

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA  
UNIDAD DE POST GRADO

# **Contaminación de aguas subterráneas por lixiviados provenientes de sepulturas bajo suelo en el camposanto “Parques del Paraiso” Lurin – Lima**

Tesis para optar el grado de Magíster en Ciencias Ambientales mención control de la contaminación  
y ordenamiento ambiental

AUTOR:

**José Jorge Espinoza Eche**

**LIMA – PERÚ 2007**

### **AGRADECIMIENTO:**

*“Cada uno de nosotros viene para una corta visita, sin saber por qué y sin embargo algunas veces pareciendo adivinar un propósito. Desde el punto de vista de la vida cotidiana, sin embargo, hay una cosa que sabemos: ese hombre está aquí de otros hombres, sobre todo por aquéllos de cuya sonrisa y bienestar depende nuestra felicidad, y también por las innumerables almas desconocidas con cuyo destino estamos unidos por un vínculo de simpatía. Muchas veces al día me doy cuenta de que mi propia vida exterior e interior está construida en gran parte sobre los trabajos de mis prójimos, tanto de los vivos como de los muertos, y cuán intensamente debo esforzarme para devolver otro tanto como lo que he recibido” (Albert Einstein, *The World as I See It: Ideas and Opinión*, 1954, p.8)*

Así como a Einstein, del que debemos aprender que toda energía debe dirigirse hacia el bien de la gente y la empresa que uno forme, doy gracias principalmente a mi madre por facilitarme la llegada al lugar en que actualmente me encuentro.

# ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	I
<b>CAPITULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.1 Formulación y definición del problema	1
1.1.2 Justificación e importancia del estudio	2
1.1.3 Limitaciones	4
1.2 Antecedentes	4
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo General	9
1.3.2 Objetivos específicos	9
1.4 Hipótesis	10
1.4.1 Hipótesis general	10
1.4.2 Variables e indicadores	10
<b>CAPITULO II</b>	
<b>SUSTENTO TEORICO</b>	
2.1 Generalidades	13
2.2 Marco Legal	16
2.2.1 Jurídico para el Control de la Contaminación de Aguas	16
2.3 Marco Teórico	20
2.3.1 Ubicación y delimitación del área de estudio	20
2.3.2 Descripción física, biológica y socioeconómica del área	21
2.3.2.1 Ambiente Físico	21
2.3.2.2 Ambiente Biológico	32
2.3.2.3 Ambiente Socioeconómico	35
2.3.3 Formas de Transmisión de contaminantes	39
2.3.4 Características de los lixiviados	40
<b>CAPITULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</b>	
3.1 Tipo y nivel de investigación	42
3.1.1 Cobertura del estudio	43
3.1.2 Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos	44
3.1.3 Procesamiento y presentación de datos	45
3.1.4 Análisis e interpretación de datos	45

3.2	Técnicas de muestreo	45
3.2.1	Selección de parámetros y puntos de muestreo	46
3.2.2	Métodos y técnicas de recolección de muestras	46
3.2.3	Métodos de ensayo de laboratorio	49

#### **CAPITULO IV**

#### **ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO EN EL ÁREA DE INFLUENCIA**

4.1	Características y comportamiento de la napa freática	50
4.2	Existencia de pozos de abastecimiento de agua potable	50
4.3	Capacidad y vida útil de los pozos de abastecimiento de agua potable	51
4.4	Comportamiento del nivel de la Napa	54
4.4.1	Profundidad actual	54
4.4.2	Variación plurianual del nivel de la napa	54
4.4.3	Variación mensual del nivel de la napa	65
4.4.4	Sentido de escurrimiento de la napa	67
4.4.5	Perfil litológico, características hidráulicas y análisis granulométrico	67
4.5	Calidad de aguas	75
4.6	Análisis de Vulnerabilidad	76
4.6.1	Por su cercanía al cauce al Río Turín	76
4.6.2	Por el tipo de suelo	76
4.6.3	Nivel Freático	77
4.6.4	De la Sepulturas	86
4.6.5	De la disposición de aguas residuales	86

#### **CAPITULO V**

#### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS** 87

#### **CAPITULO VI**

#### **CONCLUSIONES** 99

#### **CAPITULO VII**

#### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS** 102

<b>CAPITULO VIII</b>	
<b>RECOMENDACIONES</b>	105

<b>BIBLIOGRAFIA</b>	109
---------------------	-----

**ANEXOS**

Anexo 01	Glosario de Términos	111
Anexo 02	Planos	
Anexo 03	Testimonios Fotográficos de Infraestructura del Cementerio "Parques del Paraíso"	114

## RELACIÓN DE CUADROS

- **Cuadro N° 2.1:** Frecuencia Estratigráfica y Rasgos Estructurales del Río Lurín.
- **Cuadro N° 2.2:** Características Fisiográficas del valle Lurín.
- **Cuadro N° 2.3:** Características generales de los suelos del Valle del Río Lurín
- **Cuadro N° 2.4:** Red Hidrográfica de la cuenca del Río Lurín.
- **Cuadro N° 2.5:** Disponibilidad de agua de riego en la cabecera del Río Lurín
- **Cuadro N° 2.6:** Formación Ecológicas en la cuenca del Río Lurín.
- **Cuadro N° 3.1:** Volumen Mínimo, tipo de recipiente, preservante y tiempo de almacenamiento de muestras.
- **Cuadro N° 3.2:** Volumen de muestras, tipos de recipiente y preservante, tiempo de almacenamiento.
- **Cuadro N° 4.1:** Características técnicas y de explotación de los pozos en el sector las palmas Pachacamac – Enero 2002.
- **Cuadro N° 4.2:** Vida útil de los pozos de SEDAPAL sector de las Palmas distrito de Pachacamac.
- **Cuadro N° 4.5.1:** Resultado de Análisis del año 2000.
- **Cuadro N° 4.5.2:** Resultado de Análisis del año 2001.
- **Cuadro N° 4.5.3:** Resultado de Análisis del año 2002.
- **Cuadro N° 4.5.4:** Resultado de Análisis del año 2003.
- **Cuadro N° 4.5.5:** Resultado de Análisis del año 2004.
- **Cuadro N° 4.5.6:** Resultado de Análisis del año 2005.
- **Cuadro N° 4.5.7:** Análisis Físico Químico de las aguas subterráneas sector las Palmas – Pachacamac.
- **Cuadro N° 4.5.8:** Calidad bacteriológica de los pozos de SEDAPAL en el sector de las Palmas.
- **Cuadro N° 5.1:** Valores máximos, mínimos y media geométrica (MG) de diferentes indicadores bacteriológicos en muestras de aguas de los tres cementerios estudiados.

## RELACIÓN DE GRÁFICOS

- ❖ **Gráfico N° 01:** Evolución del nivel estático P -329 Julio C. Tello.
- ❖ **Gráfico N° 02:** Evolución del nivel estático P-345 José Gálvez 3.
- ❖ **Gráfico N° 03:** Evolución del nivel estático P-671 Villa El Salvador P-1.
- ❖ **Gráfico N° 04:** Evolución del nivel estático P-672 Villa Salvador P-2.
- ❖ **Gráfico N° 05:** Evolución del nivel estático P-673 Villa el Salvador P-3.
- ❖ **Gráfico N° 06:** Evolución del nivel estático P-674 Villa el Salvador P-4.
- ❖ **Gráfico N° 07:** Evolución del nivel estático P-675 Villa el Salvador P-5.
- ❖ **Gráfico N° 08:** Evolución del nivel estático P-676 Umamarca.
- ❖ **Gráfico N° 09:** Evolución del nivel estático P-713 José Gálvez 4.
- ❖ **Gráfico N° 10:** Evolución del nivel estático P-749 Cideproc.
- ❖ **Gráfico N° 11:** Hidrograma: Escurrimiento del Río versus Nivel de la Napa.
- ❖ **Gráfico N° 12:** Comportamiento de los Nitratos
- ❖ **Gráfico N° 13:** Comportamiento de las Colonias Heterotroficas
- ❖ **Gráfico N° 14:** Variación del nivel estático en los pozos 346, 483 y 674  
SEDAPAL
- ❖ **Gráfico N° 15:** Perfil de los suelos según Reportes de Análisis Granulométrico

## RELACIÓN DE LÁMINAS

- ◆ **Lámina N° 01:** Perfil técnico y Litológico Pozo N° 673

- ◆ **Lámina N° 02:** Perfil Técnico y Litológico Pozo N° 675
- ◆ **Lámina N° 03:** Columna Estratigráfica.
- ◆ **Lámina N° 04:** Prueba de Descenso Pozo N° 673
- ◆ **Lámina N° 05:** Prueba de Descenso Pozo N° 675
- ◆ **Lámina N° 06:** Perfiles Estratigráficos.

## RELACIÓN DE PLANOS

- ◆ **Plano UP- 01:** Ubicación de Pozos.
- ◆ **Plano CI - 01:** Carta de Isopropundidades.
- ◆ **Plano CH-01:** Carta de Hidroisohipsas.

## RELACIÓN DE FOTOS

- ◇ **Foto N° 1:** Suelos aluviales que predominan en el área de influencia del cementerio “Parques del Paraíso”.
- ◇ **Foto N° 2:** Río Lurin en el entorno del cementerio, se arroja basura y se lavan plásticos.
- ◇ **Foto N° 3:** Flora que predomina en el entorno del cementerio.
- ◇ **Foto N° 4:** Afloramiento natural de aguas subterráneas en Pachacamac.
- ◇ **Foto N° 5:** Perímetro del cementerio que colinda con el río Lurin y tipo de suelo aluvial predominante.
  
- ◇ **Foto N° 6:** Las aguas residuales de los servicios higiénicos se descargan en tanques sépticos y pozos de percolación.
- ◇ **Foto N° 7:** Frontis del camposanto Parques del Paraíso - Lurín - Lima.
- ◇ **Foto N° 8:** Acequia de regadío que discurre por el frontis.

- ◇ **Foto N° 9:** Ambiente interior del camposanto Parques del Paraíso.
- ◇ **Foto N° 10:** Oficinas administrativas donde hay servicios higiénicos
- ◇ **Foto N° 11:** Este es el tipo de sepulturas que predominan en el camposanto.
- ◇ **Foto N° 12:** Franja que se ha dejado sin sepulturas; La margen izquierda del cauce del río Lurin esta al fondo de esta toma.

## RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo de investigación se analiza la contaminación de las aguas subterráneas como consecuencia de la generación de lixiviados provenientes de la descomposición de cuerpos sepultados bajo suelo en el camposanto Parques del Paraíso que está en el Sur de la ciudad de Lima, muy cerca a la margen derecha del río Lurin y bajo la influencia del acuífero del mismo. Este trabajo ha sido estructurado en 8 capítulos:

En el Capítulo 1 se señala que el área en estudio está ubicada en la zona de Santísimo Salvador de Pachacamac, distrito del mismo nombre, provincia y departamento de Lima. Abarca un área de 46.613 hectáreas, donde se construirían 171,221 sepulturas bajo suelo, y que actualmente está funcionando en forma clandestina, sepultándose 60 cadáveres promedio por mes. Aguas abajo están asentados más de 100,000 habitantes que se abastecen de aguas subterráneas, a través de 12 pozos perforados, por ello y por las características del suelo, es que existe el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por generación de lixiviados provenientes de sepulturas de cadáveres bajo suelo, que es lo que se plantea como problema. Se justifica la investigación en el incentivo al desarrollo de otros estudios como: la forma de transmisión de los contaminantes contenidos en estos lixiviados y la elaboración de nuevos métodos de análisis que permitan determinar contenidos de putrescina, cadaverina y virus patogénicos en las aguas subterráneas. Existieron limitaciones para el desarrollo de este trabajo, como: la escasa información existente sobre este tema, desinterés de la entidad normativa de nuestro país y de los propietarios de este tipo de cementerios, entre otras. Investigaciones realizadas en ciudades de Brasil y diferentes países Europeos, concluyen en que: a) es evidente la contaminación de las aguas subterráneas por estos lixiviados, b) la contaminación patogénica impacta negativamente en la salud de las personas. De allí que la hipótesis lanzada es: *“Los lixiviados generados por la descomposición de cuerpos humanos sepultados bajo suelo son altamente contaminantes, por lo que el deterioro de las aguas*

*subterráneas es evidente*”, mientras que la hipótesis nula es: “*Los suelos tienen un efecto depurador sobre estos contaminantes ya que son asimilados o absorbidos por los ecosistemas existentes en dichos recurso, por lo que el deterioro de las aguas subterráneas es insignificante*”. Como unidad de observación se seleccionó el acuífero de la cuenca del río Lurin, en el área de influencia del camposanto “Parques del Paraíso” y los instrumentos utilizados fueron: los análisis físico, químico y bacteriológico de las muestras extraídas de los pozos profundos ubicados dentro del área de influencia, entrevistas a especialistas y personas con conocimiento en esta materia.

En el Capítulo 2 se consideran dos aspectos: el marco legal y el marco teórico. En el marco legal se han considerado todas aquellas normas que están relacionadas con el uso de los recursos naturales, el marco institucional y las responsabilidades de la gestión empresarial bajo el contexto de la protección, control ambiental y desarrollo sostenible que son aplicables a este trabajo de investigación. En el marco teórico se describe la ubicación y delimitación del área en estudio, y lo correspondiente a las características físicas, biológicas y socioeconómicas. También se expone la forma de transmisión de contaminantes, analizándose 4 formas. Por último se señalan las características de los líquidos lixiviados resultantes como producto de la descomposición de cuerpos sepultados bajo suelo.

En el Capítulo 3, correspondiente a la Metodología del Trabajo, se señala que esta investigación es del tipo retrospectiva, experimental y explicativa. Las muestras fueron tomadas en los 12 pozos que están dentro del área de influencia del camposanto durante el periodo que va del 2000 al 2005 y llevadas al laboratorio de SEDAPAL para los análisis correspondientes. Las aguas subterráneas de estos pozos, de acuerdo a la Ley General de Aguas D.L.Nº 17752 y sus Reglamentos, califican como Clase I y los parámetros considerados fueron: Turbiedad, pH, Conductividad, Dureza Total, Sulfuros, Cloruros, Nitratos, Sólidos Totales Disueltos, Coliformes Fecales, Coliformes Termotolerantes y

Colonias Heterotróficas. De estos 12 pozos, uno está fuera de uso, tres están en reserva y los ocho restantes están operativos, inclusive uno de ellos está dentro del camposanto. Cabe anotar que el camposanto "Parques del Paraíso" comenzó a funcionar el año 2003.

