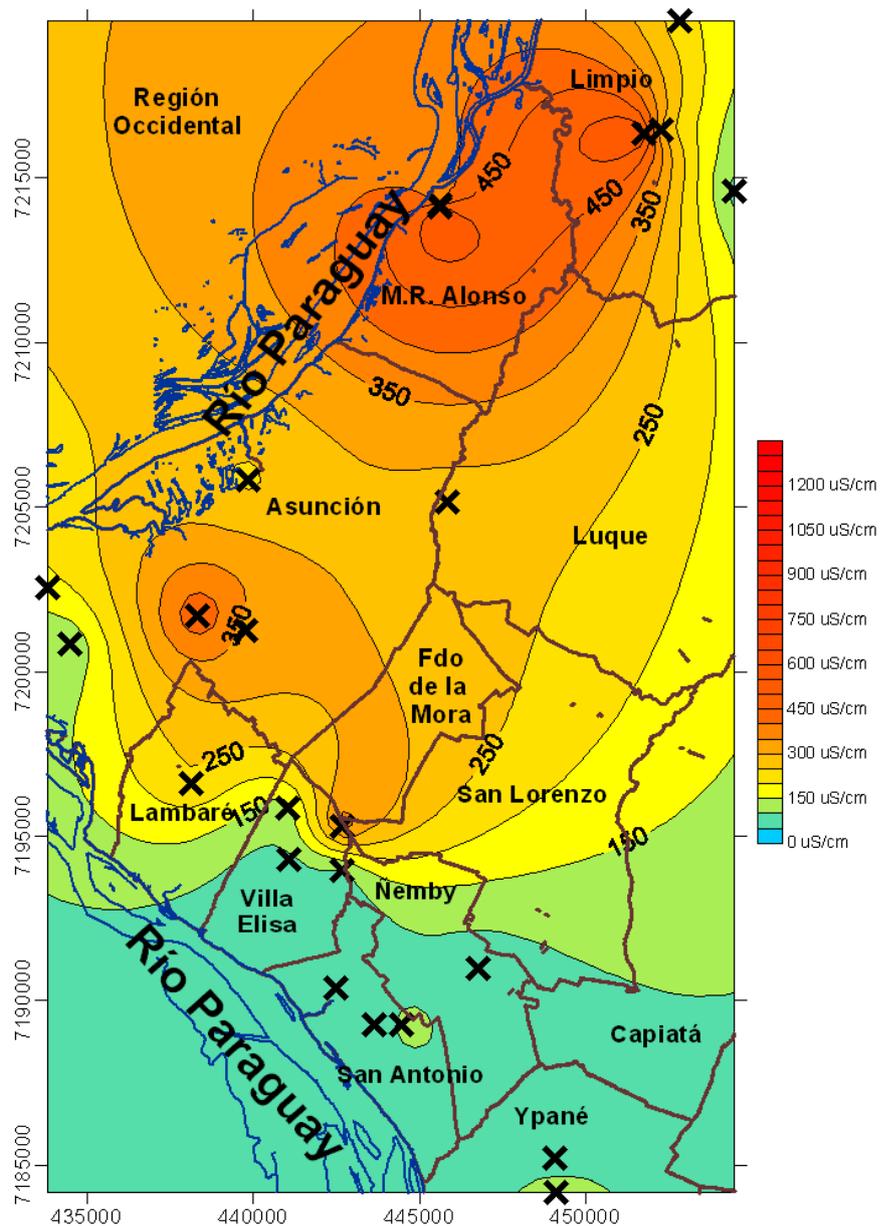


Figura 4.45 – Líneas de isoconductividad eléctrica - 2000

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En este gráfico del año 2000 se observa que los valores de conductividad no se encontraban muy elevados, pero sin embargo se podían observar valores llamativos en la zona norte del área de estudio (Limpio, Mariano Roque Alonso y Asunción).

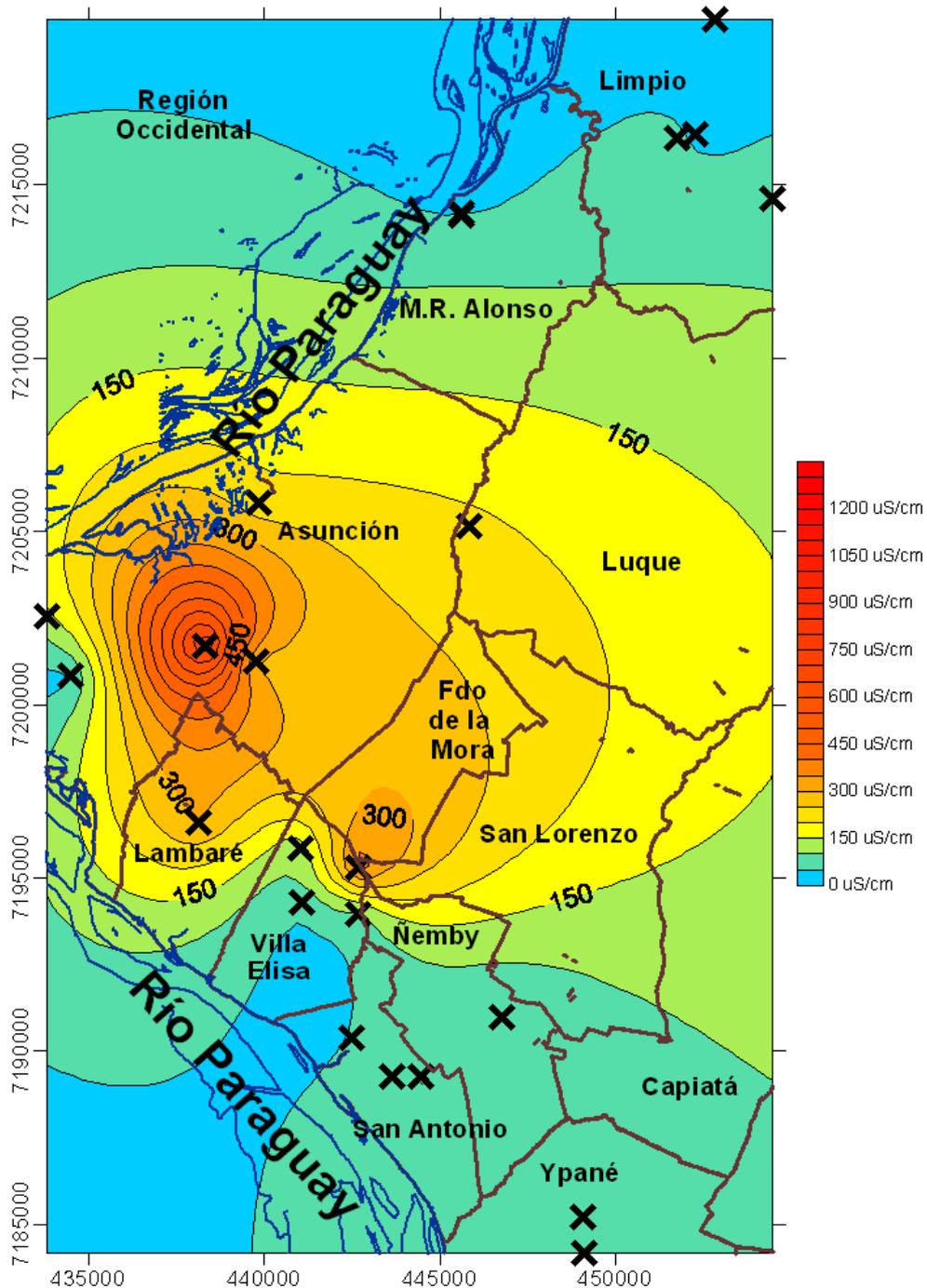


Figura 4.46 – Líneas de isoconductividad eléctrica - 2006

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En este gráfico del año 2006 se observa que los valores de conductividad no se encontraban muy elevados, es mas, disminuyeron con relación a los del año 2000 pero sin embargo se podían observar un valor llamativo en la zona norte del área de estudio (Asunción) que distorsiona los resultados en esa zona.

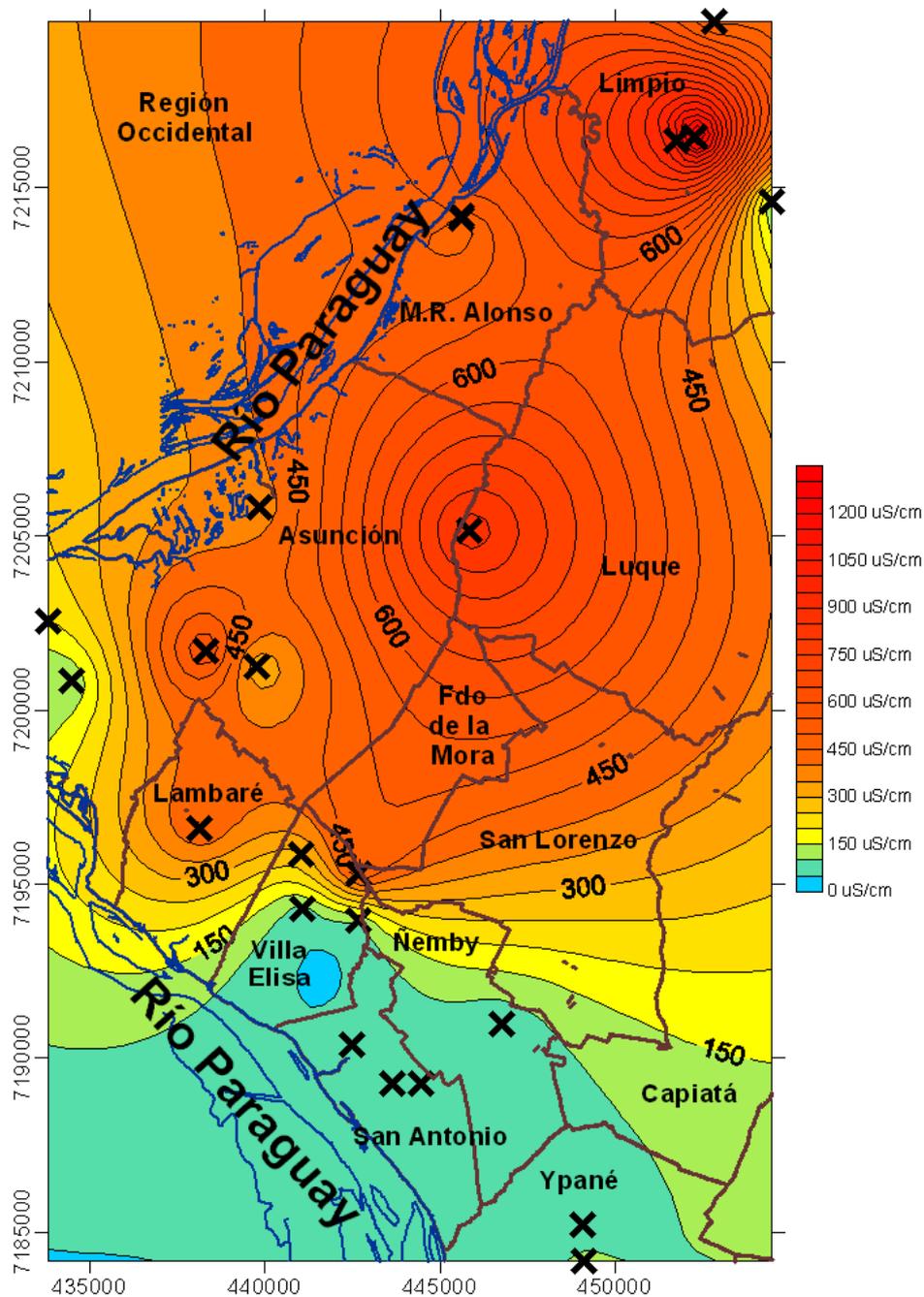


Figura 4.47 – Líneas de isoconductividad eléctrica - 2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Observando el gráfico del año 2009, podemos notar que los valores de conductividad se elevaron considerablemente, encontrándose los valores mayores nuevamente hacia la zona norte del área de estudio (Limpio, Mariano Roque Alonso y Asunción).

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

pH

Tabla 4.12 – pH 2000/2006/2009

N° Muestra	Local	Municipio	pH			pH			pH			
			2009	2006	2000	2000/2006	2006/2009	2000/2009	2000/2006	2006/2009	2000/2009	
M9	Emergencias Médicas	Asunción	6,5	6,7	6,0	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	11,67%	-2,99%	8,33%	Más Neutro
M34	Curtiembre Vernon 2	Asunción	6,7		5,9						13,56%	Más Neutro
M41	Club River Plate	Asunción	5,6		5,4						3,70%	Más Neutro
M49	Parque Nu Guazú	Luque	6,8	6,71	7,1	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	-5,49%	1,34%	-4,23%	Más Neutro
M54	Plaza	Limpio	6,8	6,5	6,1	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	6,56%	4,62%	11,48%	Más Neutro
M55	Junta de Saneamiento-Limpio	Limpio	6,7	6,1	5,9	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	3,39%	9,84%	13,56%	Más Neutro
M56	Salado-Limpio	Limpio	5,7	5,6	5,7	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	-1,75%	1,79%	0,00%	Más Neutro
M58	Junta de Saneamiento-Piquete Cué	Limpio	6,3	5,6	6,1	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	-8,20%	12,50%	3,28%	Más Neutro
M62	Particular-Antonio Palacio	M.R. Alonso	5,3	5,7	5,6	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	1,79%	-7,02%	-5,36%	Más Neutro
M63	Particular-Sra Juanita	M.R. Alonso	5,2	5,5	5,8	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	-5,17%	-5,45%	-10,34%	Más Neutro
M82	Ypané P1	Ypané	6,4	6,3	6,4	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	-1,56%	1,59%	0,00%	Más Neutro
M83	Ypané P3	Ypané	5,6	6,1	5,6	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	8,93%	-8,20%	0,00%	Más Neutro
M87	Junta de Saneamiento Cerrito P2	San Antonio	5,9	5,7	5,5	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	3,64%	3,51%	7,27%	Más Neutro
M89	ESSAP San Antonio	San Antonio	5,7	5,2	5,0	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	4,00%	9,62%	14,00%	Más Neutro
M91	Edgar Ruíz Díaz	San Antonio	5,2	5,2	5,7	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	-8,77%	0,00%	-8,77%	Más Neutro
M97	Estadio Defensores del Chaco	Asunción	6,6		5,8						13,79%	Más Neutro
M98	Comando de Ingeniería	Asunción	5,5		6,0						-8,33%	Más Neutro
M99	Ing Chavez	Lambaré	5,2		5,5						-5,45%	Más Neutro
M102	Aguatería municipal-Villa Elisa	Villa Elisa	5,3		5,6						-5,36%	Más Neutro
M103	Club Sol de America	Villa Elisa	6,1		6,2						-1,61%	Más Neutro
M107	Junta de Saneamiento-Mbocayaty	Villa Elisa	6,3		5,8						8,62%	Más Neutro
M108	Mario Agustín Vian	Villa Elisa	6,9	6,1	6,4	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	-4,69%	13,11%	7,81%	Más Neutro
M112	Junta de saneamiento	Nemby	5,6	6,6	5,6	Más Neutro	Más Neutro	Más Neutro	17,86%	-15,15%	0,00%	Más Neutro

Fuente: elaboración propia

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En la tabla se observan los valores obtenidos de ph en los 3 estudios realizados, además de las variaciones porcentuales y las tendencias de cada pozo. Esto también puede ser representado en un mapa, de manera a visualizar la ubicación de cada pozo, junto con su tendencia. Por tanto, elaboramos un mapa teniendo en cuenta los valores de los años 2000 y 2009, que se presenta a continuación.

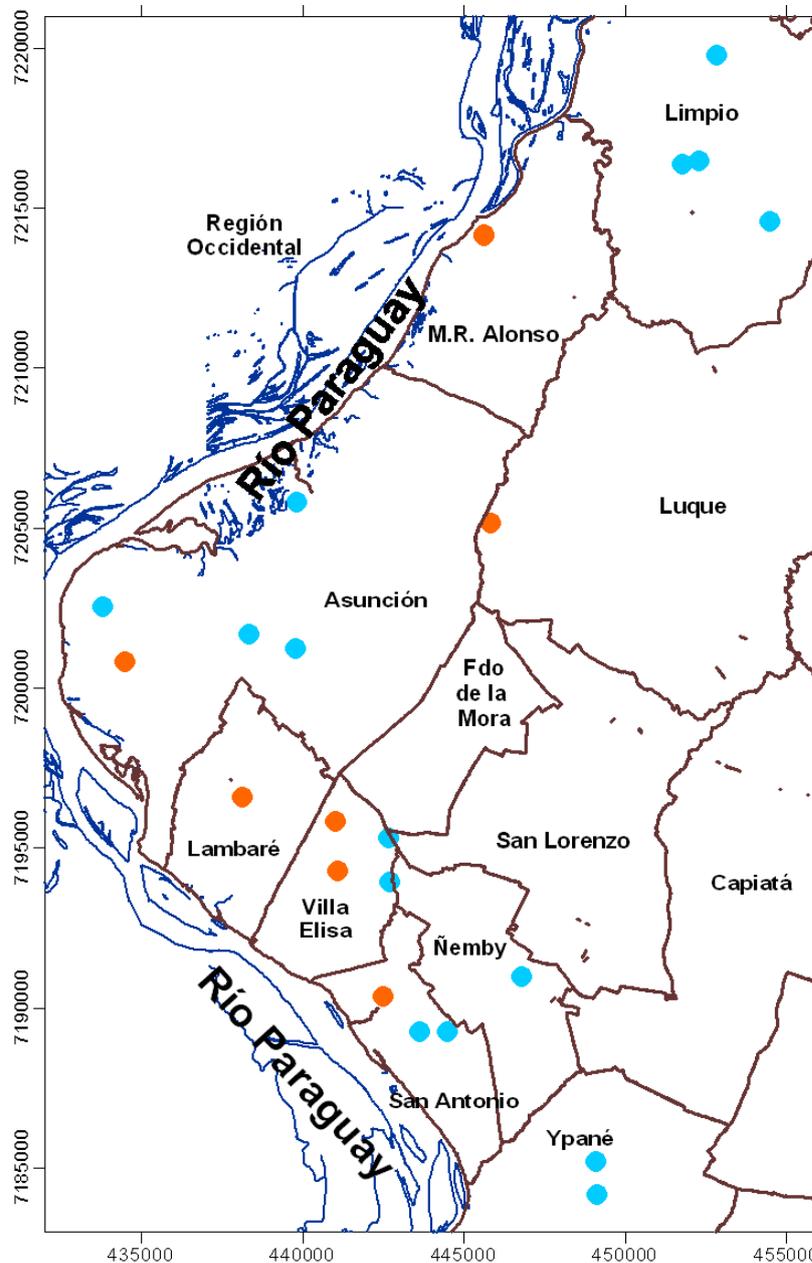


Figura 4.48 – Distribución de la variación de pH 2000/2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En el gráfico anterior se puede observar la ubicación de cada uno de los pozos, clasificados por colores según la tendencia de sus aguas de volverse “Más Ácida” (color naranja), “Más Neutra” (color celeste) o “Más Básica” (color verde).

Teniendo en cuenta le valor de ph, podemos clasificar las aguas en ácidas y básicas.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	Mayor a 7	Menor a 7	% de Aguas Básicas	% de Aguas Ácidas
ph 2000	23	1	22	4,35%	95,65%
ph 2006	15	0	15	0,00%	100,00%
ph 2009	23	0	23	0,00%	100,00%

Se observa como solamente en el año 2000 se obtuvo un valor por encima del nivel neutro, encontrándose en los siguientes periodos todas las muestras de carácter ácido.

Considerando cuantas muestras se hicieron “Más Ácidas”, “Mas Neutras” y “Más Básicas” en cada periodo de tiempo, obtuvimos los siguientes resultados:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	Más Acido	Más Neutro	Más Básico
ph 2000/2006	15	7	8	0
	%	46,67%	53,33%	0,00%
ph 2006/2009	15	5	10	0
	%	33,33%	66,67%	0,00%
ph 2000/2009	23	8	15	0
	%	34,78%	65,22%	0,00%

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

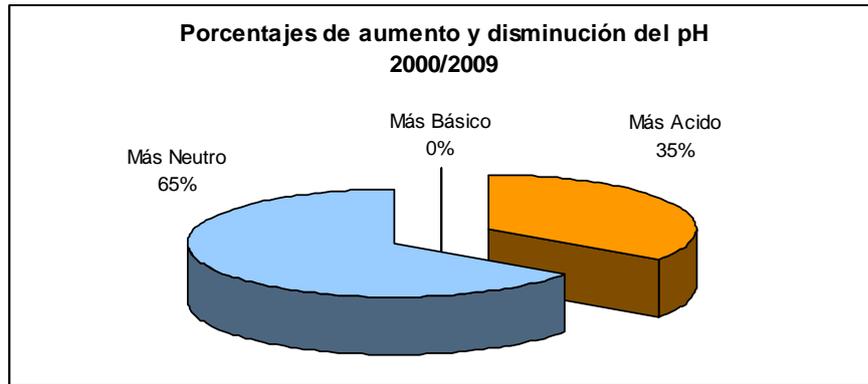


Figura 4.49 – Variación de pH 2000/2009

En otro tipo de análisis, podemos comparar como se encuentran los valores obtenidos en cada estudio, en relación a los límites admitidos por la normativa paraguaya.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	ph < 6,5	6,5 < ph < 8,5	ph > 8,5	Dentro del rango	Fuera del rango
ph 2000	23	22	1	0	4,35%	95,65%
ph 2006	15	11	4	0	26,67%	73,33%
ph 2009	23	16	7	0	30,43%	69,57%

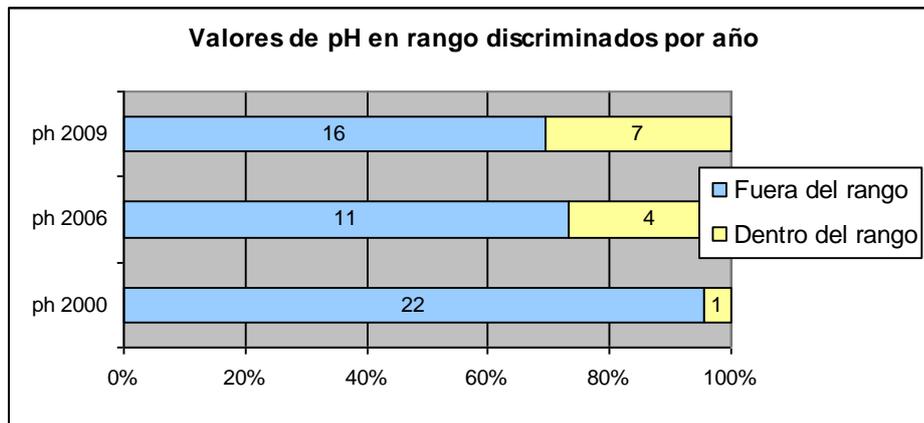


Figura 4.50 – Valores de pH en rango 2000/2006/2009

Como se observa en la tabla, el porcentaje de muestras que van quedando dentro de los límites de calidad del agua, van en aumento, colocándose cada vez más muestras dentro del rango.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Nitratos

Tabla 4.13 – Nitratos 2000/2009/2009

N° Muestra	Local	Municipio	Nitratos (mg/l)			Nitratos (mg/l)					
			2009		2000	2000/2006		2006/2009		2000/2009	
			2009	2006	2000	2000/2006	2006/2009	2000/2009			
M9	Emergencias Médicas	Asunción	61,5	87,15	4,0	2078,85%	Aumentó	-29,44%	Disminuyó	1437,50%	Aumentó
M34	Curtiembre Vernon 2	Asunción	14,6		0,5					2820,00%	Aumentó
M41	Club River Plate	Asunción	21,7		28,4					-23,59%	Disminuyó
M49	Parque Nu Guazú	Luque	8,9	3,60	0,4	800,00%	Aumentó	147,22%	Aumentó	2125,00%	Aumentó
M54	Plaza	Limpio		1,95	0,2	874,50%	Aumentó			-100,00%	Disminuyó
M55	Junta de Saneamiento-Limpio	Limpio	15,9	1,99	0,9	121,44%	Aumentó	697,79%	Aumentó	1666,67%	Aumentó
M56	Salado-Limpio	Limpio		2,17	0,3	623,33%	Aumentó				
M58	Junta de Saneamiento-Piquete Cué	Limpio		1,15	0,6	91,83%	Aumentó				
M62	Particular-Antonio Palacio	M.R. Alonso	16,8	58,10	4,5	1191,18%	Aumentó	-71,09%	Disminuyó	273,33%	Aumentó
M63	Particular-Sra Juanita	M.R. Alonso	13,7	15,50	3,8	307,89%	Aumentó	-11,61%	Disminuyó	260,53%	Aumentó
M82	Ypané P1	Ypané	2,163	1,37	0,4	243,25%	Aumentó	57,54%	Aumentó	440,75%	Aumentó
M83	Ypané P3	Ypané	2,82	7,13	1,4	409,29%	Aumentó	-60,45%	Disminuyó	101,43%	Aumentó
M87	Junta de Saneamiento Cerrito P2	San Antonio	11,97	10,01	1,8	456,06%	Aumentó	19,59%	Aumentó	565,00%	Aumentó
M89	ESSAP San Antonio	San Antonio	8,17	9,17	1,4	554,79%	Aumentó	-10,88%	Disminuyó	483,57%	Aumentó
M91	Edgar Ruiz Diaz	San Antonio	3,85	1,99	0,9	121,44%	Aumentó	93,18%	Aumentó	327,78%	Aumentó
M97	Estadio Defensores del Chaco	Asunción	11,2	0,00	1,9					489,47%	Aumentó
M98	Comando de Ingeniería	Asunción	15,2	0,00	1,2					1166,67%	Aumentó
M99	Ing Chavez	Lambaré	50,06	53,81	1,8	2889,28%	Aumentó	-6,96%	Disminuyó	2681,11%	Aumentó
M102	Aguatería municipal-Villa Elisa	Villa Elisa	36,14	17,23	2,2	683,05%	Aumentó	109,79%	Aumentó	1542,73%	Aumentó
M103	Club Sol de America	Villa Elisa	4,52	3,99	1,5	165,73%	Aumentó	13,40%	Aumentó	201,33%	Aumentó
M107	Junta de Saneamiento-Mbocayaty	Villa Elisa	12,98	58,28	2,2	2549,09%	Aumentó	-77,73%	Disminuyó	490,00%	Aumentó
M108	Mario Agustín Vian	Villa Elisa	55,84	49,78	11,3	340,50%	Aumentó	12,18%	Aumentó	394,16%	Aumentó
M112	Junta de saneamiento	Nemby	2,36	2,21	0,9	146,00%	Aumentó	6,59%	Aumentó	162,22%	Aumentó

Fuente: elaboración propia

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Los valores de nitratos obtenidos en los 3 estudios se observan en la tabla anterior, además de las respectivas variaciones y porcentajes de variación.

En forma resumida, tenemos los siguientes resultados en relación a esas variaciones porcentuales

Parámetros estudiados	Nº de muestras	Nitratos		% de Aumento	% de Disminución
		Aumentó en:	Disminuyó en:		
2000/2006	19	19	0	100,00%	0,00%
2006/2009	16	9	7	56,25%	43,75%
2000/2009	21	19	2	90,48%	9,52%

Se puede notar claramente la tendencia de aumento en los valores de nitratos.

Teniendo en cuenta los valores del 2000 y el 2009, las variaciones fueron las siguientes:

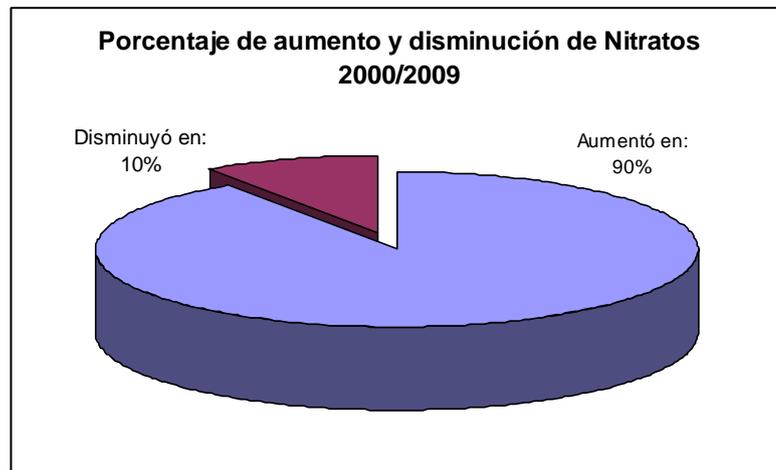


Figura 4.51 – Variación de Nitratos 2000/2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

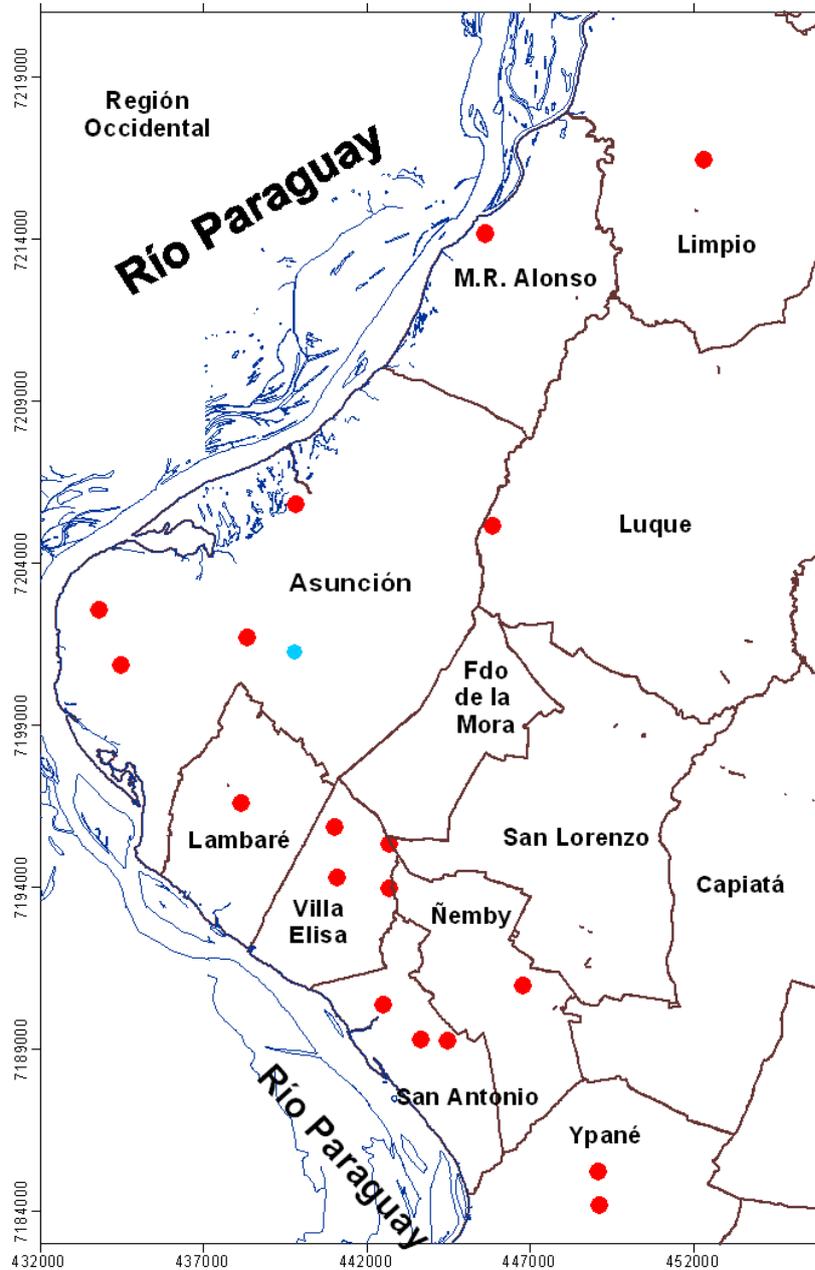


Figura 4.52 – Distribución de la variación de nitratos 2000/2009

En el gráfico se puede observar de color rojo, la ubicación de los pozos que han experimentado aumentos en sus valores de nitratos, mientras que figuran de celeste los que sufrieron disminuciones.

En relación a los límites establecidos por la reglamentación paraguaya vigente, estos son los resultados obtenidos para cada periodo:

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Parámetro estudiado	Nº de muestras	NO ₃ ≤ 45	NO ₃ > 45	Dentro del rango	Fuera del rango
Nitratos 2000	23	23	0	100,00%	0,00%
Nitratos 2006	19	14	5	73,68%	26,32%
Nitratos 2009	20	17	3	85,00%	15,00%

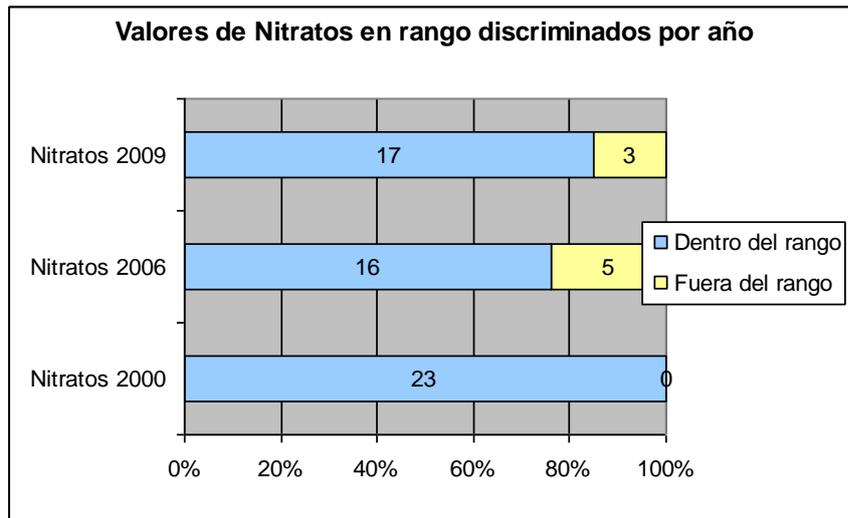


Figura 4.53 – Valores de nitratos en rango 2000/2006/2009

Podemos observar, como en el año 2000, ningún valor se encontraba fuera del rango, pero que en el 2006 el 26% de las muestras pasaron el límite permitido para el consumo. En el 2009 encontramos que solo 15% de las muestras habían pasado el valor límite.

Ubicando estos valores sobre un mapa general y clasificándolos por rangos de niveles de riesgo, se puede tener otra apreciación de los resultados.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**



Figura 4.54 – Clasificación de los nitratos por rango 2000

En el grafico se observa que de los valores de nitratos en los pozos en este tiempo solo un valor se encontraba en la zona que podemos llamar de riesgo.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

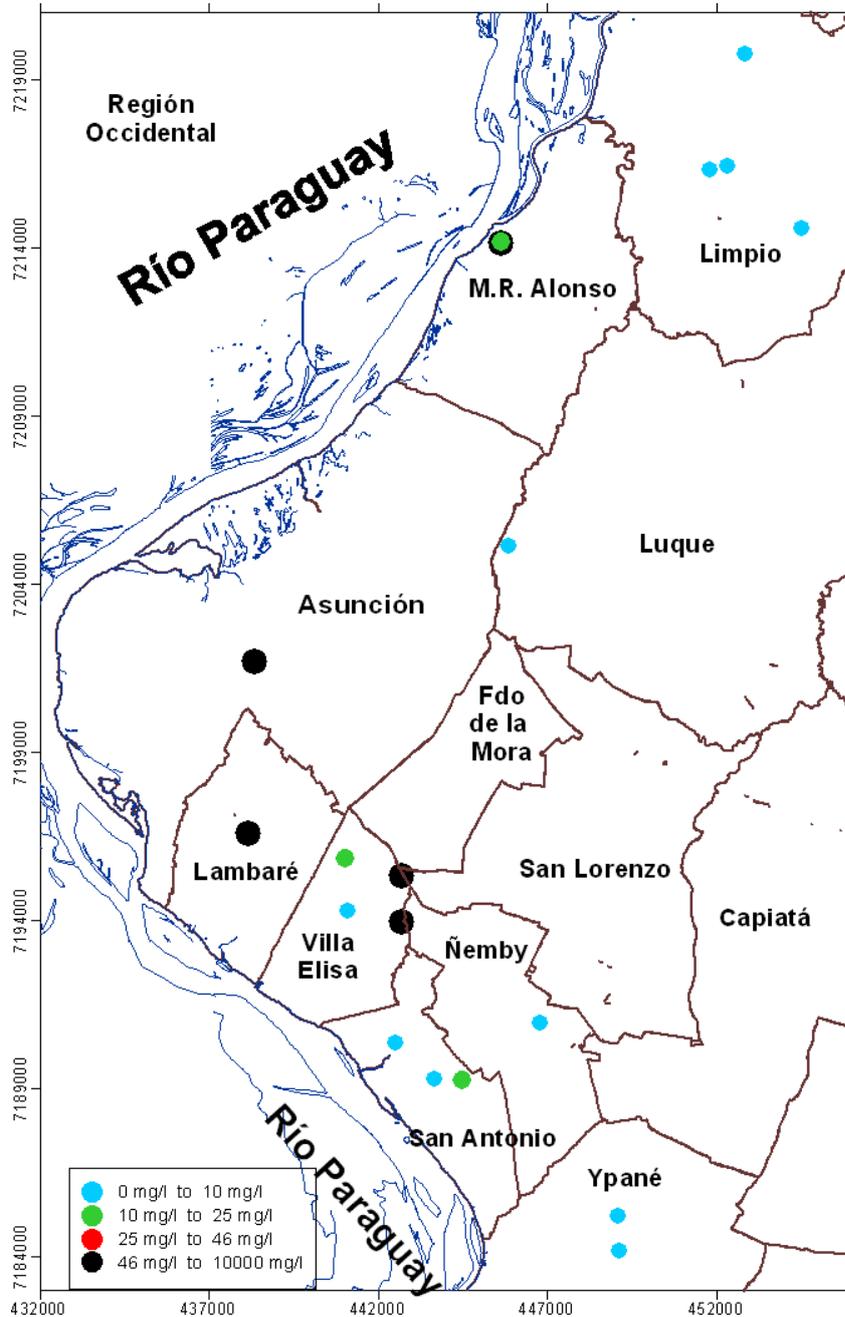


Figura 4.55 – Clasificación de los nitratos por rango 2006

En el gráfico se observa que los valores de nitratos aumentaron de una forma considerable en los pozos con relación al estudio del 2000. Ya aparecen 5 valores que se encuentran fuera de los límites admisibles para el consumo humano.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

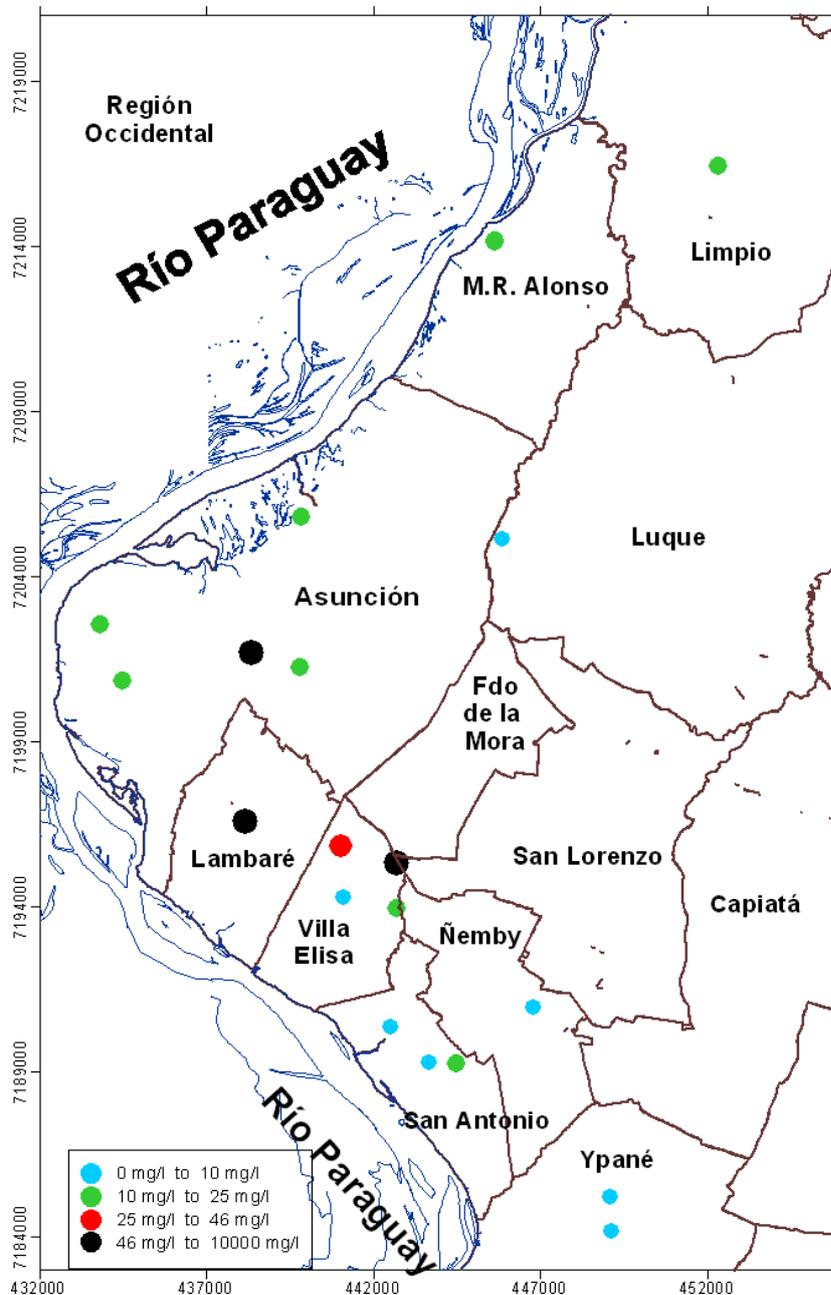


Figura 4.56 – Clasificación de los nitratos por rango 2009

En el gráfico se observa que los valores de nitratos sufrieron un aumento aunque en un porcentaje menor a los aumentos que se tuvieron entre el estudio del 2000 al del 2006, pero también disminuyeron en otros puntos. Aparecen 3 valores que se encuentran fuera de los límites admisibles para el consumo humano.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Coliformes Totales

Tabla 4.14 – Coliformes Totales 2000/2006/2009

Nº Muestra	Local	Municipio	Coliformes Totales (UFC/100 ml)		
			2009	2006	2000
M9	Emergencias Médicas	Asunción	0	30	0
M34	Curtiembre Vernon 2	Asunción	2	0	18
M41	Club River Plate	Asunción	20	5000	2560
M49	Parque Nu Guazú	Luque	0	0	10000
M54	Plaza	Limpio	11	0	67
M55	Junta de Saneamiento-Limpio	Limpio	68	400	5
M56	Salado-Limpio	Limpio	10	1	5
M58	Junta de Saneamiento-Piquete Cué	Limpio	0	0	0
M62	Particular-Antonio Palacio	M.R. Alonso	0	32	7400
M63	Particular-Sra Juanita	M.R. Alonso	0	5000	3200
M82	Ypané P1	Ypané	0	0	0
M83	Ypané P3	Ypané	0	0	2
M87	Junta de Saneamiento Cerrito P2	San Antonio	0	0	0
M89	ESSAP San Antonio	San Antonio	1	0	10
M91	Edgar Ruíz Díaz	San Antonio	0	10	18360
M97	Estadio Defensores del Chaco	Asunción	6	5	3825
M98	Comando de Ingeniería	Asunción	0	5000	6
M99	Ing Chavez	Lambaré	0	1200	830
M102	Aguatería municipal-Villa Elisa	Villa Elisa	0	2	0
M103	Club Sol de America	Villa Elisa	Innumerables	161	130
M107	Junta de Saneamiento-Mbocayaty	Villa Elisa	0	9	4
M108	Mario Agustín Vian	Villa Elisa	10	36	25
M112	Junta de saneamiento	Nemby	0	0	0

Fuente: elaboración propia

En la tabla se observan los valores de coliformes totales obtenidos en los 3 estudios, y georreferenciando estos datos se pueden elaborar gráficos de modo a visualizar prácticamente el estado de las aguas en cada periodo de tiempo.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	Dentro del rango	Fuera del rango	% Dentro de rango	% Fuera de rango
Col Totales 2000	23	6	17	26,09%	73,91%
Col Totales 2006	23	9	14	39,13%	60,87%
Col Totales 2009	22	14	8	63,64%	36,36%

Puede notarse la disminución progresiva de Coliformes Totales encontrados en las aguas muestreadas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En el año 2000, estos fueron los porcentajes registrados:

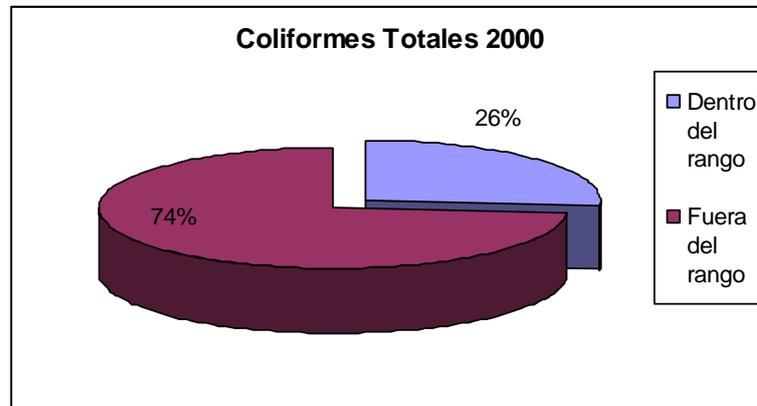


Figura 4.57 – Valores de coliformes totales en rango 2000

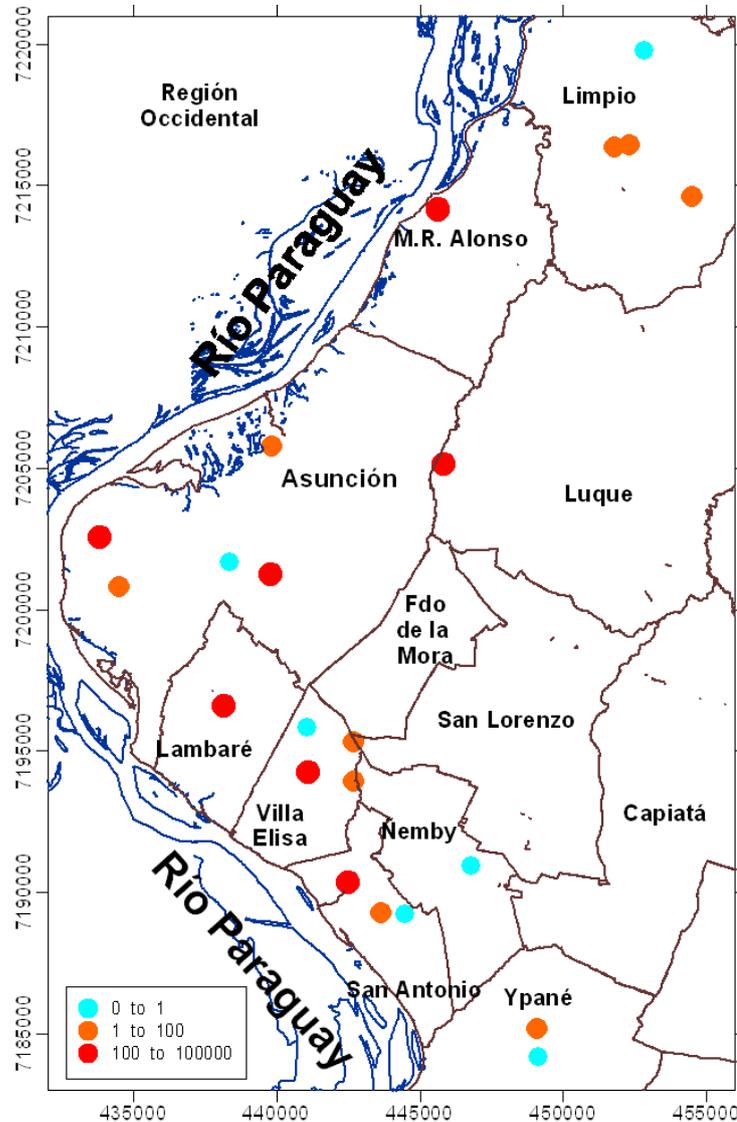


Figura 4.58 - Clasificación de coliformes totales por rango - 2000

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En el 2006 estos fueron los valores:

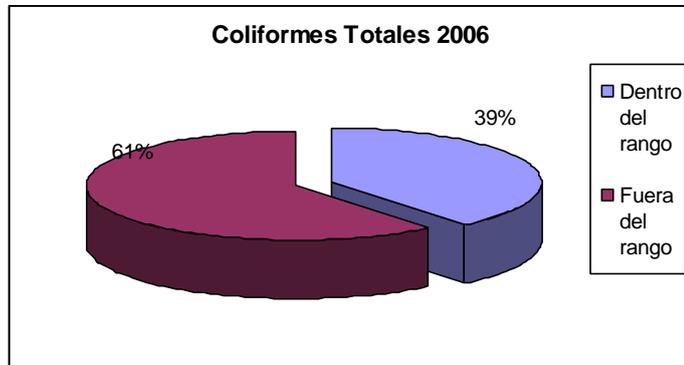


Figura 4.59 – Valores de coliformes totales en rango 2006

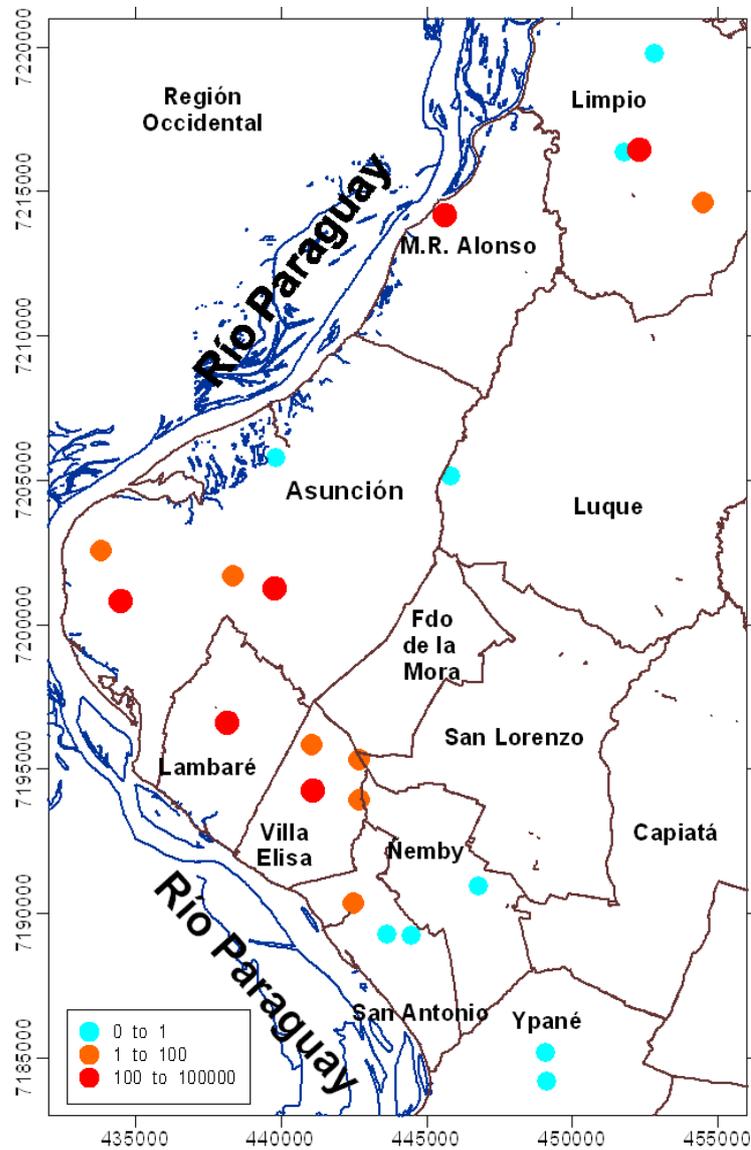


Figura 4.60 - Clasificación de coliformes totales por rango - 2006

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Y en el 2009, estos son los valores:

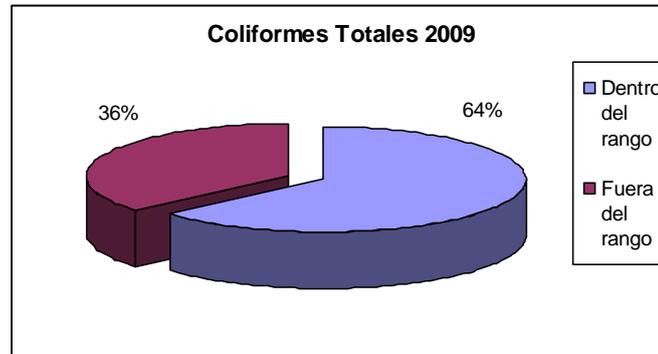


Figura 4.61 – Valores de coliformes totales en rango 2009

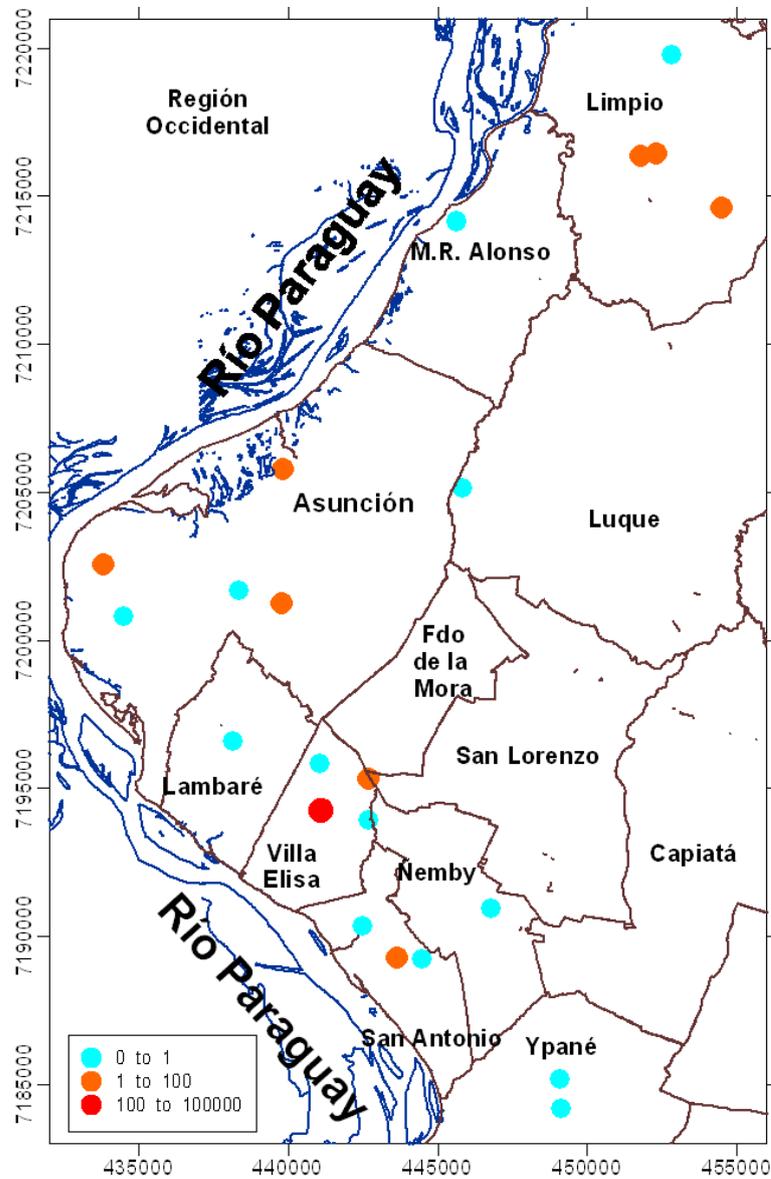


Figura 4.62 - Clasificación de coliformes totales por rango – 2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Coliformes Fecales

Tabla 4.15 – Coliformes Fecales 2000/2006/2009

Nº Muestra	Local	Municipio	Coliformes Fecales (UFC/100 ml)		
			2009	2006	2000
M9	Emergencias Médicas	Asunción	0	16	0
M34	Curtiembre Vernon 2	Asunción	0	0	1
M41	Club River Plate	Asunción	5	5000	82
M49	Parque Nu Guazú	Luque	0	0	300
M54	Plaza	Limpio	0	0	0
M55	Junta de Saneamiento-Limpio	Limpio	1	200	0
M56	Salado-Limpio	Limpio	6	0	0
M58	Junta de Saneamiento-Piquete Cué	Limpio	0	0	0
M62	Particular-Antonio Palacio	M.R. Alonso	0	4	90
M63	Particular-Sra Juanita	M.R. Alonso	0	5000	100
M82	Ypané P1	Ypané	0	0	0
M83	Ypané P3	Ypané	0	0	0
M87	Junta de Saneamiento Cerrito P2	San Antonio	0	0	0
M89	ESSAP San Antonio	San Antonio	0	0	1
M91	Edgar Ruíz Díaz	San Antonio	0	6	3060
M97	Estadio Defensores del Chaco	Asunción	2	9	612
M98	Comando de Ingeniería	Asunción	0	5000	0
M99	Ing Chavez	Lambaré	0	20	9
M102	Aguatería minicipal-Villa Elisa	Villa Elisa	0	0	0
M103	Club Sol de America	Villa Elisa	104	2	1
M107	Junta de Saneamiento-Mbocayaty	Villa Elisa	0	2	0
M108	Mario Agustín Vian	Villa Elisa	4	27	19
M112	Junta de saneamiento	Nemby	0	0	0

Fuente: elaboración propia

Tal como se observaban con los coliformes totales, se pueden notar como la tendencia de disminución en el último periodo sigue de la misma manera.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	Dentro del rango	Fuera del rango	% Dentro de rango	% Fuera de rango
Col Fecales 2000	23	12	11	52,17%	47,83%
Col Fecales 2006	23	11	12	47,83%	52,17%
Col Fecales 2009	22	17	6	77,27%	22,73%

Esta tendencia, es más fuerte aún que la observada en los coliformes totales.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Los valores observados en el año 2000 fueron:

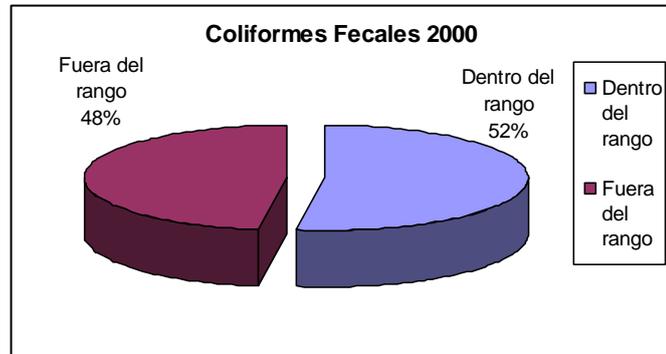


Figura 4.63 – Valores de coliformes fecales en rango 2000

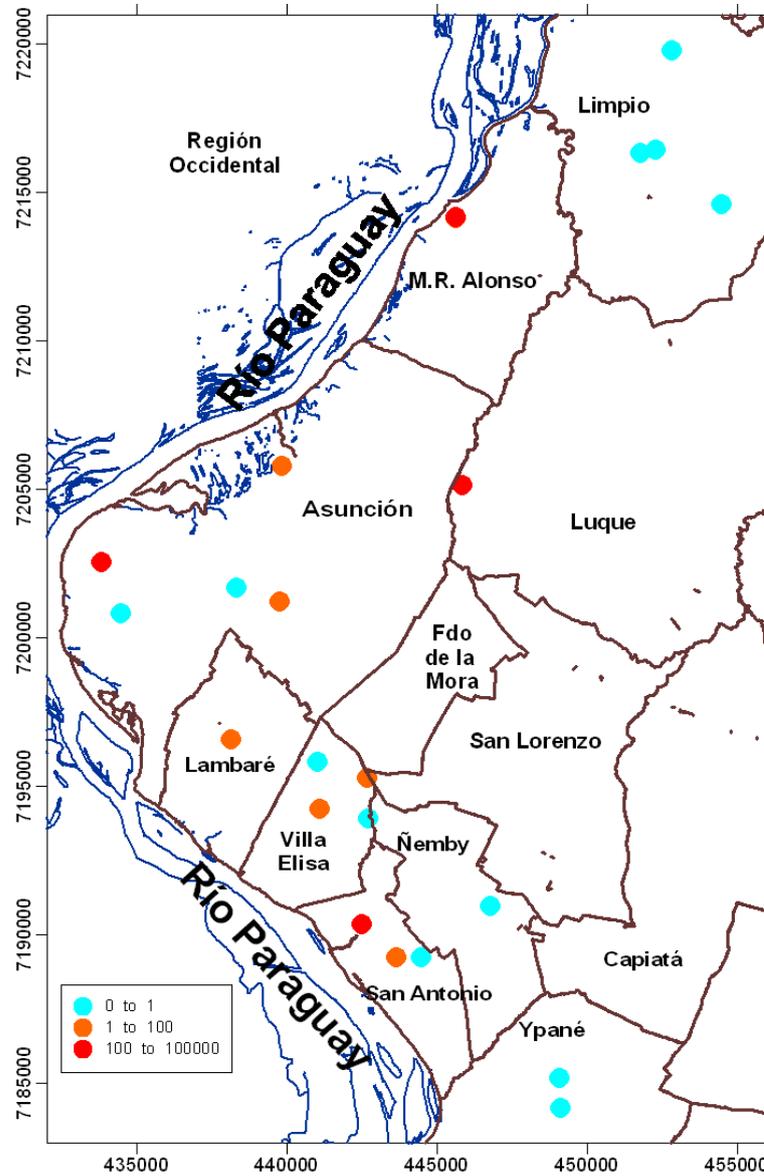


Figura 4.64 – Clasificación de coliformes fecales por rango 2000

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Los resultados del año 2006 fueron:

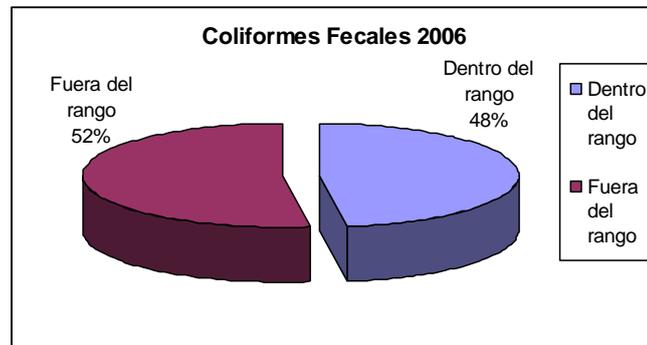


Figura 4.65 – Valores de coliformes fecales en rango 2006

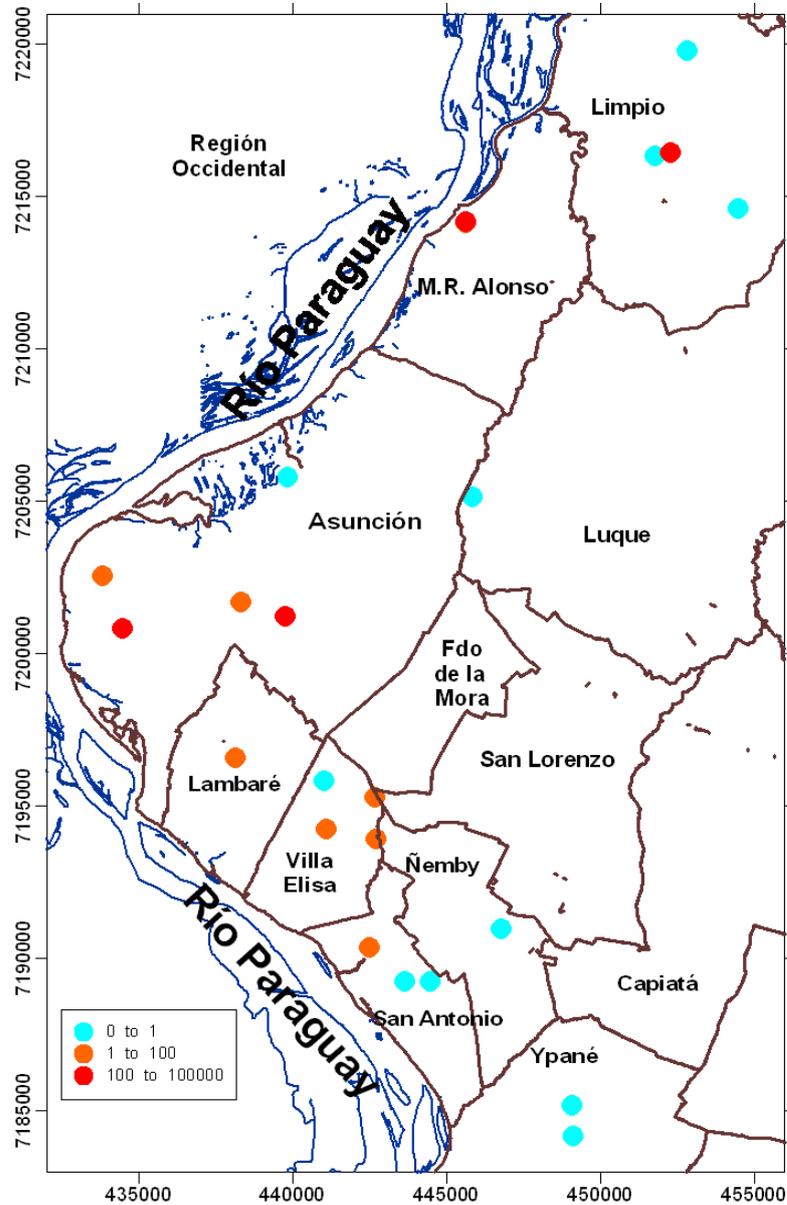


Figura 4.66 – Clasificación de coliformes fecales por rango 2006

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Y los resultados del año 2009 son:

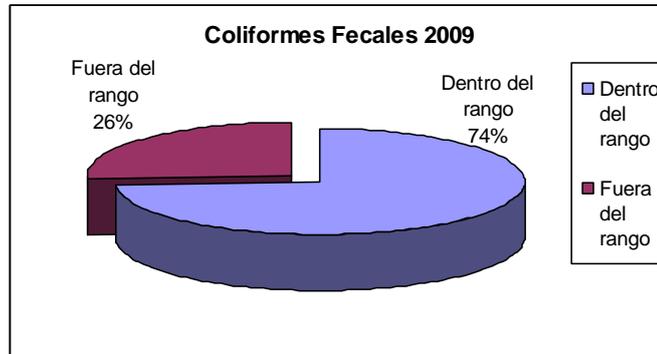
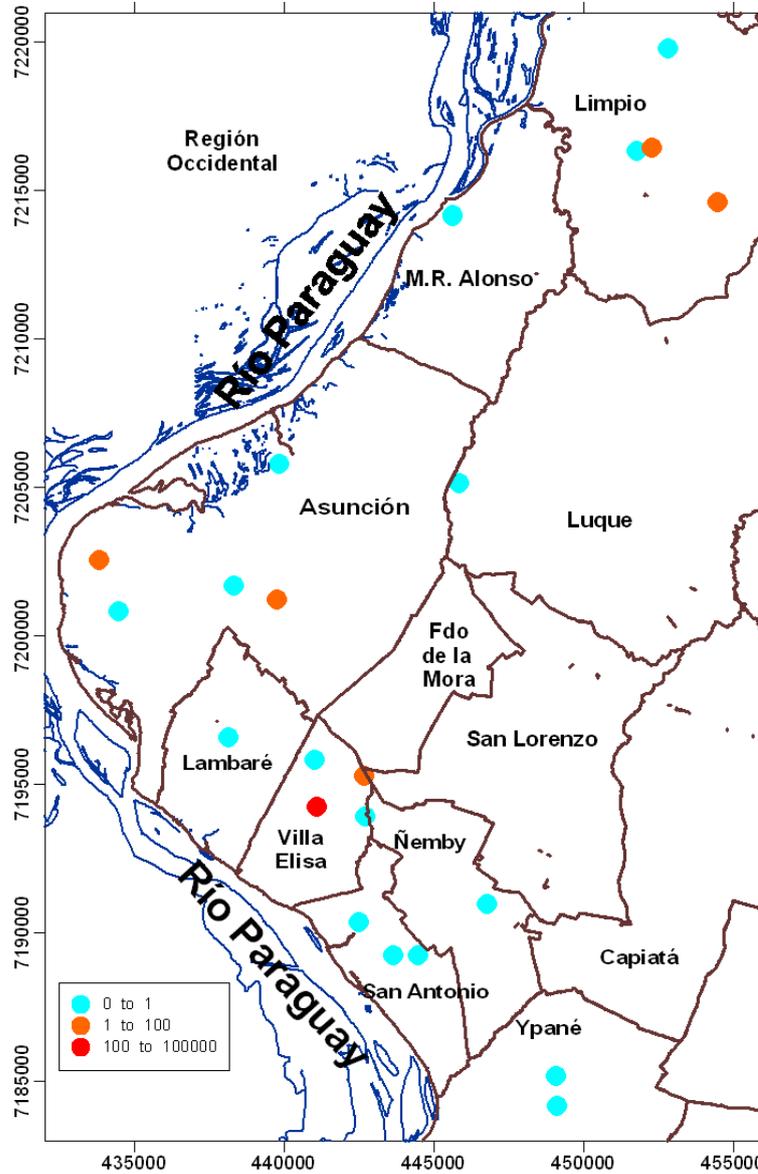


Figura 4.67 – Valores de coliformes fecales en rango 2009



**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Cloruros

Tabla 4.16 – Cloruros 2000/2009

Nº Muestra	Local	Municipio	Cloruros (mg/l)			Conclusión
			2009	2000	Variación	
M9	Emergencias Médicas	Asunción	57,5	42,6	34,98%	Aumentó
M34	Curtiembre Vernon 2	Asunción	60	33,5	79,10%	Aumentó
M41	Club River Plate	Asunción	31,5	32,5	-3,08%	Disminuyó
M49	Parque Nu Guazú	Luque	15,9	13,4	18,66%	Aumentó
M54	Plaza	Limpio	220	108,6	102,58%	Aumentó
M55	Junta de Saneamiento-Limpio	Limpio	350	50,7	590,34%	Aumentó
M56	Salado-Limpio	Limpio	15	1,9	689,47%	Aumentó
M58	Junta de Saneamiento-Piquete Cué	Limpio	75	24,4	207,38%	Aumentó
M62	Particular-Antonio Palacio	M.R. Alonso	65	129,2	-49,69%	Disminuyó
M63	Particular-Sra Juanita	M.R. Alonso	100	33	203,03%	Aumentó
M82	Ypané P1	Ypané	1	3,8	-73,68%	Disminuyó
M83	Ypané P3	Ypané	5,5	6,2	-11,29%	Disminuyó
M87	Junta de Saneamiento Cerrito P2	San Antonio	4	6,7	-40,30%	Disminuyó
M89	ESSAP San Antonio	San Antonio	5,5	3,4	61,76%	Aumentó
M91	Edgar Ruíz Díaz	San Antonio	7	8,1	-13,58%	Disminuyó
M97	Estadio Defensores del Chaco	Asunción	10,5	9,6	9,38%	Aumentó
M98	Comando de Ingeniería	Asunción	7,5	7,7	-2,60%	Disminuyó
M99	Ing Chavez	Lambaré	48,9	25,8	89,53%	Aumentó
M102	Aguatería minicipal-Villa Elisa	Villa Elisa	24,5	6,7	265,67%	Aumentó
M103	Club Sol de America	Villa Elisa	3,9	2,4	62,50%	Aumentó
M107	Junta de Saneamiento-Mbocayaty	Villa Elisa	4,5	4,3	4,65%	Aumentó
M108	Mario Agustín Vian	Villa Elisa	55,5	41,6	33,41%	Aumentó
M112	Junta de saneamiento	Nemby	7	5,3	32,08%	Aumentó

Fuente: elaboración propia

Al comparar los valores de 2000 con los obtenidos en 2009, los porcentajes de aumento del nivel de cloruros son importantes.

Parámetros estudiados	Nº de muestras	Aumentó en:	Disminuyó en:	% de Aumento	% de Disminución
Cloruros	23	16	7	69,57%	30,43%

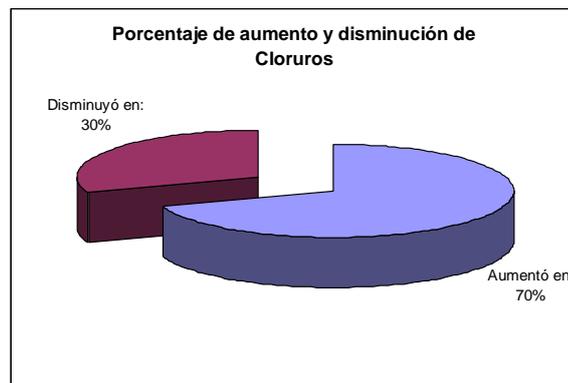


Figura 4.69 – Variación de cloruros 2000/2009

De 23 muestras, en 16 de ellas el nivel de cloruros ha aumentado, representando un 70% del total.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

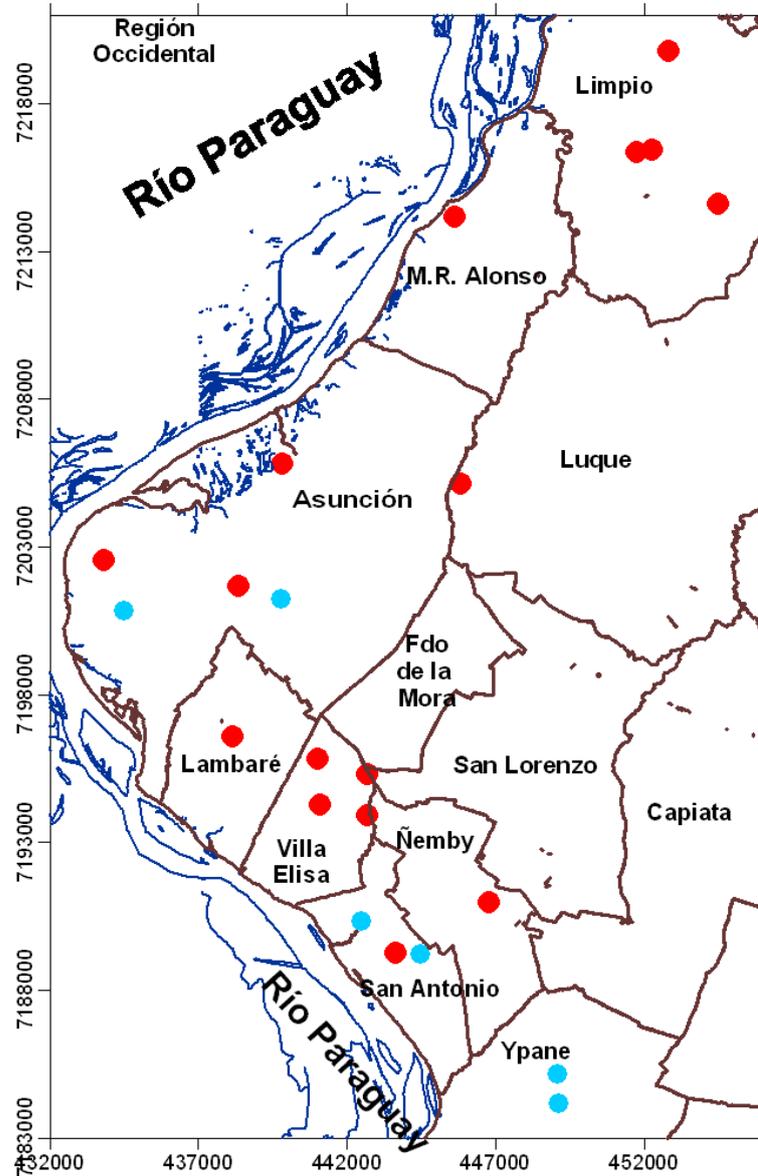


Figura 4.70 – Distribución de la variación de cloruros 2000/2009

En el gráfico se puede observar de color rojo, la ubicación de los pozos que han experimentado aumentos en sus valores de cloruros, mientras que figuran de celeste los que sufrieron disminuciones.

El valor admisible por las normas nacionales para este parámetro es de 250 mg/l. Teniendo en cuenta este límite, comparamos la cantidad de muestras dentro y fuera de este rango para los dos trabajos que se pretenden contrastar, obteniendo estos resultados.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Parámetro estudiado	Nº de muestras	CI ≤ 250	CI > 250	Dentro del rango	Fuera del rango
Cloruros 2000	23	23	0	100,00%	0,00%
Cloruros 2009	23	22	1	95,65%	4,35%

Aunque el 70% de las muestras experimentaron aumentos, los valores permanecen en forma general por debajo de los límites admisibles de calidad, a excepción de un solo valor que ya se encuentra por arriba del límite establecido para el consumo humano.

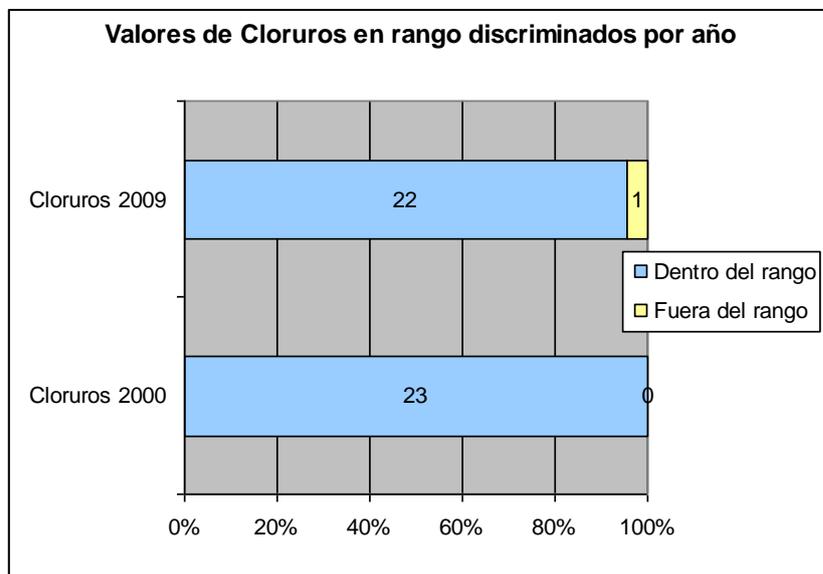


Figura 4.71 – Valores de cloruros en rango 2000/2009

A continuación se presenta la ubicación geográfica de cada muestra obtenida, clasificada por rangos, de acuerdo a la importancia de los valores obtenidos y su límite admisible de acuerdo a las normas paraguayas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

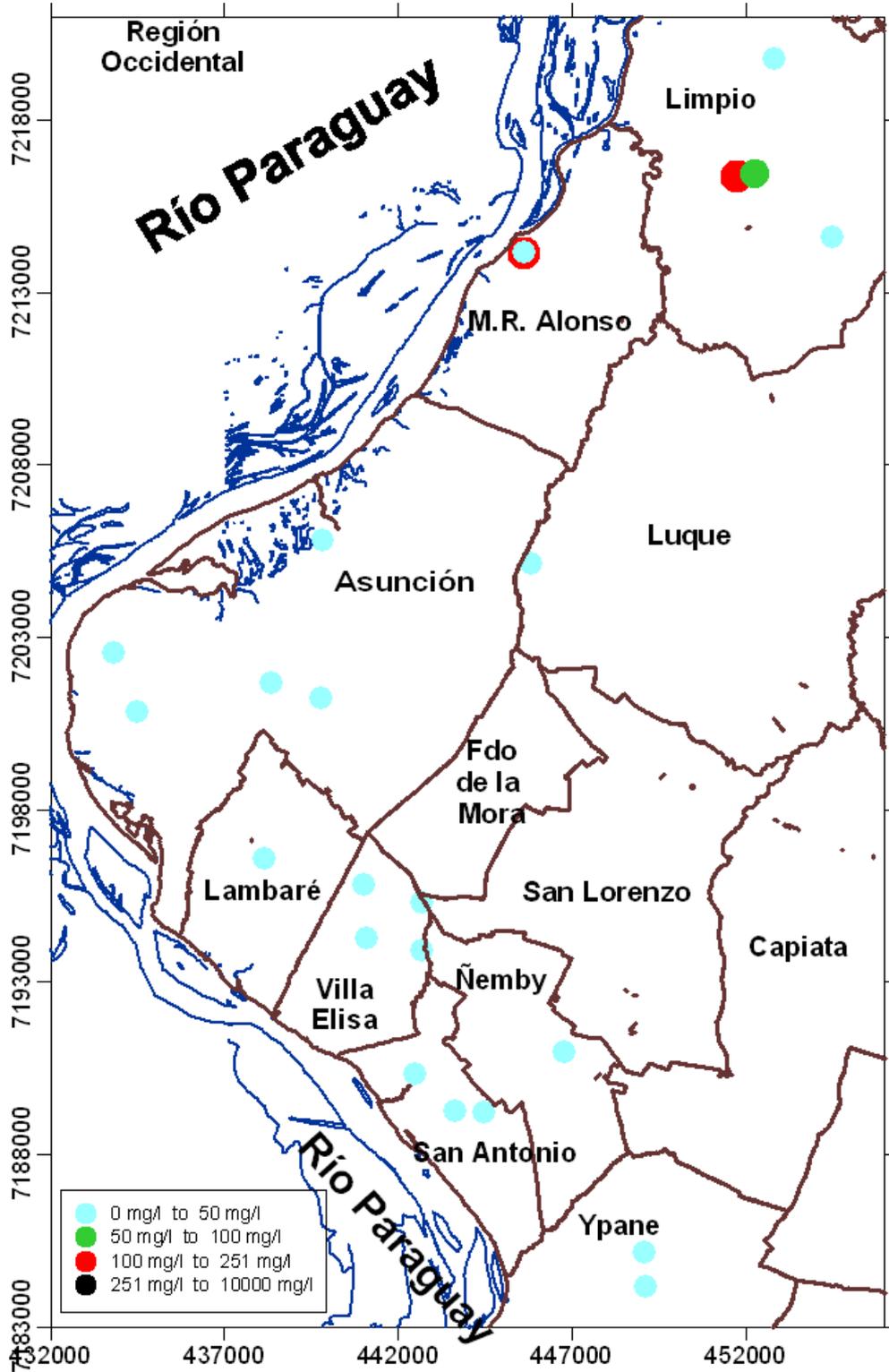


Figura 4.72 – Clasificación de cloruros por rango 2000

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

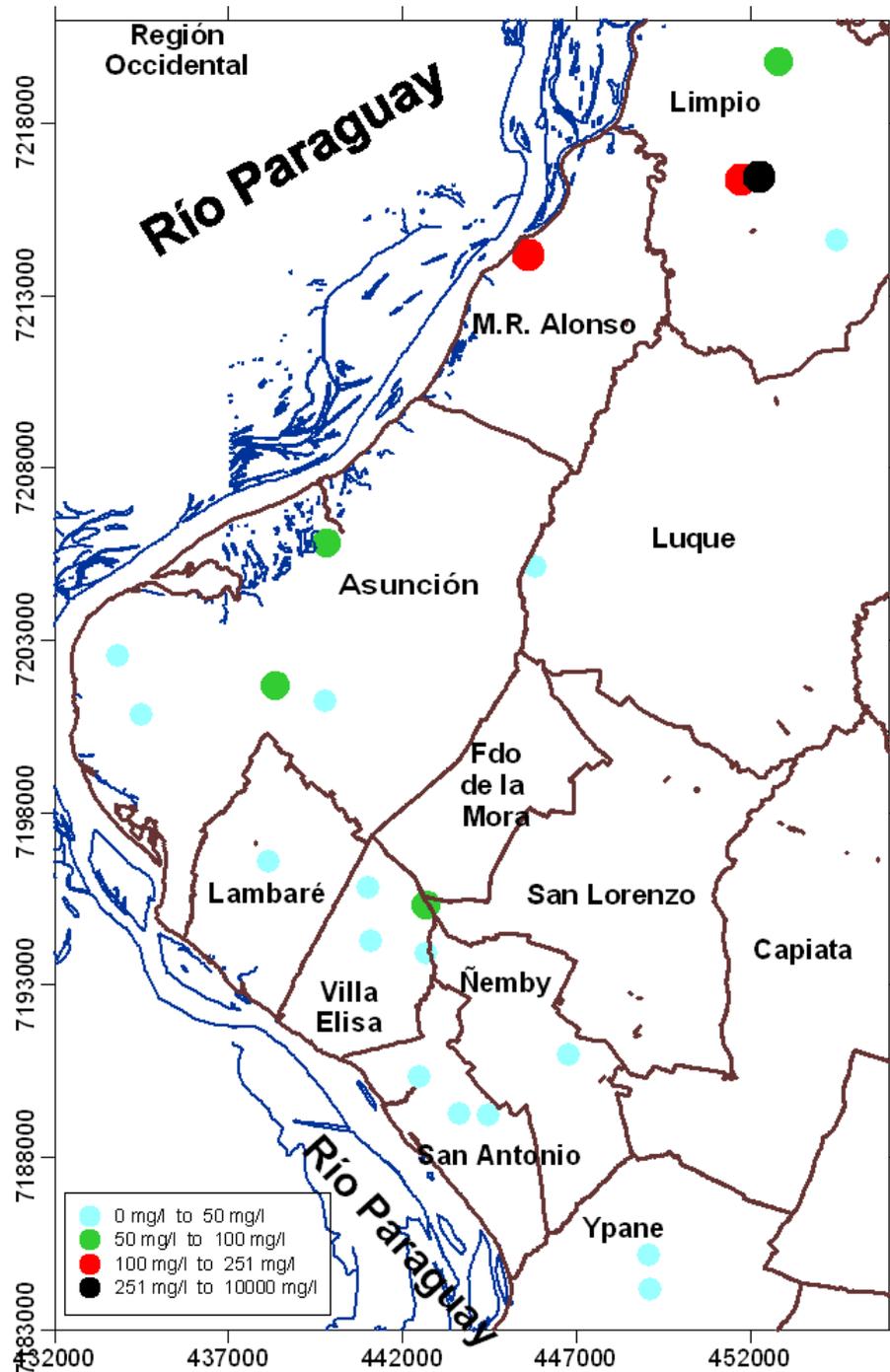


Figura 4.73 – Clasificación de cloruros por rango 2009

En el año 2000, se puede ver que tres muestras obtuvieron valores llamativos, aunque no riesgosos. Sin embargo en la actualidad se encuentra un aumento general de todos los valores y ya aparece un valor fuera de los límites admisibles para la calidad del agua para consumo humano.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sulfatos

Tabla 4.17 – Sulfatos 2000/2009

Nº Muestra	Local	Municipio	Sulfatos (mg/l)			
			2009	2000	Variación	Conclusión
M9	Emergencias Médicas	Asunción	55,47	41,3	34,31%	Aumentó
M34	Curtiembre Vernon 2	Asunción	11,32	7	61,71%	Aumentó
M41	Club River Plate	Asunción	15,72	12	31,00%	Aumentó
M49	Parque Nu Guazú	Luque	54,15	17,5	209,43%	Aumentó
M54	Plaza	Limpio	65,3	19,9	228,14%	Aumentó
M55	Junta de Saneamiento-Limpio	Limpio	24,45	9,1	168,68%	Aumentó
M56	Salado-Limpio	Limpio	40,01	15	166,73%	Aumentó
M58	Junta de Saneamiento-Piquete Cué	Limpio	62,15	93,9	-33,81%	Disminuyó
M62	Particular-Antonio Palacio	M.R. Alonso	22,79	4,4	417,95%	Aumentó
M63	Particular-Sra Juanita	M.R. Alonso	41,76	6,1	584,59%	Aumentó
M82	Ypané P1	Ypané	10,75	5,3	102,83%	Aumentó
M83	Ypané P3	Ypané	10,52	5,5	91,27%	Aumentó
M87	Junta de Saneamiento Cerrito P2	San Antonio	12,99	10,9	19,17%	Aumentó
M89	ESSAP San Antonio	San Antonio	13	4,5	188,89%	Aumentó
M91	Edgar Ruíz Díaz	San Antonio	5,04	0	0,00%	Aumentó
M97	Estadio Defensores del Chaco	Asunción	17,57	11,3	55,49%	Aumentó
M98	Comando de Ingeniería	Asunción	11,71	4,6	154,57%	Aumentó
M99	Ing Chavez	Lambaré	10,09	4,1	146,10%	Aumentó
M102	Aguatería minicipal-Villa Elisa	Villa Elisa	17,03	13,1	30,00%	Aumentó
M103	Club Sol de America	Villa Elisa	10,09	8,5	18,71%	Aumentó
M107	Junta de Saneamiento-Mbocayaty	Villa Elisa	28,91	4,4	557,05%	Aumentó
M108	Mario Agustín Vian	Villa Elisa	52,44	2,8	1772,86%	Aumentó
M112	Junta de saneamiento	Nemby	21,29	0	0,00%	Aumentó

Fuente: elaboración propia

Los valores de sulfatos se vieron aumentados en sus valores en todas las muestras a excepción de una sola que disminuyó.