En el Capítulo 4 se describen las características del acuífero en esta zona, señalándose que: está constituido por depósitos aluviales del cuaternario reciente, conformado por arenas, gravas, arcillas y cantos rodados, dispuestos en placas o mezclados entre sí, el acuífero está en equilibrio y tiene suficiente reserva para la explotación indefinida de aguas subterráneas; el nivel de napa freática varía, dentro del camposanto "Parques del Paraíso" entre 6.0 m a 16.0 m y, en el pozo que está ubicado dentro del camposanto, varía entre los 3.0 m a 10.0 m; el escurrimiento de las aguas subterráneas va de NE a SO. En el proceso de investigación se analizó la variación del nivel de la napa freática obtenida en un piezómetro de absorción ubicado al NE del límite del camposanto "Parques del Paraíso" en correlación con las descargas del río Lurín, concluyéndose que la profundidad más superficial (3.0 metros en el mes de Abril/2002), se da en la época en que mayor caudal presenta el río (7,2 m<sup>3</sup>/s). Los perfiles litológicos que se hicieron de los pozos 678 y 679, ubicados inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del camposanto, demuestran que hasta los 10 m de profundidad los terrenos son de alta permeabilidad, producto de predominancia de arena, hormigón de río, piedras grandes y medianas (cantos rodados). Los valores de transmisividad y permeabilidad, medidos en estos mismos pozos, varían de buena a alta. Respecto a la calidad de aguas, las concentraciones de los elementos físicos, químicos y bacteriológicos califican al agua como potable. Del análisis de riegos se extrae que dados la consideración de cercanía al cauce del río Lurín, tipo de suelo y poca profundidad del nivel freático, la ubicación del cementerio es altamente vulnerable.

En el Capítulo 5 se analizan e interpretan los resultados, resaltando el hecho de como en un ambiente propicio para la generación de lixiviados, y en consecuencia para la transmisión de contaminantes hacia las aguas subterráneas, esto no se ha dado.

En los Capítulos 6 y 7 se concluyen y discuten algunos resultados, considerando lo obtenido como producto de la realización de otras investigaciones similares determinándose, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, que no existe contaminación de aguas subterráneas a la fecha.

En el Capítulo 8 se dan algunas recomendaciones, resaltando la necesidad que se enriquezca la Ley General de Cementerios y Servicios Funerarios con la finalidad de potenciar la preservación de las aguas subterráneas que sirven para abastecer a las poblaciones, y un aporte muy importante referido a desarrollar una metodología que considere la aplicación de rangos ponderados para calcular el nivel de vulnerabilidad de los acuíferos cuyas agua se destinan a abastecimiento de poblaciones.

Por ultimo se señala la bibliografía que a servido de soporte al trabajo de investigación y se anexan en glosario de términos y algunos testimonios fotográficos.

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1 Formulación y Definición del Problema**

Casi la mitad de la población de Lima Metropolitana es abastecida mediante las aguas subterráneas que son extraídas a través de pozos perforados. Aguas abajo del cementerio tipo parque ecológico “Parques del Paraíso” existe una población estimada de 100,000 habitantes que son abastecidas mediante la explotación de 12 pozos perforados. Inclusive 2 de dichos pozos, aunque en reserva, se encuentran ubicados dentro del mencionado camposanto.

Los profesionales que laboran en la empresa administradora del servicio de agua potable y alcantarillado de Lima – SEDAPAL, presumen que si se continúa con el actual estado de cosas se podría llegar a niveles de eutrofización de las aguas subterráneas que imposibilitarían su uso en actividades humanas, o en todo caso incrementarían excesivamente el costo de potabilización, haciéndolas en la practica igualmente inutilizables para el consumo humano.

Por tanto se considera como uno de los probables factores que esta generando el problema de contaminación de aguas subterráneas se debe al desarrollo de actividades en el cementerio tipo parque ecológico “Parques del Paraíso”, que esta ubicado en la orilla de la margen izquierda del río Lurín y dentro del área de influencia del acuífero del mismo.

Por lo expuesto es necesario plantearse la siguiente interrogante: ¿que tipo y que grado de contaminación de las aguas subterráneas están generando los lixiviados provenientes de sepulturas de cadáveres bajo suelo en esta zona?

### **1.1.2 Justificación e Importancia del Estudio**

El agua es uno de los recursos fundamentales para la vida en nuestro planeta, siendo el componente básico de los ciclos ecológicos. La cuestión de la disponibilidad de agua para el consumo humano en el mundo, es un tema que hoy provoca discusión, aunque existe unanimidad en cuanto a la necesidad de su gestión y racionalización.

En la conferencia de Mar de Plata<sup>1</sup> fueron elaboradas grandes líneas para la gestión del agua. Los resultados de la Conferencia de Río<sup>2</sup>, claramente apuntan a la necesidad de gestión de sistemas, y no solamente de algunos de los componentes<sup>1</sup>. Gracias a dicha tendencia los recursos hídricos tienen como unidad de gestión las Cuencas Hidrográficas. La gestión de cuencas también debe ser multiparticipativa, es decir, en las decisiones en cuanto a su manejo deben estar incluidos todos los interesados, tanto la comunidad como empresas, organizaciones no gubernamentales, etc., así como los tomadores de decisiones: órganos públicos, municipales, estatales, federales.

El vertiginoso crecimiento poblacional, que ha conllevado al excesivo consumo de agua para la producción de bienes y servicios, así como por la contaminación generada, ha comprometido la disponibilidad de ese recurso. La escasez de agua dulce es un factor limitante para el desarrollo regional, pudiendo ser de origen natural cuando las condiciones fisiográficas limitan la disponibilidad del recurso, o ser provocada por el hombre por el desarrollo de

---

<sup>1</sup> 1977, en Heathcote 1998

<sup>2</sup> Eco-92

sus actividades y por la concentración poblacional en espacios geográficos reducidos.

Por lo señalado anteriormente se considera que es importante investigar el tema ya que va a permitir establecer mecanismos apropiados para posibilitar la preservación de los recursos hídricos de nuestro país.

Sabemos que cuando más contaminadas estén nuestras fuentes de abastecimiento de agua, mayores inversiones económicas tendremos que realizar para potabilizarlas y más los riesgos a los que estará expuesta no solo la salud de las personas sino las de todos los seres que de ella se nutren. Es obvia pues la relevancia social que conlleva la realización de la investigación ya que los directamente beneficiados serán aquellas poblaciones que son abastecidas utilizando aguas subterráneas ya que implicará mejorar dos aspectos fundamentales: a) contribuir al abaratamiento de la tarifa de abastecimiento de agua, al reducir los costos por potabilización del agua, y b) contribuir a disminuir los índices de enfermedades de origen hídrico, y con ello, propiciar la preservación de la salud de las personas.

Llegar a conocer la calidad físico química y bacterial patogénica de las aguas subterráneas, influenciadas por lixiviados generados por cuerpos sepultados bajo suelo, llenará un vacío del conocimiento científico en nuestro país, y permitirá incentivar la investigación de otros aspectos como: a) la forma como estos contaminantes se transmiten a través de la variedad de suelos que tenemos; b) descubrimiento de nuevos métodos de análisis de laboratorio, principalmente en el proceso de determinación de compuestos nitrogenados como la putrescina y la cadaverina, así como virus patogénicos en las aguas subterráneas.

El problema práctico que ayudará a resolver esta investigación, en forma inmediata, es la toma de conciencia tanto de autoridades como de

empresarios inmersos en el problema, lo que deberá conllevar al cambio de algunos artículos de la Ley General de Cementerios y Servicios Funerarios que consideramos funestos.

### 1.1.3 Limitaciones

El desarrollo del trabajo de investigación tiene las siguientes limitaciones para su ejecución:

- Escasa información referida al tema.
- No existen en nuestro país métodos de análisis de laboratorio que permitan determinar contaminantes de mayor significancia causa-efecto.
- Nulo interés de los propietarios de los cementerios, donde se sepultan cadáveres bajo suelo, en el desarrollo de este tipo de investigaciones.
- Desinterés de las entidades normativas de nuestro país, principalmente DIGESA.
- Nula sensibilización de la población respecto a la importancia del tema.

## 1.2 ANTECEDENTES

En el Perú el problema no ha sido investigado anteriormente. El país más cercano en donde se han realizado investigaciones referidas a la contaminación de acuíferos por presencia de cementerios es Brasil, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Artículo “Los Cementerios como riesgo potencial para las aguas de abastecimiento”<sup>3</sup>. Las principales conclusiones de este estudio fueron las siguientes:**
  - El impacto físico más importante es el riesgo de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas y que en la localización de los

---

<sup>3</sup> Publicado en Revista SPAM, 1986, Autor Dr. Alberto Pacheco, trata sobre investigación realizada en 22 cementerios administrados por la prefectura de la ciudad de Sao Paulo en los que tiene lugar, en promedio 220 sepulturas por día.

cementerios no se tiene en cuenta los aspectos geológicos e hidrogeológicos.

- Mulder (1954) destaca la incidencia de la fiebre tifoidea en la ciudad de Berlín entre 1863 y 1867 y, sin mencionar la fecha, el ocurrido en la ciudad de París, donde aguas subterráneas de mal aspecto y sabor, especialmente en épocas de calor fueron captadas en pozos situados en las proximidades de los cementerios.
- Para algunos higienistas franceses, numerosas ciudades de Francia deben su endemia de fiebre tifoidea a la posición de los cementerios con relación a las aguas de abastecimiento. En lo que concierne a los virus, el de la Hepatitis es el que merece mayor atención.
- Los organismos patógenos tienen poca resistencia a las condiciones de oxigenación y ausencia relativa de humedad de los suelos, pero si llegan a incorporarse en las aguas superficiales y subterráneas se pueden mantener activos durante un tiempo mayor.
- Es importante que los cementerios sean edificados en áreas elevadas de terrenos con características impermeables, con nivel freático bajo y distante de las aguas superficiales y subterráneas.
- Para controlar el poder contaminante de los cementerios debe tomarse serios cuidados con el entierro de cuerpos en los que la causa mortis haya sido contagiosa o epidémica y con los cadáveres de las personas que fueron tratadas con elementos radiactivos.
- Schrops (1972), en un estudio hecho en Alemania Occidental, reveló que determinado cementerio, localizado en terreno aluvial no consolidado, constituía un riesgo efectivo para las aguas subterráneas.
- En cuanto a localización de cementerios se recomienda: a) que debe estar definida por estudios geológicos e hidrogeológicas, b) una distancia mínima entre el nivel freático y el fondo de las sepulturas, considerando que estas sepulturas estén contenidas en cajones de concreto, y c) en el artículo 152 del Código Sanitario del Estado de Sao

Paulo se prevé el aislamiento interno en todo el perímetro del cementerio, mediante una zona intangible en el entorno.

➤ **Trabajo sobre “Minimización de la Contaminación de las Aguas Subterráneas causadas por los Cementerios”<sup>4</sup>, que nos da las siguientes pautas:**

- Se hizo un estudio en el Cementerio Vila Nova Cachoeirinha, que se localiza en un terreno arenoso con ciertos niveles de arcilla, con un nivel de agua que variaba entre los 4 y 9 metros de profundidad; se tomó muestras del agua subterránea y se obtuvieron elevadas concentraciones de coliformes totales  $1,6 \times 10^2$  y numerosas bacterias, así como, en menor número, coliformes fecales.
- Se señala que los principales factores que condicionan los terrenos como adecuados para la implementación de cementerios son: áreas elevadas, homogeneidad del suelo, nivel bajo de la napa freática, espesor del área no saturada.
- Se incluyen las siguientes propuestas principales: campaña de concientización, campaña de incentivo a la cremación en caso de enfermedades contagiosas, no utilizar sepulturas para inhumación, un control riguroso del monitoreo hidrológico, motivar a las autoridades encargadas del control y monitoreo de las aguas subterráneas y seguir correctamente las normas para la construcción de nuevos cementerios.

➤ **Trabajo titulado “Los Cementerios en la Problemática Ambiental”<sup>5</sup>, obteniendo los siguientes resultados:**

- De los 600 cementerios estudiados se observó la incidencia de entre 15 a 20% de casos de contaminación del suelo, ocurrida por la descomposición de los cuerpos y efluentes cadavéricos.

---

<sup>4</sup> Realizado por un grupo de la Maestría de Saneamiento Ambiental de la Facultad de Salud Pública de la Universidad de Sao Paulo liderado por el Dr. Edu Pariera.

<sup>5</sup> Cuyo autor el Dr. Leziro Marques Silva, resume la investigación realizada por 25 años (1970-1995) en 600 cementerios de varios estados de Brasil.

- Las aguas subterráneas presentan concentraciones excesivas de productos nitrogenados y contaminación bacteriológica.
- **Trabajo titulado “Calidad Bacteriológica de Aguas Subterráneas en Cementerios de Sao Paulo”<sup>6</sup>, concluyendo lo siguientes resultados:**
- Se tomaron muestras de valores bacteriológicos de aguas subterráneas de tres cementerios ubicados en las regiones de Brasil: Grande Sao Paulo y Baixada Santista. Los cementerios estudiados fueron: Villa Nueva Cachoeirinha (CVNC) donde predominan suelos arenosos con algo de arcilla y el nivel de agua varía entre 4.0 a 9.0 metros de profundidad; Villa Hermosa (CVF) donde predominan los sedimentos terciarios y hay alternancia de suelos arcillosos y areno-arcillosos, el nivel estático de las aguas subterráneas varía entre 4.0 a 12.0 metros; y Arena Blanca (CAB) en que predominan sedimentos cuaternarios marinos, arenosos, con alta porosidad y permeabilidad, el nivel de la napa freática varía entre los 0.60 a 2.20 m y esta influenciada por las aguas marinas.
  - Los resultados obtenidos indican que las diferencias geológicas y de nivel de napa freática influyen en la calidad bacteriológica de las aguas estudiadas
  - Las mayores concentraciones de coliformes fecales, estreptococos fecales, Clostridium sulfito reductores, bacterias heterotróficas aerobias, bacterias heterotróficas anaerobias y bacterias lipolíticas fueron encontradas en el cementerio ubicado en suelos arenosos, con alta porosidad y permeabilidad y donde la napa freática se encontraba entre 0.60 a 2.20 m, todo lo cual favorece el pasaje de bacterias hacia aguas subterráneas.

---

<sup>6</sup> El autor Dr. Martins M.T, (1991) analiza los resultados bacteriológicos obtenidos en 3 cementerios ubicados en diferentes áreas de Sao Paulo – Brasil.

- Dada la elevada cantidad de bacterias heterotróficas aerobias encontradas en los 3 cementerios, al parecer existen condiciones aerobias en el pasaje de la materia orgánica hacia la napa freática por lo que las proteínas serian convertidas a nitratos que se acumularían en esas aguas.

Si bien es cierto las condiciones climáticas que predominan en la mayoría de los Estados Brasileños, y países Europeos señalados, son diferentes a las existentes en nuestra ciudad capital, consideramos que las conclusiones a las que se ha llegado tienen una importancia enorme por dos causas: a) es evidente la contaminación de las aguas subterráneas por los lixiviados provenientes de la localización de cementerios en sus áreas de influencia, y b) que la contaminación patogénica ocasiona impactos negativos en la salud de las personas.

Como ya señalamos, no existe mayor información respecto a lo que esta pasando en nuestro país respecto a esta problemática, lo que considero alarmante dado que cada vez se construyen más cementerios, con sepulturas bajo suelo, en áreas de influencia de fuentes de abastecimiento de agua para usos humanos.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar el tipo y concentración de contaminantes presentes en las aguas subterráneas que presumiblemente provengan de lixiviados de sepulturas de cadáveres ubicados bajo suelo.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- a) Describir los componentes ambientales del área en estudio.
- b) Analizar documentos que contengan indicios de las características de los lixiviados generados como producto de la descomposición de cuerpos inhumados.
- c) Determinar las concentraciones de estos contaminantes en las aguas subterráneas utilizadas para consumo humano, específicamente: turbiedad, pH, conductividad, dureza total, sulfatos, cloruros, nitratos, sólidos totales disueltos, coliformes totales, coliformes termotolerantes, colonias heterotróficas.
- d) Analizar el comportamiento hidráulico del acuífero ubicado dentro del área de influencia.
- e) Describir las diferentes formas de transmisión de éstos contaminantes a través del suelo en su tránsito hacia las aguas subterráneas.
- f) Recomendar acciones que permitan la atenuación del impacto negativo generado por estos contaminantes.

## **1.4 HIPÓTESIS**

### **1.4.1 Hipótesis General**

La hipótesis que se plantea en el desarrollo del presente trabajo de investigación, es: “los lixiviados generados por la descomposición de cuerpos humanos sepultados bajo suelo son altamente contaminantes, por lo que la contaminación de las aguas subterráneas ubicadas dentro del área de influencia del cementerio Parques del Paraíso es evidente”.

Nuestra UNIDAD DE OBSERVACIÓN será el acuífero de la cuenca del río Lurín, en el área de influencia del cementerio “Parques del Paraíso”.

### **1.4.2 Variables e Indicadores**

#### **VARIABLES:**

##### **CAUSA**

Generación de lixiviados  
por sepulturas bajo suelo

##### **EFEECTO**

Contaminación de agua subterránea

VARIABLE INDEPENDIENTE: Generación de lixiviados por sepulturas bajo suelo.

VARIABLE	DIMENSIÓN DE LA VARIABLE	INDICADOR	UNIDADES
GENERACIÓN DE LIXIVIADOS POR SEPULTURAS BAJO SUELO	EFLUENTE	CAUDAL	m <sup>3</sup> /día
	CARACTERÍSTICAS MICRO BIOLÓGICAS	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/ 100 mL
	CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS	NITRATOS, CLORUROS, STD	mg /L

VARIABLE DEPENDIENTE: Contaminación del acuífero de la cuenca del río Lurín, en el área de influencia del cementerio “Parques del Paraíso”.

VARIABLE	DIMENSIÓN DE LA VARIABLE	INDICADOR	UNIDADES
CONTAMINACION DEL ACUIFERO	NIVEL ESCURRIMIENTO	CAUDAL	m <sup>3</sup> /s
	CARACTERÍSTICAS MICRO BIOLÓGICAS	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/ 100 mL
	CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS	NITRATOS, CLORUROS, STD	mg /L

ENLACE LÓGICO: y, en, el acuífero.

### **INSTRUMENTOS:**

- Análisis físico-químicos y bacteriológicos de las aguas subterráneas de pozos sin influencia de cementerios y, pozos con influencia de cementerios con sepulturas bajo suelo.
- Entrevistas a especialistas con experiencia en el tema.

- Entrevista a trabajadores que laboran en cementerios.
- Entrevista a población del entorno.

## **CAPITULO II**

### **SUSTENTO TEORICO**

#### **2.1 GENERALIDADES**

Dentro de los procesos de descomposición de organismos se sabe que la putrefacción, se inicia inmediatamente con la muerte y esta condicionada a factores acelerantes y retardantes. Entre los primeros están: el clima tropical, los terrenos abonados, el sumergimiento en agua y muerte por septicemia; mientras que entre los segundos están: el clima frío, el uso de antibióticos ante mortem y los terrenos desérticos.

La putrefacción de un cadáver se inicia con las bacterias endógenas intestinales, del tipo saprófitas, principalmente enterobacterias. A esta fase anaerobia le sigue la aparición de bacterias facultativas como las del género *Neisseriaceae* y otras anaerobias del género *Clostridium*. Estas bacterias son originarias del cadáver o del terreno circundante. Los agentes microbianos anaerobios son los que producen los gases pútridos del cadáver, pero estos actúan después que otras bacterias aeróbicas han agotado el poco oxígeno existente en el cadáver.

Entre los microorganismos originarios del cadáver, o del terreno circundante, capaces de causar enfermedades transmitidas por las aguas, tenemos: *Clostridium* (tétano, gangrena gaseosa), *Mycobacterium* (tuberculosis), *Salmonella Typha* y *Paratyphi* (fiebre tifoidea y paratifoidea), *Shigella* (desintaría bacilar) y el virus de hepatitis A.

En caso de muerte por enfermedades contagiosas o epidemia, están presentes los agentes de infección que compiten con otros organismos, como: algas, algas protozoarios, hongos y bacterias, algunos de los cuales son sus depredadores o comidas. Los hongos se desarrollan en los cadáveres inhumados, no así en aquellos que están expuestos al aire libre y al sol.

En el proceso de putrefacción hay dos periodos fundamentales: el gaseoso y el colicuativo En el primero aparecen gases en el interior del cadáver el cual se hincha y se rompe desprendiendo líquidos humorosos que pueden llegar a valores de 7 a 12 litros. Estos fluidos pudieran entrar en contacto con las aguas subterráneas si el nivel de la napa freática estuviera muy próximo a la superficie.

En lo que respecta a la generación de líquidos que emanan de un cadáver, los procesos que contribuyen a ellos son los siguientes:

**DESHIDRATACIÓN**, que se presenta a partir de la 8° hora post mortem. Esta dada por la evaporación del agua corporal (10 a 15 gr./kgr.xdía). Se manifiesta por la depresión de los globos oculares.

**DESEPITELIZACIÓN DE LAS MUCOSAS**, que se presenta a las 72 horas post mortem. Signos de deshidratación a nivel de las mucosas. Zonas más afectadas: la región interna de los labios de la boca, escroto en el hombre y labios mayores en los genitales femeninos.

**ADIPOCIRA**, fenómeno químico que se presenta en un medio húmedo sin aire. Las grasas se conviertan en glicerina y ácidos grasos. Aparece entre los 3 y 6 meses post mortem, se completa entre los 18 a 20 meses. Es la transformación jabonosa de la grasa subcutánea y el cadáver adquiere una coloración blanco amarillenta de consistencia pastosa y olor rancio.

Según los investigadores brasileños como el Dr. Alberto Pacheco y Dr. Leziro Marques Silva, entre otros, el líquido resultante de la descomposición de cadáveres se caracteriza por ser una solución acuosa rica en sales minerales y sustancias orgánicas degradables, de color castaño-aceitunado, más viscosa que

el agua, polimerizable, de olor fuerte y pronunciado, con elevado grado de toxicidad y patogenicidad, bastante soluble en agua a un pH entre 5 a 9 y temperatura de 23° C a 28° C.

El volumen de generación de este líquido, cuyo nivel de toxicidad depende de la presencia de compuestos orgánicos y de la carga viral patogénica del cuerpo inhumado, puede llegar hasta los 40 litros por cada adulto de 70 kilos de peso, y su constitución comprende: 60% de agua, 30% de sales minerales y 10% de sustancias complejas, poco conocidas, tales como la putrescina y la cadaverina, que contienen fundamentalmente sustancias nitrogenadas en su composición.

Para el Dr. Martins, la transmisión de carga bacterial patogénica proveniente de la descomposición de cadáveres hacia las aguas subterráneas es inevitable en suelos arenosos, altamente porosos y permeables, y en que la napa freática esta entre los 0.6 a 2.2 metros de profundidad.

Las normas nacionales, Reglamento Nacional de Construcciones y la Ley General de Cementerios y Servicios Funerarios, no exigen analizar los factores más importantes que condicionan la utilización de terrenos para el desarrollo de este tipo de actividades como son: la **homogeneidad del suelo** y el **espesor de la capa no saturada**, fundamentales para predecir la migración de contaminantes provenientes de los líquidos que se forman en el proceso de descomposición de cadáveres, principalmente hacia las aguas subterráneas. En la Ley General de Cementerios y Servicios Funerarios no se señala nada respecto a la preservación de los recursos hídricos subterráneos considerando la ubicación de los cementerios con sepulturas bajo suelo, vacío que en parte ha posibilitado la problemática actual.

## **2.2 MARCO LEGAL**

Se refiere a un conjunto de normas relacionadas con el uso de los recursos naturales, el marco institucional y las responsabilidades de la Gestión Empresarial bajo el contexto de protección, control ambiental y desarrollo sostenible que son aplicables al proyecto.

### **2.2.1 Jurídico Para el Control de la Contaminación de Aguas:**

Para el desarrollo de la investigación relacionada con el camposanto “Parques del Paraíso”, se ha tenido en cuenta una serie de normas, políticas y leyes dictadas por los diferentes organismos públicos vinculados a la conservación de la fauna, flora y de los recursos naturales en general. Entre estas normas la de mayor importancia son las referidas a la conservación del agua, suelo y aire para hacer frente a los problemas durante la ejecución del proyecto.

### **Normas de Regulación de la Contaminación de Aguas en el Perú:**

#### **a) Medidas Preventivas.-**

La Constitución Política del Perú de 1979 que en su Artículo 123º establece lo siguiente:

*“Todos tienen derecho de habitar en ambientes saludables, ecológicamente equilibrados y adecuado para el desarrollo de la vida y la preservación del paisaje y la naturaleza; todos tienen el deber de conservar dicho ambiente”.*

Es obligación del Estado prevenir y controlar la Contaminación Ambiental.

Esto es ratificado en la Constitución Política de 1993, Artículo 2º inciso 22:

*“Toda persona tiene derecho a la paz, tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso así como gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida”.*

El Artículo IV de la Ley General del Ambiente D.L.Nº 28611 (15/10/2005), establece que:

*“Toda persona tiene derecho a exigir una acción rápida, sencilla y efectiva ante las entidades administrativas y jurisdiccionales, en defensa del medio ambiente y de sus componentes, velando por la salud de las personas en forma individual o colectiva...Se puede interponer acciones legales aun en los casos en que no se afecte el interés económico del accionante...”.*

Del mismo modo, el Artículo 129º de la Ley General de Aguas, D.L. Nº 17752 (24/06/1969) se establece que cualquier persona puede denunciar omisiones o hechos contrarios a las disposiciones de dicha ley.

En el Reglamento de Clasificación de tierras, Decreto Supremo Nº 0062/75-AG dado el 22-01-1975. Capítulo I: De Los Fines, Artículo 1º que establece que:

*“Son objetivos del presente reglamento:*

- a) Establecer un Sistema Nacional de Clasificación de la Tierras adecuadas a las características ecológicas de las diversas regiones naturales del país.
- b) Difundir el uso racional permanente de las Tierras, con el fin de conseguir de ellas el máximo beneficio económico y social de interés público.
- c) Evitar la destrucción y deterioro del suelo, que incida desfavorablemente en la estabilidad del régimen hidrológico de otros recursos naturales conexos.

## **b) Mecanismo de Control.-**

Según el marco jurídico del Perú, las aguas superficiales son consideradas como recursos de propiedad común; es decir no existen derechos de propiedad privada. El artículo 1° de la Ley General de Aguas, Decreto Ley N° 17752 (24/06/1969), establece que *“Las aguas sin excepción, en cualquiera de sus estados (sólido, líquido y gaseoso), son de propiedad del estado y su dominio es inalienable e imprescriptible. No hay propiedad privada de las aguas ni los derechos adquiridos sobre ellas”*. Según esta Ley, el ente regulador tiene la facultad de imponer sanciones a aquellos agentes que contravengan cualquiera de las disposiciones establecidas en la misma.

Según la Ley General de Aguas, el ente regulador tiene la facultad de imponer sanciones a aquellos agentes que contravengan cualquiera de las disposiciones establecidas en la Ley. Asimismo, el Artículo 122°, del 24 de junio de 1969 de la referida ley; menciona que *“El que contaminase aguas superficiales con daño para la salud humana, la colectividad o la flora o fauna, infringiendo alguna de las disposiciones pertinentes de la Ley, los que para evitar contaminación hubiera dictado la autoridad competente, será sancionado de acuerdo con lo dispuesto por el código penal, (Decreto Legislativo N° 635-3-491) quedando obligada a preparar los daños”*.

Del mismo modo, en su Artículo 66° de la Constitución de 1993 se establece que *“Los Recursos Naturales renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación”*, en consecuencia el Estado Peruano es soberano en su aprovechamiento.

En el Art. 5° de la de la Ley General del Ambiente D.L.N° 28611 (15/10/2005) se ratifica que *“los Recursos Naturales Constituyen Patrimonio de la Nación”*.

### c) Estándares Ambientales.-

- Reglamento de Desagües Industriales D.S.N° 28-60-SALP (29/11/1960), reemplazado por el nuevo Reglamento de Elaboración de Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado – SEDAPAL - 1994. En el Artículo 7.2.1 se señala las condiciones mínimas que deberán cumplir las descargas industriales para poder ingresar a los colectores del sistema público.

### Normas referidas a Cementerios y Servicios Funerarios:

- Ley N° 26298 de Cementerios y Servicios Funerarios (22/03/1994):  
En que se establecen las consideraciones de construcción, habilitación, conservación y administración de cementerios y locales funerarios, así como la prestación de de servicios funerarios.
- Reglamento de Cementerios y Servicios Funerarios (DS. N° 03-94-SA) (06/10/1994):  
Que establece la serie de requisitos que se deben cumplir para autorizar el funcionamiento de un cementerio tipo parque ecológico. Respecto a ubicación de cementerios, los artículos de referencia señalan:  
Artículo 26º: “**los cementerios en áreas agrícolas solo pueden ser del tipo Parque Ecológico**”.  
Artículo 15º, ítem ii): “**los cementerio públicos y privados estarán ubicados preferentemente en emplazamientos con suelos de textura arcillosa o arenosa, secos y con buen drenaje...**”  
Artículos 15, ítem c-iii): “**el área destinada a sepulturas en un cementerio no puede estar situada a menos de 10 metros de un río, manantial o canal de riego abierto**”.  
Artículo 15, ítem a-ii): “**la distancia mínima entre el fondo de las sepulturas bajo suelo y la napa freática debe ser de 2.5 metros**”.

## 2.3 MARCO TEORICO

### 2.3.1 Ubicación y Delimitación del Área de Estudio

El área en estudio es el ubicado en el ex fundo Las Palmas, distrito de Pachacamac, Provincia y Departamento de Lima. En cuanto a la extensión del terreno, este es de 52.130 Has. Está conformada por una unidad sin particiones y cuenta con los siguientes linderos y respectivas medidas perimétricas:

- Al Norte: con el ex fundo Clara Luisa de propiedad de la Empresa de Propiedad Social y paso de servidumbre de por medio, tramos de 229ml, 65ml, 431,1ml y 327,5ml.
- Al Sur: con terreno de propiedad del Sr. Abel Mora, Sra. Ubaldina Aedio, y Empresa de Propiedad Social, tramos de 108,5ml, 48ml, 439ml, 111ml, 41,5ml y 262,5ml.
- Al Oeste: con el terreno de Propiedad de la Cía Nibelsa, teniendo de por medio de un camino de servidumbre de paso, con el Sr. Valeriano Núñez, con el Sr. Donato Moreno y Sr. Lucio Rosas, tramos de 275ml, 72ml, 67ml, 63,5ml, 59ml y 51,5ml.
- Al Este: Con el Río Lurín en una longitud de 717ml.