Parámetros estudiados	Nº de muestras	Aumentó en:	Disminuyó en:	% de Aumento	% de Disminución
Sulfatos	23	22	1	95,65%	4,35%

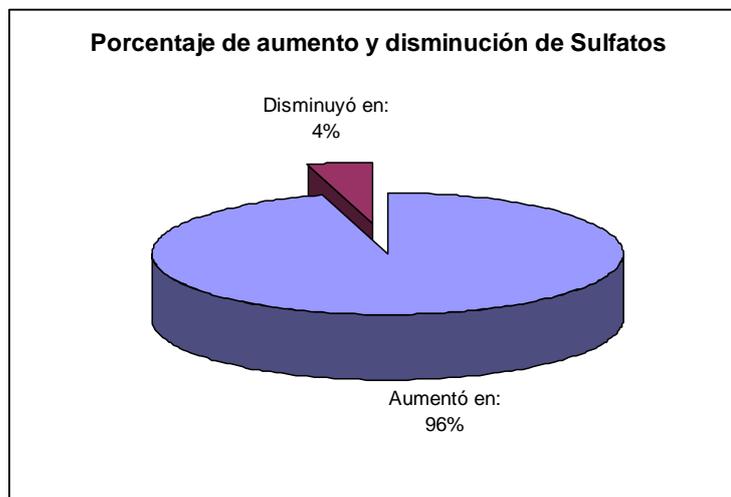


Figura 4.74 – Variación de sulfatos 2000/2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

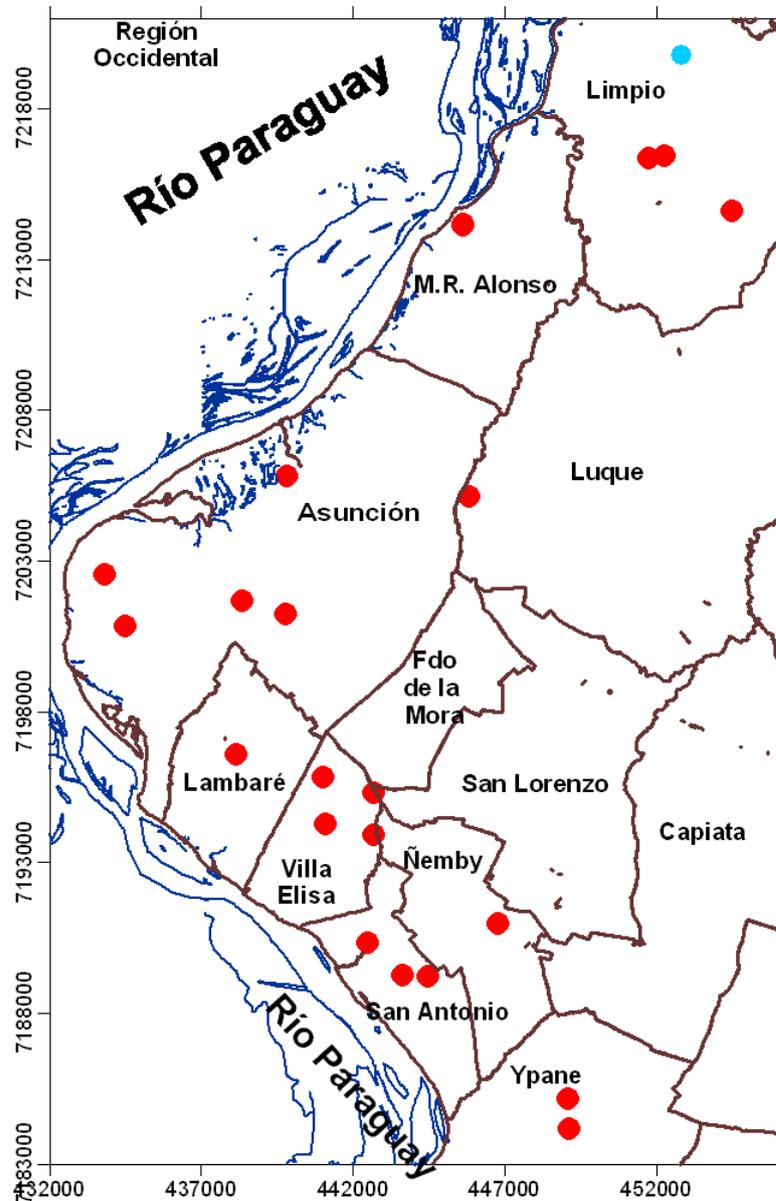


Figura 4.75 – Distribución de la variación de sulfatos 2000/2009

En el gráfico se puede observar de color rojo, la ubicación de los pozos que han experimentado aumentos en sus valores de sulfatos, mientras que figuran de celeste los que sufrieron disminuciones.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	SO ₄ ≤ 400	SO ₄ > 400	Dentro del rango	Fuera del rango
Sulfatos 2000	23	23	0	100,00%	0,00%
Sulfatos 2009	23	23	0	100,00%	0,00%

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

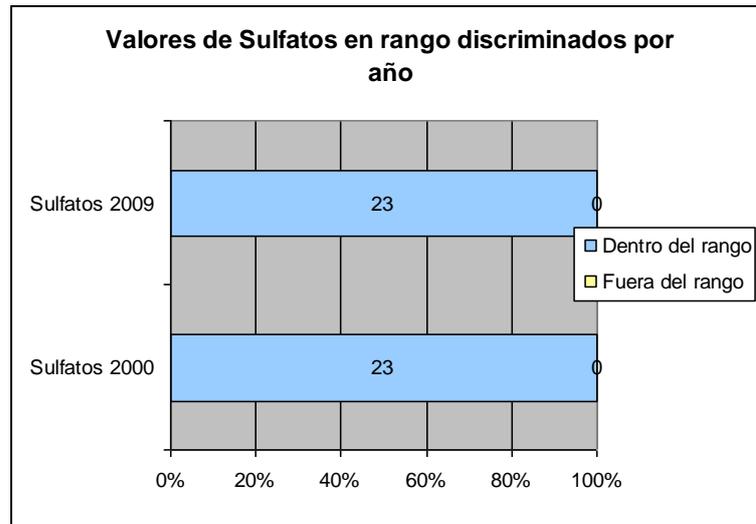


Figura 4.76 – Valores de sulfatos en rango 2000/2009

De todas las muestras analizadas ninguna pasa el límite de 400 mg/l establecido por la normativa paraguaya, siendo el máximo valor encontrado para estos pozos en el año 2009 el de 65,3 mg/l, permaneciendo muy por debajo de 400.

El máximo valor encontrado en el año 2000 fue el 93,9 mg/l para los mismos pozos. Todos los valores encontrados permanecen dentro de lo admisible para el consumo.

Ubicando estos valores sobre un mapa general y clasificándolos por rangos de niveles de riesgo, se puede tener otra apreciación de los resultados.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

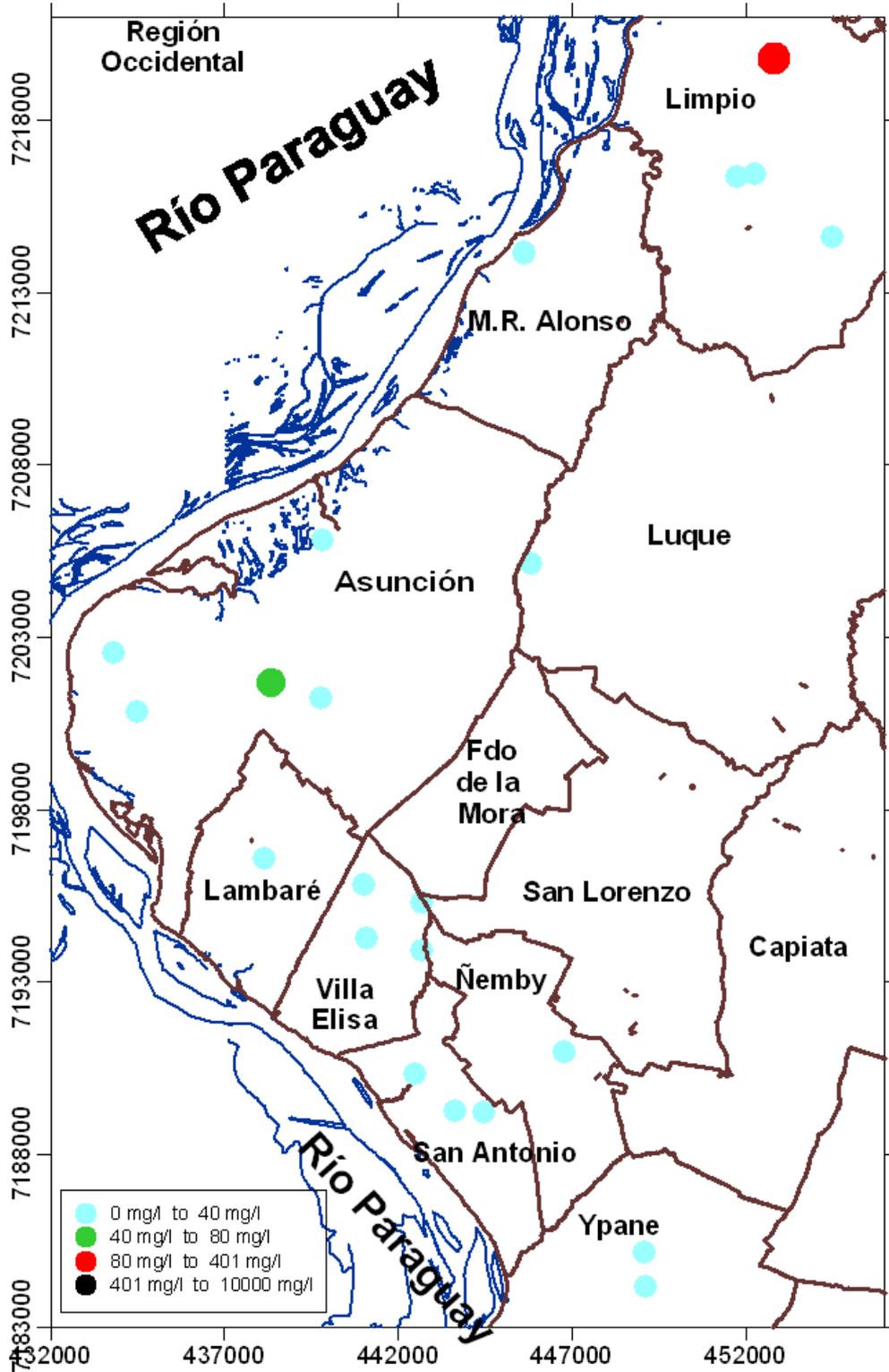


Figura 4.77 – Clasificación de sulfatos por rango 2000

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

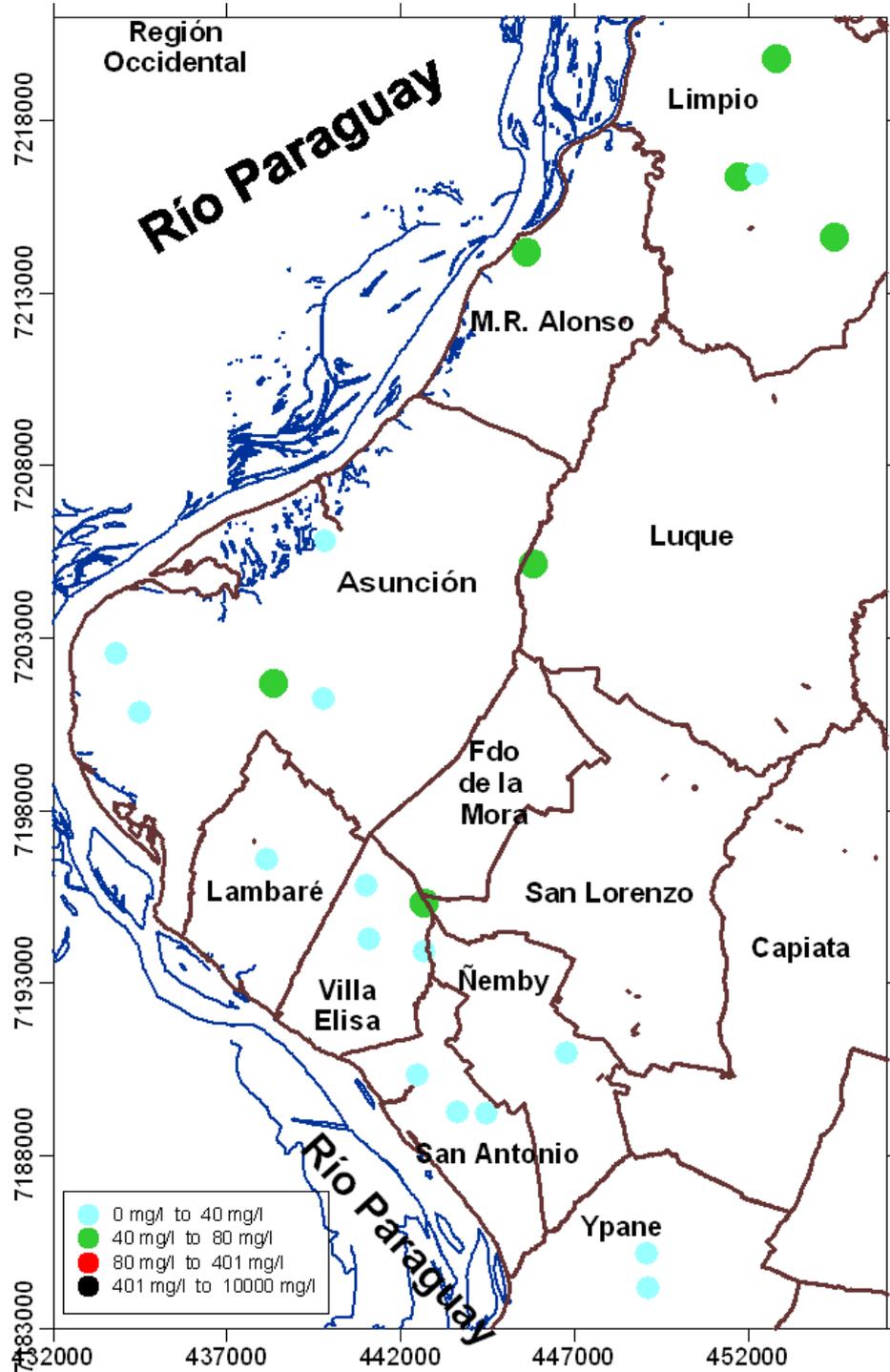


Figura 4.78 – Clasificación de sulfatos por rango 2009

En el año 2000 existían solo 2 valores que podrían ser considerados como llamativos, mientras que en la actualidad se puede mostrar una tendencia al aumento ya que aumentaron a 7 los valores considerados llamativos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

***Chuo Kaihatsu Corporation (CKC), JNS Engenharia, Hidrocontrol
S.A. y Waterloo Hydrogeologic. – 2007***

El proyecto denominado “Estudio de Políticas y Manejo Ambiental de Aguas Subterráneas en el Área Metropolitana de Asunción” (Acuífero Patiño), en su informe técnico 2.3 “Inventario de pozos” incluyó un inventario de más de 1000 mil pozos tubulares profundos. Este listado fue elaborado a partir del Banco de Datos del SENASA, que tenía hasta ese entonces información sobre los municipios del departamento Central y de Paraguari, siendo casi nula la información que se contaba sobre la ciudad de Asunción. Debido a esto, este inventario se concentró en dicha área.

Así se presenta en el informe, un inventario de 513 pozos, de los cuales se realizaron análisis de Conductividad eléctrica, Sólidos Totales Disueltos (STD) y Temperatura de 411 de estos pozos.

Este inventario, formó parte de la primera parte del proyecto, correspondiente a la Recolección de Datos, y encaminada a recopilar toda la información existente sobre el área de estudio. Toda esta información fue interpretada, analizada y sistematizada e introducida en la base de datos que alimenta al Modelo Matemático, lo que se forma parte de la segunda etapa del proyecto. Este modelo fue utilizado para estudiar los diferentes escenarios de uso del recurso, para así determinar los niveles aceptables de explotación, además de las zonas más vulnerables, y así poder elaborar un Plan de Gestión, como tercera etapa del proyecto.

En la siguiente imagen se pueden observar los pozos analizados por este trabajo, de modo a visualizar el área en el que se centró este trabajo.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

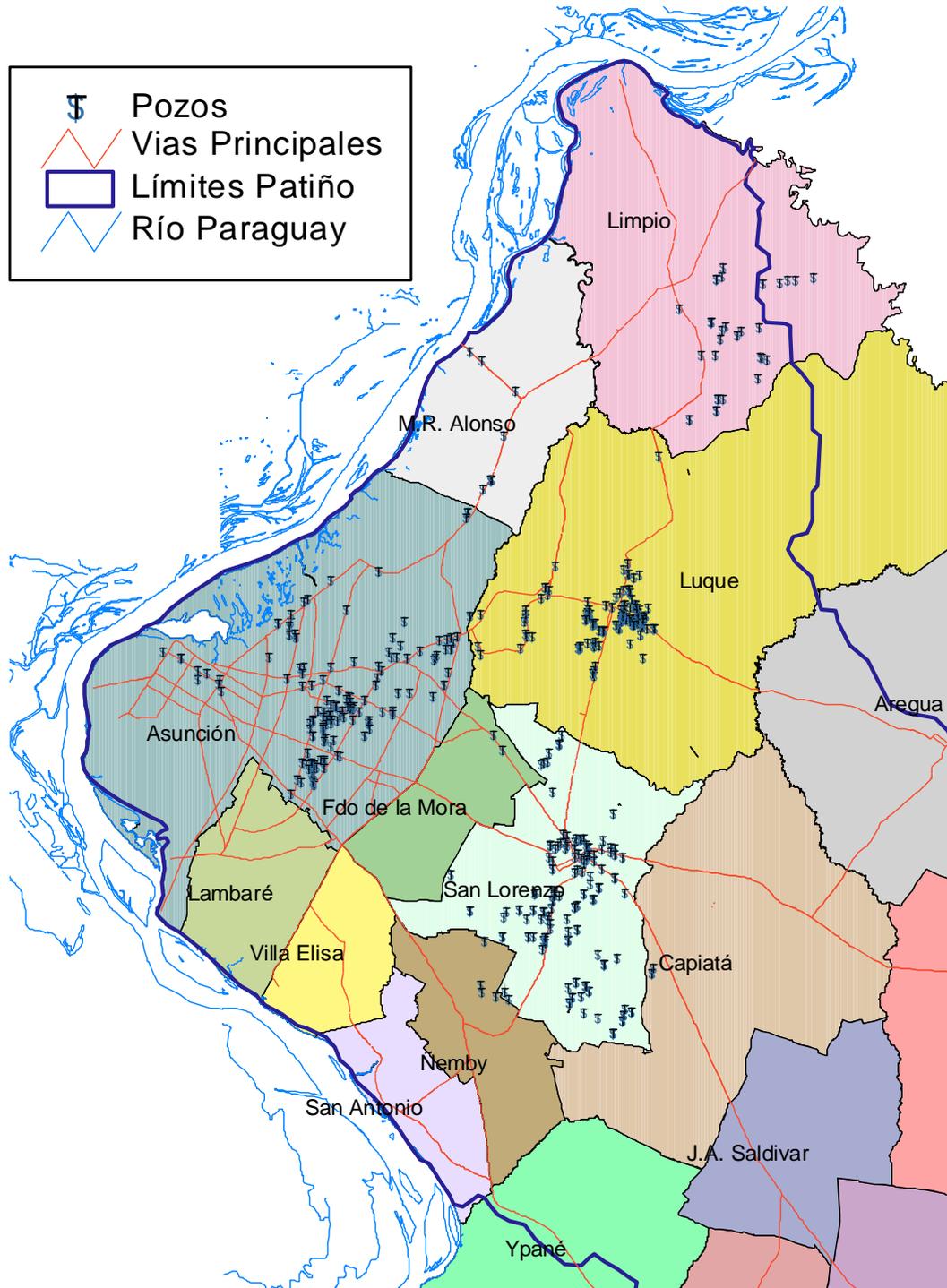


Figura 4.79 - Pozos muestreados CKC - 2007

De todos estos pozos, solamente 16 se encuentran en nuestra zona de estudio, por lo que en esta parte nos centramos en la evolución de los valores de conductividad y sólidos totales disueltos de los 16 pozos mencionados.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Los valores de conductividad encontrados son los siguientes:

Tabla 4.18 – Conductividad 2007/2009

Nº Muestra	Local	Municipio	Conductividad (uS/cm)			
			2009	2007	Variación	Conclusión
M1	Copetrol-Colón	Asunción	292	239	22,18%	Aumentó
M2	Edificio Yasaindy	Asunción	595	552	7,79%	Aumentó
M5	Edificio El Alto	Asunción	709	738	-3,93%	Disminuyó
M6	Círculo Pyo de Médicos	Asunción	573	518	10,62%	Aumentó
M7	Petrobras-Touring	Asunción	727	648	12,19%	Aumentó
M8	Lavadero - Azara c/ Brasil	Asunción	587	611	-3,93%	Disminuyó
M16	Club Alemán	Asunción	142,9	143	-0,07%	Disminuyó
M17	Automotor S.A.	Asunción	227	238	-4,62%	Disminuyó
M18	Lavadero	Asunción	423	377	12,20%	Aumentó
M19	Estación de Servicio La Candelaria	Asunción	186,1	342	-45,58%	Disminuyó
M24	Estación de Servicio Artigas	Asunción	348	267	30,34%	Aumentó
M25	Lavadero	Asunción	139,3	125	11,44%	Aumentó
M35	Estación BR-Sacramento	Asunción	275	248	10,89%	Aumentó
M60	Lubripar-Cerro Corá	M.R. Alonso	1486	1251	18,78%	Aumentó
M61	BR Remanso	M.R. Alonso	523	156	235,26%	Aumentó
M64	El Rodeo	M.R. Alonso	177	500	-64,60%	Disminuyó

Fuente: elaboración propia

En la tabla, se pueden observar los valores de conductividad eléctrica obtenidos en el estudio de CKC en el año 2007, además del obtenido en nuestro estudio, y las comparaciones porcentuales de disminución o aumento, para apreciar rápidamente el aumento o disminución que se produjo a lo largo del tiempo.

En relación a estas variaciones, los resultados se exponen en la siguiente tabla.

Parámetros estudiados	Nº de muestras	Aumentó en:	Disminuyó en:	% de Aumento	% de Disminución
Conductividad	16	10	6	62,50%	37,50%

De 16 muestras comparadas, podemos ver que del año 2007 al 2009, el 62,50% de las muestras registraron aumentos en los valores de conductividad eléctrica. Por lo que el aumento es bastante generalizado.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

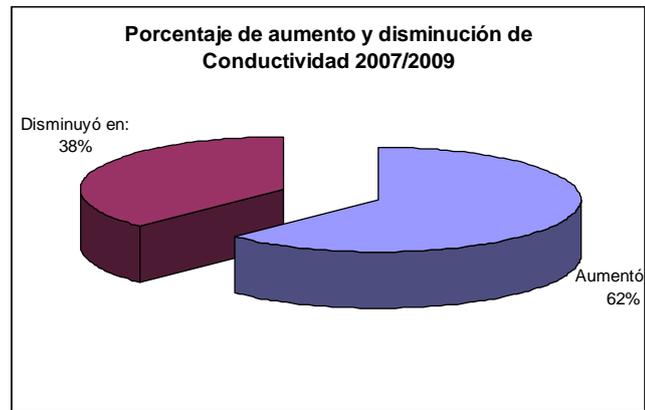


Figura 4.80 – Variación de conductividad 2007/2009

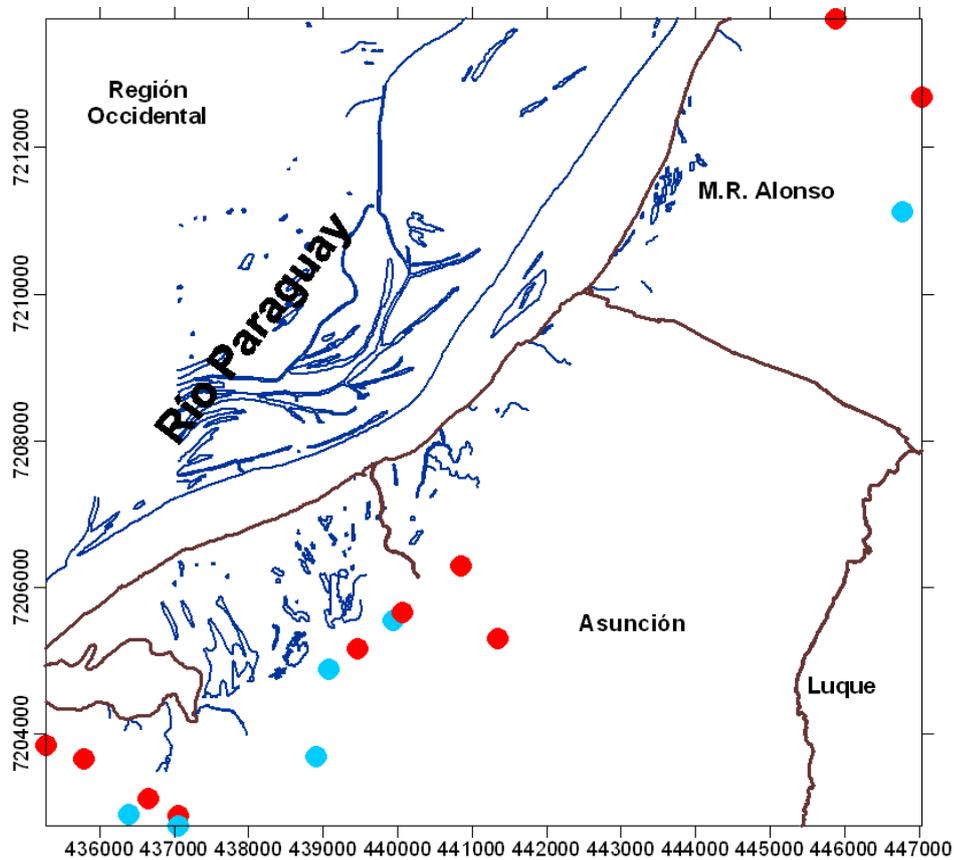


Figura 4.81 – Distribución de la variación de conductividad 2007/2009

En el gráfico se puede observar de color rojo, la ubicación de los pozos que han experimentado aumentos en sus valores de conductividad entre los años 2007 y 2009, mientras que figuran de celeste los que sufrieron disminuciones en el mismo periodo de tiempo.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Haciendo otro tipo de análisis, también podemos comparar los valores de conductividad con el valor límite admitido por la reglamentación paraguaya para la calidad de las aguas. Este valor límite es 1.250 uS/cm, al comparar este valor con los obtenidos en cada estudio, obtuvimos los siguientes resultados:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	CE ≤ 1250	CE > 1250	Dentro del rango	Fuera del rango
Conduct 2007	16	15	1	93,75%	6,25%
Conduct 2009	16	15	1	93,75%	6,25%

Solamente en un mismo punto se tiene un pozo que sobre pasó los valores admisibles en los dos estudios, aunque si tenemos en cuenta la misma normativa, esta recomienda que la conductividad se mantenga por debajo de 400 uS/cm. Comparando con este valor obtenemos lo siguiente:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	CE ≤ 400	CE > 400	Dentro del rango	Fuera del rango
Conduct 2007	16	9	7	56,25%	43,75%
Conduct 2009	16	8	8	50,00%	50,00%

Con estos nuevos valores nos muestran que ya son varios los valores que se encuentran fuera del límite en los dos estudios, Solo que se produce el aumento de un valor mas en el estudio realizado por nosotros.

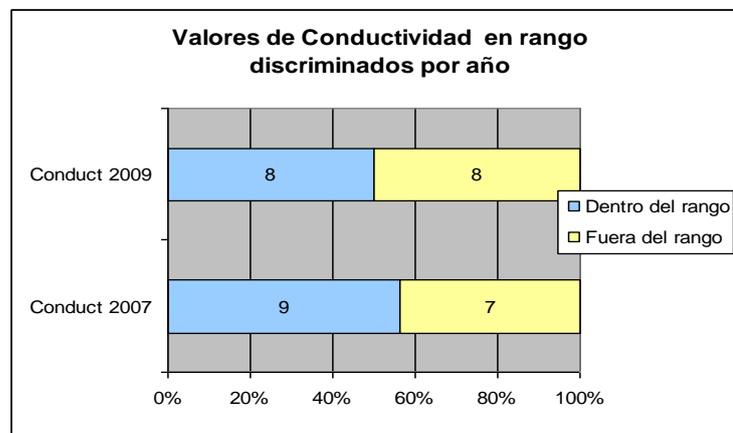


Figura 4.82 – Valores de conductividad en rango 2007/2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Este avance se puede apreciar fácilmente con las líneas de isoconductividad, por lo que elaboramos los mapas respectivos a los 2 periodos de tiempo, y los presentamos a continuación. De esta manera se puede apreciar fácilmente como estaba la situación de la conductividad en los momentos estudiados, así como su evolución hasta el escenario actual.

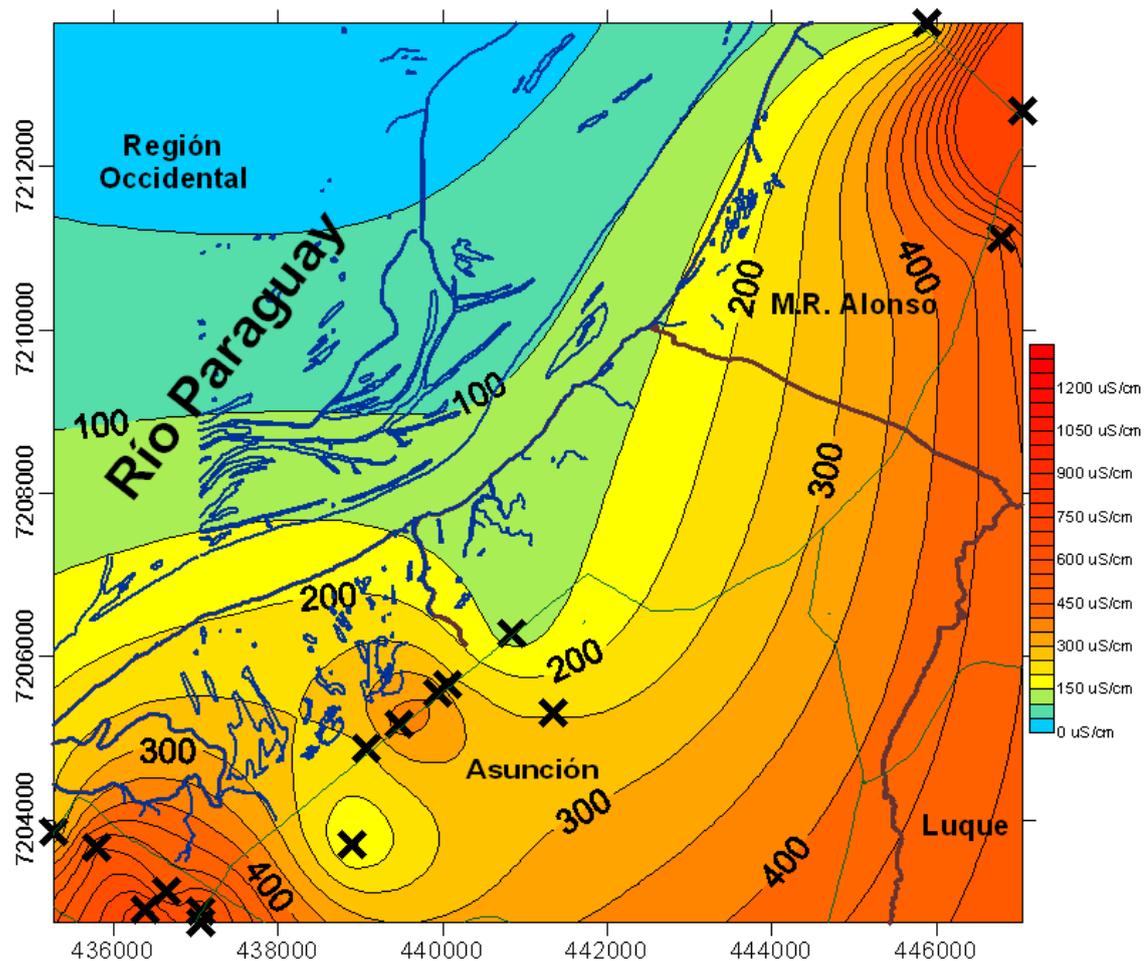


Figura 4.83 – Líneas de isoconductividad eléctrica 2007

En este gráfico del año 2007 se observa que los valores de conductividad no se encontraban muy elevados, pero sin embargo se podían observar valores llamativos en la zona norte de Mariano Roque Alonso y en la zona central de Asunción.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

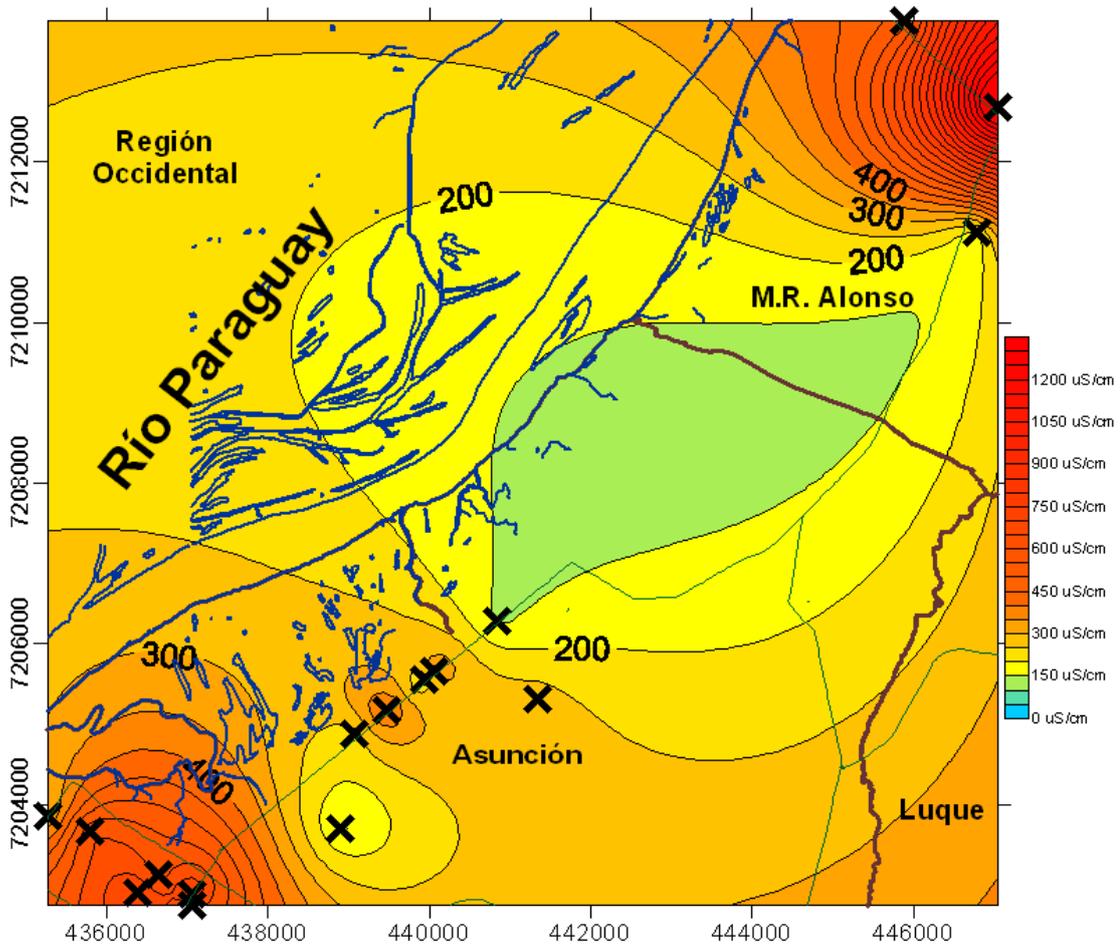


Figura 4.84 – Líneas de isoconductividad eléctrica 2009

En este gráfico del año 2009 se observa ya un aumento generalizado de los valores de conductividad empezando a caer los mismos en general en una zona que podríamos llamarla zona de riesgo o crítica, obteniéndose nuevamente los valores mas elevados en la zona norte de Mariano Roque Alonso y en la zona central de Asunción.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sólidos Totales Disueltos (STD)

Tabla 4.19 – Sólidos totales disueltos 2007/2009

Nº Muestra	Local	Municipio	STD (mg/l)			
			2009	2007	Variación	Conclusión
M1	Copetrol-Colón	Asunción	137	158	-13,29%	Disminuyó
M2	Edificio Yasaindy	Asunción	286	363	-21,21%	Disminuyó
M5	Edificio El Alto	Asunción	343	487	-29,57%	Disminuyó
M6	Círculo Pyo de Médicos	Asunción	280	341	-17,89%	Disminuyó
M7	Petrobras-Touring	Asunción	356	427	-16,63%	Disminuyó
M8	Lavadero - Azara c/ Brasil	Asunción	285	403	-29,28%	Disminuyó
M16	Club Alemán	Asunción	71	93	-23,66%	Disminuyó
M17	Automotor S.A.	Asunción	114	157	-27,39%	Disminuyó
M18	Lavadero	Asunción	216	248	-12,90%	Disminuyó
M19	Estación de Servicio La Candelaria	Asunción	92	225	-59,11%	Disminuyó
M24	Estación de Servicio Artigas	Asunción	167	177	-5,65%	Disminuyó
M25	Lavadero	Asunción	70	82	-14,63%	Disminuyó
M35	Estación BR-Sacramento	Asunción	135	163	-17,18%	Disminuyó
M60	Lubripar-Cerro Corá	M.R. Alonso	744	825	-9,82%	Disminuyó
M61	BR Remanso	M.R. Alonso	262	102	156,86%	Aumentó
M64	El Rodeo	M.R. Alonso	89	330	-73,03%	Disminuyó

Fuente: elaboración propia

Al comparar los valores de 2007 con los obtenidos en 2009, los porcentajes de aumento del nivel de cloruros son importantes.

Parámetros estudiados	Nº de muestras	Aumentó en:	Disminuyó en:	% de Aumento	% de Disminución
STD	16	1	15	6,25%	93,75%

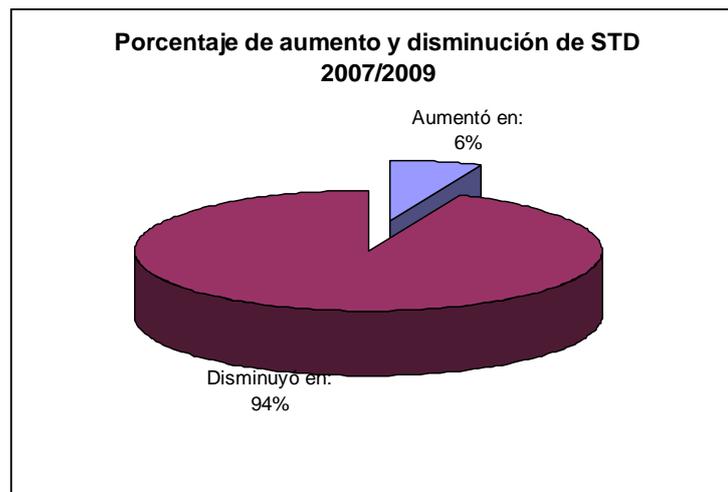


Figura 4.85 – Variación de STD 2007/2009

De 16 muestras, en 1 sola de ellas el nivel de STD ha aumentado, el en el resto de las muestras se producen disminución de los valores.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

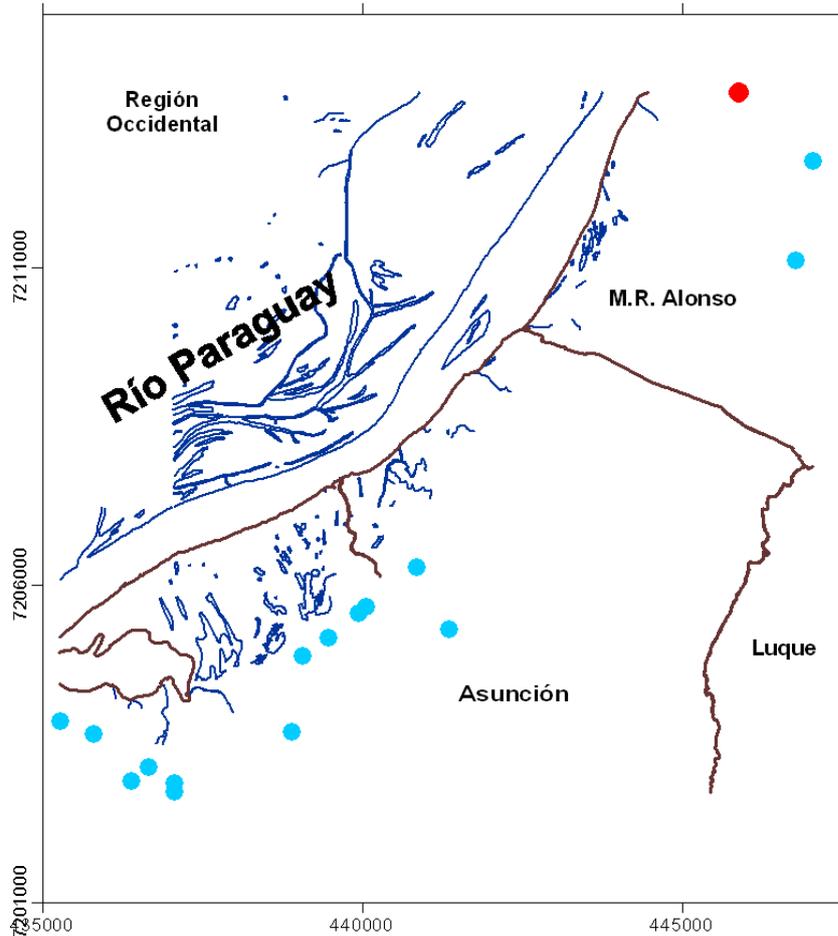


Figura 4.86 – Distribución de la variación de STD 2007/2009

En el gráfico se puede observar de color rojo la ubicación del pozo que ha experimentado aumento en su valor de STD, mientras que figuran de celeste los que sufrieron disminuciones.

El valor admisible por las normas nacionales para este parámetro es de 1.000 mg/l. Teniendo en cuenta este límite, comparamos la cantidad de muestras dentro y fuera de este rango para los dos trabajos que se pretenden contrastar, obteniendo estos resultados.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	STD ≤ 1000	STD > 1000	Dentro del rango	Fuera del rango
STD 2007	16	16	0	100,00%	0,00%
STD 2009	16	16	0	100,00%	0,00%

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Los valores en el estudio del 2007 se encuentran todos dentro de los valores límites admisibles de calidad y mas aún en el 2009 se encuentran todos dentro de rango ya que el 94% de los resultados obtenidos disminuyeron su valor.

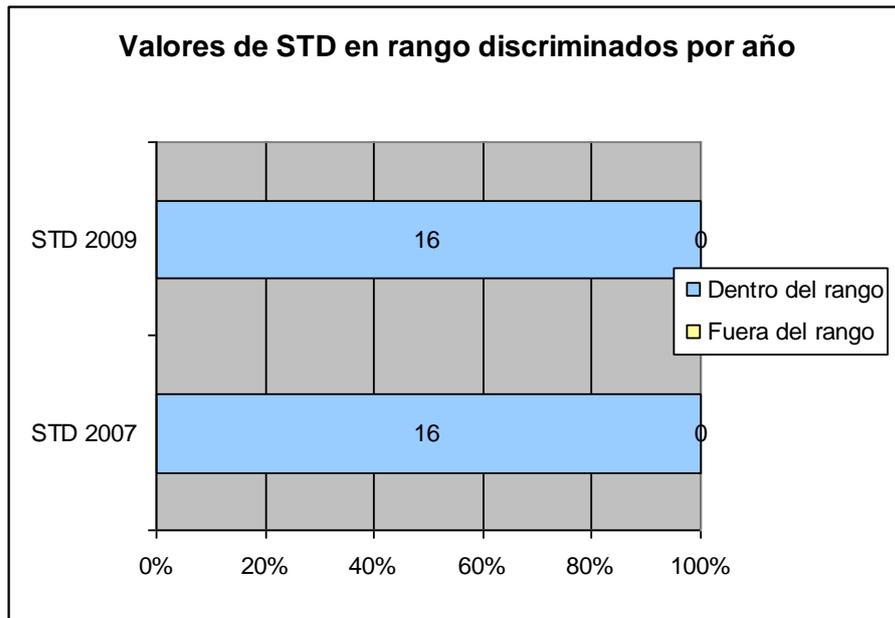


Figura 4.87 – Valores de STD en rango 2007/2009

A continuación se presenta la ubicación geográfica de cada muestra obtenida, clasificada por rangos, de acuerdo a la importancia de los valores obtenidos y su límite admisible de acuerdo a las normas paraguayas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

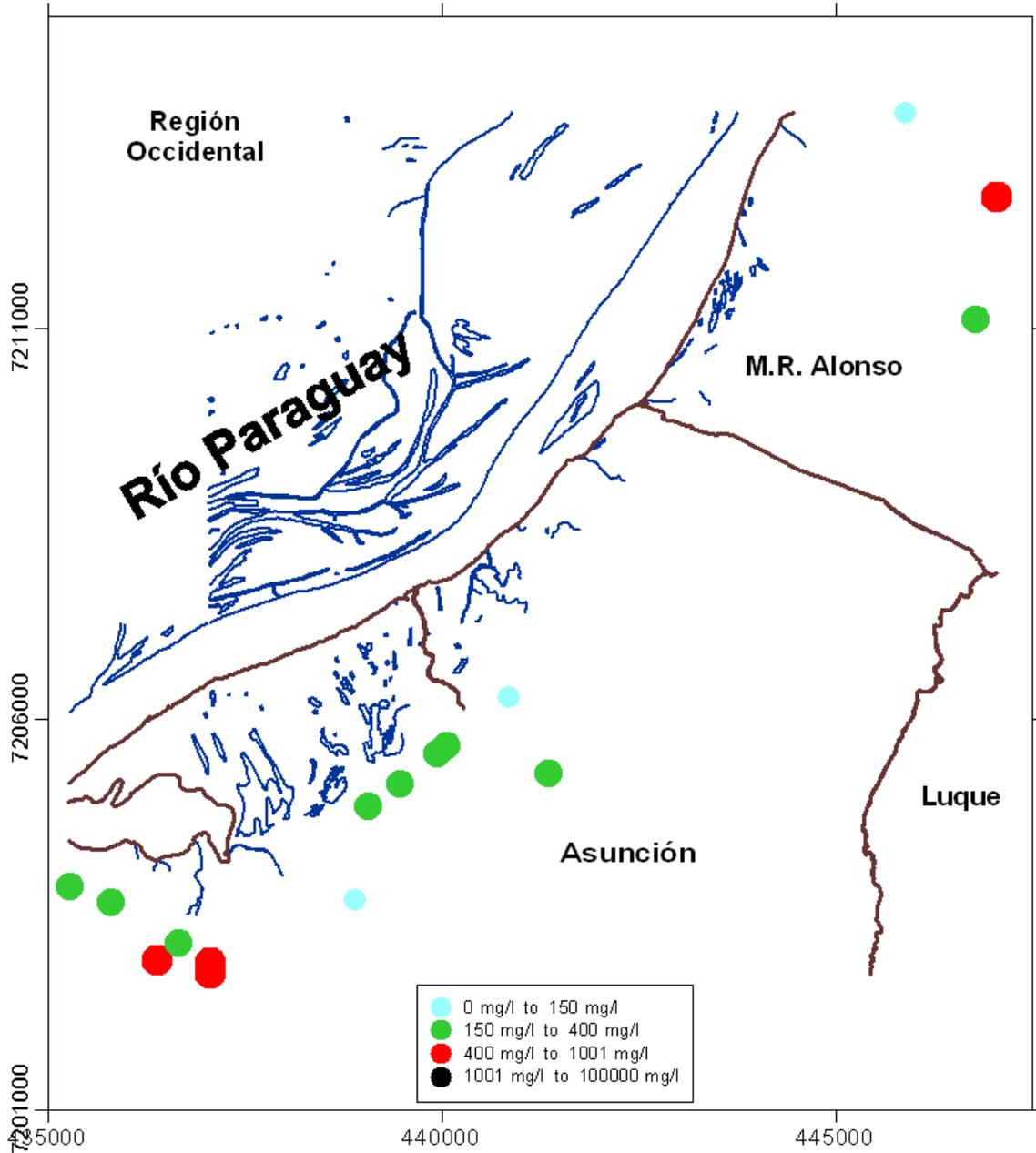


Figura 4.88 – Clasificación de STD por rango 2007

**ACUÍFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

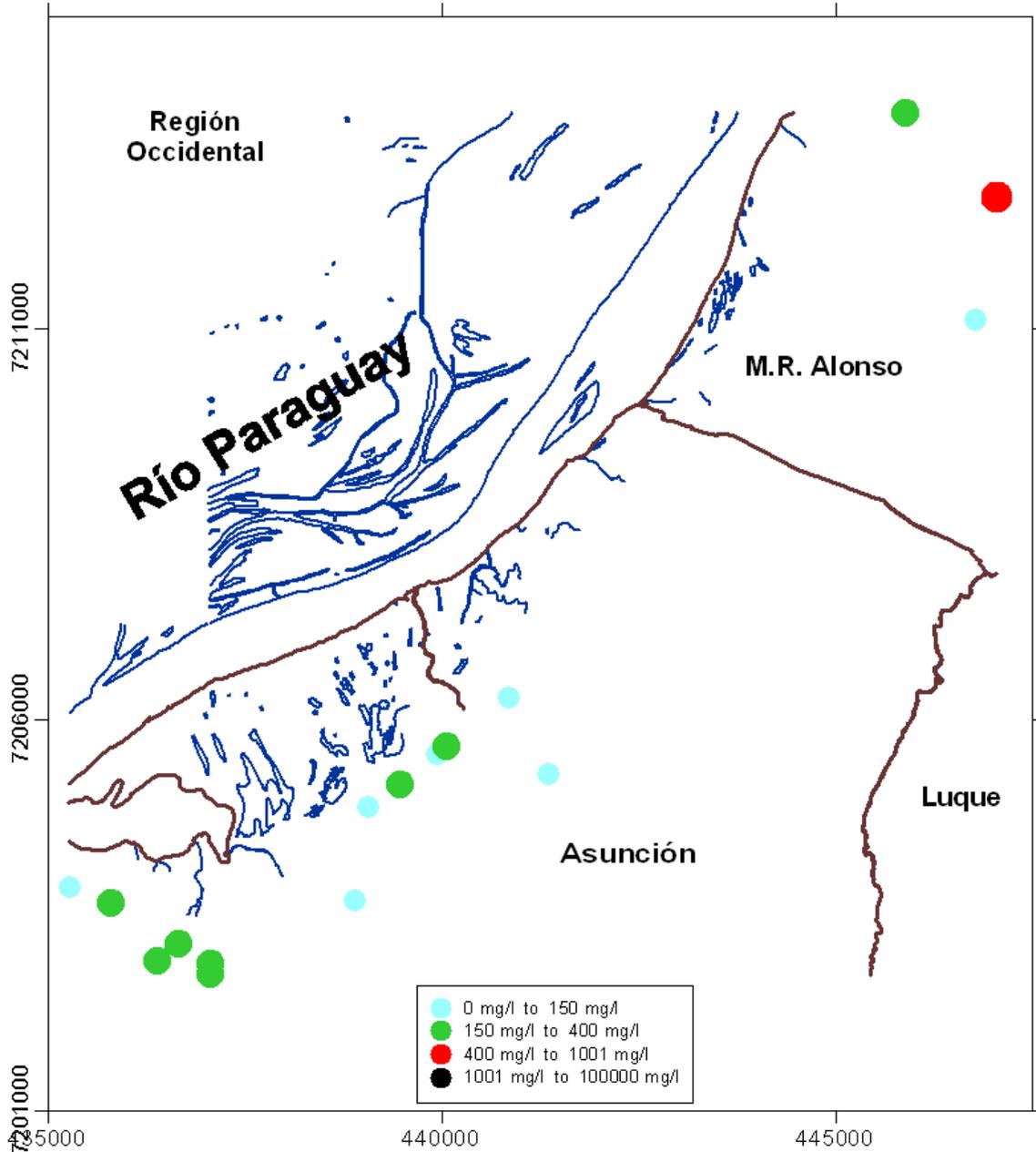


Figura 4.89 – Clasificación de STD por rango 2009

En el año 2007, se puede ver que cuatro muestras obtuvieron valores que se podrían considerar riesgosos, y se observan varias muestras con valores llamativos. Sin embargo en la actualidad se encuentra un solo valor que podría considerarse riesgoso y los valores llamativos que se presentaron en el 2007 ya se ven claramente disminuidos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Relación Sólidos Totales Disueltos/Conductividad Eléctrica

(STD/CE)

Existe una relación lineal muy marcada en las aguas subterráneas entre los sólidos totales disueltos y la conductividad eléctrica. El cociente entre estos dos valores es estudiado para cada acuífero, de modo que al determinar esta relación, es posible estimar con facilidad el valor de STD, conociendo el de conductividad eléctrica, el cual es muy sencillo de medir in situ.

Esto nos llevó a realizar un análisis de esta relación, en base a los datos incluidos dentro del trabajo de CKC, para luego compararlos con los obtenidos por nuestras muestras.

Según las experiencias de profesionales del área, para las aguas del Acuífero Patiño este cociente suele estar comprendido entre 0,6 y 0,7.

Llevando a un gráfico los valores obtenidos por el estudio de CKC, se puede apreciar la relación.

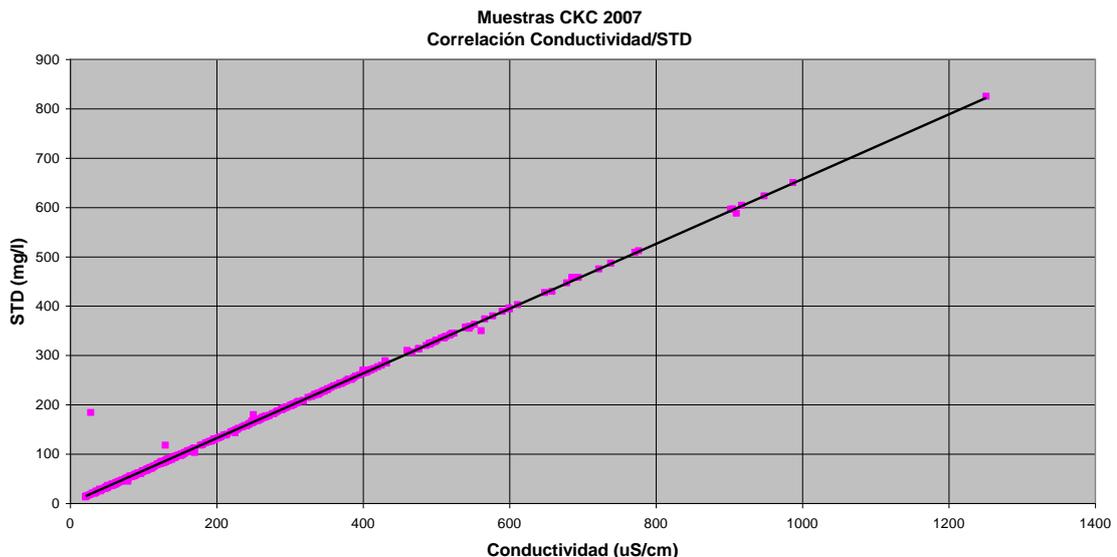


Figura 4.90 – Relación STD/CE 2007

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Se puede ver fácilmente la relación lineal, y en este caso el cociente quedó de la siguiente manera:

$$STD/CE = 0,66$$

Lo mismo se realizó con los valores que obtuvimos de nuestras muestras, siendo este el resultado:

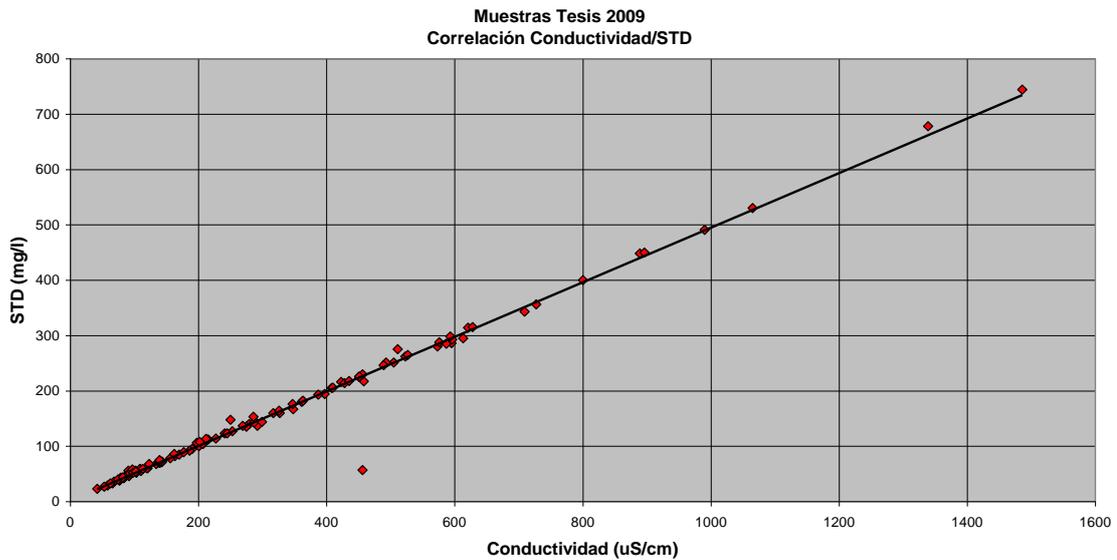


Figura 4.91 – Relación STD/CE 2009

También se observa la marcada relación lineal entre los dos parámetros, sin embargo, para nuestros valores la relación quedó de la siguiente manera:

$$STD/CE = 0,50$$

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Análisis Transversal

El criterio para este análisis es mostrar la situación actual que presenta las aguas del Acuífero en lo referente a los parámetros que decidimos analizar.

A continuación se muestra en el siguiente mapa la distribución de los pozos muestreados que integran nuestra base de datos.

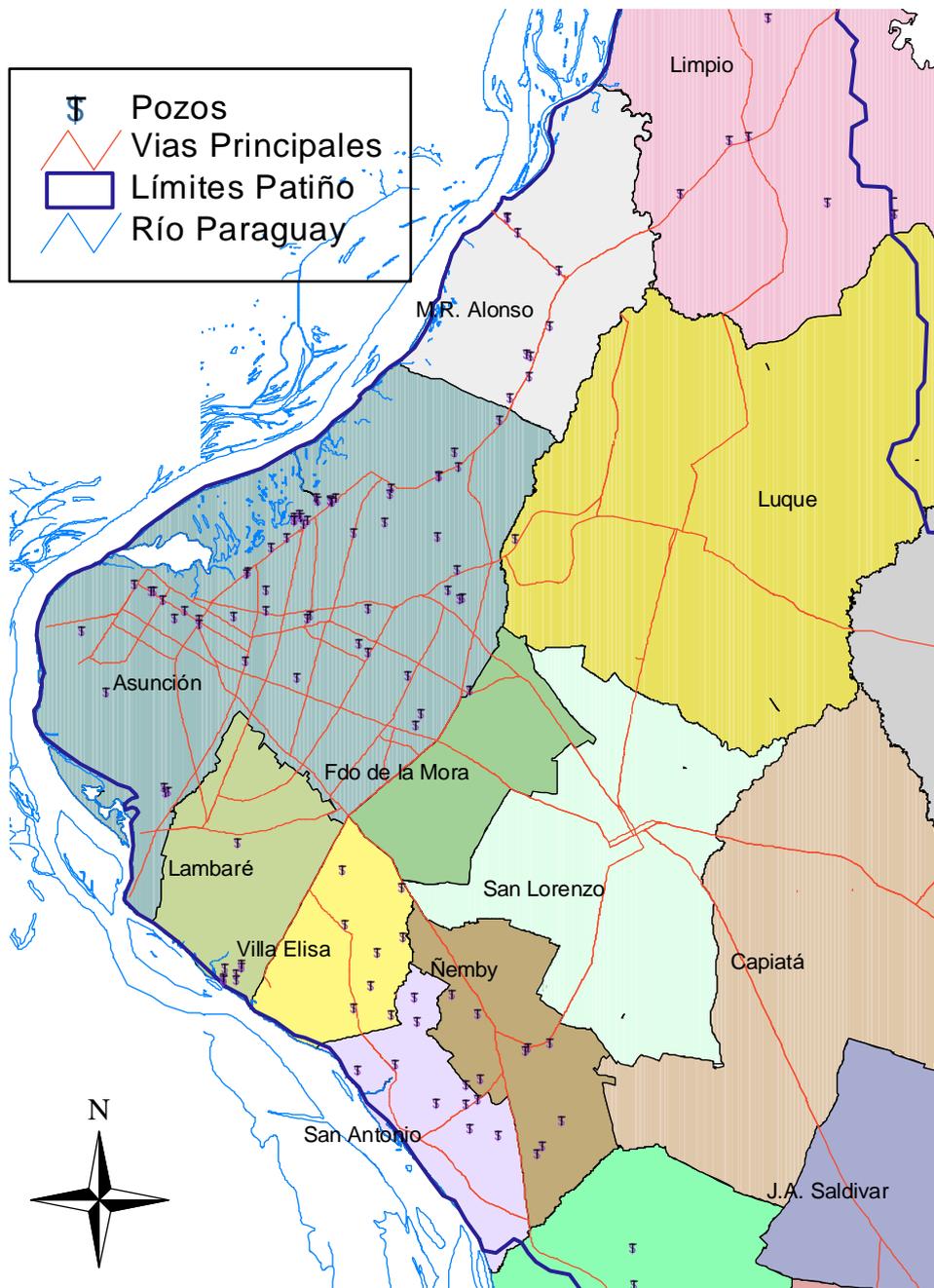


Figura 4.92 – Pozos muestreados TFG 2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Los parámetros que analizamos de cada pozo y que serán analizados para determinar la situación actual del Acuífero son Conductividad Eléctrica, PH, Sólidos Totales Disueltos, Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

Estos fueron los resultados obtenidos:

Tabla 4.20 – Resultados de análisis de laboratorio TFG 2009

Nº	Local	CE (μ S/cm)	STD (mg/l)	ph	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	C.T. UFC/100 ml	C.F. UFC/100 ml
M1	Copetrol-Colón	292	137	5,7	22,5	7,43	39,4	Inn	Inn
M2	Edificio Yasaindy	595	286	6,7	44,5	68,15	17,7	0	0
M3	Asunción Supercentro	397	194	5,6	34,5	15,79	25,2	8	4
M4	Hotel Guarani	596	293	6,6	45,9	58,08	63,3	0	0
M5	Edificio El Alto	709	343	5,8	72,5	55,08	87,7	0	0
M6	Círculo Pyo de Médicos	573	280	6,7	52,5	69,73	93,4	9	5
M7	Petrobras-Touring	727	356	6,3	77,5	26,54	110,7	0	0
M8	Lavadero - Azara c/ Brasil	587	285	6,1	55	49,79	19,4	10	2
M9	Emergencias Médicas	613	295	6,5	57,5	55,47	61,5	0	0
M10	Hotel del Paraguay	458	217	5,3	52,5	20,78	13,2	0	0
M11	Shopping Mcal Lopez	163,1	82	5,2	15	7,34	28,8	0	0
M12	Ex residencia Baumann	190,6	95	5,6	25	19,88	28,8	0	0
M13	Club Centenario 1	327	160	6,3	31,7	26,61	26,6	0	0
M14	Club Centenario 2	134,2	68	5,9	8,3	14,99	15,5	4	2
M15	Asunción Tennis Club	317	160	5,7	35	21,5	21,7	0	0
M16	Club Alemán	142,9	71	6,8	7,9	11,86	18,6	0	0
M17	Automotor S.A.	227	114	6,6	38,3	24,6	19	3	1
M18	Lavadero	423	216	7,1	61,5	27,87	37,2	0	0
M19	Estación de Servicio La Candelaria	186,1	92	7,2	18,3	28,82	16,8	0	0
M20	Seltz 1	387	193	6,8	62,5	7,49	13,7	0	0
M21	Seltz 2	288	145	6,7	48,3	4,61	20,4	0	0
M22	Seltz 3	279	140	6,7	36,7	3,98	16,4	0	0
M23	Seltz 4	621	314	6,7	180	8,94	20,4	0	0
M24	Estación de Servicio Artigas	348	167	6,8	34,5	18,05	16,8	8	0
M25	Lavadero	139,3	70	6,5	3,5	16,95	14,8	4	0
M26	Seltz 1 Planta 1	139,3	70	6,3	25,9	17,16	14,1	0	0
M27	Seltz 2 Planta 1	207	104	6,1	95,5	15,26	17,7	2	0
M28	Seltz 3 Planta 1	241	123	6,8	34,9	8,92	15,5	2	0
M29	Frigorífico Mutti	253	127	6,8	37,5	9,97	16,3	0	0
M30	Paraguay Lawn Tennis Club	505	251	6,1	95,5	16,24	16,8	0	0
M31	Frigobeef 1	287	143	5,2	26,9	11,45	14,1	0	0
M32	Frigobeef 2	1065	530	6,8	250	21,34	14,6	0	0
M33	Curtiembre Vernon 1	361	180	6,7	60	11,56	13,2	5	0
M34	Curtiembre Vernon 2	363	182	6,7	60	11,32	14,6	2	0
M35	Estación BR-Sacramento	275	135	6,7	25	32,74	15	40	18
M36	Lavadero Copetrol-Botánico	451	225	7	75	21,93	11	18	7
M37	Lavadero BR-Botánico 1	156	78	6,9	15	64,27	0	0	0
M38	Lavadero BR-Botánico 2	800	400	7,5	1192,1	276,2	15,5	8	2
M39	Petrobrás-Transchaco	201	100	5,2	528,3	34,13	17,7	15	3
M40	Estación BR-Traschaco	141	71	6,1	15	0,56	14,2	18	0
M41	Club River Plate	299	144	5,6	31,5	15,72	21,7	20	5
M42	Heladería Via Apia	103,3	52	5,2	14	9,05	18,6	1	0
M43	Residencia Castiglioni	77	39	5,3	3,9	19,15	14,1	3	0
M44	Mayor José C. Lamas 1178	169,9	85	5,2	1,5	31,48	17,7	8	0
M45	Record Electric	58,1	29	5,9	19,5	16,4	13,2	2	0
M46	Taller	65,7	33	5,5	0,9	14,29	11,9	16	5
M47	Ykuá Satí 1	269	137	5,2	40,5	2,46	15,1	4	0
M48	Ykuá Satí 2	206	104	5,9	3,5	26,75	17,7	2	0
M49	Parque Nu Guazú	889	448	6,8	15,9	54,15	8,9	0	0
M50	Ex-Laboratorio	456	230	7,2	45,5	81,48	15,1	0	0

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tabla 4.20 (continuación)

Nº	Local	CE (µS/cm)	STD (mg/l)	ph	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	C.T. UFC/100 ml	C.F. UFC/100 ml
M51	Pizarro e/ San Fernando	493	251	6,9	35	86,42	18,36	10	0
M52	Pizarro y Mons Rodriguez	347	176	6,8	32,5	53,16	9,36	0	0
M53	Pizarro y San Fernando	139,9	71	6,7	11	25,16	12,32	1	0
M54	Plaza	990	491	6,8	220	65,3	0	11	0
M55	Junta de Saneamiento-Limpio	1339	678	6,7	350	24,45	15,9	68	1
M56	Salado-Limpio	83,4	42	5,7	15	40,01	0	10	6
M57	Frigochaco	91,8	46	5,2	3	11,33	15,5	0	0
M58	Junta de Saneamiento-Piquete Cué	428	214	6,3	75	62,15	0	0	0
M59	Lavadero-Limpio	489	246	6,8	90	70,06	0	0	0
M60	Lubripar-Cerro Corá	1486	744	6,9	420	61,1	15,9	3	1
M61	BR Remanso	523	262	5,7	100	54,22	17,7	4	1
M62	Particular-Antonio Palacio	408	205	5,3	65	22,79	16,8	0	0
M63	Particular-Sra Juanita	527	265	5,2	100	41,76	13,7	0	0
M64	El Rodeo	177	89	6,4	19	62,16	20,3	0	0
M65	Ex-Concretmix	143	72	6,4	14	50,13	74,8	0	0
M66	Inpet 1	120,9	60	6,3	5	38	13,3	21	9
M67	Inpet 2	110,2	55	6,8	10	35,39	12,8	0	0
M68	Las Mercedes-Flia Balbuena	628	315	6,9	50	42,3	9,7	0	0
M69	Petrobrás-Expo	76,6	38	6,1	7,5	0,8	163	60	19
M70	Arq Crosa - Vivero	229	11,5	5,3	26,5	27,08	113,6	15	9
M71	Puerto Pabla 1	451	226	6,7	65	51,75	113,6	500	100
M72	Puerto Pabla 2	576	288	7,1	70	100	71,7	16	8
M73	Puerto Pabla 3	593	298	6,7	65	53,31	8	368	184
M74	Puerto Pabla 4	896	450	7,2	65	70,05	234,2	120	80
M75	Puerto Pabla 5	410	206	7,4	35	60	143,9	240	120
M76	Puerto Pabla 6	250	148	6,7	3	39,15	167,2	68	32
M77	Puerto Pabla 7	119,1	60	5,3	17,5	23,8	64,2	24	0
M78	Puerto Pabla 8	326	164	6,7	50	65,47	41,3	0	100
M79	Cantera-Nemby 1	435	218	7,2	40	46,34	47,6	200	80
M80	Cantera-Nemby 2	245	123	6,3	30	0	31,6	64	32
M81	Cantera-Nemby 3	140,1	73	5,5	6,5	42,16	81,6	8	3
M82	Ypané P1	108,6	59	6,4	1	10,75	2,163	0	0
M83	Ypané P3	78,9	43	5,6	5,5	10,52	2,82	0	0
M84	Junta de Saneamiento Cerrito P3	123,1	68	5,7	9	12,16	12,35	0	0
M85	Junta de Saneamiento Cerrito P4	90,8	56	6	4	9,59	10,51	4	0
M86	IPVU Cerrito	85,9	46	6	3	9,38	9,4	3	0
M87	Junta de Saneamiento Cerrito P2	101,8	56	5,9	4	12,99	11,97	0	0
M88	Junta de Saneamiento Cerrito P1	101,8	55	6,2	6	10,91	11,25	0	0
M89	ESSAP San Antonio	89,4	48	5,7	5,5	13	8,17	1	0
M90	CONAVI Las Garzas San Antonio	42	23	5,5	2	1,42	3,67	0	0
M91	Edgar Ruiz Díaz	68,4	36	5,2	7	5,04	3,85	0	0
M92	Marco Arsenio Ortiz-Excavado	215	112	6,3	12,5	6,67	75,44	0	0
M93	Aguatería Eugenio Francouse	690	36	5,6	9,5	6,81	36,5	0	0
M94	Aguatería San Francisco	52,8	27	0	5,5	5,47	25,48	0	0
M95	Aguatería Comunitaria Mbocayaty	113	59	0	11,5	6	71,23	2	0
M96	Junta de Saneamiento Nemby P2	93,1	51	6,7	7,5	4,59	1,92	0	0
M97	Estadio Defensores del Chaco	197,6	106	6,6	10,5	17,57	11,2	6	2
M98	Comando de Ingeniería	96,8	58	5,5	7,5	11,71	15,2	0	0
M99	Ing Chavez	456	57	5,2	48,9	10,09	50,06	0	0
M100	Residencia Martín	212	113	5,4	24,5	27,22	22,55	0	0
M102	Aguatería minicipal-Villa Elisa	286	153	5,3	24,5	17,03	36,14	0	0
M103	Club Sol de America	78,4	41	6,1	3,9	10,09	4,52	Inn	104
M104	Balneario-Villa Elisa	74,6	40	5,9	1,9	32,86	4,89	0	0
M105	Aguatería Privada-Villa Elisa	139,4	75	5,7	10,9	30,92	5,49	0	0
M106	Conavi-Villa Elisa	82,2	44	5,2	3,9	28,32	8,76	0	0
M107	Junta de Saneamiento-Mbocayaty	97,8	52	6,3	4,5	28,91	12,98	0	0
M108	Mario Agustín Vian	511	275	6,9	55,5	52,44	55,84	10	4
M109	Asoc Vecinos Manos Unidas	202	108	5,2	15	27,78	28,89	0	0
M110	Aguatería privada-Nemby	162,4	86	5,4	16	31,92	12,39	0	0
M111	Aguatería privada-Nemby	102,1	54	5,4	7	25,51	8,84	0	0
M112	Junta de saneamiento	62,3	33	5,6	7	21,29	2,36	0	0
M113	Club Libertad 1	335							
M114	Club Libertad 2	335							

Fuente: elaboración propia

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Conductividad eléctrica

En lo referente a la Conductividad Eléctrica, y realizando una comparación con los valores establecidos por las normas paraguayas, obtuvimos los siguientes resultados:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	CE ≤ 1250	CE > 1250	Dentro del rango	Fuera del rango
Conduct 2009	113	111	2	98,23%	1,77%

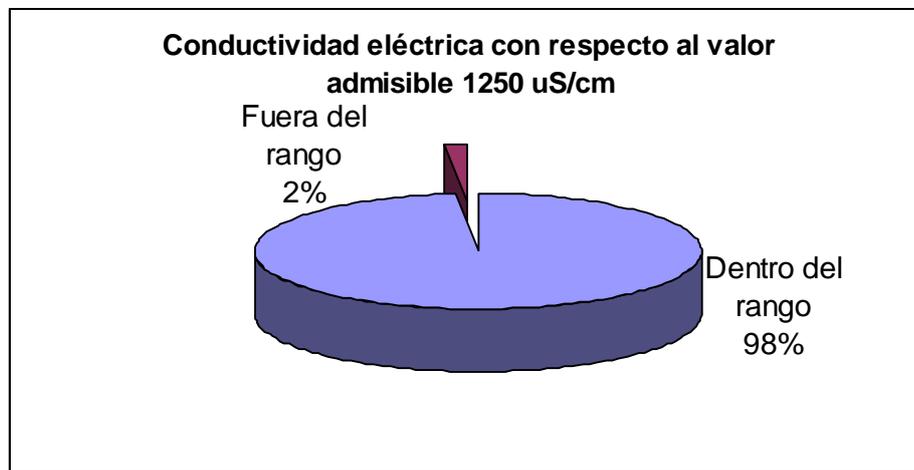


Figura 4.93 – Valores de CE en rango TFG 2009

El valor admisible es de 1250 uS/cm, el cual fue superado en apenas 2 muestras, lo que representa casi el 2% de las mismas.

Este mismo análisis se puede realizar teniendo en cuenta el valor recomendado por la misma norma, que es de 400 uS/cm, que es el valor máximo aconsejado tanto por la Organización Panamericana de la Salud como la Organización Mundial de la Salud.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	CE ≤ 400	CE > 400	Dentro del rango	Fuera del rango
Conduct 2009	113	78	35	69,03%	30,97%

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

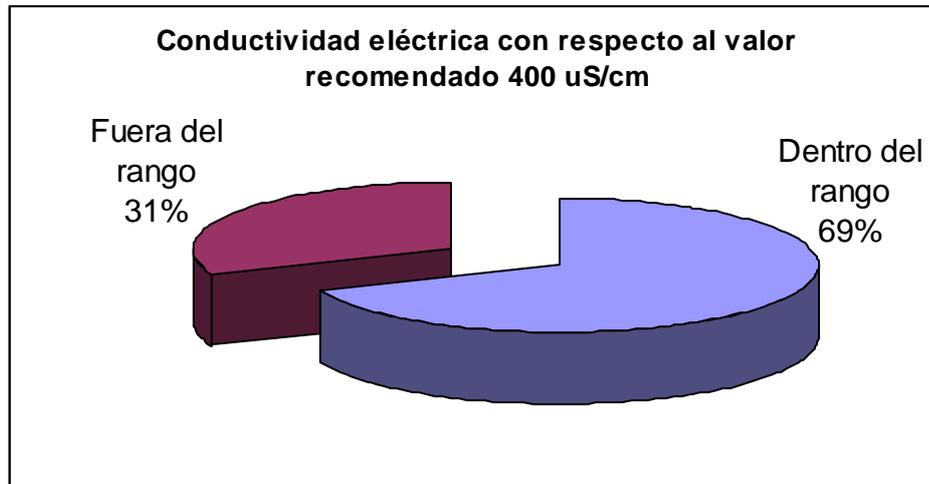


Figura 4.94 – Valores de CE en rango (recomendado) TFG 2009

Considerando este último límite, ya encontramos una mayor cantidad de muestras fuera del rango recomendado, lo que representa el 31% de las mismas.

Sin embargo, la mejor manera de visualizar la situación en lo referente a la conductividad es mediante las líneas de isoconductividad obtenidas a partir de los resultados de laboratorio.

Georreferenciando estos valores, y mediante el uso de software Surfer 8, pudimos obtener los siguientes gráficos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

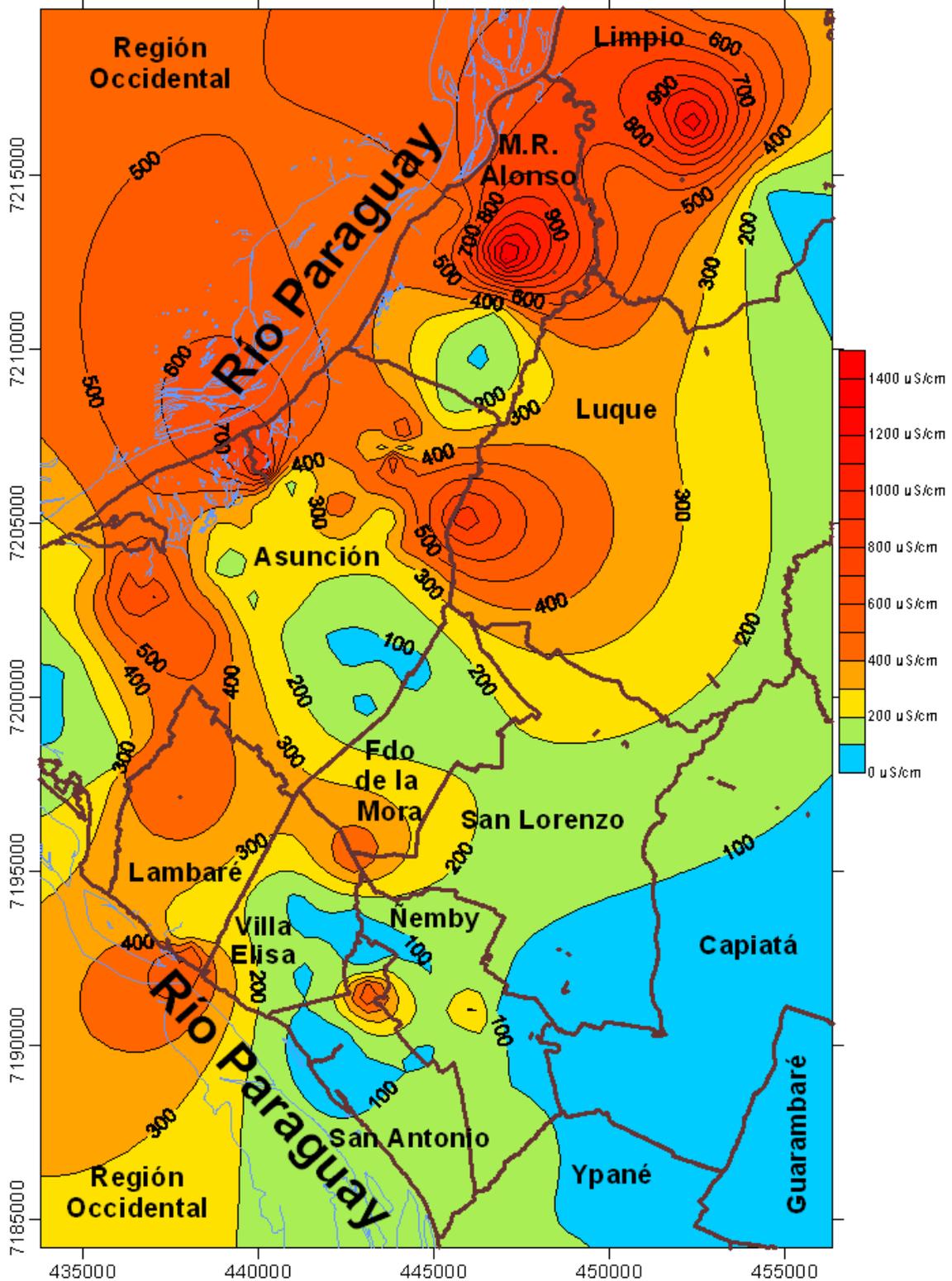


Figura 4.95 – Líneas de isoconductividad TFG 2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Teniendo en cuenta las características hidroquímicas del agua, y en base a las informaciones obtenidas, clasificamos los valores de conductividad eléctrica considerando:

1. Valores normales para el agua del acuífero Patiño hasta 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
2. Valores llamativos hasta 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por ser el límite recomendado por la norma paraguaya.
3. Indicios de contaminación, hasta 1.250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por ser este el límite admisible por las normas paraguayas
4. Invasión salina, valores mayores a los 1.250 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En el gráfico podemos observar que los valores de mayor conductividad se encuentran en los distritos de Limpio, Mariano Roque Alonso y en la zona norte de Asunción. En una franja de la zona central de Asunción y el norte de Lambaré también se observan valores que representan indicios de contaminación.

Sin embargo, en la zona sur del área de estudio, en los distritos de Villa Elisa, San Antonio, Ñemby e Ypané, los resultados encontrados se pueden catalogar como normales, y sin signos llamativos que puedan significar indicios de cualquier tipo de contaminación.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

ph

Para comenzar realizamos una comparación de los resultados obtenidos para saber que cantidad de las muestras presentan un carácter ácidos y que cantidad presentan un carácter básico, obteniendo el siguiente resultado

Parámetro estudiado	Nº de muestras	Mayor a 7	Menor a 7	% de Aguas Básicas	% de Aguas Acidas
ph 2009	111	9	102	8,11%	91,89%



Figura 4.96 – Valores de pH según su carácter TFG 2009

Podemos observar el gran porcentaje de aguas de carácter ácido que representa el 92% de las muestras.

Ubicando estos valores en un mapa, se puede ver la distribución de los mismos según su carácter.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

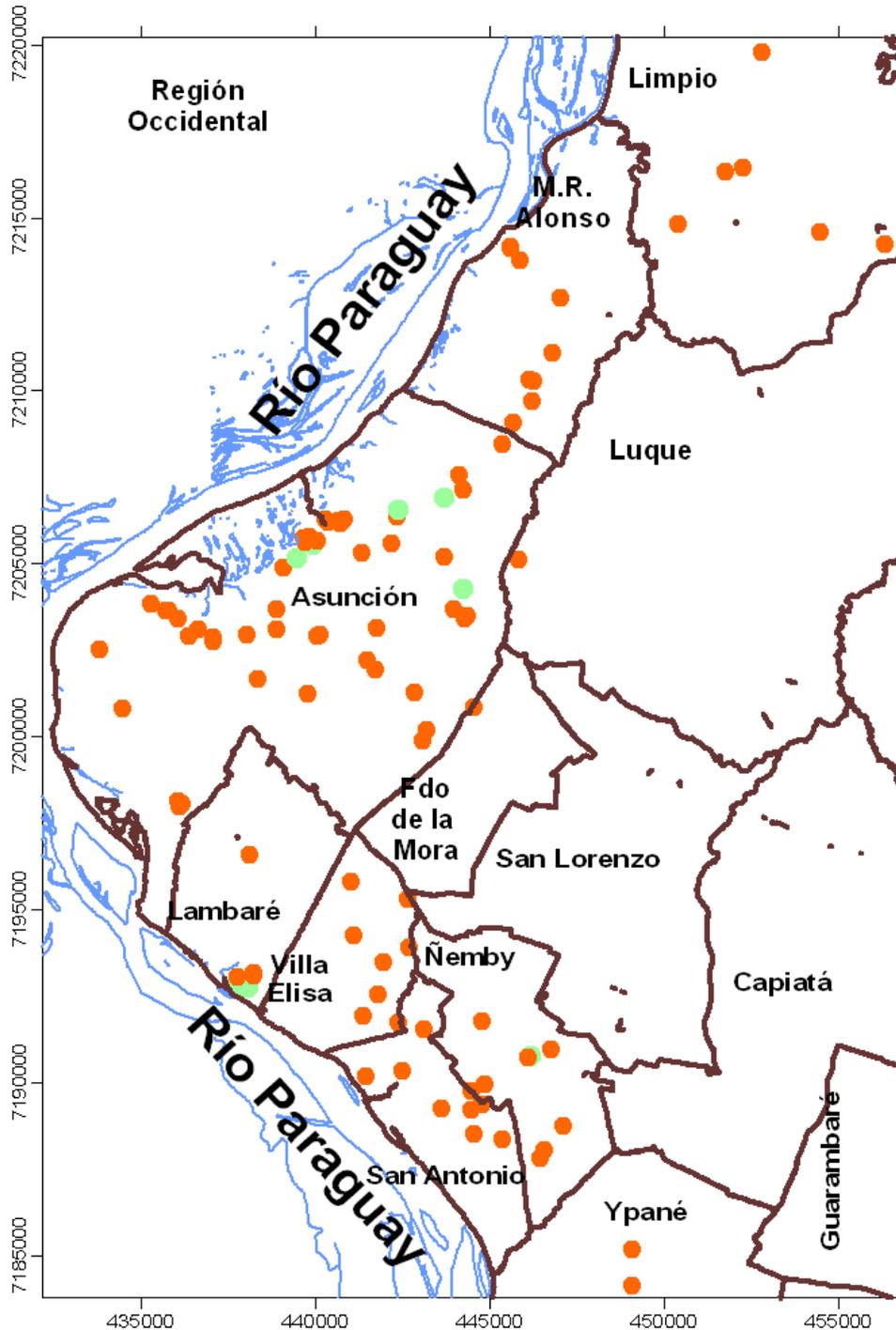


Figura 4.97 – Distribución del carácter de pH TFG 2009

Los puntos de color naranja representan los pozos con aguas de carácter ácido ($\text{pH} < 7$), y los de color verde los de carácter básico ($\text{pH} > 7$).

De las pocas muestras de carácter básico, la mayoría se encuentra en la zona de Asunción.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Otro análisis que se puede realizar con los datos de ph, es el de compararlos con el rango establecido por lo normativa paraguaya.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	ph < 6,5	6,5 < ph < 8,5	ph > 8,5	Fuera del rango	Dentro del rango
ph 2009	111	66	45	0	59,46%	40,54%

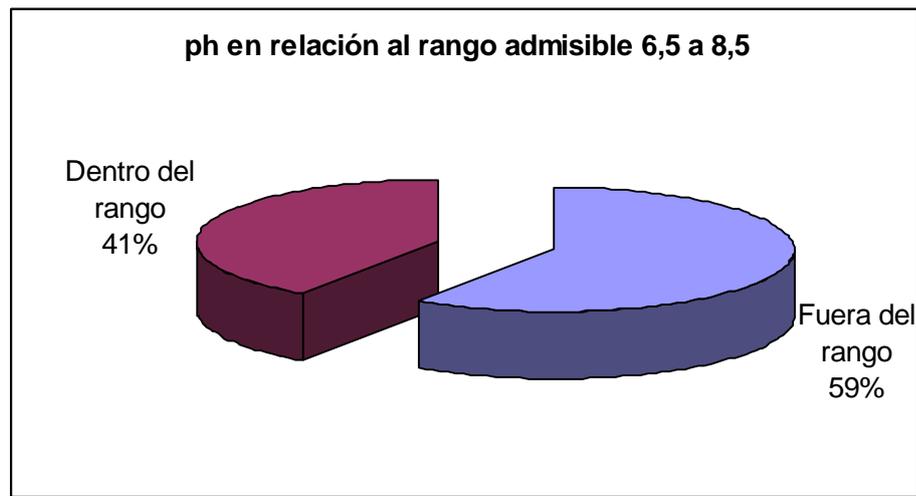


Figura 4.98 – Valores de pH en rango TFG 2009

De acuerdo a este parámetro, podemos decir que el 59% de las aguas analizadas están fuera de los límites de la calidad establecidos para el consumo humano.

Para una mejor interpretación de este análisis, ubicamos los resultados en un mapa, obteniendo el siguiente gráfico.