En las siguientes imágenes captadas por satélite se puede apreciar panorámicamente la ubicación del área de estudio, además se puede observar la configuración territorial del área, en cuanto a los usos del suelo.

Respecto a la delimitación del área de influencia, considerando los 12 pozos perforados existentes en el entorno, abarca un área de 154 Ha. Las coordenadas geográficas que la cubre son las siguientes:

293 500 - N	295 500 - N
8 648 500 - E	8 646 500 - E

## 2.3.2 Descripción física, biológica y socioeconómica del área

### 2.3.2.1 Ambiente Físico

#### a) Climatología:

El tipo de clima corresponde a una zona desértica, semi cálida, típica de la costa, con diferencia de lluvias en todas las estaciones del año y con humedad relativa calificada como húmeda. La información proporcionada por el SENAMHI, correspondiente a las estaciones meteorológicas PANTANOS DE VILLA y AV. HUMBOLD, es la que se observa en las tablas siguientes:

#### ESTACIÓN METEOROLÓGICA PANTANOS DE VILLA / CO-624-DRE-04

LAT : 12° 15' "S"                      DPTO. : LIMA  
LONG : 77° 02' "W"                    PROV. : LIMA  
ALT : 40 msnm.                        DIST. : CHORRILLOS

AÑO 2004 Mes	PARÁMETRO		
	Temperatura Media Mensual (°C)	Humedad Relativa Media Mensual (%)	Precipitación Total (mm)
Marzo	24,0	83	0,0
Abril	22,1	85	0,0
Mayo	21,3	85	0,0
Junio	19,3	86	0,5
Julio	18,5	85	1,8
Agosto	18,6	83	1,4
Setiembre	18,7	84	T
Octubre	19,7	84	0,0
Noviembre	20,2	84	0,0

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI-2003

AÑO 2004 Mes	Dirección Predominante y Velocidad Media del Viento (m/s) a las:		
	07: 00 Horas	13: 00 Horas	19:00 Horas
Marzo	S-2	SW-4	SW-4
Abril	S-2	SW-4	SW-4
Mayo	S-3	SW-4	SW-4
Junio	S-2	SW-4	SW-4
Julio	S-3	SW-4	SW-4
Agosto	S-3	SW-4	SW-4
Setiembre	SW-3	SW-5	SW-6
Octubre	SW-4	SW-5	SW-6
Noviembre	SW-4	SW-5	SW-6

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI-2003

#### ESTACIÓN METEOROLÓGICA AV. HUMBOLD /CP-610/DRE-4

DISTRITO : LA MOLINA  
 PROVINCIA : LIMA  
 DEPARTAMENTO : LIMA

AÑO = 2003	
Temperatura Máxima Media Mensual	Febrero 27.8°C Agosto 12.9°C
Temperatura Media Mensual	Febrero 22,5 °C Agosto 15.1 °C
Temperatura Mínima Media Mensual	Febrero 18.5 °C Julio 12.7°C
Precipitación Pluvial Total Mensual Máxima	Agosto 2,4 mm.
Humedad Relativa Media Mensual	Febrero 80. 1 % Agosto 88. 3 %
Dirección Media Mensual del Viento	Sur-Este y Oeste-Sur-Este
Velocidad del Viento Máxima Anual	5,1 Km./h
Horas de Sol Total Mensual	Febrero 183.3 Agosto 79.6

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI-2003

En la Estación Meteorológica PANTANOS DE VILLA la temperatura media mensual varia de 18.5°C (Julio 2004) a 24.0°C (Marzo 2004). La humedad relativa media mensual varía de 83% (Marzo y Agosto 2004) a 86% (Junio 2004). La precipitación total varía de 0.0mm (en varios meses 2004) a 1.8mm (Julio 2004). Respecto a la dirección predominante de viento esta es la que corresponde a Sur Oeste, a velocidades que varían de 2.00m/s (07:00 horas) a 6.00m/s (19:00 horas).

Respecto a la Estación Meteorológica AV. HUMBOLD, se identifican los valores de temperatura media mensual de 15.1°C (Agosto 2003) a 22.5°C (Febrero 2003); la precipitación total mensual máxima fue de 2.4mm (Agosto 2003); la humedad relativa media mensual vario de 80.1% (Febrero 2003) a 88.3% (Agosto 2003); respecto a la dirección media mensual del viento vario de Sur Este a Oeste Sur Este, que corrió a una velocidad máxima anual de 5.1 Km./hora o 1.42 m/s.

## **b) Geología:**

### **GEOLOGÍA HISTÓRICA**

Desde el Punto de vista histórico, se considera que la cuenca del río Lurín, constituía una cuenca que tenia su ubicación aproximadamente en forma longitudinal a la actual Cordillera de los Andes, depositándose en ellas sedimentos de fases marina y continental; posteriormente, estos fueron modificados por efectos tectónicos como consecuencia del emplazamiento del batolito de la costa y de los procesos orogénicos y epirogénicos que generaron fuerzas de tensión y compresión, cuya evidencia constituye el levantamiento de la Cordillera de los Andes y las estructuras geológicas resultantes tales como fallas, pliegues, sobre

escurrimientos, etc. Estas cadenas de montañas resultantes fueron erosionadas antes de que se depositaran las capas rojas y conglomerados terciarios, así como las lavas y los piroclastos terciarios– cuaternarios, habiéndose alcanzado por procesos de relleno y asentamiento la nivelación casi completa de la región.

De la formación de estos elementos se produjo un segundo sistema de cordilleras, que es paisaje actual. Las rocas presentes en la zona de estudios son clasificadas como sedimentarias, intrusivas, volcánicas y metamórficas. Las rocas sedimentarias, están representadas por calizas, limonitas, lodolitas, lutitas, arcillas y conglomerados. Las rocas intrusivas están constituidas por granitos, graniodioritas, dioritas y tonalitas con intrusiones menores como aplitas, pegmatitas, cuarzo – monsonitas, etc. Las rocas volcánicas están representadas por tufos, derrames, aglomerados, andesitas, riolitas, basaltos y material pirocláico como cenizas, tobas y llapilli. Las rocas metamórficas están formadas por cuarcitas, pizarras. Esquistos, filitas y mármoles. La edad del conjunto de rocas presente en la región estudiada está comprendida desde el paleozoico al cuaternario reciente. En términos generales la mineralización está representada principalmente por especies minerales de plomo, plata, cobre y antimonio. Los depósitos no metálicos, por otro lado se encuentran ampliamente distribuidos en la región, destacando principalmente el carbón, del cual se ha delimitado un área de prospección recomendable en Jatunhuasi, las calizas, los materiales de construcción, el yeso y los materiales de ornamentación.

**CUADRO N° 2.1**  
**FRECUENCIA ESTRATIGRAFICA Y RASGOS ESTRUCTURALES**  
**DEL RÍO LURÍN**

<b>ERA CENOZOICA Y PERIODO CUARTERNARIO</b>			
<b>FORMACIÓN</b>	<b>LITOLOGÍA</b>	<b>LUGAR DE EXPOSICIÓN</b>	<b>SUELOS FORMADOS</b>
Depósitos eólicos	Arena de grano fino, formando variados tipos de depósitos: dunas, barcanos, etc.	Se presenta en las pampas costeras y laderas de los cerros situados en el flanco occidental, cercanos a la línea de playa	Transportados: arenados, de potencia variable, permeables y ácidos
Depósitos fluviales	Arenas, limones, arcilla, gravas y rodados de diversos tamaños y composición	Están depositados a lo largo de los cauces de los ríos y quebrados principales	Transportados de composición heterogénea, de profundidad variable y de mediana permeabilidad
Depósitos fluviales aluviales	Arena, arcilla, gravas y fragmentos rocosos angulares a subangulares, sin selección y sin estratificación	Se encuentran cubriendo la parte inferior de las laderas de los valles de Chillón, Rímac, Lurin, y Mantaro	Transportados de composición heterogénea, de profundidad variable y de mediana permeabilidad
Depósitos aluviales	Arenas, arcilla, limones, gravas y conglomerados, adaptando posición horizontal.	Se presenta a lo largo de los valles de los ríos Chillón, Rímac, y Lurín.	Transportados: areno arcilloso profundos, de permeabilidad variable. Suelos adaptables para la siembra.
<b>ERA MESOZOICA Y PERIODO CRETACEO MEDIO A INFERIOR</b>			
Volcánico Casma Valanginiano Supersenoniano	Construido por derrames volcánicos de composición andesítica, con estratos de lutita, arsénicos y calizas medianamente metamorfoseadas	Afloró en la parte baja de la vertiente occidental de los andes alto Lurín	Suelos residuales: Arenosos, areno arcillosos de reacción ácida y parcialmente básicos, de profundidad y permeabilidad variable

<b>ERA MESOZOICA Y PERIODO CRETACEO INFERIOR</b>			
Herradura, Salto del Fraile, Valanginario.	Lutitas oscuras, areniscas y caliza bancos de cuarcita compactadas de color blanco marrón	La herradura, Isla San Lorenzo, Barranco, El Salto de Fraile, Base Morro Solar y Pachacamac	Suelos residuales: principalmente arcillosos, de poca profundidad y de reacción básica.
<b>ERA MESOZOICA Y PERIODO JURASICO SUPERIOR CRETACEO INFERIOR</b>			
Puente Piedra, Titoniano y/o Berriosiano.	Areniscas y lutitas ínter estratificados con andesitas, aglomerados, calizas y cuarcitas	Alrededores de Puente Piedra, Pachacamac	Suelos residuales: arcillosos y arcillo arenosos, de poca profundidad mayormente ácidos aunque con algunas áreas de reacción básica.

Fuente: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET

## GEOLOGÍA ECONÓMICA

Comprende solamente un descripción generalizada sobre los recursos no renovables, tanto metálicos como no metálicos, cuya participación en el desarrollo de la región entusiasta es muy importante, por servir como fuente de trabajo a sus pobladores, por los insumos que requiere del sector agropecuario y porque su producción, que tiene como destino final el mercado internacional, se comercializa por el puerto del Callao. Además, su influencia como factor de desarrollo se deja sentir a nivel nacional, por la divisas que ingresan al país como resultado de la exportación de estos productos. En el aspecto no metálico, debe señalarse la existencia de una gran variedad de depósitos, destacando entre ellas los materiales de ornamentación, los materiales de construcción, yeso, arcilla, baritina y bentonita, etc.

### c) Suelos:

Con la finalidad de proporcionar una visión rápida y sucinta del paisaje edáfico dominante del valle del río Lurín, se muestra a continuación una agrupación general de los suelos y que guarda estrecha relación con las características fisiográficas del área (ver cuadro N° 2.2), así como las características del suelo del valle Lurín y clasificación del suelo del distrito de Pachacamac con relación a la salinidad (ver cuadro N° 2.3).

**CUADRO N° 2.2**  
**CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DEL VALLE LURÍN**

Paisaje	Sub. paisaje	Unidad fisiográfica	Suelos incluidos
Aluvial	Llanura Aluvial	Llano de sedimentación no inundable	Lurín Lurín moderadamente drenado Lurín salino Las Salinas San Pedro Pachacamac Pachacamac imperfectamente drenado
		Llano de inundación	Ribereño seco
		Llano fluvio marino	Baños
		Causes	Lecho de Río

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA.

Las tierras del valle del río Lurín están dedicadas principalmente a la agricultura. La información obtenida ha sido agrupada en categorías de uso de la tierra tal como se muestra a continuación:

1. Terrenos Urbanos y/o Instalaciones Gubernamentales y Privadas
2. Terrenos con Cultivo de Hortalizas
3. Terrenos de huertos frutales y otros cultivos perennes
4. Terrenos con cultivos extensivos

5. Terrenos con Bosques
6. Terrenos Pantanosos y/o Cenagosos
7. Terrenos sin Uso y/o Improductivo

Del cuadro N° 2.2 se desprende que el paisaje del área en estudio es del tipo aluvial, el sub. paisaje corresponde a llanura aluvial, la unidad fisiográfica corresponde a llano de inundación y los suelos incluidos son del tipo ribereño seco.

Específicamente para el área en estudio, del cuadro N° 2.3, se desprende que el nombre del suelo es Pachacamac Inclínada, con pendiente entre 5 a 8%, la textura predominante es la arena franca, la profundidad del perfil es de 7.9m, el drenaje califica como “algo excesivo”, permeabilidad “moderadamente rápida”, escurrimiento superficial “moderadamente lento” y fertilidad/productividad calificada como “baja”.



**Foto N° 1:** suelos aluviales que predominan en el área de influencia del cementerio "Parques del Paraíso"

**CUADRO N° 2.3**  
**CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS DEL VALLE DEL RIO LURIN**

SUELOS DEL VALLE DEL RIO LURIN							
Nombre del Suelo	Fisiografía y Pendiente	Textura dominante	Características principales del perfil	Drenaje	Permeabilidad	Escurrimiento Superficial	Fertilidad y Productividad
Pachacamac	Terrazas medias y altas y llanura aluviales (0 – 2%)	Arena franca	Profundas, de textura gruesa con acumulación de sales, pH = 7,9	Algo excesivo	Moderadamente rápido	Moderadamente lento	Baja
Pachacamac Inclinado	Terrazas medias y altas y llanura aluviales (5 – 8%)	Arena franca	Profundas, de textura gruesa con acumulación de sales, pH = 7,9	Algo excesivo	Moderadamente rápido	Moderadamente lento	Baja
Pachacamac Salino	Terrazas medias y altas y llanura aluviales (0 – 2%)	Arena franca	Profundas, de textura gruesa con acumulación de sales, pH = 7,9	Moderado	Moderado	Moderadamente lento	Baja
Pachacamac imperfectamente drenado	Terrazas medias y altas y llanura aluviales (0 – 2%)	Arena franca	Tabla de agua entre 0.8 a 1.3m, pH = 7,9	Imperfecto	Moderadamente lento	Moderadamente lento	Baja
Cieneguilla ligeramente inclinado	Terrazas medias y altas y llanura aluviales (2 – 5%)	Arena franca	Gravo y guijarro angular 10 – 15%, pH = 7,9	Algo excesivo	Moderadamente lento	Moderadamente lento	Baja

**Fuente:** Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA.

#### d) Hidrología:

La Zona del proyecto se encuentra comprendida dentro de la Cuenca Hidrológica del río Lurin que tiene su origen en el nevado Zurococha, a 5000 m.s.n.m., alimentándose con las precipitaciones que caen en la parte alta de su cuenca colectora y con los deshielos de nevados que existen en la cuenca. El río cuenta con un área de drenaje total de 1698 km<sup>2</sup>, recorriendo una distancia total de 106 Km. y presentando un pendiente promedio de 4.72%. El cauce principal en su inicio toma el nombre del río Chalilla, y al juntarse este con la quebrada Taquia cambia al nombre de Lurín. Recibe en su recorrido el aporte de numerosos ríos y quebradas siendo lo más importante: Taquia, Lahuaytambo, Langa, Sunicancha, y Tinajas, por la margen izquierda; y Chamaca, por la margen derecha. En el siguiente cuadro se resumen las características de la red hidrográfica de la cuenca.

**CUADRO N° 2.4**  
**RED HIDROGRAFICA DE LA CUENCA DEL RÍO LURÍN**

Nombre de río	Extensión de la Cuenca (Km <sup>2</sup> )			Longitud (Km.)	Pendiente (%)
	Húmeda	Seca	Total		
Lurin	833	865	1698	106	4.72
Chalilla	122	-	122	29	7.59
Taquila	159	-	159	26	8.46
Sunicancha	32	-	32	12	17.50
Lahuaytambo	65	3	68	19	14.47
Chamaca	73	13	86	18	15.56
Langa	164	7	171	39	7.82
Tinajas	8	184	192	30	9.07

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA.

El río Lurin, forma un pequeño valle localizado en la parte Sur de Lima Metropolitana. El área del terreno donde se ha construido el camposanto limita por el Este con este río. El Nivel Medio Mensual (m) del río Lurin, se obtuvo de información proporcionada por SENAMHI, datos correspondientes a la Estación Meteorológica ANTAPUCRO / H-203003 / DRE-04.

LAT : 12° 02' "S"                      DPTO : LIMA  
 LONG : 76° 38' "W"                    PROV : HUAROCHIRI  
 ALT : 1300msnm.                        DIST : ANTIOQUIA

La mencionada estación fue instalada en Octubre de 1968, mediante convenio ex ONERN – SENAMHI, con el propósito de determinar la disponibilidad del agua para riego en la cabecera del río Lurín, mostrando la siguiente información:

### CUADRO N° 2.5

#### DISPONIBILIDAD DE AGUA DE RIEGO EN LA CABECERA DEL RÍO LURÍN

Año 2000 Mes	Nivel Medio Mensual (m)
Enero	0,75
Febrero	0,80
Marzo	0,83
Abril	0,71
Mayo	0,55
Junio	0,48
Julio	0,50
Agosto	0,52
Setiembre	0,48
Octubre	0,56
Noviembre	0,49
Diciembre	0,66

**Fuente:** Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA.

Como se aprecia el nivel medio mensual mínimo se presentó en los meses de Junio y Setiembre del 2000, y fue de 0.48m; mientras que el nivel máximo fue de 0.83m y se presentó en el mes de Marzo 2000, en épocas de lluvia.

Cabe anotar que según los registros históricos, el máximo aforo que se ha presentado en el río Lurin fue de 84,800 m<sup>3</sup>/mes y se presentó durante el Fenómeno El Niño, periodo Noviembre 1997 Abril 1998.



**Foto Nº 2:** río Lurin en el entorno del cementerio, se arroja basura y se lavan plásticos.

### **2.3.2.2 Ambiente Biológico**

#### **a) Ecología:**

El valle del río Lurín, se encuentra dentro de la formación Desierto Sub.-Tropical. Esta formación se encuentra ubicada en la parte baja de la región, entre el litoral y los 800 m.s.n.m. aproximadamente,

abarcando una extensión del orden de los 2090 km<sup>2</sup>, desde el punto de vista térmico el área no presenta problemas para la agricultura, en lo que respecta a las lluvias, la falta de estas obliga a realizar toda la actividad agrícola bajo riego. Específicamente Pachacamac, esta ubicado a 75 msnm.

Topográficamente, la formación presenta dos partes bien definidas: una plana a ligeramente ondulada que comprende el valle agrícola, las pampas eriazas y áreas hidromórficas y salinizadas, y la otra fuertemente accidentada, que corresponde al sector de las montañas; sin embargo encierra también pequeñas áreas planas, tanto a lo largo de los ríos como de sus quebradas afluentes.

La combinación del factor climático con el topográfico ha dado lugar a la formación de suelos de diferente origen y grado de fertilidad, caracterizándose el área agrícola del lugar por tener suelos aluviales de textura fina a gruesa con drenaje pobre a muy pobre, con un contenido de sales de moderado a alto y fertilidad baja.

Sobre las áreas donde ha sido factible la aplicación de riego, se ha desarrollado una agricultura variada altamente intensiva y tecnificada, mientras que en las partes de las áreas planas aledañas al río y en las quebradas encerradas en el sector montañoso, la actividad agrícola observada es generalmente de subsistencia y en muy pocos casos semi intensiva, debido principalmente a las dificultades topográficas para una buena aplicación del riego.

El área de valle de Costa (59 450 Ha), a la que pertenece el área en estudio, es la que edáficamente cuenta con mejores recursos de suelos para agricultura. En este sector de valle de Costa, es necesario indicar el grave problema que significa la utilización de la áreas

agrícolas con fines de expansión urbana, fenómeno que se ha intensificado en los últimos años como consecuencia del constante aumento de la población de la ciudad capitalina y sus alrededores, ocasionando por otro lado, una disminución en el abastecimiento de productos agropecuarios para satisfacer la demanda de la población.

**CUADRO N° 2.6**  
**FORMACIÓN ECOLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO LURÍN**

Formaciones Ecológicas	Altitud m.s.n.m.	Sectores de Uso
Desierto Sub. Tropical	0 – 800	Área de valle
	600 – 800	Área agrícola de quebrada
	0 – 600	Pampas eriazas
	0 – 600	Colinas per – ácidas

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA.

**b) Fauna:**

Los recursos animales de la costa están formados por las que viven en el monte ribereño: las aves que viven en las albuferas, como la de medio mundo en los Pantanos de Villa; por los peces que viven en ellas o por los camarones de los ríos de la Costa. Asimismo, en el valles de la costa viven numerosas especies de aves, destacando entre éstas las palomas, las tórtolas, el perico, el picaflor, el chivillo, el chaucato, el chilalo, etc.

**c) Flora:**

En el valle del río Lurín se identifican las siguientes variedades florísticas:

Hortalizas: zapallo, ají, cebolla, tomate, vainita, arveja, coliflor, alcachofa, col, apio, poro, lechuga, betarraga, sandia, etc.

Cultivos perennes: vid, fresa, flores, pomoideos, mango, ciruela, granada, alfalfa, gramíneas, etc.

Cultivos extensivos: camote, maíz, chala, maíz grano, algodón, frijol, papa, yuca, pallar, arveja, etc.

Bosques: rodales de casuarinas y eucaliptos, bosques secundarios ribereño (carrizales).



Fotos Nº 3: flora que predomina en el entorno del cementerio

### 2.3.2.3 Ambiente Socioeconómico

#### a) Población:

Pachacamac, abarca un área de 160.23 Km<sup>2</sup>. Según el INEI, la población y tasa de crecimiento proyectada del distrito es la siguiente:

Proyección Población 2000-2005						
Distrito	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Pachacamac	31 375	32 485	33 392	34 184	34 950	35 778
Tasa de crecimiento	4.6%	3.5%	2.8%	2.4%	2.2%	2.4%

Fuente: INEI, proyección considerando censo 1993

En un 81% la población de Pachacamac es urbana y el 19% restante es rural. Cabe anotar que en el periodo 1992-2002 la

población se incrementó en 77% mientras que la densidad poblacional paso de 100 a 213.3 hab./Km<sup>2</sup>.

**b) Viviendas:**

Respecto al número de viviendas, durante el pre-censo 1999 se estableció que la situación era la siguiente:

<b>Centros Poblados Pachacamac</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Área</b>	<b>Categoría</b>	<b>Viviendas</b>
Pachacamac	Urbana	Ciudad	12 735
Jato Sisa	Rural	Caserío	20
Cardal	Rural	Caserío	50
Santa Rosa de Malpaso	Rural	Caserío	30
Manchay Bajo	Rural	Caserío	34
Invasión (Cementerio)	Rural	Caserío	20
Pampa de Flores	Rural	Caserío	50
Tambuinga	Rural	Caserío	90
Puente Manchay	Rural	Pueblo	40

Fuente: INEI, pre-censo 1999

**c) Aspectos Económicos:**

Según el Directorio de Negocios 1996, del INEI, la Población Económicamente Activa de Pachacamac fue de 39% de la población total, de los cuales: el 24% son trabajadores no calificados y 12% se dedican a la agricultura. La Actividad Predominante es El Comercio. El 55% de tierras se destinan para usos agropecuarios, principalmente crianza de caballos. Entre los años 2000-2002 se generó una reducción del valor de producción agrícola en un porcentaje de 48%.

**d) Infraestructura:**

**Servicios Básicos.-**

La provisión de servicios básicos en Pachacamac, al 2000, era la siguiente:

Descripción	% Población Total
Población sin agua potable	83.29%
Población sin desagüe	89.10%
Población sin electricidad	67.00%

Fuente.- Mapa de Pobreza 2000 – FONCODES.

Los volúmenes de Consumo de Agua Potable, en miles de metros cúbicos, entre los años 2004 y 2005, fueron los siguientes:

Año 2004					
Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
16	16	16	16	16	16

Año 2005									
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.
41	21	22	22	54	20	19	18	19	25

Fuente: Centro de Servicios de Villa El Salvador SEDAPAL.

Respecto a residuos sólidos, en el Compendio Estadístico 2002 – INEI, se señala que el año 2001 se generó 5,250 Tn de estos desechos, de los cuales 3,500 Tn tienen una disposición final conocida y el resto pasan a conformar los botaderos que se observan en Pachacamac.

### **Infraestructura Educativa.-**

Según el Mapa de Pobreza 2000 – FONCODES, el número de alumnos era de 5,895 y las aulas en uso eran de 178, lo que daba una cantidad de alumnos por aula de 33.12. El déficit de aulas era de 19 y el porcentaje de alumnos con déficit era de 9.41%. Según el Ministerio de Educación, los beneficiarios de sus programas asistenciales durante los años 2003–2004, se distribuyeron de la siguiente manera:

<b>Programas Sociales</b>	<b>Año 2003</b>	<b>Año 2004</b>
Desayuno Escolar	--	2410
Textos Útiles Escolares	4500	4821
Seguro Escolar	--	7011

### **Infraestructura de Salud.-**

Según el Mapa de Pobreza 2000 – FONCODES, la población por Posta era de 2,095 y el número de postas equipadas era de solo 15. El déficit de Postas era 16 y el porcentaje de población con déficit era de 52.28%.

En conclusión, según el Mapa de Pobreza FONCODES y de UNICEF, Pachacamac es el único distrito muy pobre de Lima. Algunos índices, considerando los datos consignados en el Censo INEI-1993 y el Censo Escolar MINIEDU-1993, se anotan a continuación:

- Hogares pobres: 8 de cada 10.
- Analfabetismo: 6.4% (provincia de Lima: 3.9%).
- Sin redes desagüe: en Centros Poblados Rurales y en Quebrada de Manchay.
- Desnutrición: 38.5% (niños de menos de 8 años).
- Ausencia escolar: 7.4% (niños de menos de 8 años).
- Trabajo Infantil: 10.2% (niños entre 6 y 14 años).
- Educación Superior: 17.5% (entre 15-24 años)
- Ocupación Juvenil: 55% (entre 15-24 años)

- Mujeres analfabetas: 10 de cada 100, en contraste con el 3 de los varones.
- Mujeres trabajando fuera del hogar: el 29.7%.

### **2.3.3 Formas de Transmisión de Contaminantes**

A continuación se señalan sucintamente las formas analizadas de transmisión de contaminantes en el medio subterráneo, entre los que encuentran los líquidos lixiviados generados por descomposición de cuerpos sepultados bajo suelo. Las cuatro primeras corresponden a formas idealizadas de transmisión de contaminantes, mientras que la última corresponde a la forma no idealizada o real.

- a) La primera corresponde al flujo a través de medios porosos, que es tortuoso y que genera una fuerte dispersión por lo que el reparto de sustancias contaminantes se realiza hacia zonas que normalmente no ocuparían.
- b) La segunda se refiere a que si los contaminantes se trasladarían a flujo continuo y en concentraciones constantes, el agua receptora se encontraría libre de contaminantes sino se produjera la dispersión, y estaría en esa situación hasta que el frente contaminante alcanzara el flujo de salida de la muestra de agua.
- c) La tercera, corresponde al traslado y expansión de sustancias contaminantes en el medio subterráneo. En este caso se forma una estela que se traslada y se expande según si el origen se encuentre en un foco puntual continuo de suministro o aparezcan estelas alternativas provocadas por hechos aislados como por ejemplo otros vertidos. La dispersión longitudinal de la estela queda oculta debido al transporte advectivo.
- d) En la cuarta, se considera el traslado de contaminantes según el experimento de Darcy, pero sin diferencia de carga hidráulica entre los extremos de las muestras. Debido a ello: el gradiente

hidráulico, el flujo de Darcy y el traslado advectivo, equivaldrían a cero; pero por la gradiente química de concentración, los contaminantes se trasladarían a concentraciones inferiores a 1.0 en el otro extremo, dependiendo esto del volumen y la concentración del contaminante y el volumen de arena y agua empleada en el experimento.

- e) En realidad existen una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que afectan el traslado de sustancias contaminantes hacia las aguas subterráneas. Existen asimismo procesos mecánicos y condiciones especiales que afectan los procesos normales de flujo, como los medios con fisuras, la heterogeneidad y los flujos líquidos en fase no acuosa.

#### **2.3.4 Características de los Lixiviados**

Respecto a los líquidos lixiviados resultantes de la descomposición de cuerpos sepultados bajo suelo, estos se caracterizan por ser soluciones acuosas ricas en sales minerales y sustancias orgánicas degradables, de color castaño-aceitunado, más viscosas que el agua, polimerizables, de olor fuerte y pronunciado, con elevado grado de toxicidad y patogenicidad, bastante soluble en agua a un pH entre 5 a 9 y temperatura de 23° C a 28° C. Su nivel de toxicidad depende de la presencia de compuestos orgánicos y de la carga viral patogénica del cuerpo inhumado. Su volumen puede llegar hasta los 40 litros por cada adulto de 70 kilos de peso y su constitución comprende: 60% de agua, 30% de sales minerales y 10% de sustancias complejas nitrogenadas como la putrescina y la cadaverina.

En lo que respecta a metales, cuando los lixiviados provenientes de descomposición de cadáveres contienen zinc, cobre, fierro, manganeso, cromo, plata y aluminio, se deben a su liberación a partir

de la destrucción de los ataúdes enterrados dado que estos son fabricados con materiales como: tintas, barnices, sellantes, dobleces, frisos y adornos.

# **CAPITULO III**

## **METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

### **3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación, según el tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de información es del tipo retrospectivo ya que se cuenta con una data de años pasados y se tomaron datos de allí para adelante.

Según el análisis y alcance de los resultados el tipo de la investigación es experimental porque se determinara en que puntos del área en estudio, y se analizara con que elementos, se está contaminando el acuífero del río Lurín, y es de nivel explicativo ya que sabremos por que y cuales son las causas del fenómeno.