Los puntos de color rojo representan los pozos con valores de ph fuera del rango admisible, y los de color celeste los que poseen valores dentro del mismo rango.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

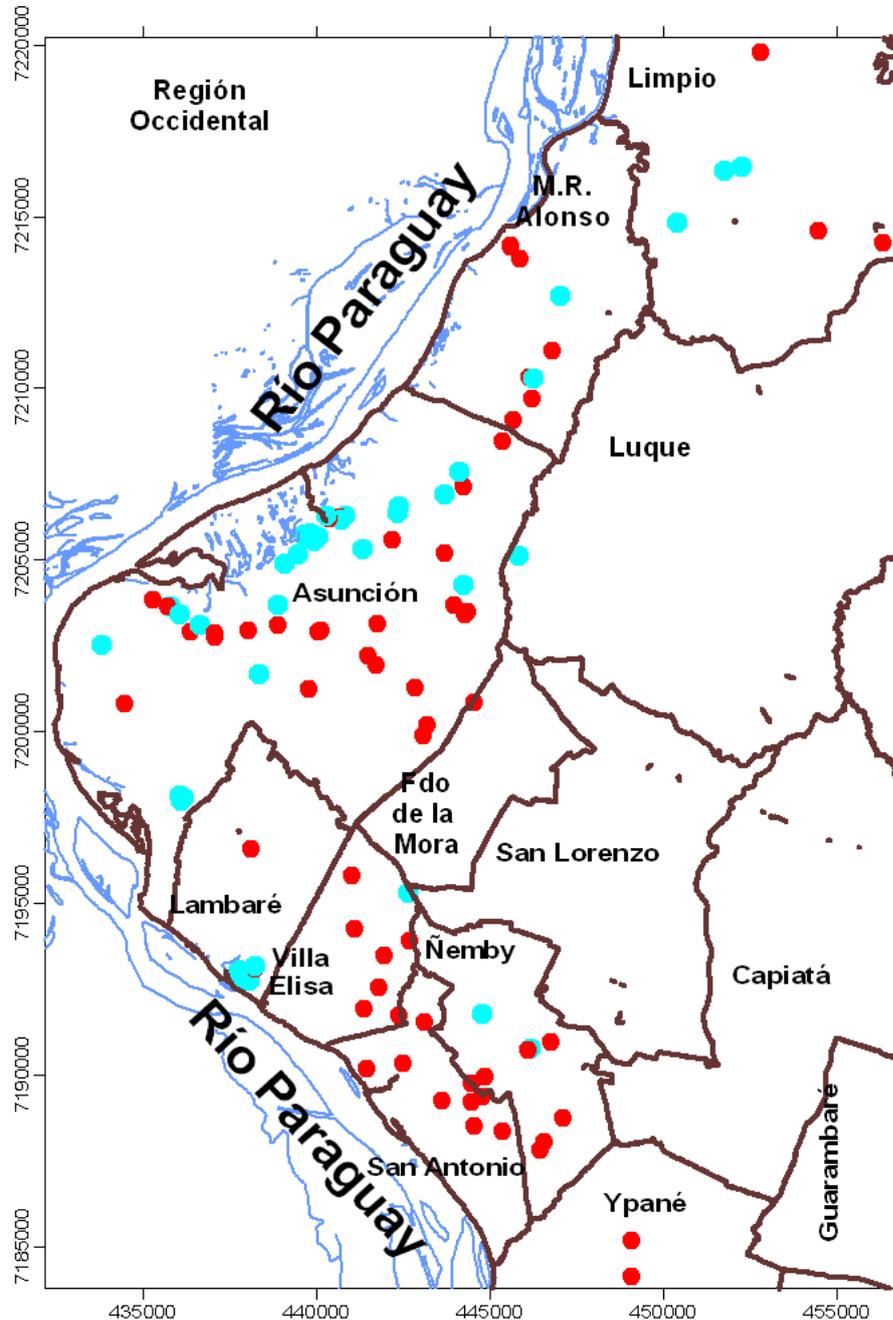


Figura 4.99 – Distribución de valores de ph en rango TFG 2009

En la zona norte (Limpio, Mariano Roque Alonso y Asunción) se puede observar resultados parejos, con iguales cantidades de pozos tanto dentro como fuera del rango, mientras que en la zona sur (Villa Elisa, Ñemby, San Antonio e Ypané) la gran mayoría de los pozos presentan valores fuera del rango.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sólidos Totales Disueltos (STD)

Al comparar los resultados con el valor admisible, obtuvimos los siguientes resultados:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	STD ≤ 1000	STD > 1000	Dentro del rango	Fuera del rango
STD 2009	111	111	0	100,00%	0,00%



Figura 4.100 – Valores de STD en rango TFG 2009

Todos los valores se encuentran dentro del rango, por lo que para una mejor interpretación de los resultados establecimos una clasificación teniendo en cuenta el siguiente criterio:

1. Hasta 150 mg/l, valores normales.
2. Hasta 400 mg/l, valores llamativos.
3. Hasta 1000 mg/l, valores riesgosos.
4. Mayor a 1000 mg/l, agua salobre, según la clasificación de Davis & Wiest (1967)

Con este criterio aplicado a los valores obtenidos, obtuvimos el siguiente gráfico.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

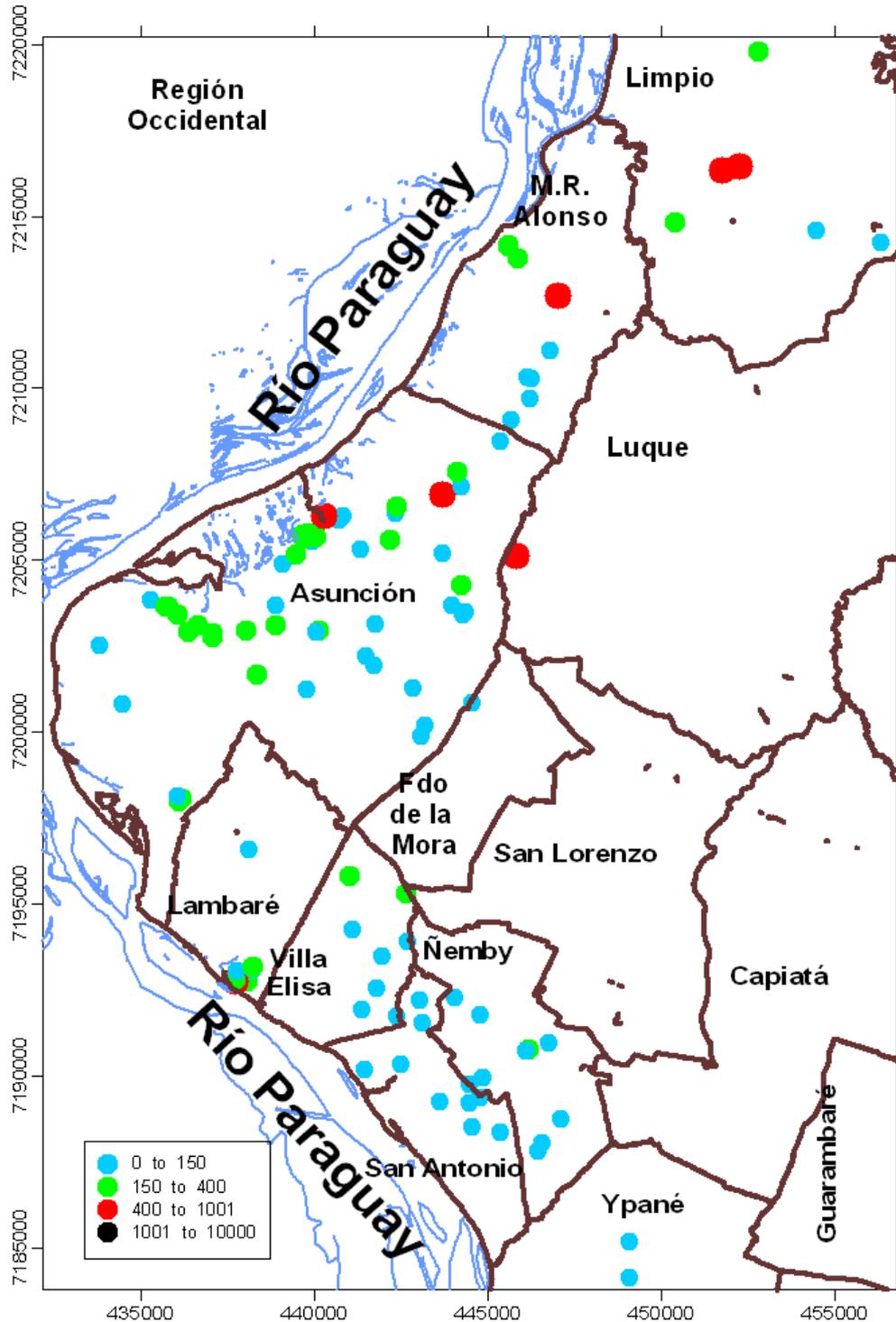


Figura 4.101 – Clasificación de STD por rango TFG 2009

La mayoría de los valores riesgosos se encuentran en la zona norte del área de estudio, al igual que la mayor cantidad de valores llamativos, mientras que en la zona sur encontramos un mayor número de valores normales.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Cloruros

En lo referente a la Cloruros, y realizando una comparación con los valores establecidos por las normas paraguayas, obtuvimos los siguientes resultados:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	CI ≤ 250	CI > 250	Dentro del rango	Fuera del rango
Cloruros 2009	111	107	4	96,40%	3,60%

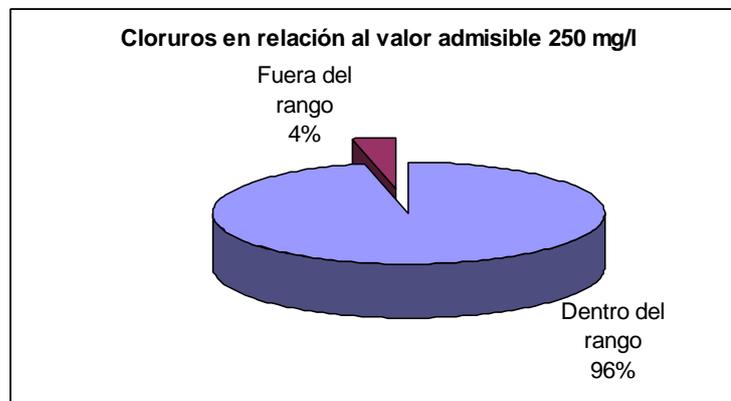


Figura 4.102 – Valores de cloruros en rango TFG 2009

La gran cantidad de los valores obtenidos están por debajo del valor límite, lo que corresponde al 96% de las muestras tomadas.

Para una mejor representación de los valores obtenidos clasificamos los mismos de la siguiente manera, para posteriormente mostrar los mismos en un gráfico en base a dicha clasificación.

1. Hasta 50 mg/l, valores normales.
2. Hasta 100 mg/l, valores llamativos.
3. Hasta 250 mg/l, valores riesgosos, por ser el valor admisible por la norma paraguaya
4. Mayor a 250 mg/l, valores por encima del valor admisible.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

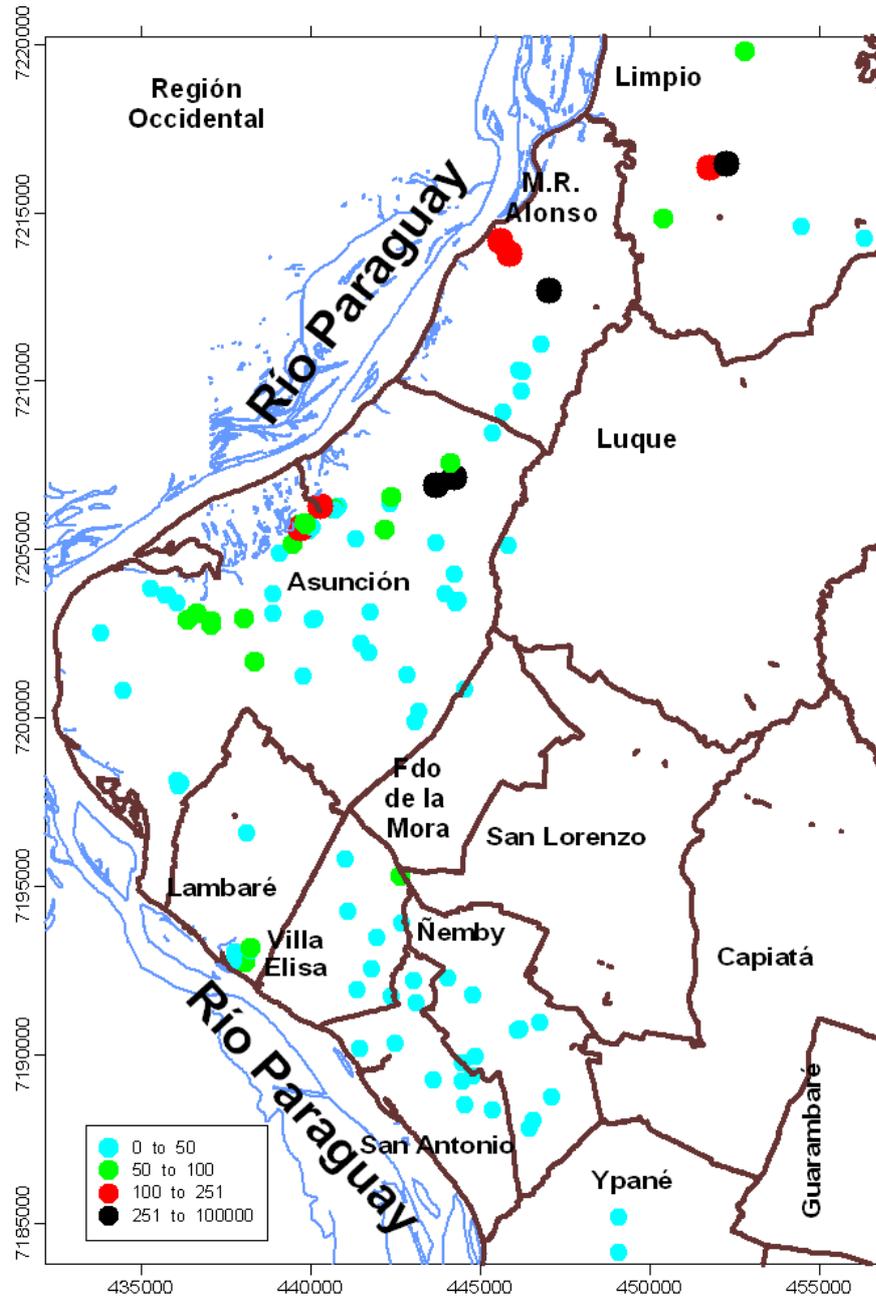


Figura 4.103 – Clasificación de cloruros por rango TFG 2009

Aparecen cuatro valores por encima del valor admisible y cinco valores riesgosos, todos estos se encuentran en la zona norte de nuestra área de estudio, así como también en esta zona aparecen varios valores llamativos. Mientras que en la zona sur de nuestra área los valores en general son normales.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sulfatos

Realizando una comparación entre los resultados obtenidos en nuestras muestras de este parámetro y el valor límite admisible que establece la norma paraguaya que es de 400 mg/l obtuvimos los siguientes resultados

Parámetro estudiado	Nº de muestras	SO ₄ ≤ 400	SO ₄ > 400	Dentro del rango	Fuera del rango
Sulfatos 2009	111	111	0	100,00%	0,00%



Figura 4.104 – Valores de sulfatos en rango TFG 2009

En base a este análisis podemos observar que ningún valor se encuentra por encima del valor límite. Para un mejor análisis podemos realizar esta misma comparación, pero tomando como valor límite el recomendado por la norma paraguaya que es de 250 mg/l.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	SO ₄ ≤ 250	SO ₄ > 250	Dentro del rango	Fuera del rango
Sulfatos 2009	111	110	1	99,10%	0,90%

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**



Figura 4.105 – Valores de sulfatos en rango (recomendado) TFG 2009

Con este análisis solo 1% del total de las muestras realizadas se encuentra fuera de rango.

Para una mejor representación de los valores obtenidos clasificamos los mismos de la siguiente manera, para posteriormente mostrar los mismos en un gráfico en base a dicha clasificación.

1. Hasta 40 mg/l, valores normales.
2. Hasta 250 mg/l, valores llamativos, por ser el valor recomendado por la norma paraguaya.
3. Hasta 400 mg/l, valores riesgosos, por ser el valor admisible por la norma paraguaya.
4. Mayor a 400 mg/l, valores por encima del valor admisible.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

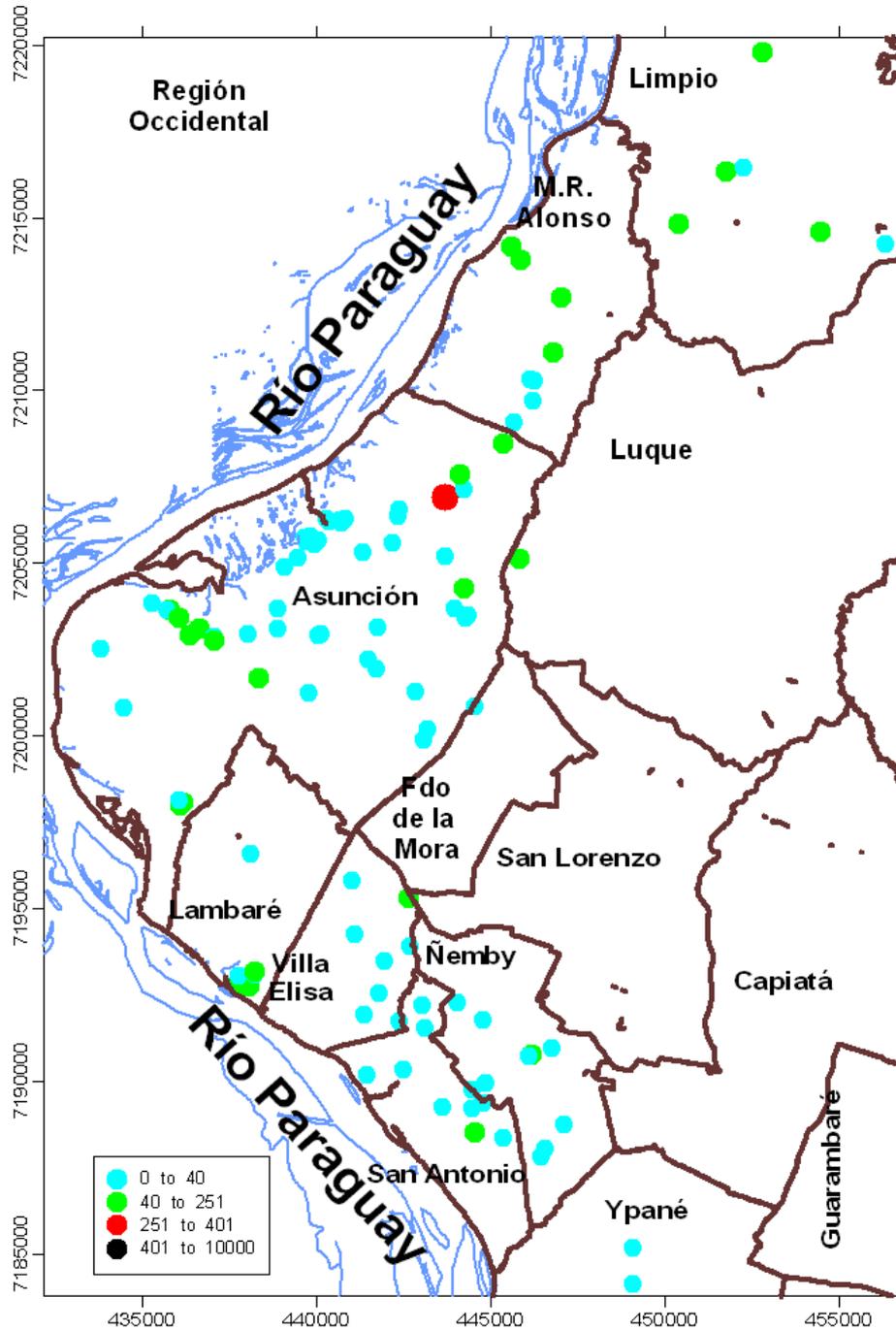


Figura 4.106 – Clasificación de sulfatos por rango TFG 2009

Aparece un solo valor considerado riesgoso que se encuentran en la zona norte de nuestra área de estudio, así como también en esta zona aparecen varios valores llamativos. Mientras que en la zona sur los valores en general son normales.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Nitratos

Realizamos un análisis comparativo entre los valores obtenidos en nuestras muestras de este parámetro con relación al límite admisible estipulado por la norma paraguaya que es de 45 mg/l.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	NO ₃ ≤ 45	NO ₃ > 45	Dentro del rango	Fuera del rango
Nitratos 2009	111	91	20	81,98%	18,02%

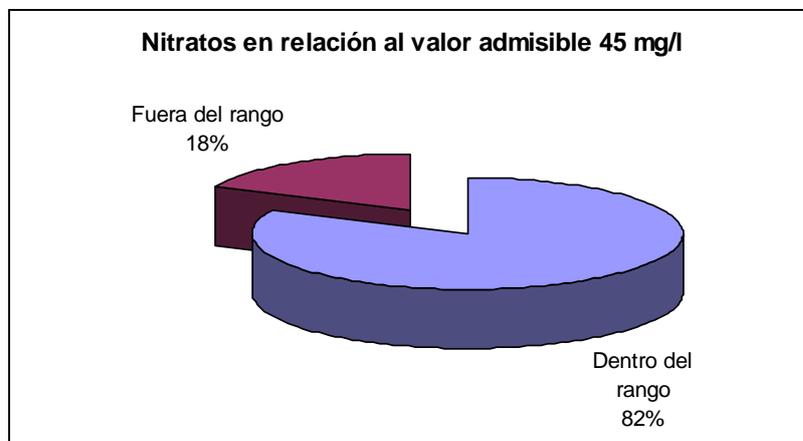


Figura 4.107 – Valores de nitratos en rango TFG 2009

Como se observa el 18% de la muestras presentan resultados por encima del valor admisible. Pero para una mejor representación, podemos llevar estos valores a un gráfico para mostrar la distribución de estos puntos y sus resultados. Para ello realizamos una clasificación de los valores de la siguiente manera:

1. Hasta 10 mg/l, valores normales.
2. Hasta 25 mg/l, valores llamativos.
3. Hasta 45 mg/l, valores riesgosos.
4. Mayor a 45 mg/l, valores por encima del valor admisible establecida por la norma paraguaya.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

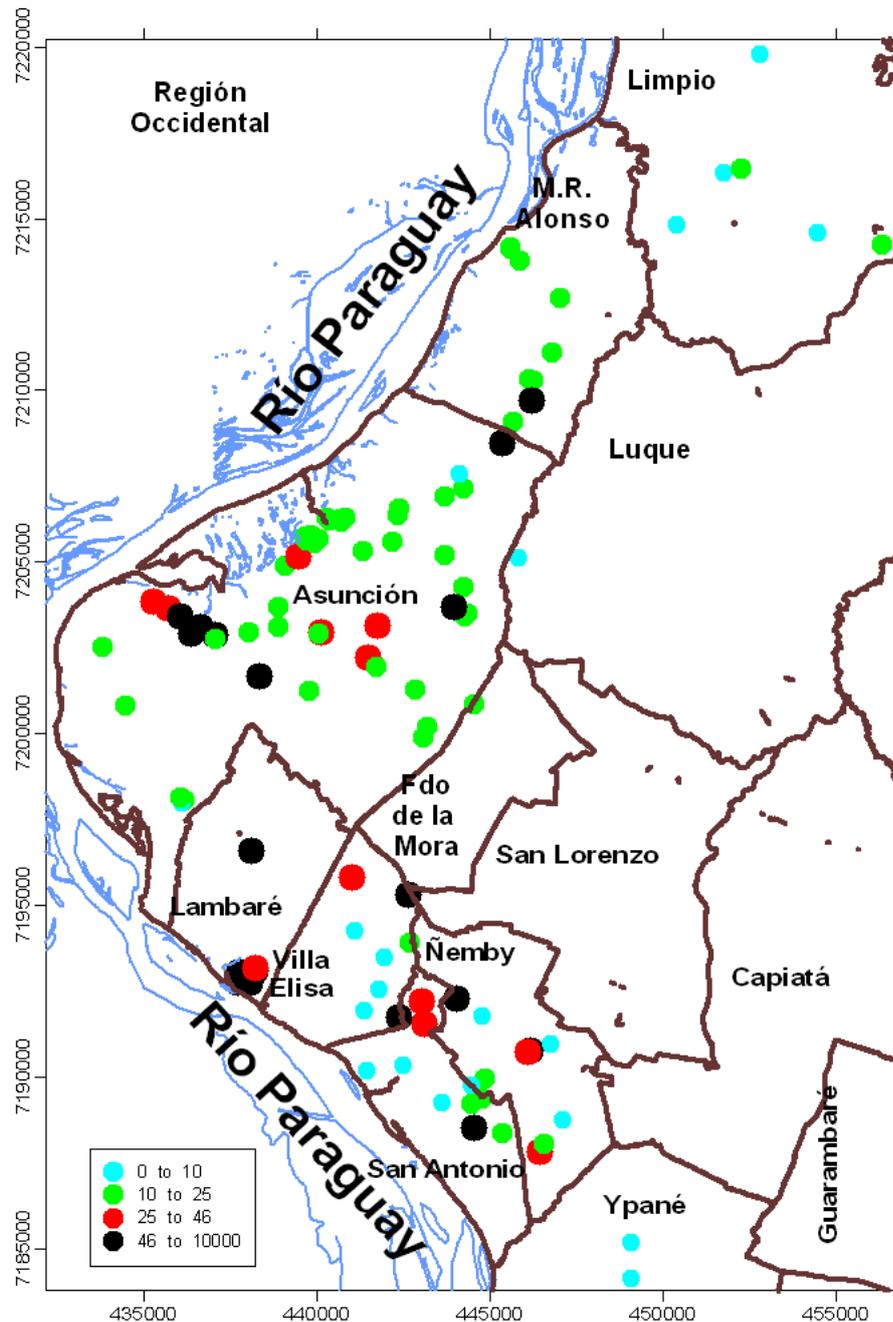


Figura 4.108 – Clasificación de los nitratos por rango TFG 2009

Se puede observar una gran cantidad de valores mayores al límite admisible, así como también varios valores críticos, aunque la gran mayoría de los resultados son valores llamativos. La distribución de todos estos valores es bastante uniforme a lo largo de toda nuestra área de estudio, pero la mayor parte de los valores normales se encuentran en la zona sur.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Coliformes Totales

Realizamos un análisis para saber en cuantas de nuestras muestras se da la presencia de coliformes totales y tuvimos los siguientes resultados.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	Colif > 0	Colif = 0	Existen en:	No existen en:
Coliformes Totales	111	52	59	46,85%	53,15%

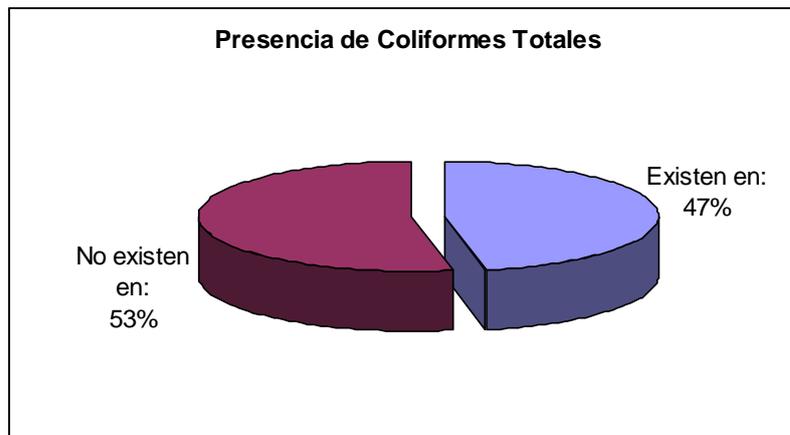


Figura 4.109 – Presencia de coliformes totales TFG 2009

En un 53% de las muestras que realizamos se detecto la existencia de coliformes totales. Lo que representa un resultado bastante malo.

Pero para una mejor visualización de los resultados obtenidos podemos llevar estos valores a un grafico para mostrar la distribución de estos puntos y sus resultados. Para ello realizamos una clasificación de los valores de la siguiente manera:

1. 0 UFC/100ml, valores normales.
2. Mayores a 0 UFC/100ml y hasta 100 UFC/100ml , valores riegosos
3. Mayores 100 UFC/100ml, valores criticos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

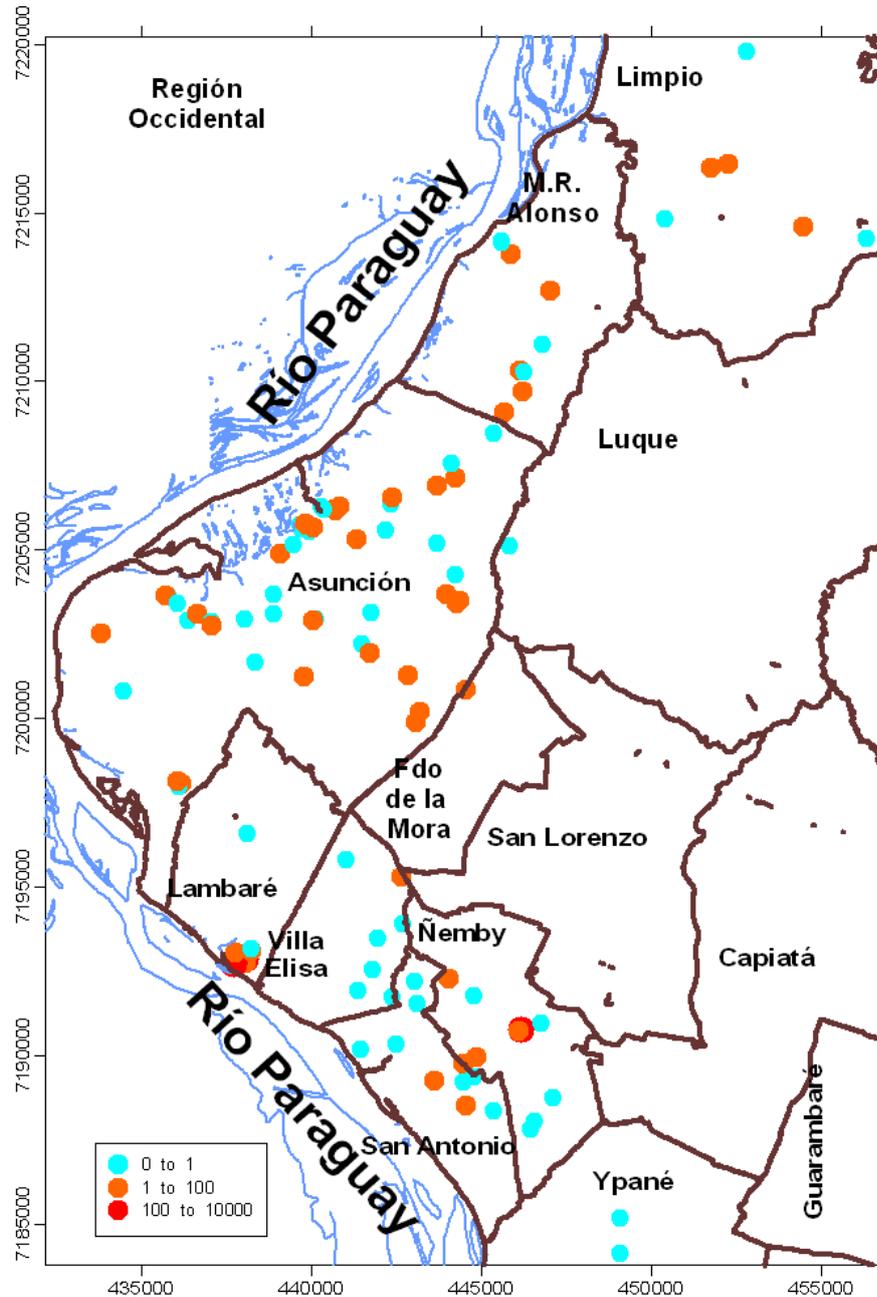


Figura 4.110 – Clasificación de coliformes totales por rango TFG 2009

Los resultados demuestran la existencia de una gran cantidad de valores llamativos distribuidos a lo largo de toda nuestra área de estudios. Aparecen también unos pocos valores críticos que se ubican en la zona sur. Los valores normales al igual que los valores llamativos tienen una distribución pareja en toda el área de estudio.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Coliformes Fecales

Realizamos un análisis para poder determinar la cantidad de muestras en las cuales existe este parámetro, dándonos el siguiente resultado.

Parámetro estudiado	Nº de muestras	Colif > 0	Colif = 0	Existen en:	No existen en:
Coliformes Fecales	111	32	79	28,83%	71,17%

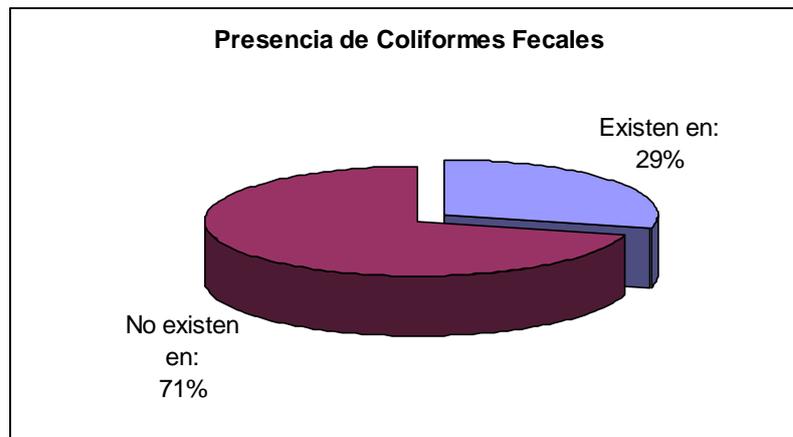


Figura 4.111 – Presencia de coliformes fecales TFG 2009

En un 29% de las muestras que realizamos se detecto la existencia de coliformes fecales. Lo que representa un resultado bastante malo.

Pero para una mejor visualización de los resultados obtenidos podemos llevar estos valores a un grafico para mostrar la distribución de estos puntos y sus resultados. Para ello realizamos una clasificación de los valores de la siguiente manera:

1. 0 UFC/100ml, valores normales.
2. Mayores a 0 UFC/100ml y hasta 100 UFC/100ml , valores riegosos
3. Mayores 100 UFC/100ml, valores criticos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

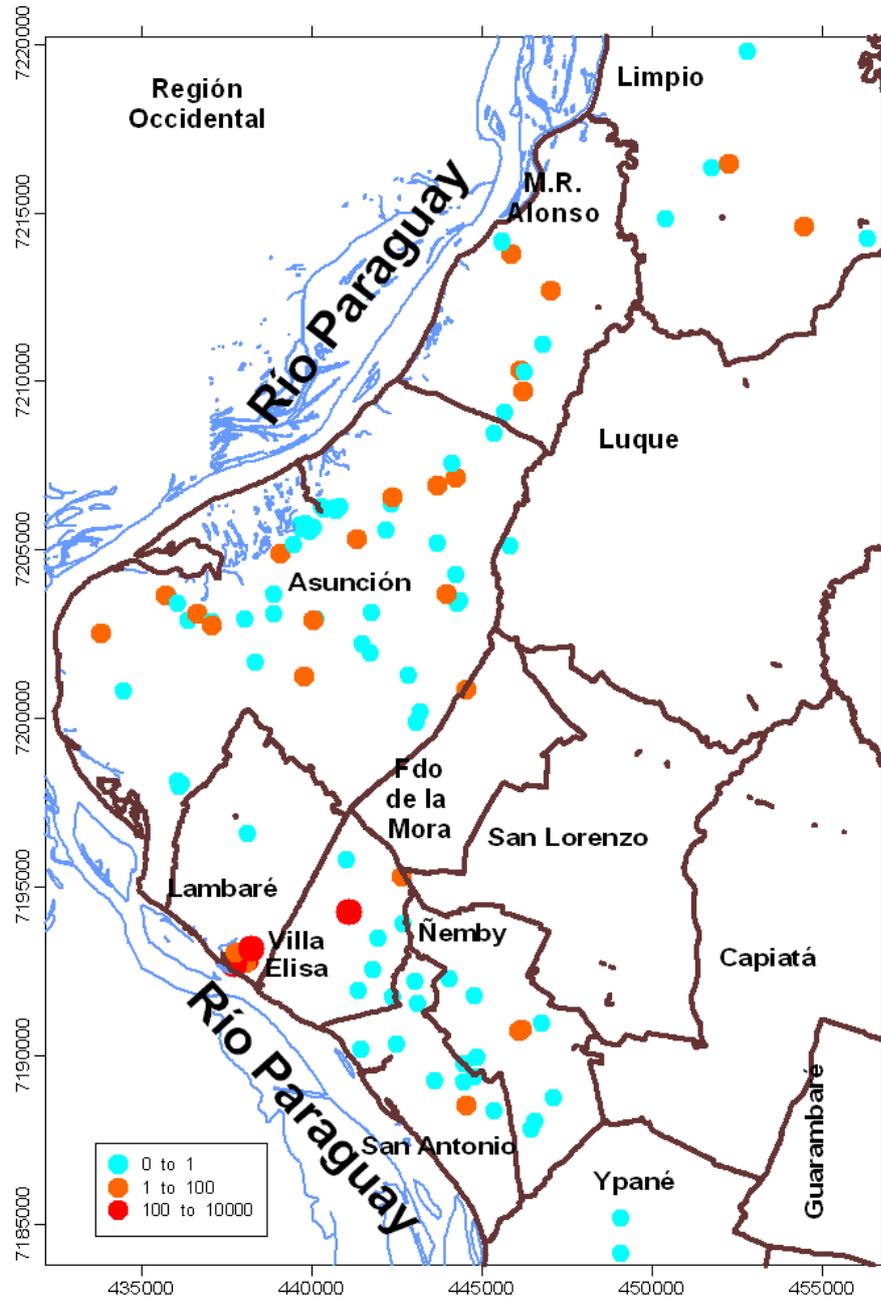


Figura 4.112 – Clasificación de coliformes fecales por rango TFG 2009

En el gráfico puede observarse que existen varios valores llamativos distribuidos a lo largo de toda nuestra área de estudios. Aparecen también unos pocos valores críticos que se ubican en la zona sur. Los valores normales al igual que los valores llamativos presentan una distribución pareja en toda el área de estudio.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Considerando todos los parámetros estudiados

Para obtener un análisis de la potabilidad de las aguas del acuífero, realizamos una comparación de los valores de cada pozo con relación a los límites admisibles para cada parámetro. Esto nos sirvió para conocer cuales son los pozos que cumplen con todos los niveles de calidad exigidos. Estos son los resultados:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	Dentro de rango	Fuera de rango	Dentro de rango	Fuera de rango
Todos los parámetros	111	18	93	16,22%	83,78%

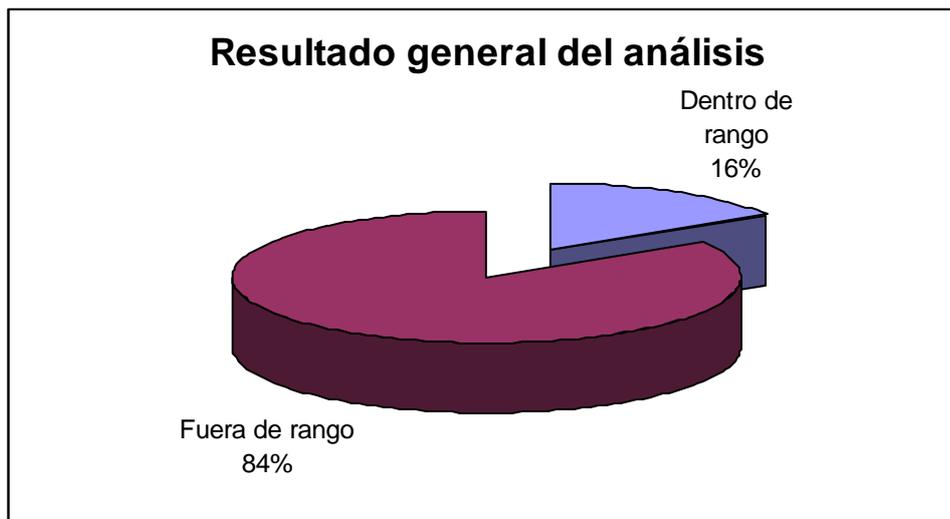


Figura 4.113 – Resultado general del análisis TFG 2009

Este análisis nos dice que solamente el 16% de los pozos muestreados poseen aguas que es posible consumir sin ningún tratamiento previo.

Para observar mejor la distribución de estos resultados elaboramos un mapa de los mismos. En este mapa los puntos rojos representan a los pozos que no cumplen todas las condiciones de potabilidad, y se puede notar la gran densidad de los mismos repartidos en toda el área de estudio.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

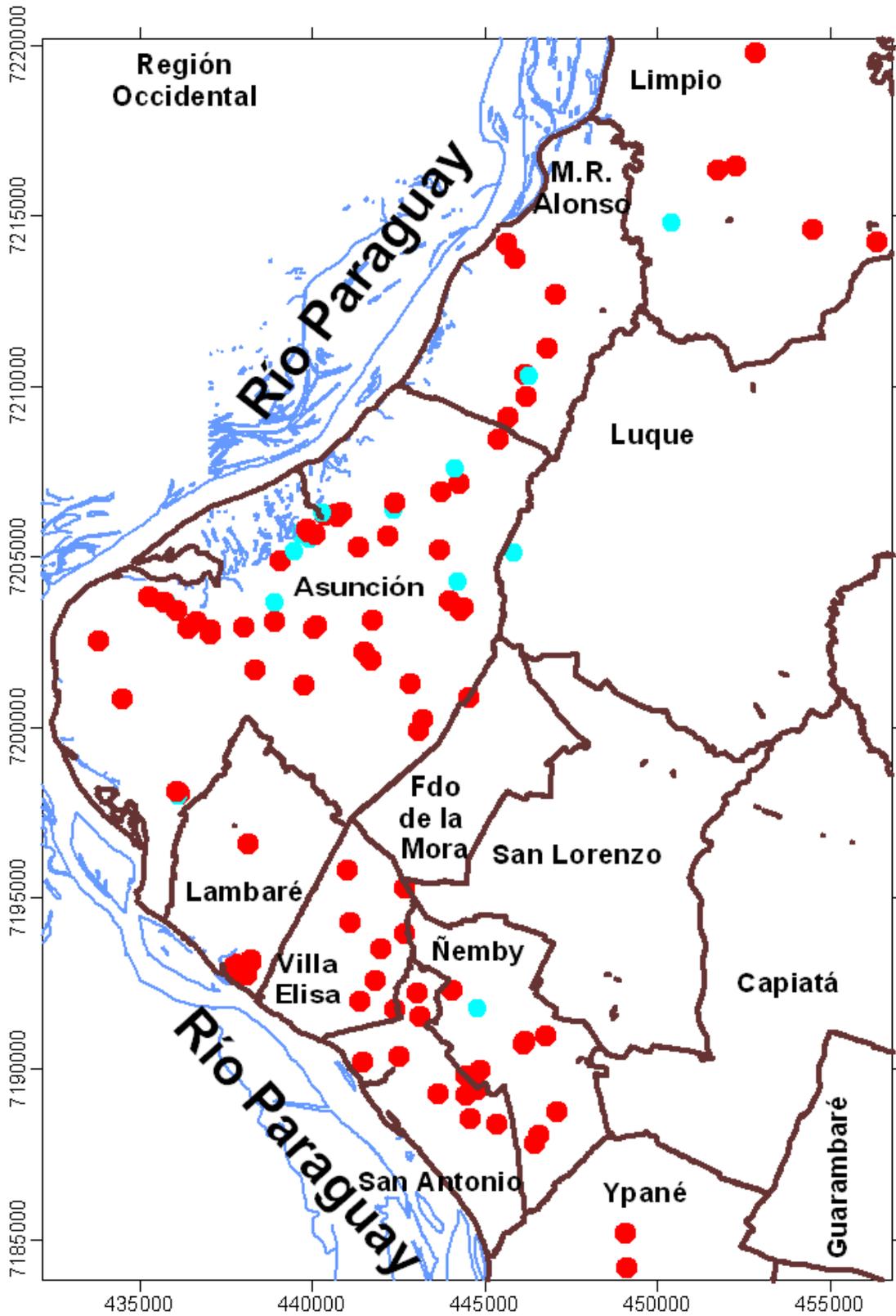


Figura 4.114 – Distribución de muestras con agua potable TFG 2009

**ACUÍFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Esta gran cantidad de pozos fuera de los límites se debe principalmente al bajo ph característico de las aguas del Acuífero Patiño, que coloca a una gran cantidad de las muestras fuera del rango admisible. Debido a esto, realizamos el mismo análisis sin tener en cuenta el ph, obteniendo el siguiente resultado:

Parámetro estudiado	Nº de muestras	Dentro de rango	Fuera de rango	Dentro de rango	Fuera de rango
Todos los parámetros	111	51	60	45,95%	54,05%

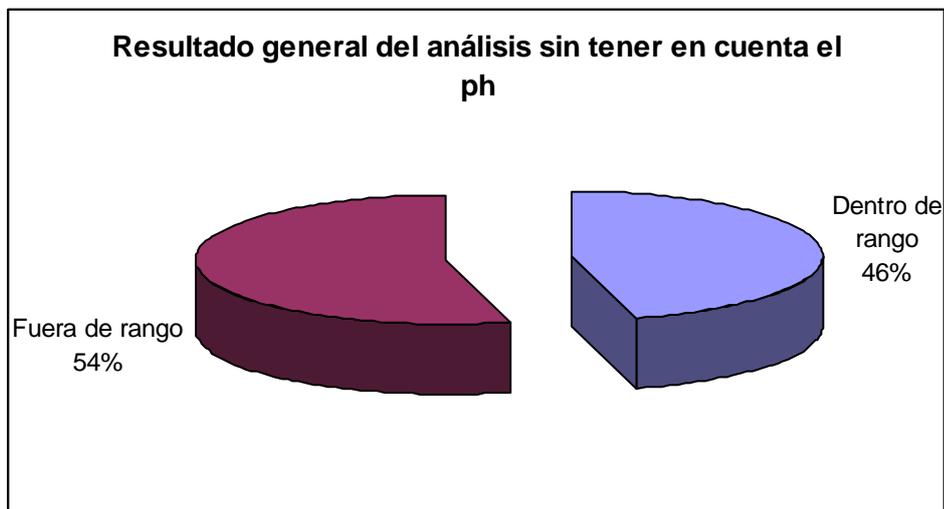
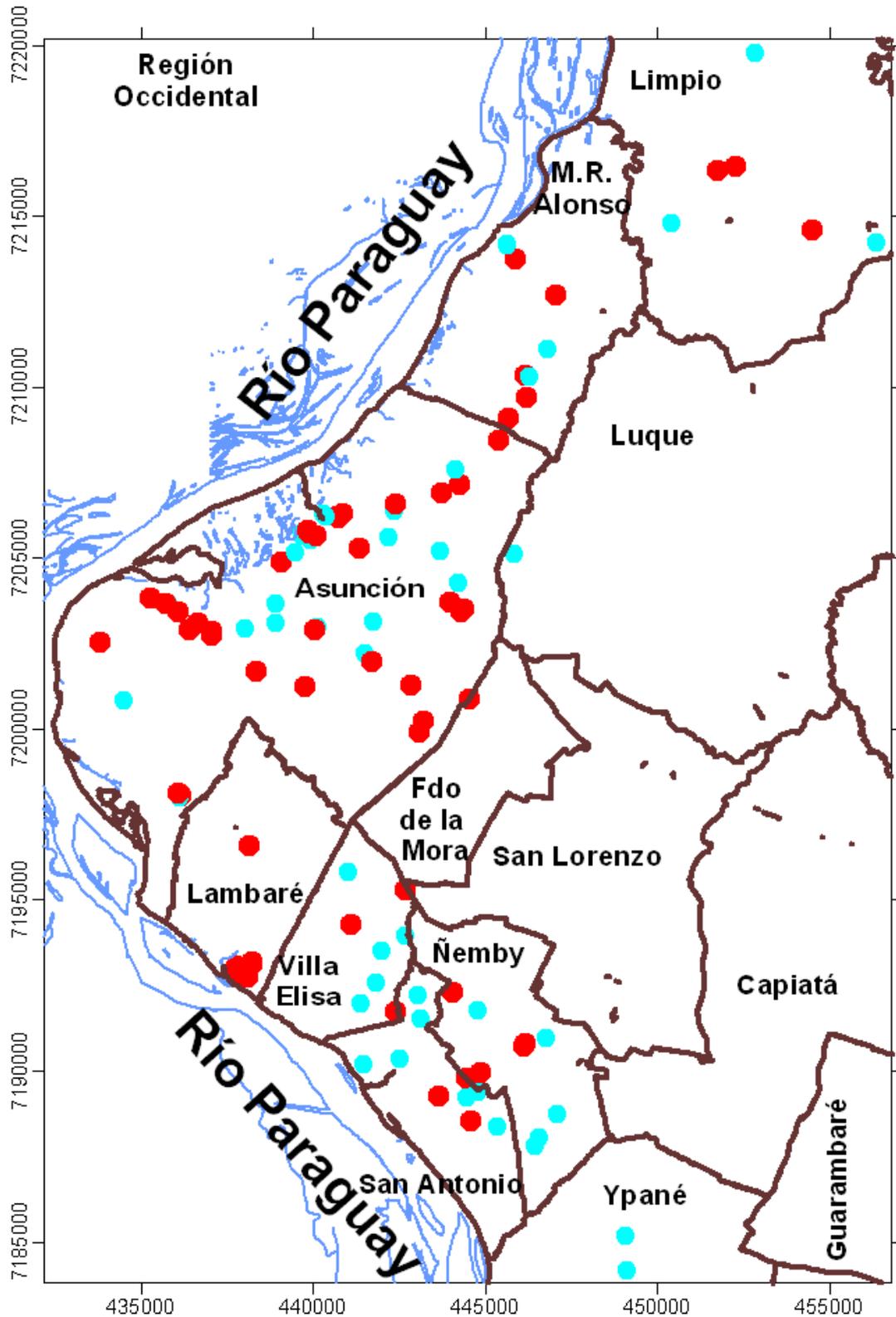


Figura 4.115 – Resultado general del análisis sin pH TFG 2009

Con este análisis el porcentaje de aguas potables aumentaron a un 46% del total de las muestras, valor que sigue siendo preocupante ya que esto demuestra que la calidad del agua está muy deteriorada.