#### **3.1.1 Cobertura del Estudio**

##### **a) Muestra, unidades de análisis:**

Las muestras inicialmente consideradas y analizadas constituyeron la línea de base que permitió determinar la densidad de muestras a tomar en este proyecto, la red de muestras a usar y el tipo de muestras que se van a tomar. Las muestras se tomaron en dos zonas:

- 1) En el pozo de agua que se encuentra dentro de los linderos del camposanto.
- 2) En los pozos de agua ubicados dentro del área de influencia del camposanto.

Las muestras fueron tomadas directamente en el campo, se llevaron a laboratorio para análisis y los resultados se registraron en fichas y tablas.

**b) Ámbito geográfico:**

La extensión del área de influencia comprende la totalidad del lugar donde se asienta el camposanto y los 12 pozos de abastecimiento ubicados lo más próximo posible a él, lo que abarca un área de 154 Ha. cuyos vértices están entre las coordenadas geográficas UTM siguientes:

293 500 N	295 500 N
8 648 500 E	8 646 500 E

La zona se caracteriza por ser de terreno netamente de cultivo, aunque en la actualidad no se le da ese uso. Las plantaciones que existen son producto de las siembras de los anteriores propietarios. Según información de los pobladores de la zona, el terreno en estudio fue utilizado para el cultivo de diferentes tipos de tubérculos, verduras, hortalizas y frutas, tales como papa, camote, yuca, tomate, choclo, brócoli, coliflor, zapallo, manzana, plátano, etc.

Para llegar a la zona del proyecto se puede ingresar por la Av. Lima, a la altura de la cuadra 20, de allí se continúa por la Av. Zarumilla, la cual se intercepta con la Calle Sáenz Peña, y donde se inicia la Av. Las Palmas que es una vía principal del lugar.

La distancia total de recorrida desde el desvío de la Av. Lima hasta el futuro Camposanto es de aproximadamente 3 Km. La distancia desde la capital distrital a la capital provincial, usando la principal vía de acceso, es de 30 Km. que se pueden recorrer en un tiempo aproximado de 1 hora y 45 minutos.

**c) Período de análisis:**

El trabajo de gabinete se inició desde la recolección de información hasta por el año 2000. El período de campo, es decir la recolección de las muestras de agua e identificación de componentes, se realizó entre los años 2000 a 2006. En el cronograma que se presenta a continuación están anotados las actividades y tiempos de realización del estudio.

Actividad	Años						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Recopilación información	■						
Análisis de muestras de agua potable	■						
Consultas a personas y especialistas				■			
Análisis de características del suelo					■		
Tramites para presentación de tesis							■

**3.1.2 Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos**

En este proyecto las fuentes a utilizar son primarias (observación directa y llenado de fichas) y secundarias (realización de análisis).

### **3.1.3 Procesamiento y presentación de datos**

Para la elaboración y presentación preliminar de los datos se utilizan varios programas especializados como el Autocad 2000, Corel Draw 11, además de hoja de calculo Excel para las tablas y base de datos.

Los planos del Instituto Geográfico Nacional sirvieron para proyectar toda la data, los cuales previamente fueron escaneados y se digitaron las principales características del acuífero de la cuenca del río Lurín, lo cual servirá de plano base dando una serie de capas para cada elemento a analizar.

### **3.1.4 Análisis e interpretación de datos**

Con los resultados obtenidos se prepararon tablas conteniendo los datos que manejamos con nuestras variables establecidas, las cuales nos ayudaron a analizar adecuadamente el problema. En dichas tablas se establecieron comparaciones con datos anteriormente analizados, lo que permitió analizar el incremento de la concentración de contaminantes en dichas aguas. La comparación con valores máximos permisibles y estándares contenidos en normas internacionales, permiten determinar el grado de contaminación de las aguas subterráneas.

## **3.2 TÉCNICAS DE MUESTREO**

### **3.2.1 Selección de parámetros y puntos de muestreo**

En el Plano UP-1 se muestran los 12 pozos del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima -SEDAPAL- que están dentro del área de influencia del camposanto, y que han sido considerados como estaciones de monitoreo.

Respecto a los parámetros, ya que el uso de las aguas de estos pozos profundo califica en la Clase I de la Ley General de Aguas y sus Reglamentos, se consideraron como parámetros físico, químicos y bacteriológicos principales los siguientes: Turbiedad, pH, Conductividad, Dureza Total, Sulfatos, Cloruros, Nitratos, Sólidos Totales Disueltos, Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y Colonias Heterotróficas.

### **3.2.2 Métodos y técnicas de recolección de muestras**

#### **A) Análisis físico químico:**

Para la toma de muestras de agua para análisis físico químico se llevaron en un estuche frascos de vidrio y plásticos de muestreo. El procedimiento fue el siguiente:

- Antes de proceder a la toma de muestras se esteriliza la boca de purga del pozo para matar cualquier tipo de bacteria que pudiera encontrarse allí, o de lo contrario, se dejó correr el agua por más de un minuto.
- Luego de estar seguro que el agua corresponda a la muestra representativa, se tomó un volumen adecuado de líquido en el frasco, teniendo cuidado de dejar espacio suficiente de aire
- Colocar la tapa del frasco, identificar y luego anotar en las tarjetas los datos solicitados relativos a la muestra.
- Los frascos con las muestras se colocaron en el estuche y se llevaron al laboratorio de SEDAPAL para su análisis.
- De acuerdo al parámetro a determinar, se tuvo en cuenta el volumen mínimo de muestra, el preservante que se utilizó y el tiempo de almacenamiento. En el cuadro N° 3.1 se anotan estas consideraciones.

## **B) Análisis biológico:**

Para la toma de muestras se utilizó un estuche hermético refrigerado conteniendo frascos estériles de muestreo. El procedimiento que se siguió es el siguiente:

- Antes de proceder a la toma de muestras se esterilizó la boca de la purga del pozo para eliminar cualquier tipo de bacteria que pudiera encontrarse allí, o de lo contrario, se dejó correr el agua por más de un minuto.
- Luego de estar seguro que el agua corresponde a la muestra representativa, se tomó un volumen adecuado de líquido en el frasco estéril, teniendo cuidado de dejar espacio suficiente de aire.
- Se colocó la caperuza de papel, se le identificó y luego se anotó en una tarjeta los datos solicitados relativos a la muestra.
- El frasco con la muestra se colocó en el estuche y se envió al laboratorio para su análisis el cual deba llegar antes de las 12 horas.
- En el laboratorio se utilizó tubos de prueba conteniendo medios de cultivo selectivos en donde crecen los organismos coliformes y que se manifiestan por la formación de gas en el interior de un pequeño tubito.
- De acuerdo al parámetro a determinar, el volumen mínimo de muestra, el preservante que se utilizó y el tiempo de almacenamiento se anotan en el Cuadro N° 3.2:

**CUADRO N° 3.1**  
**VOLUMÉN MÍNIMO, TIPO DE RECIPIENTE, PRESERVANTE Y TIEMPO**  
**DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

Elementos	Volumen Mínimo	Recipiente	Tiempo De Almacenamiento
Turbiedad	100 ml	P o V	28 días
pH	100 ml	P o V	28 días
Conductividad	100 ml	P o V	28 días
Dureza Total	100 ml	P o V	28 días
Sulfatos	100 ml	P o V	28 días
Cloruros	100 ml	P o V	28 días
Nitratos	100 ml	P o V	28 días
Sólidos Totales Disueltos	100 ml	P o V	28 días

**CUADRO N° 3.2**  
**VOLUMEN DE MUESTRA, TIPOS DE RECIPIENTE Y PRESERVANTE,**  
**TIEMPO DE ALMACENAMIENTO**

Parámetros Microbiológicos	Volumen Mínimo	Recipiente	Preservante	Tiempo de Almacenamiento
Coliformes Totales (FM)	100 – 500 ml	V o P	Refrigerar y Tiosulfato de sodio	Máximo 6 hrs.
Coliformes Fecales (FM)	100 – 500 ml	V o P	Refrigerar y Tiosulfato de sodio	Máximo 6 hrs.
Recuento Total (Bacterias Heterotróficas)	100 – 500 ml	V o P	Refrigerar y Tiosulfato de Sodio	Máx. 24 hrs. congelado

\* P = Polietileno

\* V = Vidrio

\* Se añade Tiosulfato de Sodio sólo si el agua contiene cloro residual.

### 3.2.3 Métodos de Ensayo de Laboratorio

En el siguiente cuadro se señalan los métodos de ensayo que se siguieron para la determinación de los diferentes parámetros considerados:

<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>METODOS</b>
Turbiedad	NTU	APHA 2130 B
pH a 20°C	Unidad de Ph	APHA 4500 H* B
Conductividad	Umhos/cm	APHA 2510 B
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	APHA 2340 C
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> /L	APHA 4500-SO <sub>4</sub> E
Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> /L	APHA 4500-Cl <sup>-</sup> C
Nitratos	mg N-NO <sub>3</sub> /L	APHA 4500-NO <sub>3</sub> B
Sólidos Totales Disueltos (180°C)	mg/L	APHA 2540 C
Coliformes Totales	NMP/100 mL	APHA 9221 B
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	APHA 9221 C
Colonias Heterotróficas	NMP/100 mL	APHA 9625 B

## **CAPITULO IV**

# **ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO EN EL ÁREA DE INFLUENCIA**

### **4.1 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA NAPA FREÁTICA**

El acuífero del valle de Lurín está constituido por depósitos aluviales del cuaternario reciente conformado por cantos rodados, gravas, arenas y arcillas, dispuestos en capas o entremezclados entre si.

### **4.2 EXISTENCIA DE POZOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**

Como se señaló anteriormente, en el Plano UP-1 se muestra la ubicación geográfica de los pozos de SEDAPAL que se encuentran en proximidades del cementerio Parque Ecológico “Parques del Paraíso” propiedad de Inversiones Prados Verdes S.A.C. en el distrito de Pachacamac, mientras que en el cuadro N° 4.1 se presenta las características técnicas y de explotación de los referidos pozos, incluyendo principalmente, la antigüedad, profundidad, nivel estático, nivel dinámico, régimen y volumen de explotación. De los 12 pozos existentes, uno se encuentra fuera de uso (P-345), 8 en funcionamiento y 3 en reserva, que entran en funcionamiento en épocas de estiaje y de déficit de agua en el Sector, uno de ellos se encuentra dentro de los linderos del cementerio (P-346).

### **4.3 CAPACIDAD Y VIDA ÚTIL DE LOS POZOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**

En el cuadro N° 4.1 se puede apreciar que la capacidad de extracción de los pozos operativos de SEDAPAL varía de 16 l/s á 60 l/s con regímenes de bombeo de 12 á 22 horas / día, haciendo un volumen total aproximado de 525,000 m<sup>3</sup> al mes.

La vida útil de los pozos está en función del promedio de vida útil de su estructura (25 años) y de las reservas de aguas subterráneas del Sector. En el valle de Lurín existe suficiente reserva para la explotación indefinida de las aguas subterráneas, en vista de que el acuífero se encuentra en equilibrio, evidenciado por la ausencia de tendencias al descenso constante del nivel de la napa.

Considerando que la vida útil de los pozos en cuanto a su estructura es del orden de los 25 años, según se muestra en el cuadro N° 4.2, el 75% de los pozos (9 pozos) tienen una antigüedad promedio de 9 años, quedándoles aún 16 años de vida útil, el 20% (2 pozos) tiene 21 años en promedio, quedándoles 4 años de vida útil y 5% (1 pozo) a sobrepasado su vida útil.

Sin embargo, teniendo en cuenta la suficiente disponibilidad de aguas subterráneas, al término de la vida útil de estos pozos se construirán otros de reemplazo próximo a los antiguos. De esta manera se tiene asegurado el abastecimiento de agua a la población servida en esta zona.

**CUADRO N° 4.1**  
**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DE EXPLOTACIÓN DE LOS POZOS EN EL SECTOR LAS PALMAS –**  
**PACHACAMAC - ENERO 2002**

POZO			Antig. años	Est. Oper.	Aforo (d-m-a)	Motor Eléctrico				Bomba				Válvula			Condiciones de Operación					Profund. Pozo	Horas. Día	Días Mes	Producción M3/Mes	N.E. al 21/01/2001 (m)		
N°	Nombre	Dirección				Mar	HP	Amp.	Vol.	Lg-Bm	Tipo	Marca	Modelo	D	Vw	Vt	N.E.	N.D.	P1	P2	Q							
329	José Tello 2	Pueblo Joven Julio C. Tello – Pachacamac	21	F	26/11/01	US	125	157	230	47.00	TV	BJ-6	12GL-6	8	22	22	13.95	20.20	102	95	30	70.50	14	31	47.819.00	17.56		
345	José Gálvez 1	Av. Las Palmas Esq. Av. Ferrocarril	34	A	05/12/01	(Fuera de Uso desde 01/12/1997)				TV											-	80.00			0.00	23.63		
346	José Gálvez 2	Av. Las Palmas S/N	19	Rse	10/09/01	US	125	446	220	42.57	TV	BJ-8	12GL-8	8			6.90				13	47.50			0.00	-		
483	José Gálvez 3	Fundo Las Palmas	11	F	26/11/01	IEM	30	26	446		TV			8	22	22	15.40	18.55	5	5	40	75.00	12	31	40.902.00	16.65		
671	Villa Salvador P-1	Ex Fundo Las Palmas	8	F	17/10/01	IEM	75	140	220	45.00	TV	BJ-8	12GM-3	8	22	22	5.35	16.90	42	40	50	80.00	17	31	92.813.00	8.17		
672	Villa Salvador P-2	Ex Fundo Las Palmas	8	F	17/10/01	IEM	60	109	220	45.00	TV	BJ-8	12GM-3	8	22	22	9.00	18.25	20	18	40	80.00	22	31	95.839.00	12.19		
673	Villa Salvador P-3	Ex Fundo Las Palmas	7	F	17/10/01	IEM	40	72	220	39.00	TV	BJ-8	10GM-4	8	22	22	7.35	13.50	22	18	33	80.00	17	31	51.869.00	9.75		
674	Villa Salvador P-4	Ex Fundo Las Palmas	7	Rse	08/06/01	IEM	40	66	220	39.00	TV	BJ-6	10GM-4	6	22	22	6.80	12.90	17	16	26	80.00			0.00	9.92		
675	Villa Salvador P-5	Ex Fundo Las Palmas	7	Rse	08/06/01	D	30		220	38.23	TV	BJ-6	10GL-3	6			9.15				17	50.00			0.00	12.67		
676	Villa Salvador P-6	Margen Derecha Río Turín	8	F	17/10/01	IEM	40	62	220	60.00	TV	BJ-6	10GL-7	6	22	22	11.85	16.80	25	24	16	80.00	17	31	18.194.00	17.68		
713	José Gálvez	Av. Las Palmas Esq. Av. Ferrocarril	5	F	26/11/01	D	100	208	220	63.92	TV	BJ-8	12CGL-8	8	22	22	9.00	23.70	148	148	60	76.50	20	31	147.951.00	1.48		
749	Cideproc	Fundo Las Palmas	8	F	26/11/01	US	180	159	440	50.00	TV	AMT-8	12L65-10	8	24	24	14.90	19.55	180	180	30	85.00	16	31	29.562.00	16.65		
TOTAL																						355						524,949.00

Fuente: Datos del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima – SEDAPAL. Elaboración propia.

**Leyenda:**

F : Funcionamiento

A : Fuera de Uso

Rse : Reserva con Equipo

TV : Equipo Turbia Vertical

S.U. : Equipo Sumergible

N.E. : Nivel Estático (m)

N.D. : Nivel Dinámico (m)

Lg-Bm : Longitud Columna de Bomba

P1 : Presión de Salida

P2 : Presión a la Red

Q : Caudal Instantáneo (l/seg)

D : Diámetro (pulg.)

**CUADRO N° 4.2**  
**VIDA UTIL DE LOS POZOS DE SEDAPAL**  
**SECTOR DE LAS PALMAS DISTRITO: PACHACAMAC**

<b>N° Pozo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Año Perforación</b>	<b>Antigüedad (años)</b>	<b>Vida Útil (años)</b>
329	Julio C. Tello 2	1980	22	3
345	José Gálvez 1	1968	34	0
346	José Gálvez 2	1982	20	5
483	José Gálvez 3	1990	12	13
671	Villa Salvador 1	1993	9	16
672	Villa Salvador 2	1993	9	16
673	Villa Salvador 3	1994	8	17
674	Villa Salvador 4	1994	8	17
675	Villa Salvador 5	1994	8	17
676	Villa Salvador 6	1993	9	16
713	José Gálvez P-4	1996	6	19
749	Cideproc	1993	9	16

**Fuente:** Datos del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima. Elaboración propia.

**Nota.-** En función a la duración de la estructura, se considera como vida útil promedio de los pozos perforados 25 años.

#### **4.4 COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DE LA NAPA**

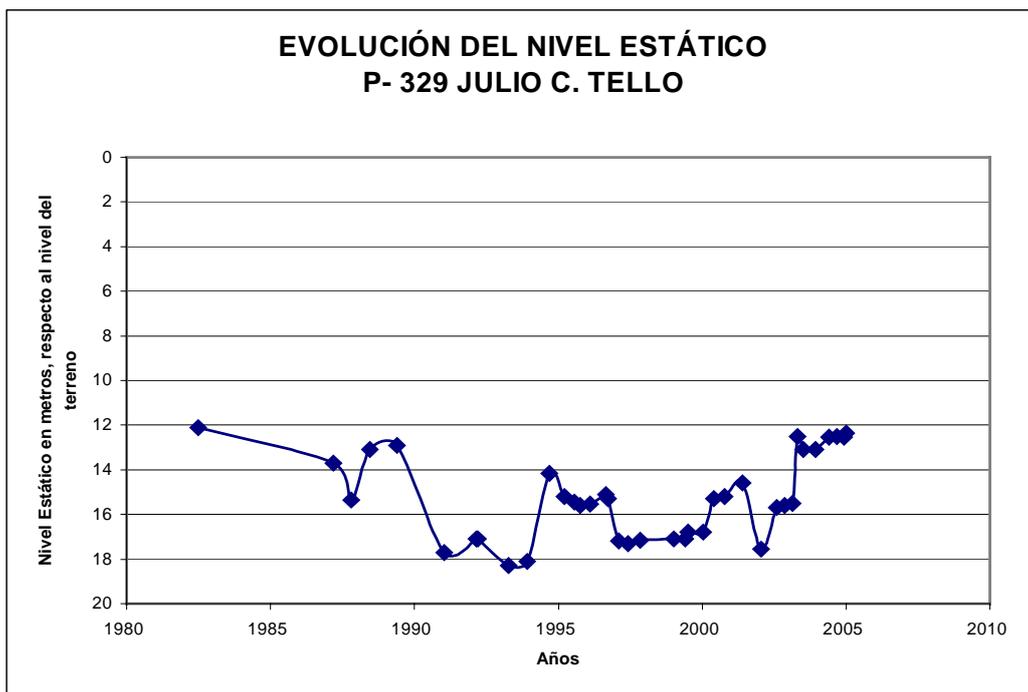
##### **4.4.1 Profundidad actual**

En el Plano CI-01 se presenta la Carta de Isoprofundidad del nivel de la napa a Enero del 2002, observándose que ella varía de Este a Oeste entre 0.0m a 20.0m. Dentro del área del cementerio “Parques del Paraíso” se encuentra entre 6.0m y 16.0m.

##### **4.4.2 Variación plurianual del nivel de la napa**

En los Gráficos del 1 al 10 se muestran los hidrogramas de los 12 pozos de SEDAPAL, representando la variación de los niveles de agua a través del tiempo, los que son registrados desde la fecha de construcción hasta la

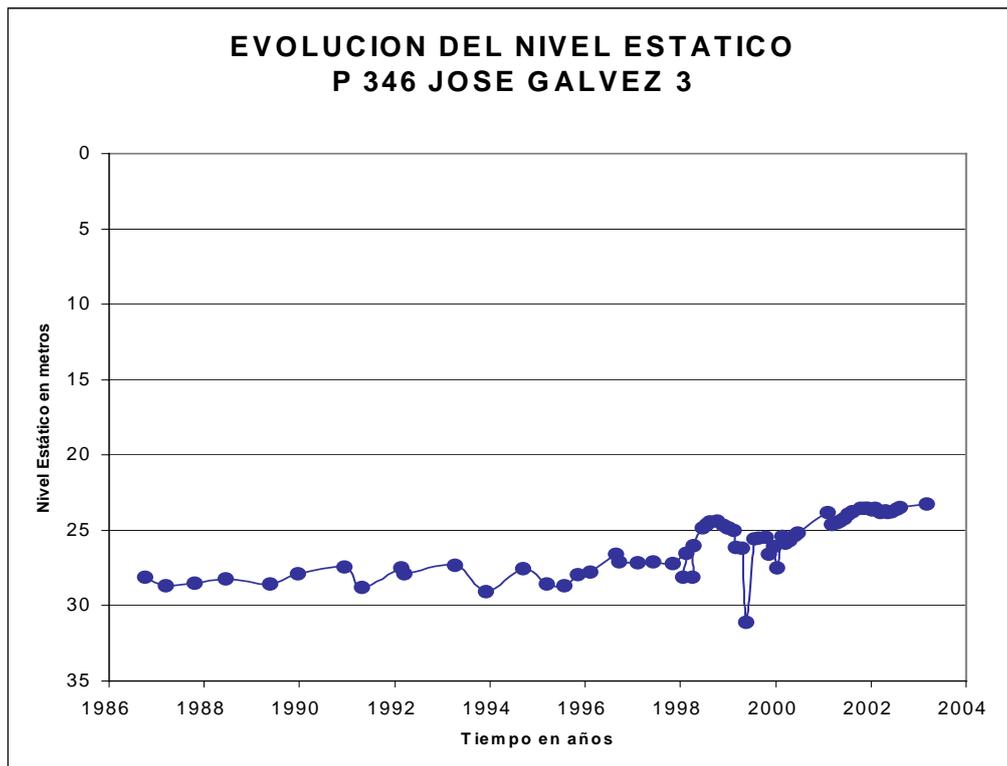
actualidad. El pozo más antiguo (P-329) es registrado desde 1982 el pozos que se encuentra dentro de los límites del cementerio (P-346) se registra desde 1986. Los pozos más recientes son controlados desde 1997 y en general se observa que existen variaciones plurianuales de magnitud importante que pueden llegar hasta unos 6.0m entre los niveles máximos y mínimos.



**GRÁFICO N° 01**

Comentario:

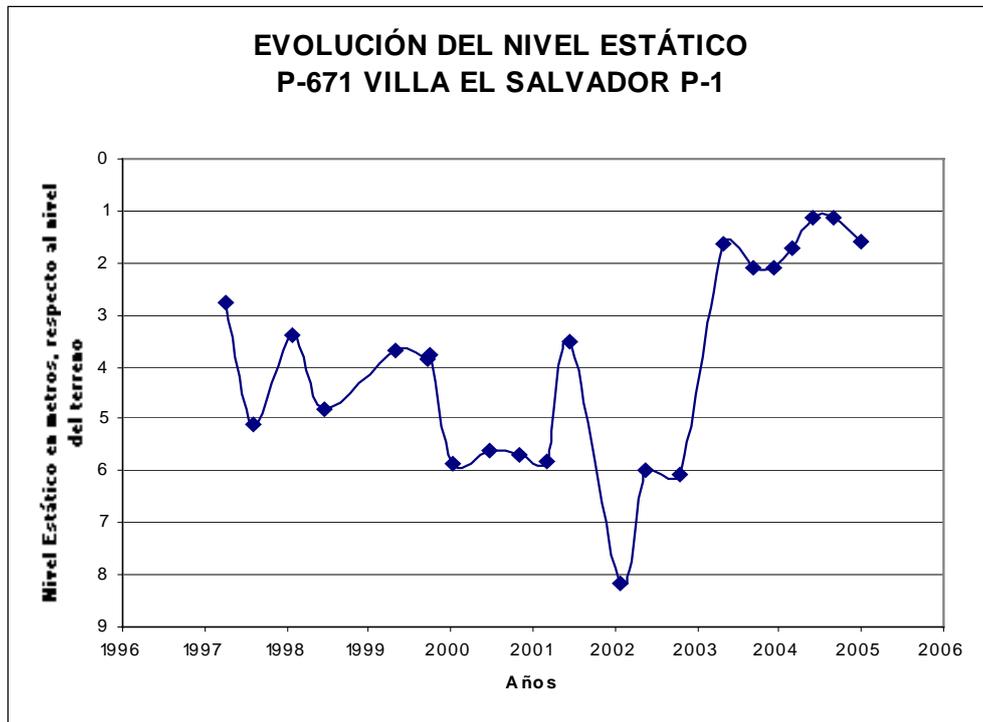
Este pozo se encuentra aguas abajo y al Oeste del camposanto, tiene una profundidad de 70.5 m, se extraen 18.5 l/s y funciona 14 horas del día. Cabe anotar que ya a cumplido su periodo de vida. El gráfico representa un pozo bastante explotado, por lo que su recuperación es bastante lenta. El nivel estático varía de 12.0 m a mas de 18.0 m. Las elevaciones intermedias corresponden a periodos que se deajo de extraer agua seguramente con la finalidad de posibilitar su recarga.



**GRÁFICO N° 02**

Comentario:

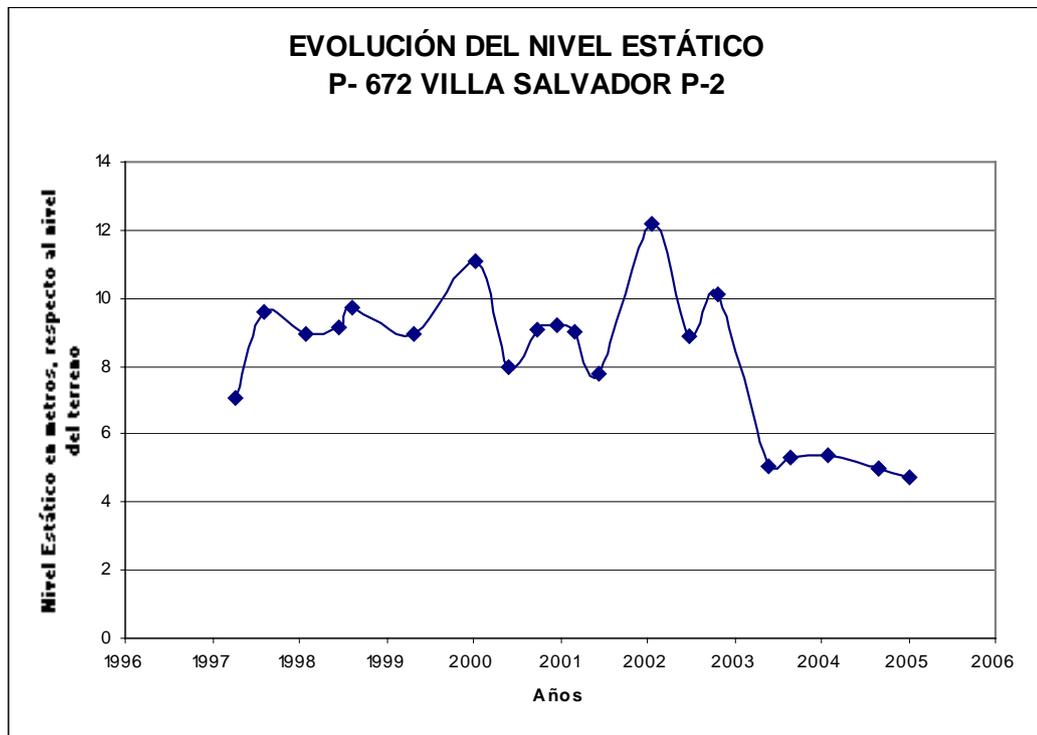
Se encuentra ubicado dentro del cementerio. Tiene 47.5 m de profundidad y es considerado de reserva. Ya ha cumplido su periodo de vida útil. Este hecho permite que el nivel estático, que varía entre 23 a 31 m, se vaya elevando lo que es señal de recarga sostenida del pozo.



**Gráfico N° 03**

Comentario:

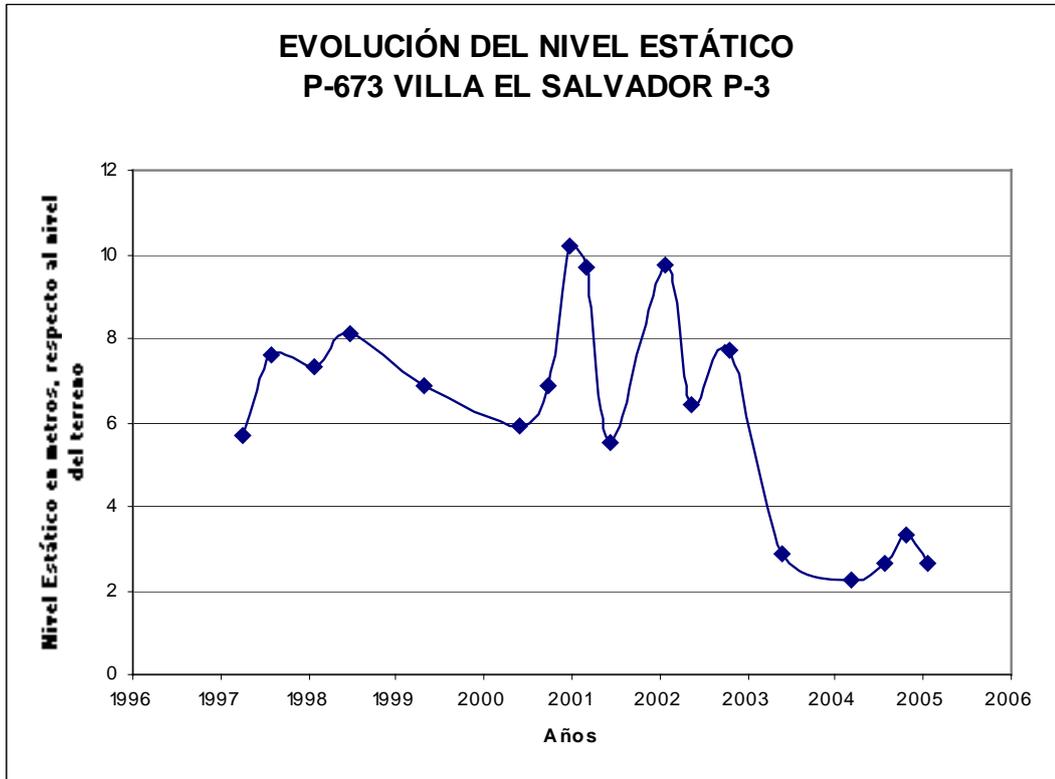
Se encuentra aguas abajo y al Sur Oeste del cementerio. Tiene una profundidad de 80 m, se extrae 35.8 l/s y funciona 22 horas al día. Su período de vida útil es de 15 años. Presenta periodos de carga y recarga muy diferenciados, a partir del 2002 la recarga es sostenida, lo que está posibilitando la recuperación del nivel estático que varía entre 1 a 8 metros.