Colocando estos resultados en un mapa del área de estudio se puede apreciar mejor que la zona sur presenta una mayor cantidad de pozos con agua potable, en relación al análisis con el ph.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**



**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Relación entre los parámetros analizados

Al analizar cada parámetro por separado podemos observar la situación actual de las aguas del acuífero. Sin embargo, todavía es posible profundizar aún más el estudio relacionando las diferentes variables de modo a encontrar las causas que generen o promuevan el aumento o la disminución de cada parámetro.

Debido a esto elaboramos diferentes tablas en las que se presentan los datos cruzados de dos variables de manera a encontrar relaciones influyentes y determinantes.

La primera variable estudiada fue la conductividad eléctrica por lo que relacionamos este parámetro con las sales que normalmente son los causantes de los valores altos de conductividad, y que en este caso son los cloruros, sulfatos y nitratos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Conductividad eléctrica vs. Cloruros

Tabla 4.21 – CE/Cloruros

CE ($\mu\text{S/cm}$)	Valores de cloruros (mg/l)								
	Normales (0-50)		Llamativos (50-100)		Críticos (100-250)		Fuera de rango (>250)		Total general
Normales (0-150)	39	100%		0%		0%		0%	39
	48%		0%		0%		0%		35%
Llamativos (150-400)	32	86%	4	11%		0%	1	3%	37
	40%		17%		0%		25%		33%
Críticos (400-1250)	10	30%	19	58%	3	9%	1	3%	33
	12%		83%		100%		25%		30%
Fuera de rango (>1250)		0%		0%		0%	2	100%	2
	0%		0%		0%		50%		2%
Total general	81	73%	23	21%	3	3%	4	4%	111

Fuente: elaboración propia

La tabla nos indica que los valores de conductividad bajos (valores normales y llamativos) están relacionados con valores de cloruros bajos (valores normales). También resalta que a partir de los valores críticos de conductividad, observamos la mayor parte de los valores elevados de cloruros. Los dos valores fuera de rango en conductividad eléctrica, están relacionados con valores de cloruros que también se encuentran fuera de rango, por lo que se presume que este parámetro es el principal causante de la elevada salinidad de la muestra.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Conductividad eléctrica vs. Sulfatos

Tabla 4.22 – CE/Sulfatos

CE ($\mu\text{S/cm}$)	Valores de Sulfatos (mg/l)								
	Normales (0-40)		Llamativos (40-250)		Críticos (250-400)		Fuera de rango (>400)		Total general
Normales (0-150)	36	92%	3	8%		0%		0%	39
	45%		10%		0%		0%		35%
Llamativos (150-400)	33	89%	4	11%		0%		0%	37
	41%		13%		0%		0%		33%
Críticos (400-1250)	10	30%	22	67%	1	3%		0%	33
	13%		73%		100%		0%		30%
Fuera de rango (>1250)	1	50%	1	50%		0%		0%	2
	1%		3%		0%		0%		2%
Total general	80	72%	30	27%	1	1%		0%	111

Fuente: elaboración propia

En el caso de los sulfatos ocurre algo similar, ya que casi la totalidad de los valores normales y llamativos de conductividad, implican valores normales de sulfatos. A partir de los 400 $\mu\text{S/cm}$, ya las muestras contienen en su mayoría valores mayores, aunque con menor riesgo que los cloruros. Los mayores valores de conductividad, no están relacionados con valores altos de sulfatos, lo que le da el papel protagónico a los cloruros como causantes de la elevada conductividad eléctrica.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Conductividad eléctrica vs. Nitratos

Tabla 4.23 – CE/Nitratos

CE ($\mu\text{S/cm}$)	Valores de Nitratos (mg/l)								
	Normales (0-10)		Llamativos (10-25)		Críticos (25-45)		Fuera de rango (>45)		Total general
Normales (0-150)	14	36%	19	49%	1	3%	5	13%	39
	64%		33%		8%		25%		35%
Llamativos (150-400)	2	5%	23	62%	9	24%	3	8%	37
	9%		40%		75%		15%		33%
Críticos (400-1250)	6	18%	13	39%	2	6%	12	36%	33
	27%		23%		17%		60%		30%
Fuera de rango (>1250)		0%	2	100%		0%		0%	2
	0%		4%		0%		0%		2%
Total general	22	20%	57	51%	12	11%	20	18%	111

Fuente: elaboración propia

Con los nitratos, no ocurre lo mismo que con los cloruros y los sulfatos, ya que no se marca una tendencia clara, predominando una distribución más uniforme de los valores. La mayor parte de las muestras con valores de nitratos fuera de rango, están relacionados con valores críticos de conductividad. Sin embargo las muestras fuera de rango de conductividad poseen valores llamativos de nitratos, por lo que se deduce que este parámetro no es el causante principal de la elevada conductividad eléctrica.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Cloruros vs. Sulfatos

También nos pareció oportuno contrastar los valores de estos dos elementos, ya que son los que establecen una relación más importante con la elevada salinidad.

Tabla 4.24 – Cloruros/Sulfatos

Cloruros (mg/l)	Valores de Sulfatos (mg/l)								
	Normales (0-40)		Llamativos (40-250)		Críticos (250-400)		Fuera de rango (>400)		Total general
Normales (0-50)	66	81%	15	19%		0%		0%	81
		83%		50%		0%		0%	
Llamativos (50-100)	10	43%	13	57%		0%		0%	23
		13%		43%		0%		0%	
Críticos (100-250)	2	67%	1	33%		0%		0%	3
		3%		3%		0%		0%	
Fuera de rango (>250)	2	50%	1	25%	1	25%		0%	4
		3%		3%		100%		0%	
Total general	80	72%	30	27%	1	1%		0%	111

Fuente: elaboración propia

En esta comparación, la relación más fuerte se da entre los valores normales de cada parámetro, seguida de la generada por los valores llamativos en ambas variables.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Nitratos vs. Cloruros

Aunque los nitratos estén ligados mayormente a la contaminación humana, igual nos pareció oportuno relacionar estos valores tanto con los cloruros como con los sulfatos.

Tabla 4.25 – Nitratos/Cloruros

Nitratos (mg/l)	Valores de cloruros (mg/l)								
	Normales (0-50)		Llamativos (50-100)		Críticos (100-250)		Fuera de rango (>250)		Total general
Normales (0-10)	18	82%	3	14%	1	5%		0%	22
		22%		13%		33%		0%	20%
Llamativos (10-25)	40	70%	11	19%	2	4%	4	7%	57
		49%		48%		67%		100%	51%
Críticos (25-45)	11	92%	1	8%		0%		0%	12
		14%		4%		0%		0%	11%
Fuera de rango (>45)	12	60%	8	40%		0%		0%	20
		15%		35%		0%		0%	18%
Total general	81	73%	23	21%	3	3%	4	4%	111

Fuente: elaboración propia

Las muestras que arrojaron valores normales y llamativos de nitratos, obtuvieron en mayor medida valores normales de cloruros, aunque también incluyen los 4 valores fuera de rango y los 3 críticos. Sin embargo, los valores con resultados críticos y fuera de rango en relación a nitratos, están clasificados como normales o llamativos en le referente a cloruros, lo que nos dice que no hay una relación directa en la presencia de estos dos elementos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Nitratos vs. Sulfatos

Tabla 4.26 – Nitratos/Sulfatos

Nitratos (mg/l)	Valores de Sulfatos (mg/l)								
	Normales (0-40)		Llamativos (40-250)		Críticos (250-400)		Fuera de rango (>400)		Total general
Normales (0-10)	13	59%	9	41%		0%		0%	22
	16%		30%		0%		0%		20%
Llamativos (10-25)	48	84%	8	14%	1	2%		0%	57
	60%		27%		100%		0%		51%
Críticos (25-45)	11	92%	1	8%		0%		0%	12
	14%		3%		0%		0%		11%
Fuera de rango (>45)	8	40%	12	60%		0%		0%	20
	10%		40%		0%		0%		18%
Total general	80	72%	30	27%	1	1%		0%	111

Fuente: elaboración propia

Los mayores valores de nitratos, no parecen tener una relación directa con los valores mayores de sulfatos, por lo que no se puede establecer una influencia entre estos dos parámetros.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Nitratos vs. Coliformes Totales

Tabla 4.27 – Nitratos/Coliformes totales

Nitratos (mg/l)	Coliformes Totales				
	Dentro de rango (=0)		Fuera de rango (>0)		Total general
Normales (0-10)	16	73%	6	27%	
		28%		11%	20%
Llamativos (10-25)	27	47%	30	53%	57
		47%		57%	20%
Críticos (25-45)	8	67%	4	33%	12
		14%		8%	11%
Fuera de rango (>45)	7	35%	13	65%	20
		12%		25%	18%
Total general	58	52%	53	48%	111

Fuente: elaboración propia

Los valores fuera de rango de nitratos registran presencia de coliformes totales en su gran mayoría.

Nitratos vs. Coliformes Fecales

Tabla 4.28 – Nitratos/Coliformes fecales

Nitratos (mg/l)	Coliformes Fecales				
	Dentro de rango (=0)		Fuera de rango (>0)		Total general
Normales (0-10)	19	86%	3	14%	
		24%		9%	20%
Llamativos (10-25)	43	75%	14	25%	57
		54%		44%	20%
Críticos (25-45)	8	67%	4	33%	12
		10%		13%	11%
Fuera de rango (>45)	9	45%	11	55%	20
		11%		34%	18%
Total general	79	71%	32	29%	111

Fuente: elaboración propia

La tendencia indica que a mayores valores de nitratos, hay mayores muestras con presencia de coliformes fecales.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Coliformes Totales vs. Coliformes Fecales

Tabla 4.29 – Coliformes totales/Coliformes fecales

Coliformes Totales	Coliformes Fecales				
	Dentro de rango (=0)		Fuera de rango (>0)		Total general
Dentro de rango (=0)	58	100%	0	0%	58
	73%		0%		52%
Fuera de rango (>0)	21	40%	32	60%	53
	27%		100%		48%
Total general	79	71%	32	29%	111

Fuente: elaboración propia

De las 53 muestras en las que se detectó la presencia de bacterias coliformes, 32 son de origen fecal, lo que representa el 60% como muestra la tabla.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Relación de los parámetros con la Topografía

Al analizar los resultados relacionados con la salinidad, como son la conductividad eléctrica y los niveles de cloruros y sulfatos, encontramos que los problemas más notorios se registran en la zona noroeste del acuífero, más precisamente en los distritos de Limpio y Mariano Roque Alonso, y en el norte y centro de la ciudad de Asunción. Esto se observa claramente en el gráfico de isoconductividad, y al tener en cuenta el alto grado de explotación, se puede presumir que en esta zona el avance de la salinidad se convierta en corto y mediano plazo en un problema grave.

El estudio presentado por CKC-JNS para el SENASA en el año 2007, mediante un modelo matemático establece como zona vulnerable del acuífero todo el límite que linda con el Río Paraguay, desde Limpio hasta San Antonio. Sin embargo, solamente la parte norte es la que presenta avances importantes en materia de sales, permaneciendo los distritos de Lambaré, Villa Elisa, Ñemby, San Antonio e Ypané en mejores condiciones a lo largo del tiempo, con una situación general bastante buena con relación a la salinidad.

Una mayor altura sobre el nivel del mar del terreno, produce una mayor presión sobre el sub-suelo, haciendo que en lugares altos sea más difícil el ingreso de esta agua con relación a los lugares bajos.

En la siguiente figura se puede observar un mapa con la topografía de la zona de estudio, en el que se ubican los pozos muestreados y los límites entre los diferentes distritos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

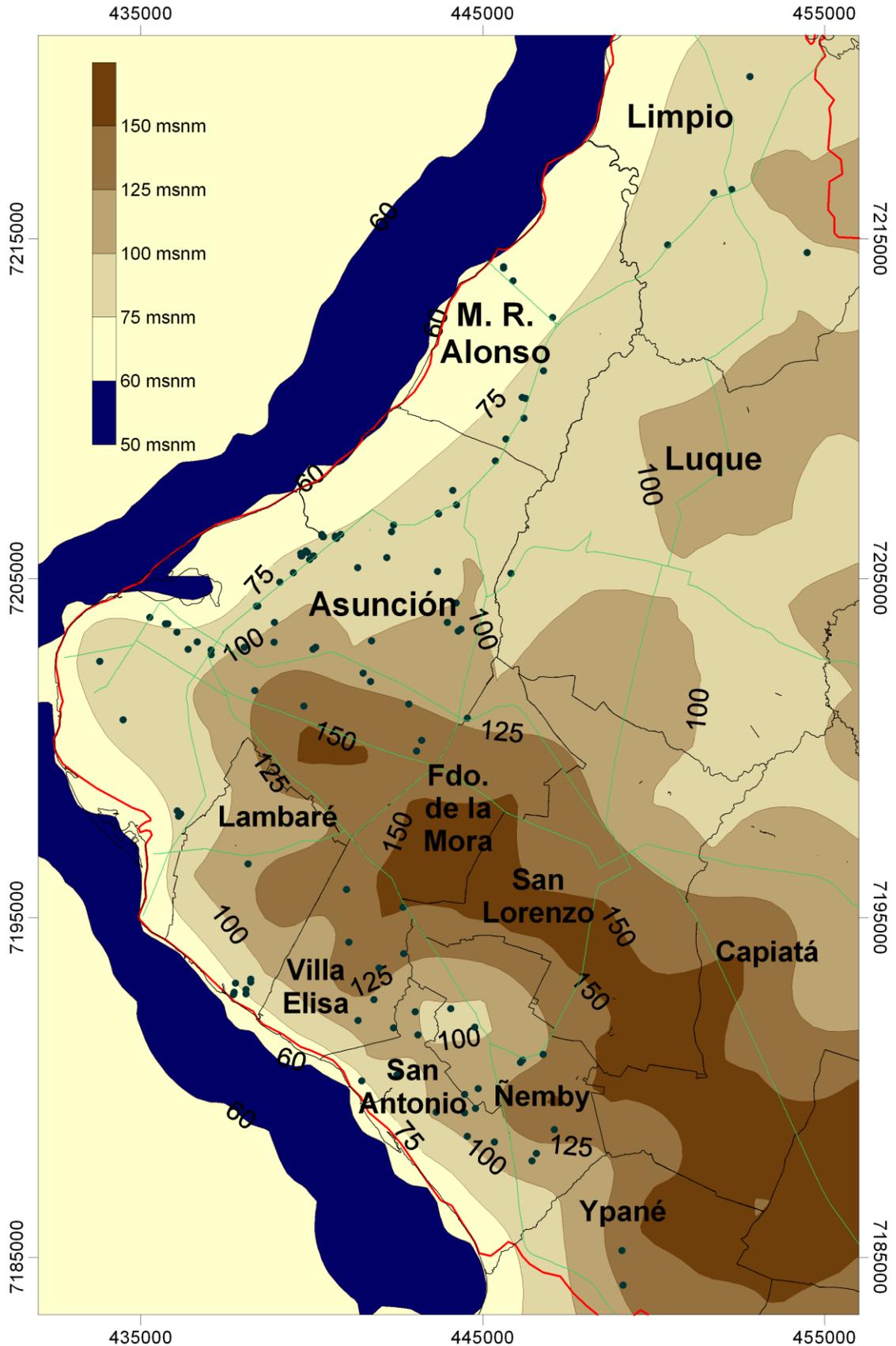


Figura 4.117 – Mapa topográfico del área de estudio TFG 2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En la figura se puede notar muy claramente que Limpio, Mariano Roque Alonso y una parte importa de la ciudad de Asunción se encuentran por debajo de la cota 100. Por el contrario, la mayor parte de Lambaré, Villa Elisa, San Antonio, Ñemby e Ypané están por encima de la cota 100.

En la figura, se pueden observar los pozos con valores de conductividad por encima de los 400 uS/cm, los cuales son considerados con presencia de indicios de contaminación.

Esto muestra claramente que la parte norte se encuentra en un estado más vulnerable que la parte sur, debido a la elevación del terreno.

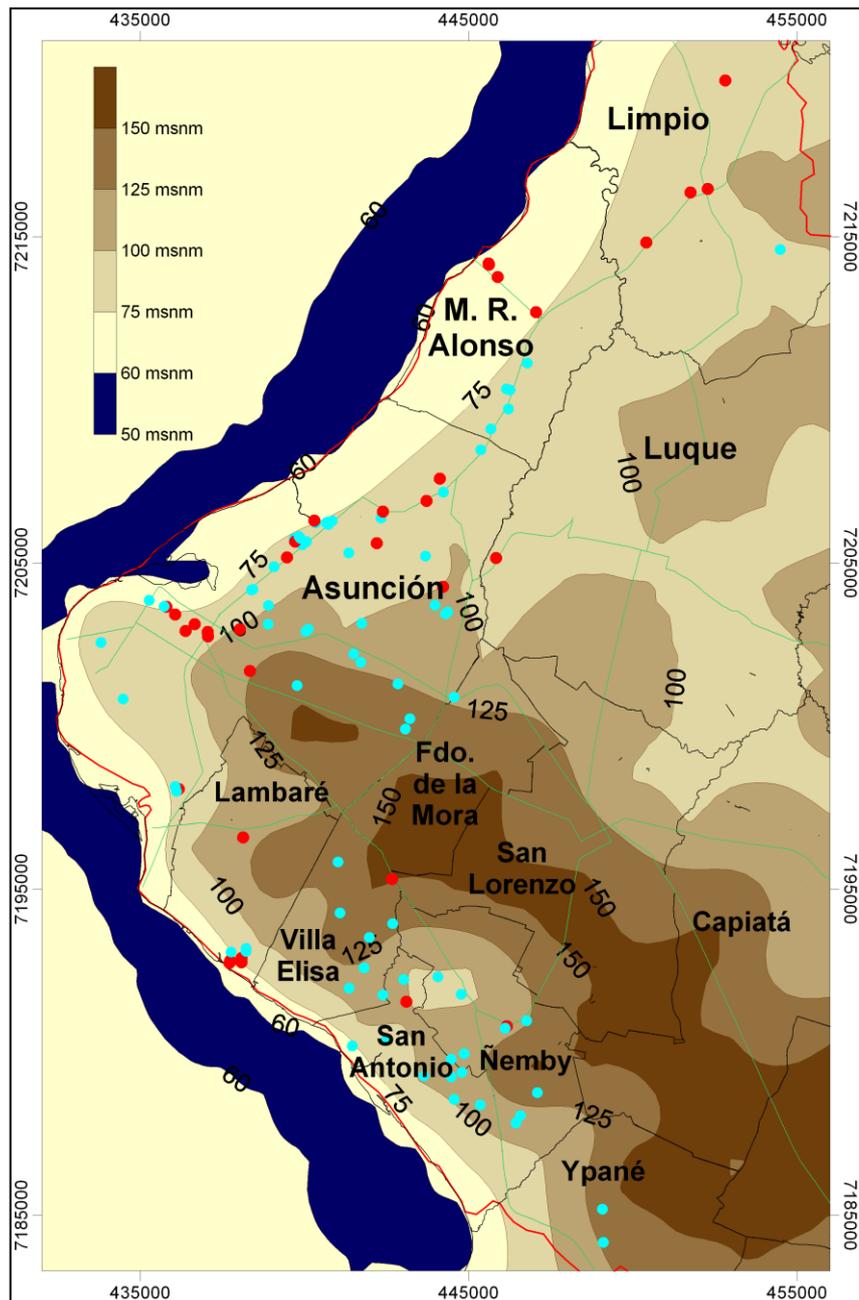


Figura 4.118 – Valores de CE en plano topográfico TFG 2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Para ilustrar mejor el factor de la topografía, elaboramos un modelo en 3 dimensiones del área de estudio.

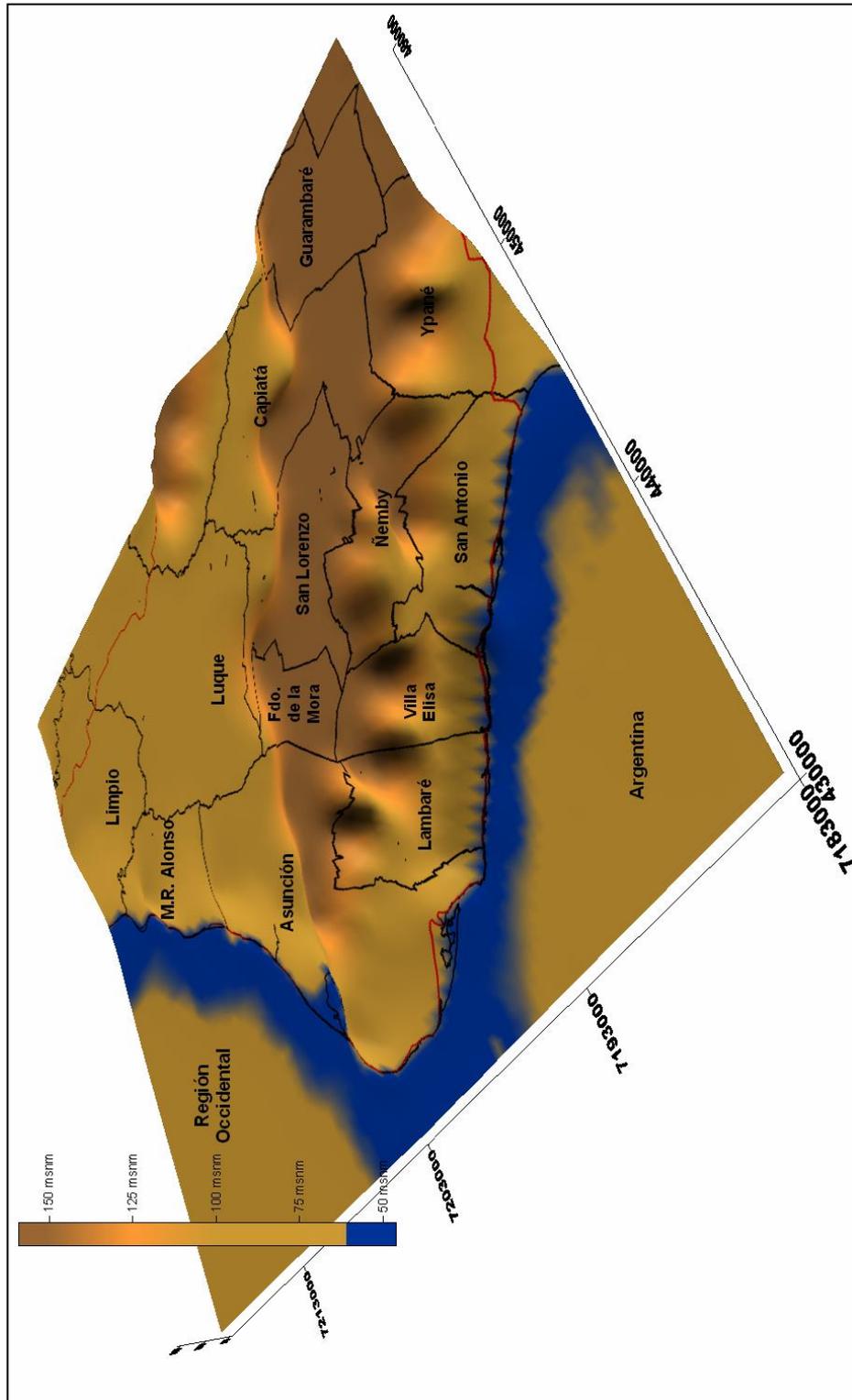


Figura 4.119 – Plano topográfico (3D) de la zona de estudio TFG 2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Síntesis de los análisis

Conductividad eléctrica

Observando la evolución de los valores de conductividad de los pozos muestreados por Ríos Otero, Martínez y Centurión en el año 1995, un 63% de los mismos han experimentado aumentos en sus valores, extendiéndose este fenómeno en forma pareja en toda el área de estudio. Sin embargo en ambos periodos estos se mantienen por debajo del valor admisible por la Ley 1614/2000, aunque hay más muestras por encima del valor recomendado por la misma ley.

Las líneas de isoconductividad aparte de evidenciar la tendencia general de aumento de la conductividad eléctrica, nos muestran la existencia de mayores valores en el norte de la ciudad Asunción, lo que constituye la zona norte del área de estudio.

Al comparar nuestros valores con los obtenidos por el Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO en el año 2000 y con los obtenidos en el Trabajo Final de Grado “Estudio de la Contaminación del Acuífero Patiño” en el año 2006 vemos que en el periodo 2000 al 2006 se produjo una disminución de los valores bastante importante (83% de las muestras) hasta el punto que se concluía que el avance de la salinidad no progresó como se estimaba en el año 2000. Pero comparando los valores del 2006 con los actuales, se produjeron aumentos en 87% de las muestras contrastadas. Sin embargo, comparando los valores del estudio de TNO con los obtenidos en el 2009, el porcentaje de muestras que experimentaron aumento es de 61%, las cuales se ubican en su gran mayoría en la zona norte del área de estudio.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Con respecto a los valores límites, los valores se mantienen en su gran mayoría lejos del admisible para el consumo por la norma paraguaya, pero el número de muestras que superan el valor recomendado ha aumentado claramente.

Las líneas de isoconductividad muestran la evolución sufrida por este parámetro, el cual ha disminuido claramente del 2000 al 2006, así como ha aumentado del 2006 a esta parte. Estos gráficos también muestran que los valores más elevados se encuentran ubicados en los distritos de Limpio, Mariano Roque Alonso y el norte de la ciudad de Asunción.

En relación a los valores del proyecto “Estudio de Políticas y Manejo Ambiental de Aguas Subterráneas en el Área Metropolitana de Asunción” (Acuífero Patiño) en el 2007 con los resultados del 2009 se han registrado aumentos en el 62,5% de las muestras, los cuales se encuentran distribuidos uniformemente en la zona norte del área de estudio.

Estos valores se encuentran casi en su totalidad por debajo del valor admisible en ambos estudios, pero al compararlos con el recomendado, podemos decir que ya el 50% de las muestras está por encima del mismo.

“La conductividad eléctrica a lo largo del tiempo ha experimentado un claro aumento, aunque los valores todavía no superan el límite de potabilidad admisible. Sin embargo, la cantidad de valores que supera el límite recomendado va en aumento.”

“Los mayores valores de conductividad eléctrica se presentan en la zona norte del área de estudio comprendida por los distritos de Limpio, Mariano Roque Alonso y la parte norte y centro de la ciudad de Asunción.”

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

ph

De los valores del año 1995 un 83% de las muestras eran de carácter ácido, mientras que en el 2009, este porcentaje ha subido al 89%. El porcentaje de los valores dentro del rango admisible permanece constante y alrededor del 40%. El 60% de estas muestras tienden a acidificarse, mientras que solo el 9% tienden a alcalinizarse.

En el año 2000 el 96% de las muestras tenían carácter ácido, mientras que en el año 2006 este porcentaje ya llegaba el 100%, manteniéndose constante hasta el 2009. El porcentaje de muestras dentro del rango admisible va claramente en aumento, ya que en el 2000 solamente el 4,35% de las analizadas estaban dentro del mismo, porcentaje que subió hasta el 26,67% en el 2006 y hasta el 30,43% en el 2009. En relación a la evolución del carácter, podemos decir que la tendencia es hacia el valor neutro, ya que en el periodo 2000 al 2006 el 53,33% avanzó hacia el 7, mientras que el 46,67% se acidificó. Del 2006 al 2009 el 66,67% avanzó hacia el 7, mientras que solo el 33,33% se volvió más ácida. Si tenemos en cuenta la evolución desde el 2000 al 2009 directamente, tenemos que el 65,22% de las muestras avanzan hacia el valor neutro, mientras que el 34,78% se acidificó.

“El ph de las aguas del acuífero tiene un claro carácter ácido, aunque hay una tendencia general de las muestras a volverse neutras, por lo que cada vez hay más valores dentro del rango admisible.”

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sólidos Totales Disueltos

“Se observa una clara disminución de los valores de STD del 2007, ya que en el 2009 el 94% de las muestras experimentaron están por debajo de sus valores anteriores. Todos los valores, en ambos estudios, se mantienen por debajo del límite admisible.”

“La relación entre Sólidos Totales Disueltos y Conductividad eléctrica en el 2007 era de 0,66, mientras que en el 2009 esta relación lineal disminuyó a 0,50.”

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Cloruros

Con relación a los valores de cloruros del año 1995, se registraron aumentos en el 63% de las muestras. Inicialmente no se tenían valores fuera de rango, pero en la actualidad ya se encontró uno. También aparecieron más valores llamativos en la zona norte y centro de Asunción.

Comparando los valores del 2000 y los del 2009, se registraron aumentos en el nivel de cloruros en el 70% de las muestras, aunque estos se mantienen en general lejos del límite admisible, colocándose solo un valor fuera de rango en el 2009. Estos aumentos se dieron generalmente en la zona norte, donde se registran mayor cantidad de valores llamativos y críticos.

“El nivel de cloruros en la zona de estudio ha experimentado aumentos, que se dan en su mayoría en la zona norte. Sin embargo estos valores, casi en su totalidad, permanecen por debajo del límite admisible”

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Sulfatos

De los valores obtenidos en 1995, el 77% de los mismos experimentaron aumentos. Los valores en ambos estudios permanecen muy por debajo del límite admisible, aunque en la actualidad se observa la aparición de más valores llamativos y algunos críticos, ubicados en su mayoría en la zona norte.

De los valores del estudio del 2000, el 96% de las muestras registraron aumentos en el nivel de sulfatos. En ambos estudios, los valores están muy por debajo del límite admisible. Casi la totalidad de los pozos de la zona norte experimentaron aumentos.

“Los valores de sulfatos han aumentado en la gran mayoría de las muestras analizadas, pero sin embargo se mantienen muy lejos del valor límite. Los mayoría de los valores críticos y llamativos se encuentran en la zona norte”

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Nitratos

El nivel de nitratos desde el año 1995 ha aumentado en el 71% de las muestras, aunque el porcentaje de valores fuera de rango se mantiene en ambos estudios alrededor del 25%. Los valores llamativos y críticos aparecen en toda el área de estudio. Los valores en general se acercan peligrosamente al valor tolerable para el consumo humano.

Al comparar los valores del 2000 con los del 2006 se tiene que en el 100% de las muestras se generaron aumentos del nivel de nitratos. Del 2006 al 2009, el aumento se dio en el 56% de las muestras, aunque si contrastamos los valores del 2000 con los del 2009, tenemos que se registraron aumentos en el 90% de las muestras. En el 2000 no se tenían valores fuera de rango, pero en el 2006 el 26% de las muestras pasaban el límite admisible. En el 2009, este porcentaje al 15%. En el 2000 predominaban los valores normales, en el 2006 aparecen varios fuera de rango y en el 2009 se tiene una gran mayoría de valores llamativos.

“El aumento de los niveles de nitratos en general es muy importante, aunque hay un menor porcentaje fuera de rango. Estos permanecen sin embargo muy cerca del límite admisible. Esto se observa de manera uniforme en toda el área de estudio”

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Coliformes Totales

En el año 2000 teníamos un 74% de las muestras fuera de rango, en el 2006 este porcentaje se redujo al 61% continuando esta tendencia hasta el 2009 donde tenemos que el 36% de las muestras se encuentran fuera de rango. Esta tendencia es la misma para todas las zonas del área de estudio.

“Este parámetro presenta una clara tendencia al aumento de valores dentro del rango a largo del tiempo”

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Coliformes Fecales

En el estudio del año 2000 había un 48% de las muestras fuera de rango, mientras que este porcentaje aumentó en el 2006 al 52%. Esta tendencia se revistió hasta el 2009 donde tenemos que solamente el 27% de las muestras se encuentran fuera de rango. Estos valores poseen una distribución uniforme en toda el área de estudio.

“Este parámetro presentó un aumento de valores dentro del rango a largo del tiempo”

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Situación actual

Conductividad eléctrica

De las muestras tomadas el 98% se encuentra por debajo del valor límite admisible correspondiente a 1250 uS/cm. Pero si los comparamos con el valor máximo recomendado que es de 400 uS/cm, tenemos que el 69% se encuentra por debajo de este valor.

Los valores más elevados de conductividad se registraron en la zona norte del área de estudio, puntualmente en Limpio, Mariano Roque Alonso, las partes centro y norte de Asunción, así como su límite con Luque. En la zona sur sin embargo, más precisamente Lambaré, Villa Elisa, Ñemby, San Antonio e Ypané, se observan los valores más bajos.

Ph

En relación al ph, el 92% de las muestras dieron resultados de carácter ácido. También podemos decir, que el 59% de las mismas se encuentran fuera del rango admisible para el consumo, predominando estos en la zona sur del área de estudio.

Sólidos Totales Disueltos

El 100% de las muestras se colocaron por debajo del límite admisible. No obstante se han registrado una gran cantidad de valores llamativos y varios críticos, los cuales se ubican casi en su totalidad, en la zona norte del área de estudio.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Cloruros

Apenas el 4% de las muestras se encuentran fuera de rango, encontrándose además una serie de valores llamativos y críticos, todos estos ubicados en la zona norte del área de estudio.

Sulfatos

El 100% de las muestras se encuentran por debajo del valor admisible que para los sulfatos es 400 mg/l, y apenas el 1% por encima del valor máximo recomendado que según las normas paraguayas es 250 mg/l. Los valores de la zona sur en su gran mayoría pueden considerarse normales, ubicándose los llamativos hacia la zona norte.

Nitratos

En relación a los nitratos, el 18% de las muestras sobrepasan 45 mg/l, que es el valor admisible para el consumo. También se encontraron una gran cantidad de valores críticos y llamativos, distribuidos todos uniformemente en el área de estudio.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Coliformes Totales

Se encontraron coliformes totales en 47% de las muestras, los cuales están distribuidos uniformemente en toda el área analizada.

Coliformes Fecales

Se han encontraron coliformes fecales en 29% de las muestras, distribuidos uniformemente en toda el área de estudio.

Análisis de la potabilidad de las aguas

Considerando todos los parámetros estudiados, solamente el 16% de las muestras reúnen todas las condiciones de potabilidad para el consumo humano inmediato. Como el ph es el principal responsable de este gran porcentaje de valores fuera de rango, y a la vez su carácter ácido es sencillo de corregir, dejamos de lado este parámetro y realizamos el mismo análisis de potabilidad obteniendo así que el 46% de las muestras reúnen todas las condiciones de potabilidad para el consumo humano.

Relación entre los distintos parámetros

Este análisis demuestra la relación entre los valores altos de conductividad eléctrica y los niveles altos de cloruros en las aguas del acuífero, lo que no ocurre con los sulfatos y los nitratos.

En lo referente a las bacterias coliformes, podemos decir del total de muestras que presentaron este tipo de bacterias, el 60% de las mismas son de origen fecal.

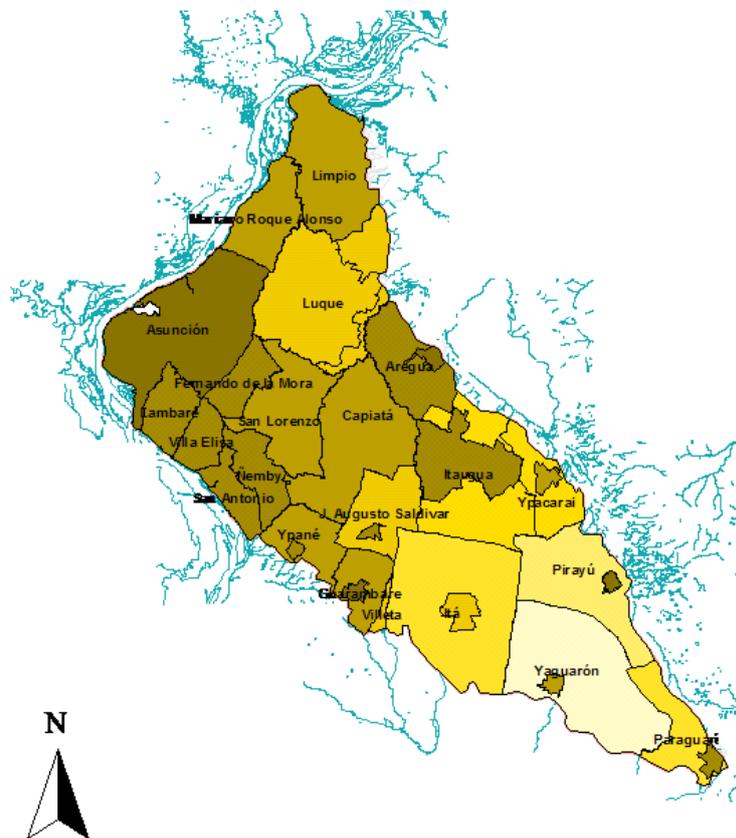
**ACUÍFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

**4.4 - ESTUDIO Y EVALUACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA POBLACIÓN
SOBRE EL ACUÍFERO PATIÑO**

Descripción del lugar del estudio

Este estudio se llevó a cabo en la zona denominada Acuífero Patiño, que abarca una zona de 1173 km² incluyendo a la capital Asunción, la parte norte del Departamento Central y una pequeña parte del Departamento de Paraguari.

Este territorio está ocupado por 21 distritos entre los que se encuentran Asunción, Areguá, Capiatá, Fernando de la Mora, Lambaré, San Lorenzo, Villa Elisa, Guarambaré, Itá, Itaguá, Lambaré, Limpio, Luque, Mariano Roque Alonso, Ñemby, San Antonio, San Lorenzo, Villa Elisa, Ypacaraí, Ypané, J. A. Saldívar, Paraguari, Pirayú y Yaguarón.



La población de estas ciudades según el Censo Nacional del año 2002 llegaba a 1.885.504 habitantes, siendo la población total del Paraguay de

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

5.183.080 habitantes, lo que nos dice que en ese año vivían sobre la superficie del Acuífero Patiño el 36,38 % de la población total del país.

Este mismo censo, establece las tasas de crecimiento poblacional de cada ciudad, mediante las cuales se puede estimar la situación actual.

Tabla 4.30 – Proyección de la población sobre el Acuífero Patiño

<i>Ciudad</i>	<i>Población 2002</i>	<i>TCA</i>	<i>Población (2009)</i>	<i>Población (2022)</i>
Asunción	496.457	0,20	503.449	516.697
Areguá	44.470	6,00	66.866	142.621
Capiatá	153.630	6,30	235.618	521.364
Fdo de la Mora	113.860	1,90	129.894	165.903
Guarambaré	16.260	2,70	19.594	27.703
Itá	50.841	3,20	63.383	95.457
Itaguá	60.787	5,40	87.841	174.030
Lambaré	118.849	1,90	135.586	173.173
Limpio	71.966	7,40	118.620	300.063
Luque	184.058	4,80	255.555	470.089
M Roque Alonso	64.740	5,10	91.705	175.076
Nemby	70.990	6,30	108.875	240.914
San Antonio	37.961	9,70	72.574	241.808
San Lorenzo	202.712	4,30	272.188	470.506
Villa Elisa	52.360	5,80	77.696	161.701
Ypacaraí	18.741	2,60	22.430	31.314
Ypané	25.770	10,60	52.168	193.293
J Saldivar	37.480	5,90	55.985	117.956
Paraguarí	23.362	2,80	28.344	40.586
Pirayú	14.841	1,60	16.585	20.386
Yaguarón	25.369	1,60	28.350	34.848
Totales-Acuífero	1.885.504		2.443.307	4.315.490
Totales-Paraguay	5.183.080	2,20	5.905.998	8.009.508
Porcentaje de la población que vive sobre el acuífero	36,38%		41,37%	53,88%

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta estos datos, podemos decir que en el año 2009 la cantidad de habitantes que vive sobre el recurso es de 2.443.307, de un total de 5.905.998, lo que representa el 41,37 % de la población.

Esto nos indica que la población que vive sobre el acuífero tiene una clara tendencia a aumentar, lo que se explica con la ubicación de la capital y el Gran Asunción sobre el mismo y la migración rural a los focos urbanos, fenómeno social típico de países tercermundistas. Un análisis sobre la situación que se vendrá en un futuro no muy lejano, nos dice que para el año

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

2022 vivirán sobre el Acuífero Patiño 4.315.490 habitantes, de un total de 8.009.508, lo que representará el 53,88 % de la población del país.

Estos números, nos dan la pauta de la importancia que adquiere el conocimiento del recurso por parte del común de la gente, ya que a medida que pase el tiempo mas personas estarán viviendo sobre el mismo, aumentando con esto el riesgo de contaminación.

Diseño del estudio

Técnica de recolección de datos

Para realizar un estudio del nivel de conocimiento de la población sobre el recurso, lo primero que se debe definir es la técnica de recolección de datos a utilizar.

Para este caso, la técnica mas adecuada es “la encuesta”, ya que tiene como ventaja principal el bajo costo en relación a la información que se obtiene. Además proporcionan información más exacta, o sea, de mejor calidad que la del Censo debido a que el menor número de empadronadores permite capacitar a los encuestadores mejor y más selectivamente, además de facilitar la obtención de resultados. Por otro lado permite obtener información de casi cualquier tipo de población y tiene una gran capacidad para estandarizar los datos, admitiendo así el tratamiento informático de los mismos y su posterior análisis estadístico.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tipo de muestreo

Para este trabajo, el método de muestreo propuesto es el probabilístico, ya que para este, todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para formar parte la muestra, garantizando de esta manera la representatividad de la misma y permitiendo hacer estimaciones inferenciales sobre la población.

Dentro de los métodos probabilísticos, elegimos el “muestro aleatorio simple”, porque cada elemento es elegido para formar parte de la muestra en forma aleatoria. Este método es el más recomendable por la Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censos (DGEEC), debido al bajo costo, la facilidad para procesar los resultados y la alta representatividad de los mismos. Su única desventaja es el hecho de tener que disponer de antemano un listado completo de la población, pero este inconveniente se subsana gracias a los datos que se poseemos de la DGEEC, y en particular del último Censo Nacional de Población y Vivienda 2002. Este censo nos proporciona los datos sobre la cantidad de habitantes en cada ciudad y distrito, además de las tasas de crecimiento poblacional, lo que nos permite estimar la cantidad de habitantes viviendo en el área de influencia del acuífero en la actualidad, para poder estimar así el tamaño de la muestra necesaria para hacer representativa nuestra encuesta.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tamaño de la muestra

Fórmula a utilizar

Para que los datos obtenidos sean representativos de la población, es fundamental determinar el número de sujetos que compondrán la muestra.

Para valores de población por encima de 300, se considera que la población es infinita, no teniéndose en cuenta el tamaño de la misma para el cálculo del tamaño muestral.

Por lo expuesto, utilizamos la siguiente fórmula:

$$n = Z_{\alpha}^2 \frac{p \cdot q}{i^2}$$

Donde

- n Tamaño muestral
- Z Valor correspondiente a la distribución de Gauss
- p Prevalencia esperada del parámetro a evaluar
- q 1-p
- i Error que se prevé cometer.

Cálculo

Z = 1,96

Valor correspondiente a la distribución de Gauss, para un error del 5 % o un nivel de confianza del 95 %

p = 0,5

Por ser el valor de prevalencia para el caso más desfavorable

q = 1-p = 0,5

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

$i = 0,05$

Para un error previsto del 5 %

Para estos valores, obtenemos un valor: **$n = 385 \text{ hab}$**

Por tanto, el número de personas a encuestar es de 385 personas,
elegidas al azar entre todos los habitantes de la zona del acuífero.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Cuestionario

Organización y preparación del cuestionario

Lo primero que debemos hacer antes de armar el cuestionario es elaborar las hipótesis que nos llevaron a precisar de esta encuesta.

La hipótesis principal de nuestra encuesta es el desconocimiento de la gente sobre el concepto de aguas subterráneas, y en especial sobre el Acuífero Patiño. Tenemos la idea de que las personas no están familiarizadas con los conceptos de aguas subterráneas y acuíferos, y consecuentemente, es poco probable que conozcan sobre el Patiño.

Si bien el concepto de aguas subterráneas puede ser un poco complejo, creemos también que las personas no solo desconocen esto, sino que también posee poca formación sobre los sistemas de abastecimiento de agua, la potabilidad de la misma, la calidad, la vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento, el origen de las aguas que utilizan, ya sea para el consumo o para limpieza, las formas de tratar y desechar las aguas residuales, a donde van a parar los desechos.

Cuando hablamos de “gente”, nos referimos al común de la población, sin distinciones de clases sociales o económicas, y de todos los niveles educativos y de cualquier edad o género.

La pregunta que indefectiblemente surge de este cuestionamiento es “¿cómo una persona puede cuidar un recurso que no conoce?”

A partir de esta duda, nacieron una serie de interrogantes que nos llevaron a querer conocer más sobre el conocimiento de la gente. ¿Saben las personas lo valioso que es el acuífero?, ¿Conocen los riesgos de sus acciones

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

sobre el mismo?, ¿Saben lo vulnerable que puede ser un acuífero?, ¿Saben de donde proviene el agua que consumen?, ¿Saben a dónde va el agua que desechan después de usarla?, ¿Saben de la gran disponibilidad de agua dulce que posee nuestro país en relación al resto del mundo?

Todas estas preguntas se convirtieron en nuestras hipótesis, pero todas derivan de la principal: ¿Conoce o no conoce la gente el Acuífero Patiño?

En resumen, lo que queremos demostrar con esta encuesta es que la gente no conoce, o conoce muy poco sobre aguas subterráneas y en especial sobre el Acuífero Patiño.

Prueba piloto

De las hipótesis, nació nuestro primer cuestionario, que fue elaborado rápidamente y sin un análisis exhaustivo. Fueron incluidas la mayor cantidad de preguntas posibles totalizando 17 preguntas divididas en 3 grupos que constituyeron nuestras dimensiones intermedias. Estos grupos son: Aguas subterráneas, Agua Corriente y Aguas residuales. La idea era probar por grupos el conocimiento de la gente sobre cada área. Además se incluían en el cuestionario los datos geográficos como distrito y zona a la que pertenece el encuestado, nivel de estudios, género y edad de manera a poder segmentar los distintos grupos y relacionarlos con el nivel de conocimiento.

Este primer cuestionario fue elaborado para realizar rápidamente una prueba piloto, para probar la efectividad del mismo, el tiempo que lleva encuestar a una persona, la calidad de las preguntas, si era necesario o no

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

realizar preguntas de control, el número de respuestas por cada pregunta y el número de preguntas que debería tener el cuestionario definitivo.

Esta prueba piloto se realizó en compañía del Lic. Félix Villar, y la llevamos a cabo en la ciudad de San Lorenzo, un día sábado, en las inmediaciones de la residencia de nuestro asesor. En esta oportunidad pudimos probar muchos aspectos del cuestionario piloto y obtener los primeros roces con la gente. También nos pudimos dar cuenta, que nuestras hipótesis estaban bien encaminadas, lo que nos motivó aún más a seguir adelante con este proyecto.

Cuestionario definitivo

El cuestionario quedó armado de la siguiente manera: El primer capítulo está referido a datos geográficos y personales. Todas las preguntas de este capítulo son del tipo identificatorio. Es importante en primer lugar determinar el distrito al que pertenece el encuestado, ya que el criterio utilizado en este trabajo y recomendado por la Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censos es el de definir el número de personas a ser encuestadas en cada municipio de manera proporcional a la cantidad de habitantes, de manera que las ciudades con más personas encuestadas serían las ciudades con mayor cantidad de habitantes.

Por lo dicho, fue necesario hacer una estimación de la población para el año 2009 de manera a utilizar estos números para definir los porcentajes de población de cada distrito en relación a la población total sobre el acuífero.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El número de habitantes para cada ciudad quedó de la siguiente

manera:

Tabla 4.31 – Porcentaje de la población viviendo sobre el Acuífero PATiño

<i>Ciudad</i>	<i>Población 2002</i>	<i>TCA</i>	<i>Población (2009)</i>
Asunción	496.457	0,20	503.449
Areguá	44.470	6,00	66.866
Capiatá	153.630	6,30	235.618
Fdo de la Mora	113.860	1,90	129.894
Guarambaré	16.260	2,70	19.594
Itá	50.841	3,20	63.383
Itaguá	60.787	5,40	87.841
Lambaré	118.849	1,90	135.586
Limpio	71.966	7,40	118.620
Luque	184.058	4,80	255.555
M Roque Alonso	64.740	5,10	91.705
Ñemby	70.990	6,30	108.875
San Antonio	37.961	9,70	72.574
San Lorenzo	202.712	4,30	272.188
Villa Elisa	52.360	5,80	77.696
Ypacaraí	18.741	2,60	22.430
Ypané	25.770	10,60	52.168
J Saldivar	37.480	5,90	55.985
Paraguarí	23.362	2,80	28.344
Pirayú	14.841	1,60	16.585
Yaguarón	25.369	1,60	28.350
Totales-Acuífero	1.885.504		2.443.307
Totales-Paraguay	5.183.080	2,20	5.905.998
Porcentaje de la población que vive sobre el acuífero	36,38%		41,37%

Fuente: elaboración propia

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Y según los porcentajes de habitantes, el número de personas a encuestar por ciudad queda definido por la siguiente tabla:

Tabla 4.32 – Distribución de personas a encuestar por distrito

Ciudad	Población (2009)	Porcentajes	385
Asunción	503,449	20.61	79
Areguá	66,866	2.74	11
Capiatá	235,618	9.64	38
Fdo de la Mora	129,894	5.32	20
Guarambaré	19,594	0.80	4
Itá	63,383	2.59	10
Itaguá	87,841	3.60	14
Lambaré	135,586	5.55	21
Limpio	118,620	4.85	19
Luque	255,555	10.46	40
M Roque Alonso	91,705	3.75	14
Nemby	108,875	4.46	17
San Antonio	72,574	2.97	11
San Lorenzo	272,188	11.14	43
Villa Elisa	77,696	3.18	12
Ypacaraí	22,430	0.92	4
Ypané	52,168	2.14	8
J Saldivar	55,985	2.29	9
Paraguarí	28,344	1.16	4
Pirayú	16,585	0.68	3
Yaguarón	28,350	1.16	4
Totales-Acuífero	2,443,307		
Totales-Paraguay	5,905,998		
Porcentaje de la población que vive sobre el acuífero	41.37%	El número total de personas a ser encuestadas es de 385	

Fuente: elaboración propia

Otro aspecto a llenar en el primer capítulo es el del sector al que pertenece el encuestado, de manera a definir si vive en una zona urbana, periurbana o rural. Esta variable va muy relacionada con el sistema de abastecimiento de agua que utiliza y con la forma de eliminar las aguas residuales, que dependen en gran medida del lugar donde vive cada persona.

Para realizar la clasificación de los sectores tomamos como referencia la ciudad donde vive el encuestado y de esa manera queda definido el sector al que pertenece. Para ello clasificamos las ciudades en tres zonas de acuerdo a

**ACUÍFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

la densidad poblacional de cada distrito. Para este cálculo tomamos la cantidad total de habitantes de cada distrito y dividimos por el área de su superficie, luego clasificamos los distritos de acuerdo a la densidad resultante del cálculo en las tres zonas arriba citadas. Aquellas localidades cuya densidad poblacional es menor a 5 las agrupamos en el sector “Rural”, aquellas cuya densidades están entre 5 y 25 las clasificamos como “Peliurbanas” y las que tienen valores mayores a 25 están agrupadas en la zona “Urbana”. En el siguiente grafico pude observarse de manera más precisa y referenciada esta clasificación de las tres zonas

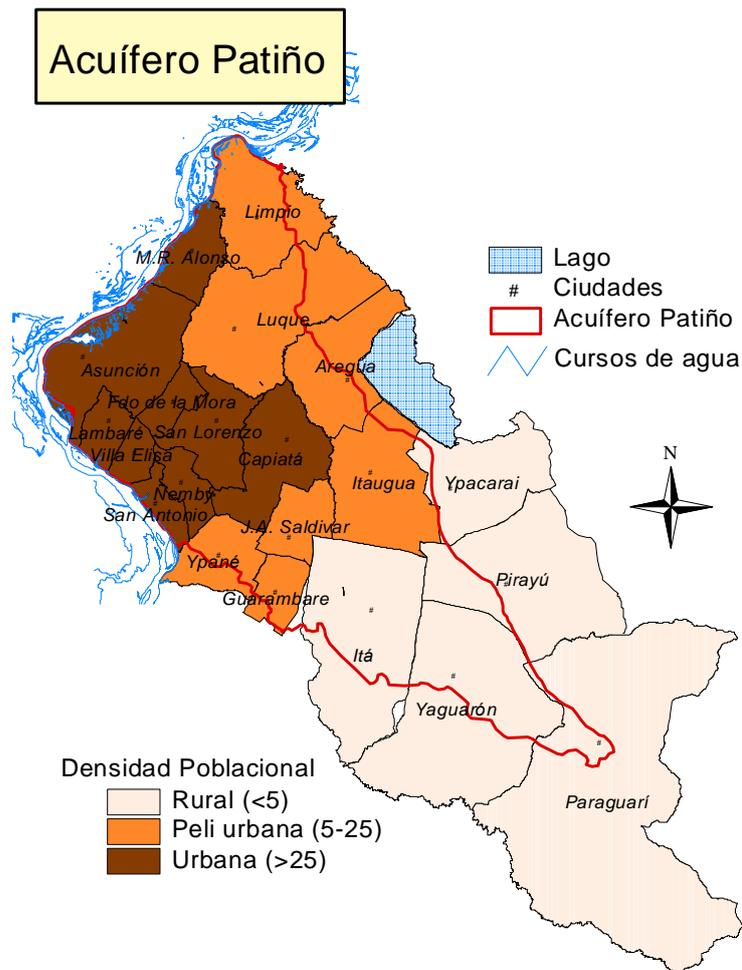


Figura 4.120 – Densidad poblacional sobre el Acuífero Patiño 2009

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

También se pregunta el nivel de educación de cada persona, para determinar si las respuestas van relacionadas con la educación de cada individuo, además del género y la edad, de manera a segmentar los grupos de respuestas según estos criterios.

El segundo capítulo está conformado por el cuestionario en sí, pero se divide a la vez en 3 grandes grupos, relacionados cada uno con las aguas subterráneas, el abastecimiento de agua y el desecho de las aguas residuales respectivamente.

Referente a las aguas subterráneas, tenemos las siguientes preguntas:

1. ¿Sabe de lo existencia de las aguas subterráneas?

Con esta pregunta queremos conocer si las personas tienen o no el concepto, aunque sea vagamente, de que el suelo puede acumular agua y que esta puede ser y es aprovechada para consumo humano. Este concepto tiene que estar relacionado con la existencia de los acuíferos, la explotación de las mismas, la calidad de las aguas subterráneas en relación con la tratada en plantas, entre otras cosas, por lo que establecimos como respuestas, además de “SI” y “Nada”, una opción intermedia que sería utilizada si la persona encuestada demuestra conocer o estar familiarizada con alguno de los conceptos citados. En este caso la tercera respuesta sería “Poco”. Esta pregunta por lo tanto, contempla solamente respuestas cerradas, aunque se plantea también una pregunta de control, que sirve para establecer la veracidad de la respuesta, sin necesidad de tomar nota de la misma.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

2. ¿Conoce el Acuífero Patiño?

Esta pregunta está dirigida directamente a saber si las personas conocen o no sobre el Acuífero Patiño en particular. El cuestionario contempla 3 respuestas, igualmente a la pregunta anterior. Las respuestas aceptables serían, “Si”, “Poco” y “Nada” y también se establece una pregunta de control de manera a comprobar si la respuesta es veraz. Aunque en este caso, es interesante anotar el resultado de la pregunta de control para conocer con que asocian las personas el nombre “Patiño”, por lo que decidimos que esta respuesta quedaría registrada para su posterior análisis.

3. ¿Tiene conocimientos de estudios sobre el Acuífero Patiño?

En esta pregunta, lo que se quiere conocer es si las personas están enteradas, en mayor o menor medida, de los esfuerzos que se hacen por estudiar el Acuífero Patiño, ya sea desde el sector público o privado. Esta pregunta surge de la hipótesis de que todos los estudios que se realizan, quedan concentrados en el ambiente técnico, contenidos en una especie de “burbuja” a la que solo acceden profesionales y técnicos, por lo que el común de la gente no está en conocimiento sobre estos avances y sobre la actualidad del recurso. De esta manera parece imposible esperar que las personas conozcan las implicancias de sus acciones sobre la sostenibilidad del acuífero, ni pretender que lo protejan o lo consideren como un bien público.

Esta pregunta también tiene respuestas cerradas, ya que se busca conocer algo muy específico. El cuestionario solo ofrece las respuestas “Si” y “No”, con una pregunta de control que no necesita respuesta registrada dado el carácter de la misma.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

4. ¿Cuál es el principal medio por el cual se informa?

Esta pregunta está orientada a conocer cuales son los medios de difusión de información que son mas aprovechados por la gente. De esta manera se puede relacionar la falta o no de conocimientos con la calidad de la información que reciben en el ámbito que estamos estudiando, además de establecer cual sería el mejor camino para emprender campañas de concientización en lo referente a las aguas subterráneas y el Acuífero Patiño.

Esta pregunta también está preparada para recibir solamente respuestas cerradas, que en este caso serían: Televisión, Radio, Diario, Por un familiar o vecino u Otro.

En lo referente a las aguas subterráneas tenemos las siguientes preguntas:

5. ¿De dónde proviene el agua que consume?

Esta pregunta está orientada a conocer como se abastecen de agua corriente las personas. El agua es un bien primordial para la supervivencia del hombre, y creemos que las personas no están concientes de su importancia, y esto se puede demostrar asociando el desinterés con el desconocimiento del tema. Por lo que pretendemos demostrar es que las personas no solo no conocen sobre las aguas subterráneas, sino que tampoco conocen sobre como llega hasta sus hogares el agua que consumen.

Esta pregunta tiene las siguientes opciones como respuesta:

- ESSAP/SENASA,
- Red privada (que se refiere a una aguatera),
- Tajamar, nacimiento, río o arroyo, que se refiere a cualquier fuente de agua superficial

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

- Aljibe, que son los pozos escavados
- Pozo profundo
- No sé, en caso de desconocimiento

6. ¿Sabe de donde se obtiene el agua que consume?

Esta pregunta aunque se parece mucho a la anterior, lo que busca es averiguar si además de conocer quien le provee el agua, el consumidor sabe algo sobre el origen, el lugar y la forma de extracción o el tratamiento de las aguas que está consumiendo.

Las respuestas para esta pregunta son nada más que “Si” o “No”, aunque se incluye una pregunta de control para verificar la veracidad de la misma, cuya respuesta no tiene objeto que se registre.

La tercera parte de este capítulo está relacionada con las aguas residuales, y éstas son las preguntas:

7. ¿Cómo elimina sus aguas residuales?

Con esta pregunta se busca conocer si las personas tienen alguna idea sobre el destino que le están dando a las aguas que desechan. Está basada en la misma idea del desconocimiento general, que planteamos como hipótesis para este trabajo, sobre todos los aspectos sanitarios en la vida cotidiana de las personas.

De nuevo se plantea como una pregunta con respuestas cerradas, entre las cuales se encuentran las siguientes opciones:

- Alcantarillado público
- Pozo ciego.
- Superficie de la tierra

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

- Río o arroyo
- No sé
- Otra

8. ¿Estaría de acuerdo con una obra sanitaria que elimine sus aguas residuales?

Esta pregunta está planteada en conjunto con la siguiente, y busca averiguar sobre la idea que tienen las personas sobre la importancia que le dan a las obras relacionadas a este ámbito. Puntualmente queremos saber si están dispuestos a tolerar las molestias ocasionadas por las obras, ya que debido a su magnitud están llevan mucho tiempo de ejecución, además de dejar los caminos en mal estado si no se realizan de buena manera.

9. ¿Estaría dispuesto al pago de dicho servicio?

Muchas veces las personas dicen estar de acuerdo con cualquier tipo de obra que genere progreso, pero debido a la situación económica del país y la región, muchas veces los criterios se ven afectados cuando la responsabilidad financiera cae en parte o su totalidad a los afectados. Por lo dicho, la pregunta busca responder este cuestionamiento, sobre lo que están dispuestos a sacrificar las personas en beneficio de su propia salud.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Presentación del cuestionario

El cuestionario final tiene la siguiente presentación:

 <p>Facultad de Ingeniería UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN "Excelencia y tradición en la formación de ingenieros"</p>	<p>CAPITULO A - UBICACIÓN GEOGR.-DATOS PERSONALES</p> <p>a. Ciudad : _____</p> <p>b. Sector : _____</p> <p>c. Estudios _____</p> <p>d. Sexo : _____</p> <p>e. Edad: _____</p>
<p>CAPITULO B - CUESTIONARIO</p>	
<p>1. ¿Sabe de la existencia de las aguas subterráneas?</p> <p style="text-align: right;">Si <input type="checkbox"/> 1</p> <p style="text-align: right;">Poco <input type="checkbox"/> 2</p> <p style="text-align: right;">Nada <input type="checkbox"/> 3</p> <p>¿Sabe de ellas?</p>	<p>5. ¿De donde proviene el agua que consume?</p> <p style="text-align: right;">ESSAP/SENASA <input type="checkbox"/> 1</p> <p style="text-align: right;">Red Privada <input type="checkbox"/> 2</p> <p style="text-align: right;">Tajamar, naciente , río o arroyo <input type="checkbox"/> 3</p> <p style="text-align: right;">Aljibe <input type="checkbox"/> 4</p> <p style="text-align: right;">Pozo profundo <input type="checkbox"/> 5</p> <p style="text-align: right;">No sé <input type="checkbox"/> 6</p>
<p>2. ¿Conoce el Acuífero Patiño?</p> <p style="text-align: right;">Si <input type="checkbox"/> 1</p> <p style="text-align: right;">Poco <input type="checkbox"/> 2</p> <p style="text-align: right;">Nada <input type="checkbox"/> 3</p> <p>¿Sabe de el?</p>	<p>6. ¿Sabe de donde se obtiene el agua que consume ?</p> <p style="text-align: right;">Si <input type="checkbox"/> 1</p> <p style="text-align: right;">No <input type="checkbox"/> 2</p> <p>De donde?</p>
<p>3. ¿Tiene conocimientos de estudios sobre el Acuífero Patiño?</p> <p style="text-align: right;">Si <input type="checkbox"/> 1</p> <p style="text-align: right;">No <input type="checkbox"/> 2</p> <p>Cuales?</p>	<p>7. ¿Como elimina sus aguas residuales?</p> <p style="text-align: right;">Alcantarillado público <input type="checkbox"/> 1</p> <p style="text-align: right;">Pozo ciego <input type="checkbox"/> 2</p> <p style="text-align: right;">Superficie de la tierra <input type="checkbox"/> 3</p> <p style="text-align: right;">Río o arroyo <input type="checkbox"/> 4</p> <p style="text-align: right;">No sé <input type="checkbox"/> 5</p> <p style="text-align: right;">Otra <input type="checkbox"/> 6</p>
<p>4. ¿Cuál es el principal medio por el cual se informa?</p> <p style="text-align: right;">T.V. <input type="checkbox"/> 1</p> <p style="text-align: right;">Radio <input type="checkbox"/> 2</p> <p style="text-align: right;">Diario <input type="checkbox"/> 3</p> <p style="text-align: right;">Por un familiar o vecino <input type="checkbox"/> 4</p> <p style="text-align: right;">Otro <input type="checkbox"/> 5</p>	<p>8. ¿Estaría de acuerdo con la realización de una obra sanitaria que elimine sus aguas residuales?</p> <p style="text-align: right;">Si <input type="checkbox"/> 1</p> <p style="text-align: right;">No <input type="checkbox"/> 2</p>
<p>ENCUESTADOR: _____</p> <p>FECHA _____</p>	<p>9. ¿Estaría dispuesto al pago de dicho servicio ?</p> <p style="text-align: right;">Si <input type="checkbox"/> 1</p> <p style="text-align: right;">No <input type="checkbox"/> 2</p> <p>FIRMA _____</p>

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Otros detalles referentes al cuestionario son que al final de cada hoja el encuestador, que en este caso seríamos los alumnos que realizamos este trabajo, tiene que completar su nombre, la fecha de realización de la encuesta y rubricar su firma, de modo a archivar al final todas las encuestas realizadas. Además en la parte inferior izquierda del cuestionario, colocamos una casilla en blanco, destinada a colocar la numeración de los cuestionarios realizados una vez que estos se encuentren en gabinete, para poder llevar ordenadamente la cuenta de personas encuestadas.

The image shows a questionnaire form with the following sections:

- CAPITULO A - UBICACIÓN GEOGR.-DATOS PERSONALES**
 - a. Ciudad :
 - b. Sector :
 - c. Estudios
 - d. Sexo :
 - e. Edad:
- CAPITULO B - CUESTIONARIO**
 - 1. ¿Sabe de la existencia de las aguas subterráneas?**
 - Si 1
 - Poco 2
 - Nada 3
 - Q sabe de ellas?
 - 2. ¿Conoce el Acuífero Patiño?**
 - Si 1
 - Poco 2
 - Nada 3
 - Q sabe de él?
 - 3. ¿Tiene conocimientos sobre estudios sobre el Acuífero Patiño?**
 - Si 1
 - No 2
 - Cuales?
 - 4. ¿Cuál es se informa?**
 - Radio 2
 - Diario 3
 - Por un familiar o vecino 4
 - Otro 5
 - 5. ¿De donde proviene el agua que consume?**
 - ESSAP/ENASA 1
 - Red Privada 2
 - Tajamar, naciente, río o arroyo 3
 - Aljibe 4
 - Pozo profundo 5
 - No sé 6
 - 6. ¿Sabe de donde se obtiene el agua que consume?**
 - Si 1
 - No 2
 - De donde?
 - 7. ¿Como elimina sus aguas residuales?**
 - Alcantarillado público 1
 - Pozo ciego, cámara séptica 2
 - Superficie de la tierra 3
 - Río o arroyo 4
 - No sé 5
 - Otra 6
 - 8. ¿Estaría de acuerdo con la realización de una obra sanitaria que elimine sus aguas residuales?**
 - Si 1
 - No 2
 - 9. ¿Estaría dispuesto al pago de dicho servicio?**
 - Si 1
 - No 2
 - ENCUESTADOR: _____
 - FECHA _____ FIRMA _____

A red circle highlights the signature line. A box labeled "Casilla para numeración" with an arrow points to the signature area.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Hoja de ruta

Una vez listo el cuestionario, el siguiente paso fue armar la hoja de ruta par realizar las encuestas en el menor tiempo posible y de la manera mas eficiente.

Para esto recurrimos a la utilización de softwares como ArcWiew GIS 3.2 y Google Earth 4.3, para el planeamiento de los recorridos.

Utilizando una planilla de cálculo, sacamos el número de personas que debíamos encuestar en cada distrito de nuestra área de estudio, de acuerdo al correspondiente porcentaje de habitantes y en relación al total. Dicha planilla arrojó los siguientes resultados:

Tabla 4.33 – Número de personas a encuestar por distrito

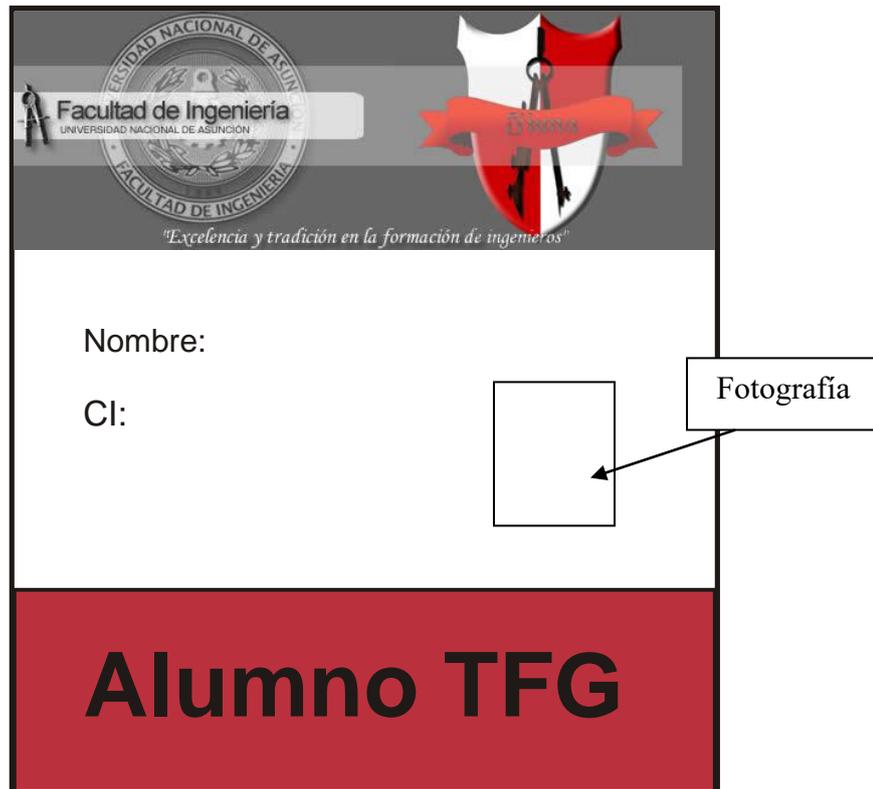
Ciudad	Nº Encuestados
Asunción	79
Areguá	11
Capiatá	38
Fdo de la Mora	20
Guarambaré	4
Itá	10
Itaguá	14
Lambaré	21
Limpio	19
Luque	40
M Roque Alonso	14
Nemby	17
San Antonio	11
San Lorenzo	43
Villa Elisa	12
Ypacaraí	4
Ypané	8
J Saldivar	9
Paraguarí	4
Pirayú	3
Yaguarón	4
Total	385

Fuente: elaboración propia

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Salidas de campo

Para la realización de las salidas de campo diseñamos una identificación que tiene el siguiente formato:



El objetivo de esto era portar una identificación de manera a dar más tranquilidad a las personas encuestadas en vista de la situación de inseguridad y desconfianza que se vive normalmente. Esta identificación además lleva el sello de la facultad y la firma del Director del Departamento de Apoyo Académico, el Ing. Ever Cabrera.

Según la tabla elaborada, armamos una mapa con la cantidad de encuestados por ciudad, de manera a que sea mas sencillo visualizar el trabajo. En este mapa se pueden observar los municipios que forman parte de nuestra encuesta, con la cantidad de encuestados que le corresponden a cada

**ACUÍFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

uno. Además se observan los límites del Acuífero, las ciudades principales y las rutas pavimentadas principales en esta región del país.

Dicho mapa se presenta a continuación:



Figura 4.121 – Mapa de personas a encuestar por distrito

Este mapa nos fue de suma ayuda en los recorridos realizados para encuestar, y se puede notar que los municipios que tienen color más oscuro son los que tienen más peso en la encuesta, debido a su población más numerosa, y consecuentemente más personas a encuestar.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El trabajo de campo se realizó durante los meses de enero y febrero de 2009, y consistió en viajar por cada una de las ciudades del departamento Central, y la ciudad de Paraguari, en busca de personas para encuestar. Las personas fueron elegidas al azar, como lo marcan los métodos probabilísticos y la teoría del muestro aleatorio simple.

Una vez que llegamos a una ciudad, buscamos un lugar público donde se encontrase un número importante de personas. Una vez identificado un lugar con tales características, nos dispusimos encarar a la gente con nuestro cuestionario.

Cabe mencionar la buena disposición de la gente a responder nuestro cuestionario, ya que la amplia mayoría no presentó inconvenientes para participar de la encuesta.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Procesamiento de los datos obtenidos

Luego de llegar a todas las ciudades dentro del Acuífero y de realizar todas las encuestas previstas por ciudad. Llegando a realizar en total 387 encuestas de las 385 que en un comienzo eran necesarias.

Pasamos luego a iniciar al procesamiento de los datos obtenidos. Para ello fue de vital importancia la utilización del programa informático Epi Info 2000. Mediante el mismo pudimos cargar, primero de todo, una a una todas las respuestas obtenidas en las diferentes encuestas realizadas. Las tablas donde se encuentran todas las respuestas ordenadas aparecen en el ANEXO 1.

Luego de terminar de cargar las mismas pudimos pasar al procesamiento de los datos y a la obtención de resultados para realizar gráficos con estos resultados y poder sacar las conclusiones de cada pregunta.

Para saber el alcance que tuvo nuestra encuesta pasamos a plasmar a continuación las personas encuestadas por las zonas en la que vive, por su nivel de estudio y por sexo, que son los datos que queríamos obtener en el CAPITULO A de nuestro cuestionario.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Cantidad de encuestados por sector

Sector	Cantidad	Porcentaje
Peli Urbano	105	27.10%
Rural	25	6.50%
Urbano	257	66.40%
Total	387	100.00%

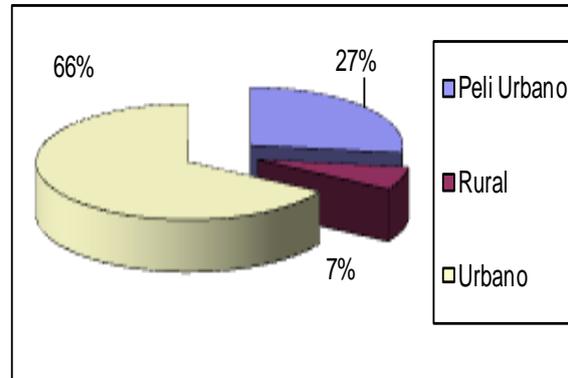


Figura 4.122 – Resultados por sector

El porcentaje de encuestados en el sector Urbano es en el que se presenta gran cantidad de encuestados, debido a que las ciudades que se encuentran en dicho sector son las que presentan una mayor densidad poblacional, por lo que conviene tener mayor número de muestras de esta zona por su gran incidencia en el Acuífero.

Cantidad de encuestados por nivel de estudio

Nivel de Estudio	Cantidad	Porcentaje
Básico	35	9.00%
Primaria	75	19.40%
Secundario	146	37.70%
Técnico Superior	8	2.10%
Universitario	123	31.80%
Total	387	100.00%

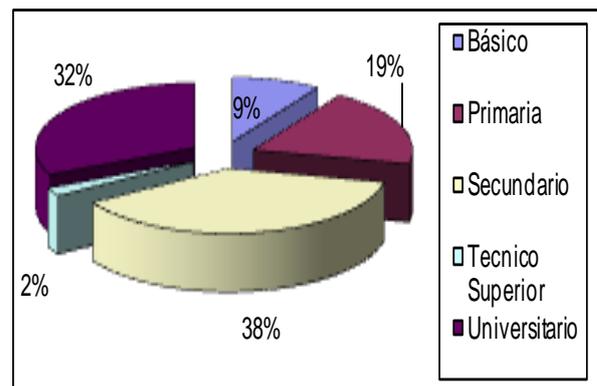


Figura 4.123 – Resultados por nivel de estudio

Los niveles de estudios secundario y universitarios son los niveles de estudios que se tiene mayor cantidad de muestras, y son los más útiles a la hora de analizar por que son niveles de estudios bastante importantes.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Cantidad de encuestados por sexo

Sexo	Cantidad	Porcentaje
Femenino	183	47.30%
Masculino	204	52.70%
Total	387	100.00%

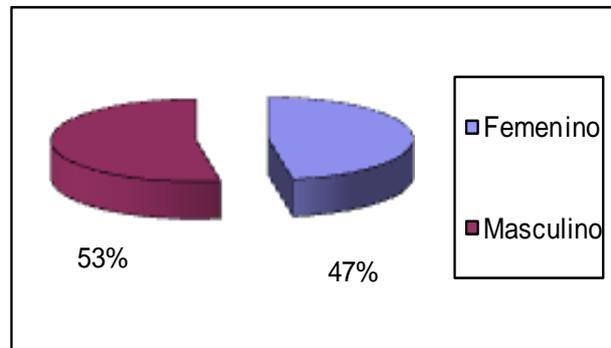


Figura 4.124 – Resultados por sexo

El porcentaje de hombres y mujeres encuestados es bastante similar, por lo que la representatividad obtenida de cada uno es casi la misma.

Luego de mostrar el alcance en cada parámetro que tuvo nuestra encuesta, pasamos a continuación a mostrar los resultados obtenidos de cada una de las preguntas que forman parte del CAPITULO B de nuestro cuestionario.

1. Sabe de la existencia de las aguas subterránea?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Nada	153	39.50%
Poco	186	48.10%
Si	48	12.40%
Total	387	100.00%

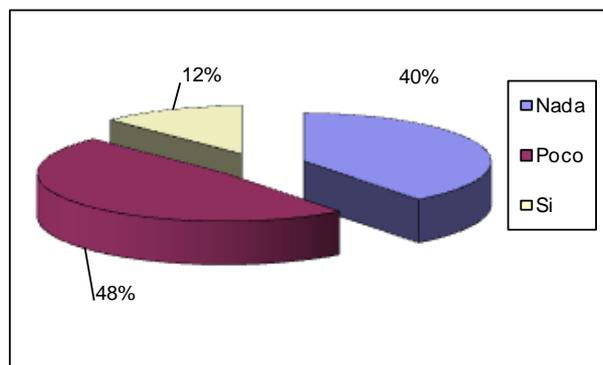


Figura 4.125 – Resultados pregunta 1

La gente que respondió que si conoce de las aguas subterráneas es solo un 12% del total de encuestados. Este resultado es preocupante ya que casi el 70% de los encuestados obtiene el agua que consume de las aguas subterráneas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

2. Conoce el Acuífero Patiño?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Nada	282	72,87%
Poco	88	22,74%
Si	17	4,39%
Total	387	100,00%

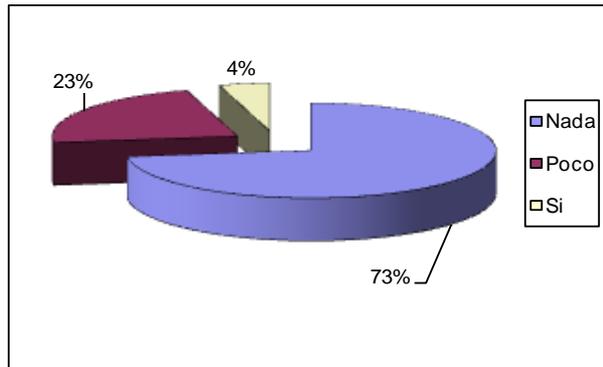


Figura 4.126 – Resultados pregunta 2

La gente que conoce el Acuífero Patiño es solo el 4% de la población que vive sobre ella, este desconocimiento del recurso es el principal causante del gran aumento de la contaminación del mismo, ya que la gente no puede cuidar algo que no conoce.

3. Tiene conocimientos sobre estudios realizados del Acuífero Patiño?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
No	374	96,64%
Si	13	3,36%
Total	387	100,00%

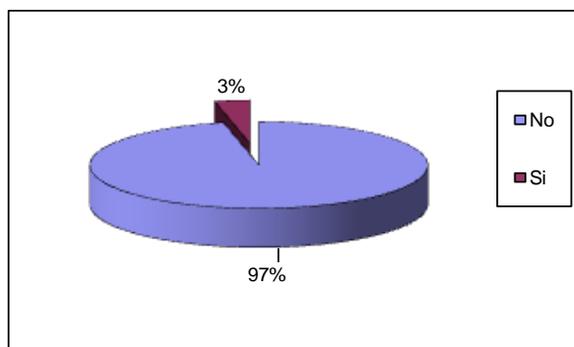


Figura 4.127 – Resultados pregunta 3

Del 4 % de las personas que conocían del recurso, solo el 3% de las mismas escucharon o leyeron sobre estudios del mismo, lo que nos demuestra a las claras un desinterés de la población de informarse a través de los estudios que se realizaron o también podría ser que los profesionales que realizan los estudios cometen un error en el canal de difusión de los resultados que se tuvieron.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

4. Cual es el principal medio por el cual se informa?

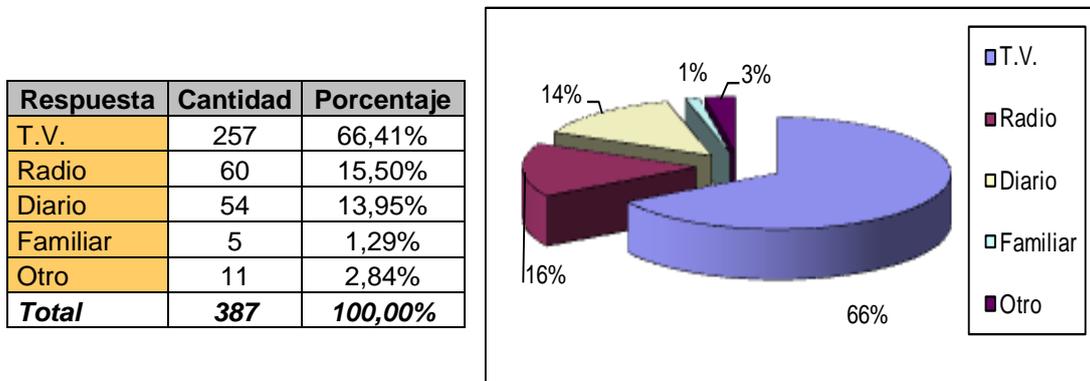


Figura 4.128 – Resultados pregunta 4

La televisión es según el 66% de las personas el principal medio por el que se informan, por lo que a la hora de querer difundir informaciones o conclusiones de estudios realizados este es el principal medio de comunicación que se debe tener en cuenta.

5. De donde proviene el agua que consume?

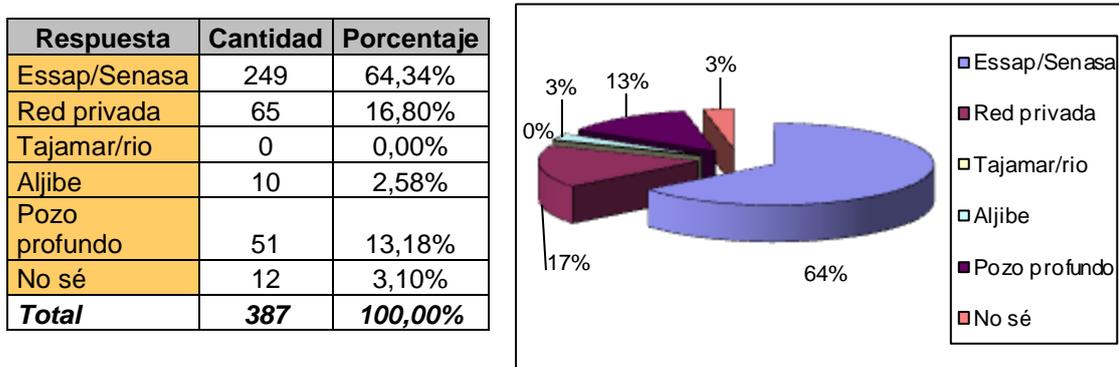


Figura 4.129 – Resultados pregunta 5

La despreocupación de la gente en el cuidado del agua se debe a que la mayoría de ellas recibe agua por medio de empresas y cuando se presenta un problema en la calidad del agua, antes de ver que están haciendo mal para que produzca este problema, culpan a las empresas por este inconveniente.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

6. Sabe de donde se obtiene el agua que consume?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
No	156	40,31%
Si	231	59,69%
Total	387	100,00%

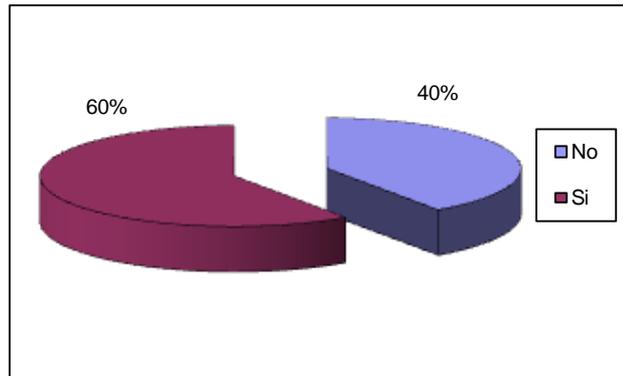


Figura 4.130 – Resultados pregunta 6

Que solo el 60% de las personas sepan de donde se obtiene el agua que consume es un problema muy grave, por que demuestra que aparte de no importarle el cuidado de las aguas, tampoco les importa mucha el origen y la calidad del agua que consumen.

7. Como elimina sus aguas residuales?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Alcantarillad publico	95	24,55%
Pozo ciego	241	62,27%
Superf de la tierra	8	2,07%
Río o arroyo	3	0,78%
No sé	40	10,34%
Otra	0	0,00%
Total	387	100,00%

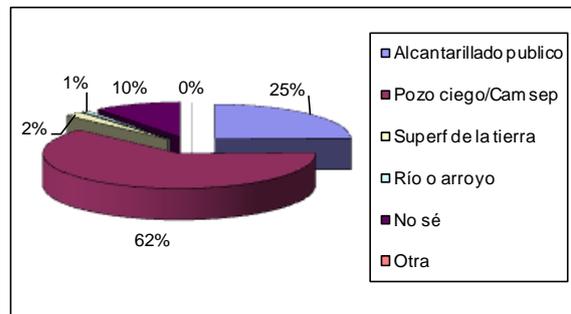


Figura 4.131 – Resultados pregunta 7

La gran mayoría de las personas que viven sobre el Acuífero utilizan para la eliminación de sus aguas residuales pozos ciegos, lo que representa el peor peligro para la contaminación de las aguas del recurso, ya que casi la totalidad de los pozos ciegos no tienen ningún tipo de mantenimiento, por lo que los mismos representan una bomba de tiempo que afectan directamente a las aguas del Acuífero.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

8. Estaría de acuerdo con la realización de una obra sanitaria que elimine sus aguas residuales?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
No	44	11,37%
Si	343	88,63%
Total	387	100,00%

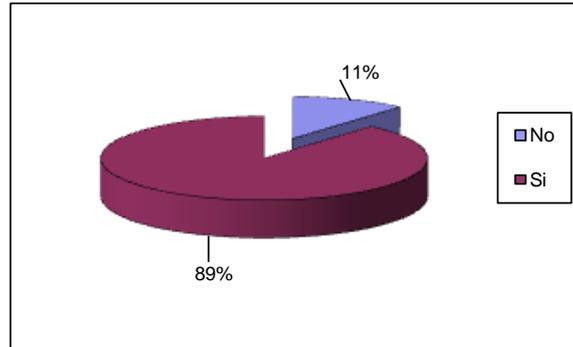


Figura 4.132 – Resultados pregunta 8

Casi la totalidad de las personas están de acuerdo que se deben realizar obras sanitarias para el mejoramiento de los sistemas de eliminación de las aguas residuales existentes y de esta manera disminuir la incidencia que tiene el mismo a la hora de contaminar el recurso.

9. Estaría dispuesto al pago de dicho servicio?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
No	57	14,73%
Si	330	85,27%
Total	387	100,00%

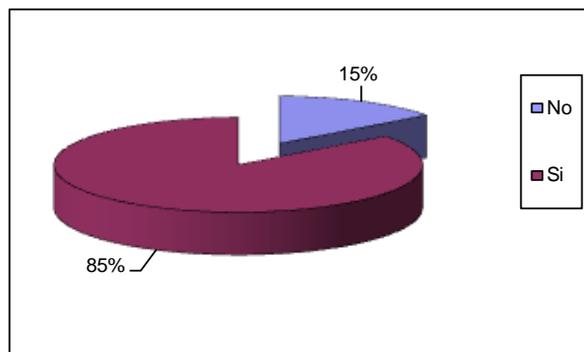


Figura 4.133 – Resultados pregunta 9

Muchas veces las personas reclaman mejores atenciones o mejores servicios, pero a la hora que deben realizar el pago por estos servicios recibidos empiezan las quejas, pero según este análisis este no es el caso ya que el 85% de los encuestados está dispuesto a pagar por este servicio.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

El programa Epi Info 2000 también nos permite realizar una correlación de valores y de esa manera cruzar el resultado que nos dio una pregunta con alguna otra información, o cruzar entre se dos preguntas. De esta manera podemos obtener otros resultados muy útiles como ser.

Saben mas de la existencia de las aguas subterránea las personas que están en el sector urbano o en el rural?

URBANO		
Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Nada	95	37,00%
Poco	122	47,50%
Si	40	15,60%
Total	257	100,00%

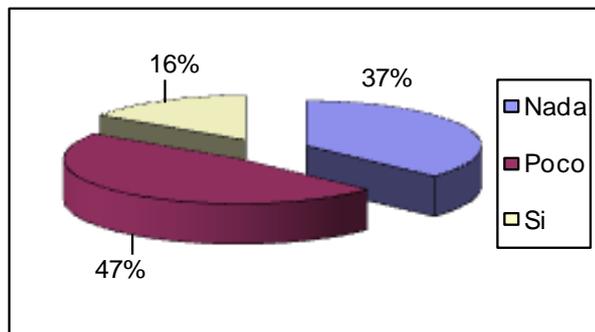


Figura 4.134 – Pregunta 1 sector urbano

RURAL		
Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Nada	10	40,00%
Poco	13	52,00%
Si	2	8,00%
Total	25	100,00%

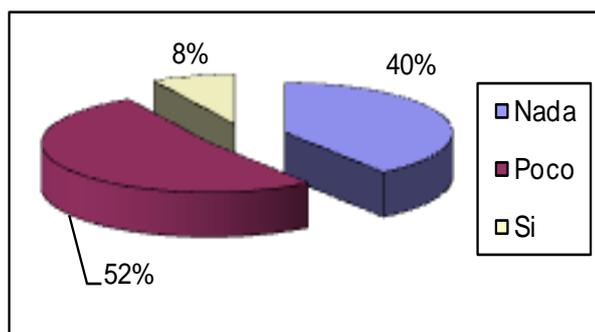


Figura 4.135 – Pregunta 1 sector rural

Con esto nos damos cuenta que por más que sea el sector rural el que utiliza en una mayor cantidad de forma directa las aguas subterráneas, es el sector Urbano en el que se conoce más la existencia de las aguas subterráneas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Conocen mas del Acuífero Patiño las personas que tienen un nivel de estudio secundario o los que tiene un nivel de estudio universitario?

SECUNDARIA		
Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Nada	113	77,40%
Poco	30	20,55%
Si	3	2,05%
Total	146	100,00%

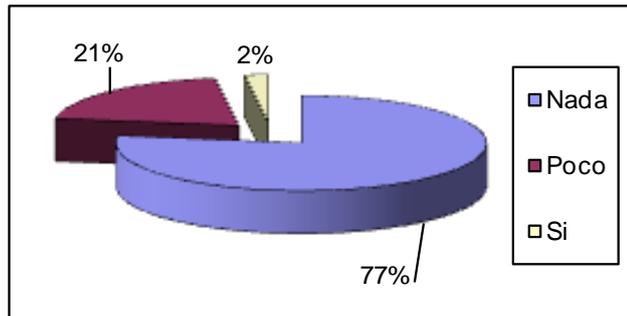


Figura 4.136 – Pregunta 2 nivel secundario

UNIVERSITARIO		
Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Nada	65	52,85%
Poco	44	35,77%
Si	14	11,38%
Total	123	100,00%

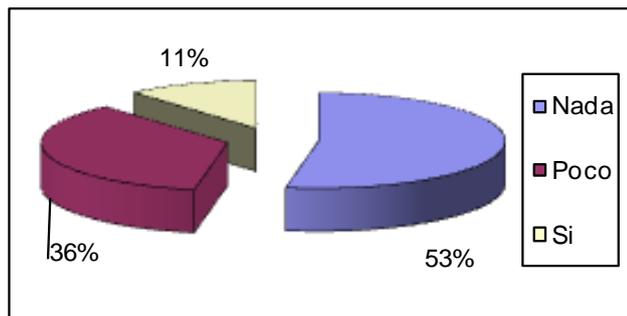


Figura 4.137 – Pregunta 2 nivel universitario

Como era de suponer son las personas con niveles de estudio universitario las que conocen más del recurso que las de secundaria, pero de igual manera es muy alarmante el bajo porcentaje de universitarios que conoce del Acuífero Patiño, ya que solo el 11% de los mismos respondieron positivamente a esta pregunta.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

De la gente que “no” tiene conocimiento sobre estudios sobre el Acuífero Patiño, que son el 96,64% de las personas encuestadas, cual es el principal medio por el que se informan?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
T.V.	250	66,84%
Radio	59	15,78%
Diario	50	13,37%
Familiar	5	1,34%
Otro	10	2,67%
Total	374	100,00%

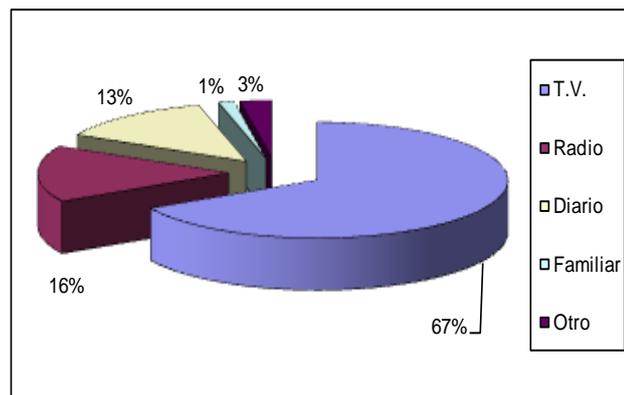


Figura 4.138 – Resultados obtenidos

Mediante esto vemos que la gran mayoría de las personas que no tienen conocimiento sobre los estudios realizados sobre el Patiño, su principal medio de información es la TV por lo que debe ser este medio el principal a utilizar a la hora de querer divulgar los resultados de estudios.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

De la gente que estaría de acuerdo con la realización de una obra sanitaria que elimine sus aguas residuales que son el 88,63% de las personas encuestadas, como eliminan sus aguas residuales?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Alcantarillado publico	90	26,24%
Pozo ciego/Cam sep	210	61,22%
Superf de la tierra	8	2,33%
Río o arroyo	2	0,58%
No sé	33	9,62%
Otra	0	0,00%
Total	343	100,00%

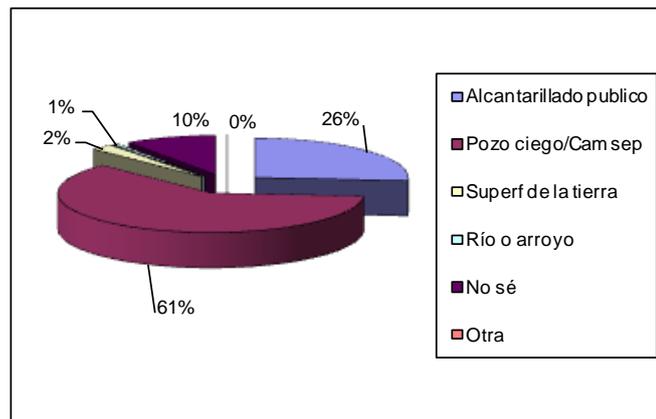


Figura 4.139 – Resultados obtenidos

Con esto podemos ver que la gente que la mayor parte de la gente que respondió que si a la realización de obras sanitarias para el mejoramiento de sus aguas residuales elimina sus aguas servidas por pozo ciego, por lo que la obra mas necesaria a ser realizada es un sistema de alcantarillado publico en esas áreas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Es innumerable el número de relaciones que podemos sacar con los datos obtenidos de la encuesta con la utilización del programa Epi Info 2000, como relacionar las respuestas obtenidas con el nivel de estudio de los encuestados, con las zonas en las que viven o con el sexo de los encuestados, así como también seguir relacionando parámetros entre si para saber el tipo de resultado que nosotros queramos, pero como no podemos ser tan extensos en esta área, realizamos estos análisis y los resultados los mostramos en el ANEXO 2.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

4.5 - MARCO JURÍDICO E INSTITUCIONAL

Marco Jurídico

Marco Jurídico global

La máxima Ley de la Nación es la Constitución Nacional – que data del año 1992 -, siguen en orden de prelación, los Tratados Internacionales, las leyes de la nación, Decretos (Presidencia de la Nación), Resoluciones (Ministerios y Secretarías de Estado), Ordenanzas (Intendencias Municipales).

Legislación que beneficia o protege el uso del agua:

1) Constitución Nacional de la República del Paraguay (1992):

Establece que el Estado deberá Fomentar la investigación sobre el desarrollo económico y social con la preservación del medio ambiente.

Declara sobre la preservación, la conservación, la recomposición y el mejoramiento del ambiente.

2) Código Civil (Ley 1.183/85): Establece que las aguas superficiales y subterráneas son de dominio público.

3) Código Sanitario (Ley 836/80): Dispone sobre la protección del ambiente, abastecimiento de agua y saneamiento ambiental.

Establece disposiciones que prohíben el vertido de efluentes industriales a las aguas superficiales o subterráneas.

Prohíbe que las aguas de uso doméstico, industrial agrícola o recreativo que puedan perjudicar la salud de las personas y animales sean vertidas al medio natural.

4) Código Rural (Ley 1248): Establece el régimen legal para el aprovechamiento de las aguas públicas en las áreas rurales.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Establece procedimientos para obtener las concesiones para aprovechamiento de aguas públicas, lapso de concesión, criterios de asignación, prioridades de uso, caducidad del derecho de aprovechamiento.

5) Ley Orgánica Municipal (Ley 1295/87): Establece las funciones de las Municipalidades, entre ellas las del medio ambiente y ordenamiento territorial.

Establece la Comisión de Recursos Naturales en las Juntas o Consejos Municipales.

6) Ley Orgánica del Gobierno Departamental (Ley 426/94): Establece las funciones del Gobierno Departamental, entre las cuales se cuentan con las de protección de los recursos naturales.

7) Ley de Evaluación de Impacto Ambiental (Ley 294/93)

Reglamentada por el Decreto 14281/96: Establece que las obras y actividades de construcción y operación de conductos de aguas, aguas servidas y efluentes industriales y obras hidráulicas deben tener características adecuadas y evaluación de impacto ambiental.

8) Acuerdo de Pesca 09/94: acuerdo para la conservación de la fauna acuática en los ríos limítrofes entre el Gobierno de la República del Paraguay y el Gobierno de la República Federativa del Brasil.

9) Ley 555/95: Aprueba el acuerdo para la conservación de la fauna acuática en los ríos limítrofes.

10) Ley de Pesca (799/96): Regula la protección y preservación de la fauna acuática (Normas generales que regulan la pesca y sus actividades

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

conexas en los ríos, arroyos y lagos que se encuentran en dominio público y privado. Autoridad de aplicación es la actual SEAM.

11) Ley de Areas Silvestres (Ley 352/94): Crea el Sistema de Áreas Silvestres Protegidas (SINASIP), con el objeto, entre otros, de la preservación y el manejo de cuencas hidrográficas y de humedales, el control de la erosión y la sedimentación.

12) Ley de Vida Silvestre (Ley 96/92).

Exige la evaluación de impacto ambiental a proyectos que puedan provocar alteraciones en el medio ambiente y la vida silvestre provocadas por desmontes, drenajes de tierras inundables, modificaciones de cauces de ríos y arroyos, construcción de embalses y diques, e introducción de especies silvestres.

13) Ley Forestal (Ley 422/73) Reglam. por Decreto 11.681/91:

Establece que es de interés público el aprovechamiento y el manejo racional de bosques y tierras forestales. Es su objetivo la protección de las cuencas hidrográficas y manantiales.

Considera de utilidad pública y susceptibles a expropiación los bosques y tierras forestales que sean necesarias para el control de la erosión, la regulación y protección de cuencas hidrográficas y manantiales.

14) Normas de Protección del Medio Amb. (Decreto 18.831/86):

Establece que es obligación del Estado y deber de los ciudadanos(as) la protección y cooperación para el cuidado de las cuenca hidrográficas

Establece como zona protectora de los cuerpos de agua una distancia de 100 metros de sus márgenes.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Prohíbe el vertido de aguas o elementos capaces de degradar la calidad del agua y suelo adyacentes.

Establece que las actividades productivas tienen la obligación de proteger las nacientes, fuentes y cauces naturales.

Fija la necesidad de mantener por lo menos 25 % de los bosques naturales en propiedades privadas.

15) Ley de Penalización de Delitos Ambientales (Ley 727/96): Tipifica los delitos ambientales, que conforme a su gravedad podrán tener sanciones de hasta 10 años de reclusión. Considera delito la alteración del régimen de las fuentes o cursos de agua sin autorización previa y el vertido de efluentes o desechos no tratados de conformidad a las normas.

16) Resolución S. G. N° 585/95 del MSP y BS: Establece cuatro clases de cursos hídricos de acuerdo al uso preponderante y los parámetros para cada clase.

17) Ley de Creación de la SEAM (Ley 1561/00).

Reglamentada por Decreto 10594/00: Crea la Secretaría del Ambiente y el Consejo Nacional del Ambiente del Paraguay.

En la Ley de creación de la SEAM se establecen las normativas que serán ejecutadas por dicha Secretaría, las funciones y atribuciones de la misma.

La Secretaría del Ambiente se constituye en el Órgano del Gobierno responsable de la Política Ambiental del Paraguay, creándose en su interior la Dirección General de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

18) Ley N° 1614/00 ERSSAN: Establece el marco regulatorio y tarifario del Servicio Público de Provisión de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario.

19) Resolución N° 222/02 SEAM: Por la cual se establece el patrón de calidad de las aguas en el territorio nacional.

Marco Jurídico detallado

1) La Constitución Nacional y la protección del Ambiente

Artículo 1 – De la forma y el Estado de Gobierno, este artículo hace referencia a la dignidad humana y a la participación comunitaria, porque dicho artículo, entre otras cosas, expresa: ***..La República del Paraguay adopta para su forma de gobierno la democracia representativa, participativa y pluralista, fundada en la dignidad humana.***

En este artículo se destaca el reconocimiento de la persona humana como un ser digno y para tal efecto el mismo debe desarrollarse en un ambiente ecológicamente equilibrado.

Artículo 4. - Del Derecho a la vida. En este artículo se identifica el principio (1) cuando en el mismo se expresa ***.....Toda persona será protegida por el Estado en su integridad física y síquica....*** Un ambiente ecológicamente desequilibrado, con el ambiente degradado, atenta sensiblemente sobre la integridad física y síquica de las personas afectadas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Artículo 6. – De la Calidad de Vida. Este artículo refiere a los planes y políticas de gobierno referente a*factores condicionantes, tales como la extrema pobreza....., el Estado también fomentará la investigación de los factores de población y sus vínculos con el desarrollo económico social, con la preservación del ambiente y con la calidad de vida de los habitantes.*

En este Artículo se ve reflejado la naturaleza pública de la política ambiental, que refiere a las políticas y planes gubernamentales donde se incluye superlativamente el aspecto ambiental, la preservación del medio ambiente, que considera, para el desarrollo, la variante ambiental. Destacando el principio del desarrollo sostenible que busca el uso de los recursos naturales de forma a no poner en riesgo las posibilidades de la futuras generaciones a resolver sus necesidades. Esto se ve materializado cuando se logra el desarrollo con la máxima eficiencia económica, con equidad social y ambientalmente sustentable. Además se ve reflejado cuando se busca la calidad de vida de los habitantes, incluyendo el componente del equilibrio ecológico.

Artículo 7.- Del derecho a un ambiente saludable. *Toda persona tiene derecho a habitar un ambiente saludable y ecológicamente equilibrado. Constituyen objetivos prioritarios de interés social la preservación, la conservación, la recomposición y el mejoramiento del ambiente, así como su conciliación con el desarrollo humano integral. Estos propósitos orientarán la legislación y la política gubernamental.*

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En este artículo se indica todo el espíritu para consolidar el aspecto ambiental, enfatizando el desarrollo sostenible preservando el ambiente.

Artículo 8.- De la protección ambiental. – *Las actividades susceptibles de producir alteración ambiental serán reguladas por ley,.. así como la introducción al país de residuos tóxicos,...asimismo, regulará el tráfico de recursos genéticos y de su tecnología, precautelando los intereses nacionales...el delito ecológico será definido y sancionado por ley. Todo daño al ambiente importará la obligación de recomponer e indemnizar.*

Enfática protección del ambiente.

Artículo 38.- Del derecho a la defensa de los intereses difusos:... *Toda persona tiene derecho, individual o colectivamente, a reclamar a las autoridades públicas medidas para la defensa del ambiente, de la integridad del hábitat, de la salubridad pública, del acervo cultural nacional, de los intereses del consumidor y de otros que por su naturaleza jurídica, pertenezcan a la comunidad y hagan relación con la calidad de vida y con el patrimonio colectivo.*

Vehemente protección de la calidad de vida.

Artículo 39.- Del derecho a la indemnización justa y adecuada. Este Artículo de La Constitucional Nacional consolida al Estado en su función de control y de esa forma su acción sobre los contaminadores del ambiente.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Artículo 42. – De la libertad de asociación - Este artículo constituye el marco jurídico en el cual se ampara la participación comunitaria, que tiene como base la asociación de personas con objetivos comunes.

Artículo 68.- Del derecho a la salud – Dice, ... ***El Estado protegerá y promoverá la salud como derecho fundamental de la persona y en interés de la comunidad,***

No hace otra cosa que ratificar el derecho de la persona de vivir en un ambiente ecológicamente equilibrado.

Artículo 70.- Del régimen de bienestar social – ***La ley establecerá programas de bienestar social mediante estrategias basadas en la educación sanitaria y en la participación comunitaria.*** No pueden existir campañas o programas sanitarios globales que tengan éxitos, aisladas del aspecto ambiental.

Artículo 168.- De las atribuciones (municipios) – Este artículo está compuesto por tres incisos entre los que se destacan, para el efecto del presente análisis, el ***1) la libre gestión en materias de su competencia, particularmente en el urbanismo, ambiente, abasto, educación, cultura y el 6) el dictado de ordenanzas, reglamentos y resoluciones.***

Este Artículo garantiza las atribuciones de los municipios con relación al ambiente.

Autoridad de Aplicación: Corte Suprema de Justicia

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

2) Acuerdo Regional

**ACUERDO MARCO SOBRE MEDIO AMBIENTE DEL MERCOSUR
(ACUERDO DE FLORIANÓPOLIS).**

Resaltando la necesidad de cooperar para la protección del medio ambiente y la utilización sustentable de los recursos naturales, con vistas a alcanzar una mejor calidad de vida y un desarrollo económico, social y ambiental sustentable; Convencidos de los beneficios de la participación de la sociedad civil en la protección del medio ambiente y en la utilización sustentable de los recursos naturales;

Artículo 1: Los Estados Parte reafirman los principios enunciados en la Declaración de Río de Janeiro sobre Medio Ambiente y Desarrollo de 1992 y se comprometen a actuar en concordancia con los mismos, en el marco del Tratado de Asunción.

**Autoridad de aplicación: Conciliación y Comisión de Arbitraje del
MERCOSUR**

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

3) Leyes Ambientales

Ley° 2.068.- Que aprueba el acuerdo marco de medio ambiente del Mercosur.

Autoridad de Aplicación: SEAM.

Ley N° 1.614/00. General del marco regulatorio y tarifario del servicio público de provisión de agua potable y alcantarillado sanitario para la República del Paraguay.

Autoridad de Aplicación: ERSSAN

Ley No. 1562/00. Orgánica del Ministerio Público.

Autoridad de Aplicación: Ministerio Público.

Ley No. 1561/00. Que crea el Sistema Nacional del Ambiente, el Consejo Nacional del Ambiente y la Secretaría del Ambiente.

Autoridad de Aplicación: SEAM.

Ley 716/96. Que sanciona delitos contra el medio ambiente. Esta Ley protege el medio ambiente y la calidad de vida humana contra quienes ordenen, ejecuten o, en razón de sus atribuciones, permitan o autoricen actividades atentatorias contra el equilibrio del ecosistema, la sustentabilidad de los recursos naturales y la calidad de vida humana.

Autoridad de Aplicación: Ministerio Público.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Ley No. 294/93. Evaluación de Impacto Ambiental

Artículo 1o.- Declárese obligatoria la Evaluación de Impacto Ambiental.

Se entenderá por Impacto Ambiental, a los efectos legales, toda modificación del medio ambiente provocada por obras o actividades humanas que tengan, como consecuencia positiva o negativa, directa o indirecta, afectar la vida en general, la biodiversidad, la calidad o una cantidad significativa de los recursos naturales o ambientales y su aprovechamiento, el bienestar, la salud, la seguridad personal, los hábitos y costumbres, el patrimonio cultural o los medios de vida legítimos.

Autoridad de Aplicación: SEAM.

Ley No 345/94. Que modifica el artículo 5o. de la Ley No. 294 del 31 de diciembre de 1993, Evaluación de Impacto Ambiental.

Artículo 1o.- Modifícase el Artículo 5o. de la Ley No. 294 del 31 de diciembre de 1993, "Evaluación de Impacto Ambiental", cuyo texto queda redactado como sigue:"Art. 5o.- Toda evaluación de impacto ambiental y sus relatorios, serán presentados por su o sus responsables ante la autoridad administrativa junto con el proyecto de obra o actividad y los demás requisitos que ésta determine".

Autoridad de Aplicación: SEAM.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

**Ley Nº 81/92. Que establece la estructura orgánica y funcional del
Ministerio de Agricultura y Ganadería.**

Autoridad de Aplicación: M.A.G.

**Ley 6/1992. Sistemas de Alcantarillado Sanitario - Competencia de
la Corporación de Obras Sanitarias (CORPOSANA) para su elaboración,
la construcción, fiscalización, explotación y administración de Sistemas
de Alcantarillado Sanitario en toda la República -- Derogación de la ley
712/61**

Autoridad de Aplicación: Corposana-Essap S.A.

**LEY 369/72. Que crea el Servicio Nacional de Saneamiento
Ambiental SENASA**

Autoridad de Aplicación: SENASA

4) Decretos Ambientales

Decreto Nº 17201. Por el cual se reglamentan los artículos 12, inciso "N"
Y 15, inciso "B" de la Ley 1561/2000, "Que crea el Sistema Nacional del
Ambiente, el Consejo Nacional del Ambiente y la Secretaría del ambiente.

Autoridad de Aplicación: SEAM

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Decreto N° 14281/96. Por el cual se reglamenta la Ley N° 294/93 de Evaluación de Impacto Ambiental.

Autoridad de Aplicación: SEAM

Decreto 14.166/1996. Ministerio del Interior (M.I.). Ley Orgánica municipal -- Veto parcial de la ley 898.

Autoridad de Aplicación: Municipalidad.

Decreto No. 18.831. "Por el cual se establecen Normas de Protección del Medio Ambiente"

Autoridad de Aplicación: SEAM

5) Resoluciones Ambientales

Resolución N° 45/01. Por la cual crea la Unidad Técnica Operativa y de Manejo de las Plantas Incineradoras de Resíduos Sólidos Hospitalarios del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social; a cargo del SENASA.

Autoridad de Aplicación: SENASA

Resolución S.G. N° 16. Por la cual se establecen normas técnicas respecto a la calidad de agua para el funcionamiento de piscinas y lugares naturales de baño y uso público.

Autoridad de Aplicación: SEAM

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Resolución S.G. N° 585/95. Por la cual se modifica el reglamento sobre el control de la calidad de los recursos hídricos relacionados con el saneamiento ambiental, descrito en la Resolución S.G. N° 396, del 13 de agosto de 1993, a cargo del Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental, SENASA.

Autoridad de Aplicación: SENASA

Resolución N° 396/93. Por el cual se reglamenta el control de las características de los recursos hídricos relacionados con el saneamiento ambiental, a cargo del Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental.

Autoridad de Aplicación: SENASA

Principios de Derecho Ambiental

A los efectos de ampliar el marco jurídico ambiental se ha agregado el listado de Principios de Derecho Ambiental, numerados de 1 al 10, a fin de realizar los análisis de interés respecto a los Artículos de la Constitución Nacional. Indicando la inserción de la citados Principios en la misma.

Para facilitar el análisis se ha recurrido a una matriz que permita una rápida visión de la inserción de dichos Principios en la Constitución Nacional. En la misma, las columnas están ocupadas por los artículos de la Constitución Nacional, y las filas por números que representan a los principios.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Tabla 4.32 – Principios de Derecho Ambiental

Nº	PRINCIPIOS	APLICACIÓN EN LOS ARTICULOS EN LA CONSTITUCION NACIONAL	REPITENCIAS DE PRINCIPIOS
1	Del ambiente ecológicamente equilibrado como derecho fundamental de la persona humana	1, 4, 6, 7, 38, 40, 66, 68, 109, 134	10
2	De la Naturaleza publica de la política ambiental	6,159	2
3	Del control de contaminantes por el poder publico	6, 8, 66, 115, 168, 268	6
4	De la consideración de la variable ambiental en el proceso decisivo de las políticas de desarrollo	6, 7, 115, 116	4
5	De la participación comunitaria	1, 38, 40, 42, 70, 115, 117,123	8
6	Del contaminador - pagador	8, 39	2
7	De la prevención	8, 66, 107, 128, 168, 268	6
8	De la función socio – ambiental de la propiedad	116, 128	2
9	Del derecho al desarrollo sustentable	6, 7, 116	3
10	De la cooperación entre pueblos	143, 145	2

Fuente: elaboración propia

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Análisis del marco jurídico

En cuanto al aspecto legal relacionado con los recursos hídricos, existen una cantidad apreciable de ordenamientos jurídicos. Sin embargo, en la práctica existen deficiencia y debilidad en la aplicación de los mismos, por estar superpuestos, ser contradictorios y poco claros, existiendo una manifiesta falta en la delimitación de las atribuciones y competencias institucionales.

Con respecto al dominio legal, la Constitución Nacional actual, considera que los recursos hídricos son de dominio del Estado. Aunque los mecanismo de regulación, sobre los mismos, no están lo suficientemente claros. Ese aspecto puede ser subsanado con la vigencia de la Ley 3239/07. “De los Recursos Hídricos del Paraguay”, cuya Reglamentación esta en proceso de construcción.

En el aspecto relacionado a la concesión de aguas en el Paraguay, las únicas experiencias se manifiestan en las otorgadas por el ERSSAN (Ente Regulador de los Servicios Sanitarios) y la SEAM (Secretaría del Ambiente), para el uso en los servicios de provisión de agua potable y riego, no obstante, recientemente fue implementada la resolución SEAM 553/03, que permitirá catastrar a los usuarios del agua a nivel Nacional de una manera más ordenada.

Lo anteriormente dicho, saca a relucir que entre las instituciones, no existen mecanismos efectivos de coordinación, que les permitan aprovechar los recursos de manera racional y sostenible. La situación planteada desemboca en la toma decisiones imposibles de ser llevadas a la práctica. En la actualidad debido al desorden sectorial y la falta de arreglos institucionales

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

no permite la vigencia de las garantías constitucionales referente a la calidad de vida óptima, en un ambiente saludable, ecológicamente equilibrado y en condiciones de igualdad.

Existieron, por parte de varias instituciones, numerosos intentos para ordenar el sector. Los mismos se vieron frustrados, en el momento de llegar al punto de los arreglos institucionales, debido al interés manifiesto de cada una de estas en adquirir poder en el sector, a expensas de otra u otras instituciones.

La gestión del agua en el país se realiza a través de la participación de varios organismos, en diferentes niveles y un marco jurídico caracterizado por la ineficiente aplicación de leyes dispersas y poco claras.

La problemática del sector hídrico puede deberse a varios factores, tales como la participación deficiente y descoordinada de los organismos del Estado, la falta de una armonización de la legislación existente, así como la ausencia de un modelo de gestión integral, bajo una política nacional de recursos hídricos.

En la actualidad se está tratando de realizar - a través de la Dirección General de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos de la SEAM, Autoridad de la Política del agua, en el nivel Nacional, creada por Ley 1561/00, un ordenamiento del sector hídrico que oriente las acciones hacia el manejo integral del mismo, teniendo como unidad de gestión y desarrollo a las cuencas hidrográficas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Compromisos internacionales y legislación nacional

La República del Paraguay se encuentra, probablemente mas que ningún otro país en América Latina, en un estado incipiente de desarrollo de su derecho Ambiental, entendido como disciplina integral dentro del derecho contemporáneo, el país puede beneficiarse ampliamente en la vía hacia la protección jurídica del ambiente, de las experiencias positivas y adversas, de otras naciones en vías de desarrollo.

El suelo, el aire y el agua, los humedales y mares, son los soportes físicos de los organismos y los ecosistemas, que conforman la biodiversidad, lo que implica que la degradación de uno de ellos incida en la del otro y viceversa, y que algunas cuestiones incluidas en las leyes que las tratan, están pensadas para proteger el medio que las contiene.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Marco Institucional

Análisis de la gestión Institucional.

La Constitución Nacional introduce principios fundamentales para la defensa y conservación del medio ambiente. Estos principios son considerados suficientes y adecuados para dar la orientación necesaria en la elaboración de leyes o resoluciones que sean necesarias para ir mejorando la gestión del Ambiente en el Paraguay. En este contexto, es importante la promulgación de una ley que determine la Política Nacional del Ambiente, con énfasis en el sector de Recursos Hídricos. Dicha política debe incluir la obligatoriedad de que los municipios tengan un plan de ordenamiento territorial y que incluya en el mismo la previsión de zonas ó áreas protegidas que impida la construcción de obras cuya localización debe ser cuidadosamente estudiada, como vertederos de residuos sólidos domésticos, industriales y peligrosos.

En el año 1972, se ha creado el SENASA por Ley 369 como organismo técnico del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social para encargarse del saneamiento básico en todo el territorio nacional. Una de las responsabilidades que le confiere esta Ley al SENASA es el de abastecer de agua potable a comunidades rurales hasta 4.000 - ahora hasta 10.000 - habitantes mediante la construcción de Sistemas de Agua corriente y además la de brindar el asesoramiento técnico a los municipios y Juntas de Saneamiento para la disposición sanitaria de excretas y basuras.

Al Municipio por su parte, la ley Orgánica Municipal, le confiere la responsabilidad de ser el prestador de servicios y gestor local de la protección del ambiente con vista a lograr una mejor calidad de vida de los contribuyentes.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

La creación de DIGESA - por Resolución del MSP Y BS - confiere a esta la responsabilidad de entender en los temas ambientales relacionados a la contaminación que ponga en riesgo la salud pública, aplicando la Resolución No. 585/95, de control de la calidad de los recursos hídricos.

Con la creación de la SEAM en el año 2000 mediante la Ley 1561/00, la misma se convirtió en la autoridad de aplicación de varias leyes y entre las cuales la que está en relación al tema de recursos hídricos y la protección del ambiente es suficientemente enmarcada, sobre todo en la Ley 294/93 de Evaluación de Impacto Ambiental que obliga la presentación de los estudios de impacto ambiental antes que cualquier proyecto sea implementado a fin de acceder a la licencia ambiental.

Sin embargo, la Ley 1561/00 de creación de la SEAM no determinó a que la misma sea la autoridad de aplicación de la Resolución S.G. N° 585/95, dejando a que la misma siga en manos del SENASA desde entonces. Sin embargo, creó la Resolución No. 222/02, que es una copia de la 585/96. Representando la posibilidad de que dos instituciones desarrollen sus gestiones en el mismo tema.

En el estudio de campo, en las distintas entrevistas realizadas, se ha percibido una confusión entre los diferentes actores de la gestión del ambiente, y en especial entre los prestadores de servicios, referente a que existe una incertidumbre relacionado a quien o quienes son los referentes o responsables de las contaminaciones de diferentes orígenes. Si es algún poderoso, se percibe que no hay responsables. Se reconoce que deben tener la licencia ambiental expedida por la SEAM, pero desconocen por otro lado que necesitan

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

la autorización de funcionamiento que debiera ser expedida por el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social a través de su organismo técnico.

Según los funcionarios de la SEAM, la licencia ambiental debe ser utilizada para que otras instituciones competentes den las autorizaciones correspondientes, pero esta situación no ha sido claramente informada a la población y a la prensa y en especial a los demás actores relevantes de la gestión del ambiente.

Es necesario una nueva legislación que permita identificar claramente las competencias institucionales y que derogue las superposiciones de leyes o reglamentos y que el resultado tenga una amplia difusión a la ciudadanía para evitar malos entendidos que existe en la actualidad.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Conclusiones y Recomendaciones

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Conclusiones

En lo referente a los análisis de la calidad de las aguas realizados en 111 pozos, distribuidos en áreas de influencia del Río Paraguay, se exponen las conclusiones siguientes.

La variación de los valores de conductividad eléctrica (CE) reflejado en los diferentes estudios realizados es consecuencia directa del cambio de las condiciones físicas, químicas y bacteriológicas, en las aguas del acuífero. La tendencia de este parámetro de ir aumentando en el transcurso del tiempo, nos sugiere que el recurso está sujeto a parámetros que están modificando su comportamiento. Dichos parámetros son:

1. La salinización progresiva como consecuencia de la sobreexplotación.

El aumento de C.E. - registrado en este trabajo – en confrontación con todos los estudios realizados, nos indica una mayor presencia de sales en las aguas del acuífero. Este fenómeno se registra a lo largo de toda el área de estudio – sectores regados directamente por el Río Paraguay -, pero con mayor presencia en la zona Norte, más específicamente en los distritos de Limpio, Mariano Roque Alonso y la parte norte de la ciudad de Asunción, donde se localizaron los mayores aumentos y los valores más elevados.

Este comportamiento está relacionado con la topografía de la zona de estudio, ya que los lugares que experimentaron aumentos significativos tienen un rango en común, son niveles de topografía bajas (.....m.s.n.m.) con relación al nivel del mar y son, en general, grises y amarillentos, de vegetación arbustivas, muy semejantes a los suelos y vegetaciones del Chaco, originando

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

la presencia de agua de elevada C.E. en pozos de nivel freático bajos y aguas no tan profundas. El área adquiere mayor altura hacia los distritos de Lambaré, Villa Elisa, Ñemby, San Antonio e Ypané, donde desaparecen los suelos y las vegetaciones observadas en el otro escenario, por lo cual tenemos agua de muy buena calidad en el nivel freático, en esta zona la explotación del recurso es mayor de. Sin embargo, debemos advertir que en profundidad y con exigencias de caudales importantes – de acuerdo a la cercanía del Río Paraguay – existen progresivos incrementos de C.E., atribuido al avance de la salinización.

El ph, que presenta valores cada vez más bajos nos da una señal clara del origen de la recarga del acuífero. Este parámetro nos indica el bajo nivel de mineralización de sus aguas y del alto grado de explotación. El bajo nivel de mineralización es consecuencia del breve periodo de tiempo que las aguas permanecen en el sub-suelo, lo que no le da tiempo de intercambiar sales con el suelo, el agua es, prácticamente, de lluvia y de entrada reciente al sistema. Esto se acrecienta por la alta explotación observada dentro del acuífero, lo que colabora a que las aguas extraídas sean aún más jóvenes. Esta característica lleva a sostener que los aumentos de la conductividad están ligados a la salinización de las aguas.

La tendencia de aumento verificado en la distribución de la C.E. se encuentra estrechamente relacionada con la presencia de cloruros y sulfatos en las aguas del acuífero, siendo estos parámetros los principales indicadores del nivel de salinidad de las aguas.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Por todos estos factores ligados entre sí, es posible afirmar que existe un comprobado avance en la salinidad de las aguas del acuífero, consecuencia de la sobreexplotación del recurso. Este aumento de la salinidad puede estar relacionado con el ingreso de aguas provenientes del Chaco por debajo del Río Paraguay, debido al uso excesivo de las aguas en la Región Oriental.

2. La contaminación antrópica.

El acuífero también está sujeto a las influencias antrópicas, debido a la presencia cada vez mayor del hombre con el impacto que este genera en las fuentes de agua dulce.

El principal parámetro utilizado en este trabajo para demostrar esta influencia es el nivel de **nitratos** en el agua, que ha aumentado en el transcurso del tiempo y de manera uniforme en toda el área de estudio. Este comportamiento nos indica la influencia de un acelerado crecimiento demográfico que afecta el área, es el hombre influyendo sobre el recurso.

En relación a los coliformes **totales y fecales**, el recurso ha experimentado una disminución progresiva en dichos parámetros, lo que puede deberse a la recarga indirecta por pérdidas de las aguas tratadas distribuidas por la empresa estatal. Según datos oficiales la ESSAP tiene una pérdida estimada del 50% de su producción, lo que podría estar constituyendo un aporte relevante en la calidad del agua subterránea, por ingreso de un importante volumen de agua tratada, mejorando su calidad o también esta disminución de los coliformes puede deberse a que el periodo en el que se realizaron las tomas de las muestras para los análisis de este trabajo era época

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

de lluvia, esto asociado a la rápida absorción del suelo de las aguas de las lluvias pudo colaborar a que los niveles de coliformes disminuya. Pero de igual manera la sola existencia de coliformes en las agua representa un gran peligro si es que estas están destinadas al consumo. La gran mayoría de las aguaterias de las que sacamos muestras de agua no realizan el tratamiento de cloracion para la eliminación de los coliformes, lo que representa un gran riesgo a la población que consume dichas aguas.

Con relación a la encuesta realizada para la determinación del nivel de conocimiento de la población acerca del Acuífero Patiño, podemos concluir lo siguiente:

El desconocimiento sobre las aguas subterráneas, y más específicamente sobre el Acuífero Patiño es generalizado, ya que esta situación se presenta tanto en los sectores urbanos, periurbanos y rurales, sin distinción del nivel intelectual de las personas consultadas.

Esto se puede deber a dos motivos:

1. Al desinterés de las personas por los recursos hídricos en general, y en particular por las aguas subterráneas, debido al carácter “no urgente” del problema del agua en la actualidad y a que las consecuencias de las acciones de la gente sobre los acuíferos “no son observables”.
2. A que los estudios realizados sobre el recurso han permanecido de manera estricta dentro del ambiente técnico ya que los resultados no han sido difundidos o los canales utilizados para este efecto no han sido los correctos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

La televisión es el principal medio de comunicación utilizado por la gente para informarse, por encima de los periódicos y las radios.

La mayor parte de la población que habita sobre el acuífero, consume el agua del recurso, a la vez que elimina sus aguas residuales mediante pozos ciegos ya que el alcance de los sistemas de alcantarillados públicos llegan solamente a un cuarto de la población afectada. Estos pozos ciegos, al no recibir mantenimiento o cuidado necesarios, por desidia o desconocimiento de los propietarios, aumentan aún más el riesgo para el acuífero, además de contaminar directamente la propia agua que consumen.

La actitud de la gente en relación a posible emprendimientos públicos de carácter sanitario fue muy positiva, estando la población dispuesta al pago tanto de las obras que demandan dichos emprendimientos como por el uso de los mismos.

En cuanto al aspecto legal relacionado con los recursos hídricos, existen una cantidad apreciable de ordenamientos jurídicos. Sin embargo, en la práctica existen deficiencia y debilidad en la aplicación de los mismos, por estar superpuestos, ser contradictorios y poco claros, existiendo una manifiesta falta en la delimitación de las atribuciones y competencias institucionales.

Aunque los mecanismo de regulación de los recursos hídricos no están los suficientemente claros. Ese aspecto puede ser subsanado con la vigencia de la Ley 3239/07. "De los Recursos Hídricos del Paraguay", cuya Reglamentación esta en proceso de construcción.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

En el aspecto relacionado a la concesión de aguas en el Paraguay, las únicas experiencias se manifiestan en las otorgadas por el ERSSAN y la SEAM para el uso en los servicios de provisión de agua potable.

La problemática del sector hídrico puede deberse a varios factores, tales como la participación deficiente y descoordinada de los organismos del Estado, la falta de una armonización de la legislación existente, así como la ausencia de un modelo de gestión integral, bajo una política nacional de recursos hídricos.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Recomendaciones

1. Para lograr la protección de las aguas del Acuífero Patiño de todos los tipos de contaminación, los dos aspectos principales a tener en cuenta son un manejo consciente y la cooperación por parte de los ciudadanos y de varias instancias gubernamentales.

Para esto la planificación del uso del suelo es la mejor medida para proteger el recurso, esto está tipulado en el **Código Sanitario (Ley 836/80)**. Si se planifica la localización de fuentes potenciales de contaminación y se les ubica lejos de las áreas críticas de recarga, el riesgo de contaminación se reducirá de manera drástica, esto debe ser promovido por las instancias pertinentes del gobierno y con el asesoramiento de especialistas en el tema, basados en un proyecto de planificación de toda el área en base a la infraestructura existente y las expectativas futuras.

2. Existen una gran cantidad de estudios muy profundos y de gran interés sobre el Acuífero Patiño pero está claro también que falta todavía mucha información y análisis más profundo para eliminar dudas existentes, diagnosticar problemas e investigar posibles soluciones, elementos de la planificación racional y la gestión sostenible de las aguas subterráneas.
3. *Con relación al avance de la salinización de las aguas del acuífero es recomendable formular e implementar medidas urgentes para que se pueda garantizar la protección de la calidad de las aguas del Acuífero Patiño contra el avance de la salinización.*

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Se recomienda seguir explorando y mapeando toda la zona de nuestra área de estudio a lo largo del Río Paraguay donde se encuentran aguas subterráneas saladas o salobres. Esto requiere en primer lugar ejecución de sondeos y/o calicatas eléctricas y perforaciones exploratorias, en combinación con mediciones de la conductividad eléctrica de las aguas. Así como también se debe seguir monitorear la variabilidad de los límites de la zona de las aguas saladas para ver como avanzan dentro del Acuífero.

4. Con relación a la contaminación por influencia antrópica se recomienda realizar un inventario completo de las fuentes de contaminación potenciales de las aguas del Acuífero Patiño. Aparte de lograr clasificar las fuentes de contaminación se debe también lograr especificar las sustancias contaminantes, su carga anual, su modo de descarga y su posible tratamiento en el lugar donde se produce. Cualquier industria a la hora reiniciar sus actividades debe realizar un estudio de impacto ambiental y de esta manera obtener un plan de gestión para la mitigación de los impactos que esta pueda tener sobre el ambiente, esto está estipulado en la **Ley de Evaluación de Impacto Ambiental (Ley 294/93)**, de esta manera se puede asegurar que el agua residual de las industrias no sean motivo de contaminación de los recursos por los cuales se la elimina. Si bien las industrias en general cuentan con el plan de gestión, este no es aplicado por las industrias y al no haber un control continuo, por parte de los entes encargados, las aguas residuales de las industrias son arrojadas sin el más mínimo tratamiento.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Los principales puntos de contaminación se dan en las industrias, las granjas, las estaciones de servicio, talleres de mantenimiento y los vecinos asentados sobre el área del acuífero, son a estas personas las que se les debe instruir de una manera correcta para que practiquen un buen manejo con respecto al uso y eliminación de productos químicos y otros desechos que son generados por los mismos.

Por más que los niveles de coliformes analizados en los pozos en el presente trabajo se vio disminuida, este parámetro sigue estando presente y es de vital cuidado, una medida de carácter urgente es la instalación de alcantarillado sanitario para la recolección de las aguas servidas, y plantas de tratamiento de estas, ya que en estos momentos estas aguas servidas en su gran mayoría están siendo depositadas a los pozos en el terreno, lo cual contamina el acuífero por el arrastre de contaminantes a través de la recarga o por mala protección y falta de mantenimiento de los pozos ciegos cercanos a las zonas de recarga. Realizar este tipo de obra sanitaria en las zonas de más alta densidad poblacional es un paso obligatorio para preservar la salud pública.

5. Con relación a la sobre-explotación del Acuífero Patiño. Es vital iniciar un programa de monitoreo de los niveles del agua subterránea en toda la zona del Acuífero Patiño. Si es necesario hay que construir pozos apropiados de monitoreo. También sería de mucha importancia instalar y operar una red de pluviómetros dispersos en la zona y algunas

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

estaciones de aforo en las partes bajas de arroyos que tienen caudales significantes de flujo base alimentado por el Acuífero Patiño.

Se debe regular u obligar a las industrias tales como lavaderos, industrias de bebidas, mataderos, frigoríficos y otras, a la explotación racional del recurso o a la obtención de agua de una fuente alternativa, así como también cobrar a estas un arancel en concepto de impuesto por la utilización en gran cantidad de las aguas del acuífero. Estos fondos obtenidos de los impuestos pueden ser destinados a inversiones en más estudios técnicos sobre el recurso.

Otro elemento de gran ayuda a la hora de buscar la conservación del acuífero es lograr que se amplíe la planta de tratamiento de ESSAP, o la construcción de otra, para ampliar, con agua proveniente del Río Paraguay, la cobertura del sistema del Ente, así como también realizar obras que impidan que esta empresa tenga pérdidas tan grandes de su producción por fugas en las cañerías y de esta manera disminuir las extracciones de aguas realizadas del acuífero Patiño.

- 6. Con relación al conocimiento del Acuífero Patiño por las personas.* Para la preservación del Acuífero Patiño es muy importante que las personas estén conscientes del impacto potencial que ellos pueden tener en la preservación del recurso. Se debe lograr que las informaciones o los estudios realizados y los problemas que posee el mismo hoy en día pueda llegar a las personas, ya sea mediante la implementación de programas de educación para las familias en lo que respecta al manejo eficiente del agua, e incluir en la educación básica capítulos de cuidados

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

de esta. Se debe enseñar a todos los ciudadanos sobre la importancia del agua en su vida, que es un bien de todos y de las generaciones futuras, que cada uno puede aportar para su conservación y no sólo debe ser la responsabilidad de un gobierno o autoridades.

El agua es un bien finito y vulnerable, por ahora de buena calidad, y si no la cuidamos todos quizás nuestros hijos no puedan disponer de ella, ya que las personas, por si solas, no pueden cuidar algo que no conocen o que no están al tanto de su situación actual.

El principal medio por el que se informan las personas es la TV, seguidos del diario y de la radio, por lo que deben ser estos medios los utilizados a la hora de querer realizar la divulgación de programas de educación o los resultados que se tuvieron en los estudios técnicos que se realizan sobre el Acuífero Patiño.

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Bibliografía

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Bibliografía

Abbate Marengo, Jorge H. GOBERNABILIDAD DEL AGUA EN EL PARAGUAY La ingeniería de presas y la hidrogenación en las próximas décadas. Revista Ingeniería Civil, N° 313 mayo, 1995

Aparicio, F.J. (1997).- Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa, 303 pp.

Carvalho, Félix, Félix Villar, Humberto Villalba y Antonio Montanholi, 1995. Contribución al conocimiento hidrogeológico del área de Guarambaré". 2º Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay.

Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos, 2002. Sistema de indicadores socio-económicos y demográficos (en CD). Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos de la Secretaría Técnica de Planificación.

ERSSAN - REGLAMENTO DE CALIDAD PARA PERMISIONARIOS.- LEY GENERAL DEL MARCO REGULATORIO Y TARIFARIO DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO. Ley N° 1.614/2000. Reglamento de Calidad en la Prestación del Servicio. Permisarios.

Gomez, Dario. 1991. Consideraciones morfoestructurales y estratigráficas de la antifoma de Asunción y su relación con la exploración de aguas subterráneas. 1er. Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay. Casa de la Cultura, Asunción. Paraguay.

Instituto Holandés de Geociencias Aplicadas TNO, "Fortalecimiento de los Estudios Hidrogeológicos del SENASA" Febrero, 2001

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Molano, C., 2001a. Estudio del Acuífero Patiño, Informe técnico 2.5:
Inventario de pozos y manantiales en la Zona Piloto.

Molano, C., 2001b. Estudio del Acuífero Patiño, Informe técnico 2.7:
Monitoreo piezométrico en la Zona Piloto.

Naciones Unidas, 1986a. Mapa Geológico del Paraguay, Texto
Explicativo. Proyecto PAR 83/05, Asunción, Paraguay. Gobierno de la
República del Paraguay, Comisión Nacional de Desarrollo Integrado del Chaco/
Ministerio de Defensa Nacional y Organización de las Naciones Unidas,
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Departamento de
Cooperación Técnica para el Desarrollo. 93 páginas.

Naciones Unidas, 1986b. Memoria del Mapa Hidrogeológico de la
República del Paraguay, escala 1: 1 000 000. Proyecto PAR 83/05, Asunción,
Paraguay. Gobierno de la República del Paraguay, Comisión Nacional de
Desarrollo.

Naciones Unidas,(2005) Agua para Todos, Agua para la Vida: Informe
de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el
Mundo.

Rios Otero, Juan; Oscar Martínez y Carlos Centurión, 1995.
Contaminación del Agua Subterránea del Gran Asunción. 2º Simposio sobre
Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay, Universidad
Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay.

Rodolfo Molina-el agua-monografias.com

Sánchez, F. Javier San Román--Dpto. Geología--Univ. Salamanca
(España) <http://web.usal.es/javisan/hidro>

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

SENASA, 1999. Departamento Central del Paraguay: Banco de Datos de pozos perforados por SENASA. Publicación no. 2, Departamento de Recursos Hídricos, Dirección de Agua y Saneamiento del SENASA.

Chuo Kaihatsu Corporation, JNS Engenharia, Hidrocontrol S.A. y Waterloo Hydrogeologic, "ESTUDIO DE POLITICAS Y MANEJO AMBIENTAL DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE ASUNCIÓN" (ACUÍFERO PATIÑO). Mayo, 2007

**ACUIFERO PATIÑO. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONOCIMIENTOS,
REVISIÓN Y CONTINUIDAD DE UN ASPECTO IMPORTANTE. SU DIFUSIÓN
E INCIDENCIA EN LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

Anexos