**Gráfico N° 04**

Comentario:

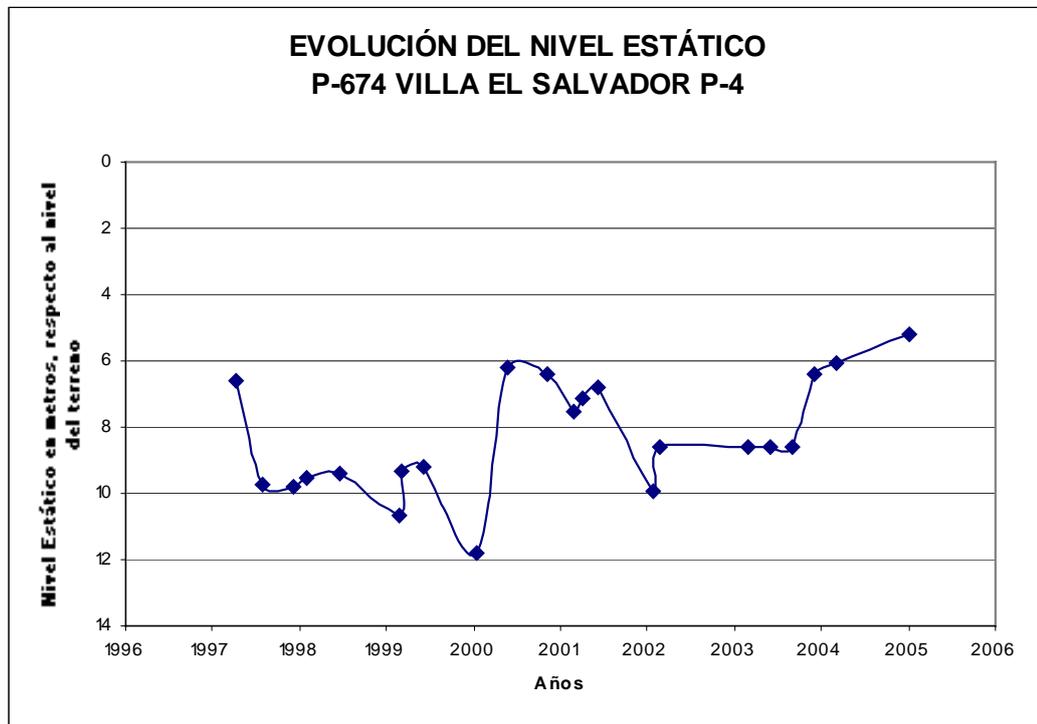
Ubicado aguas abajo, al Sur Oeste de cementerio. Tiene una profundidad de 80 m, se explota 37 l/s, funciona 22 horas/día y tiene 13 años de periodo de vida útil. El perfil denota un comportamiento muy errático, el nivel estático varia entre 5 a 12 metros.



**Gráfico N° 05**

Comentario:

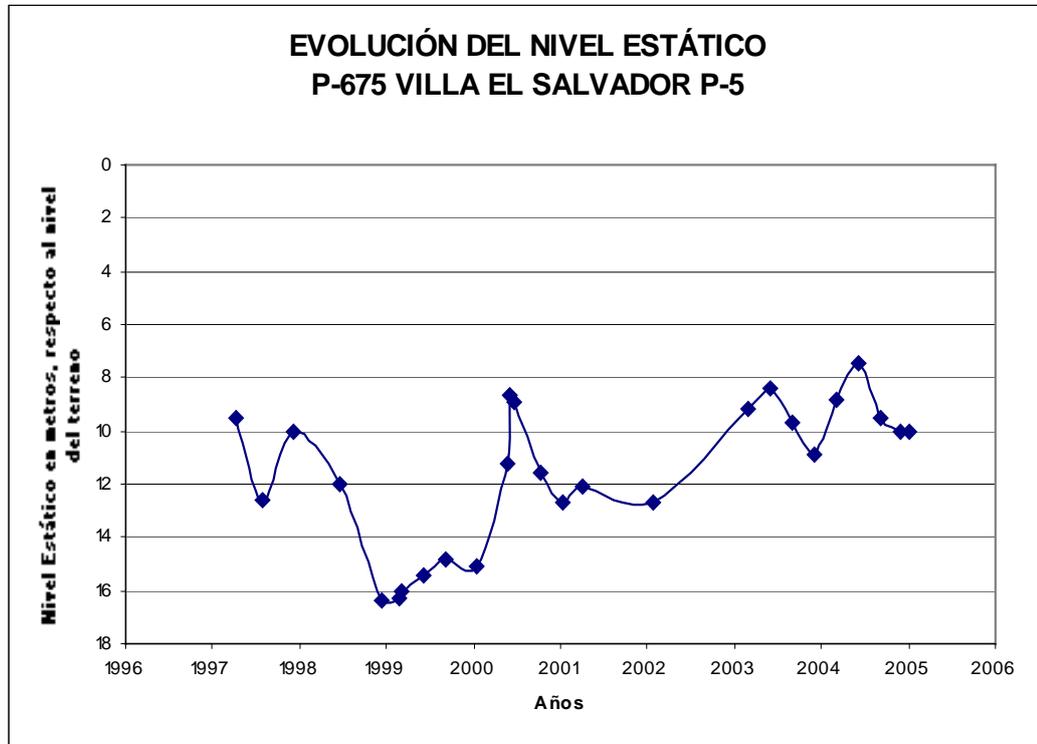
Ubicado aguas abajo, al Sur Oeste de cementerio. Tiene una profundidad de 80 m, se explota 20 l/s, funciona 17 horas/día y tiene 12 años de periodo de vida útil. También ha tenido un comportamiento muy errático, el nivel estático varía entre 2 a 10 metros aproximadamente.



**Gráfico N° 06**

Comentario:

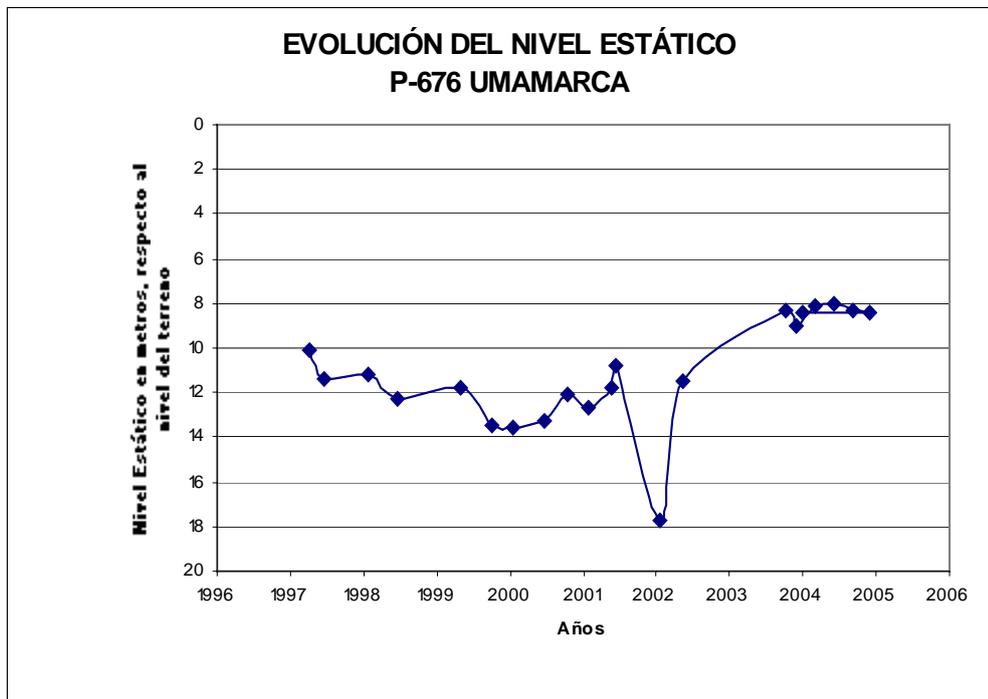
Ubicado al Este y aguas arriba del cementerio. Tiene una profundidad de 80 m. y un periodo de vida de 12 años. Se nota que inicialmente tuvo una gran explotación (1997 al 2000) y luego se ha ido recargando hasta recuperar su nivel freático original. El nivel estático varía de 5 a 12 metros.



**Gráfico N° 07**

Comentario:

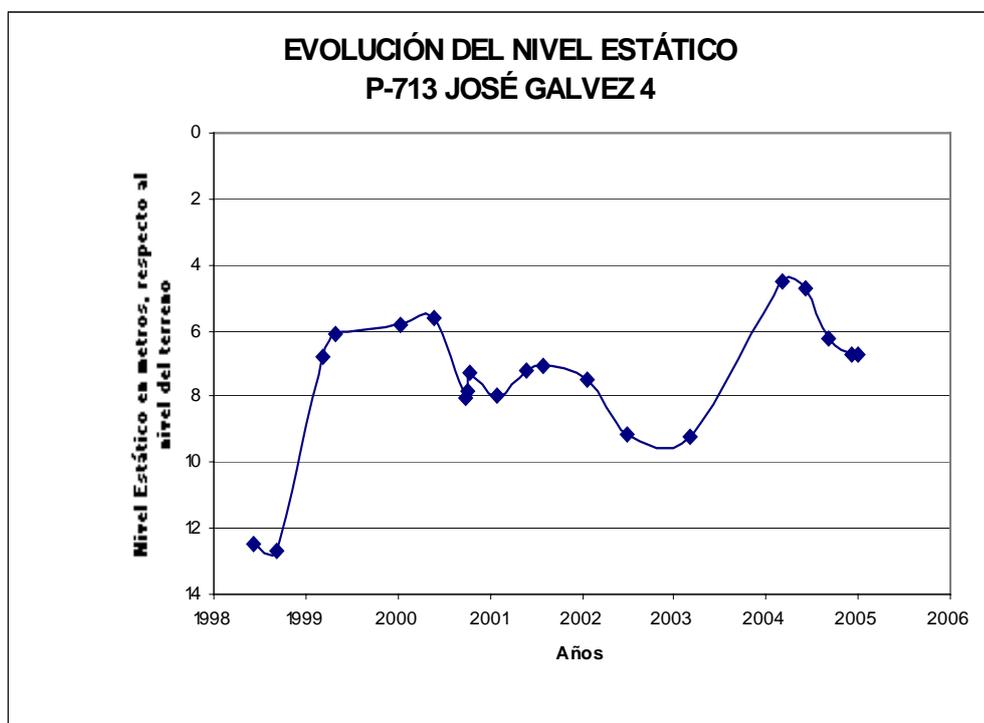
Ubicado al Nor Este, aguas arriba del camposanto. Tiene una profundidad de 50 m, 12 años de periodo de vida útil. Ha tenido niveles de explotación muy errática, pero con tendencia a recuperar su nivel estático. El nivel estático varía de 8 a 16 metros, aproximadamente.



**Gráfico N° 08**

Comentario:

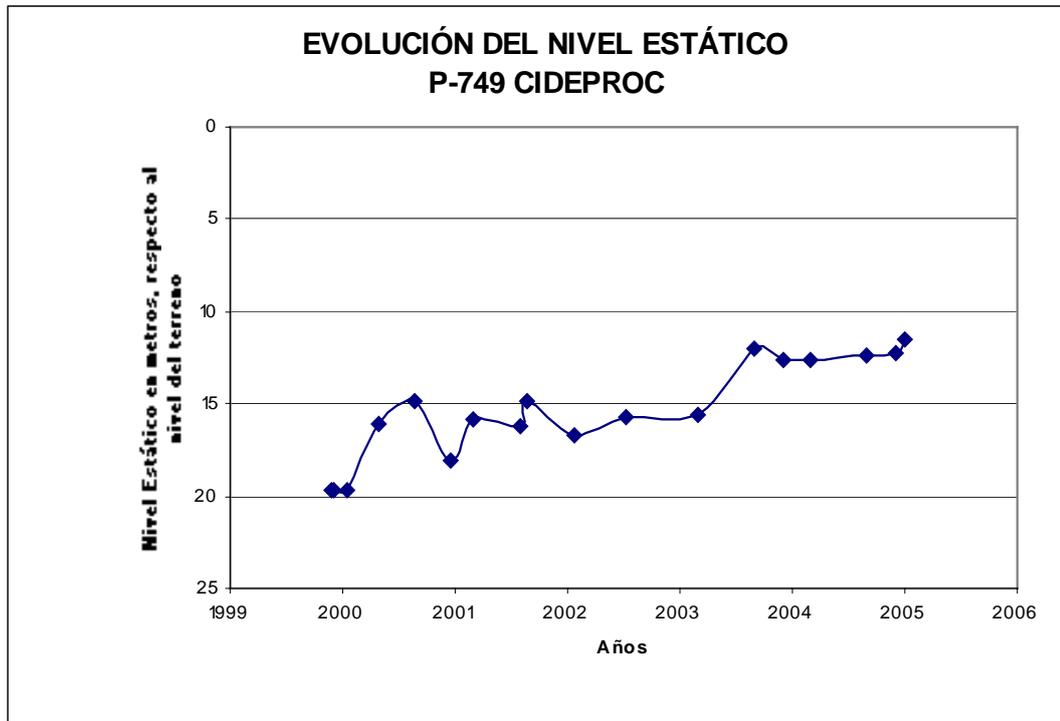
Ubicadas aguas abajo y el Sur Este del cementerio. Tiene una profundidad 80.0 m, se extraen 7 l/s, funciona 17 horas/días y tiene un periodo de vida útil de 13 años. Este pozo comenzó con una explotación racional hasta el año 2001 aproximadamente, entre el 2001 y 2003 se sobre explota el pozo, y a partir de allí hay un franco proceso de recuperación. El nivel estático varia entre 8 y 18 metros.



**Gráfico N° 09**

Comentario:

Ubicado aguas arriba y al Este del Cementerio. Tiene una profundidad de 76.5 m., se extraen 57 l/s, funciona 20 hrs. /día y tiene un periodo de vida útil de 10 años. Luego de 1 año de explotación intensiva, el pozo comenzó a recargarse y a recuperar un nivel estático normal (1991-2000) para luego seguir un periodo de explotación mayor (2000 a 2003) hasta que se esta consiguiendo su recarga. El nivel estática varía entre los 4 a 13 metros, aproximadamente.



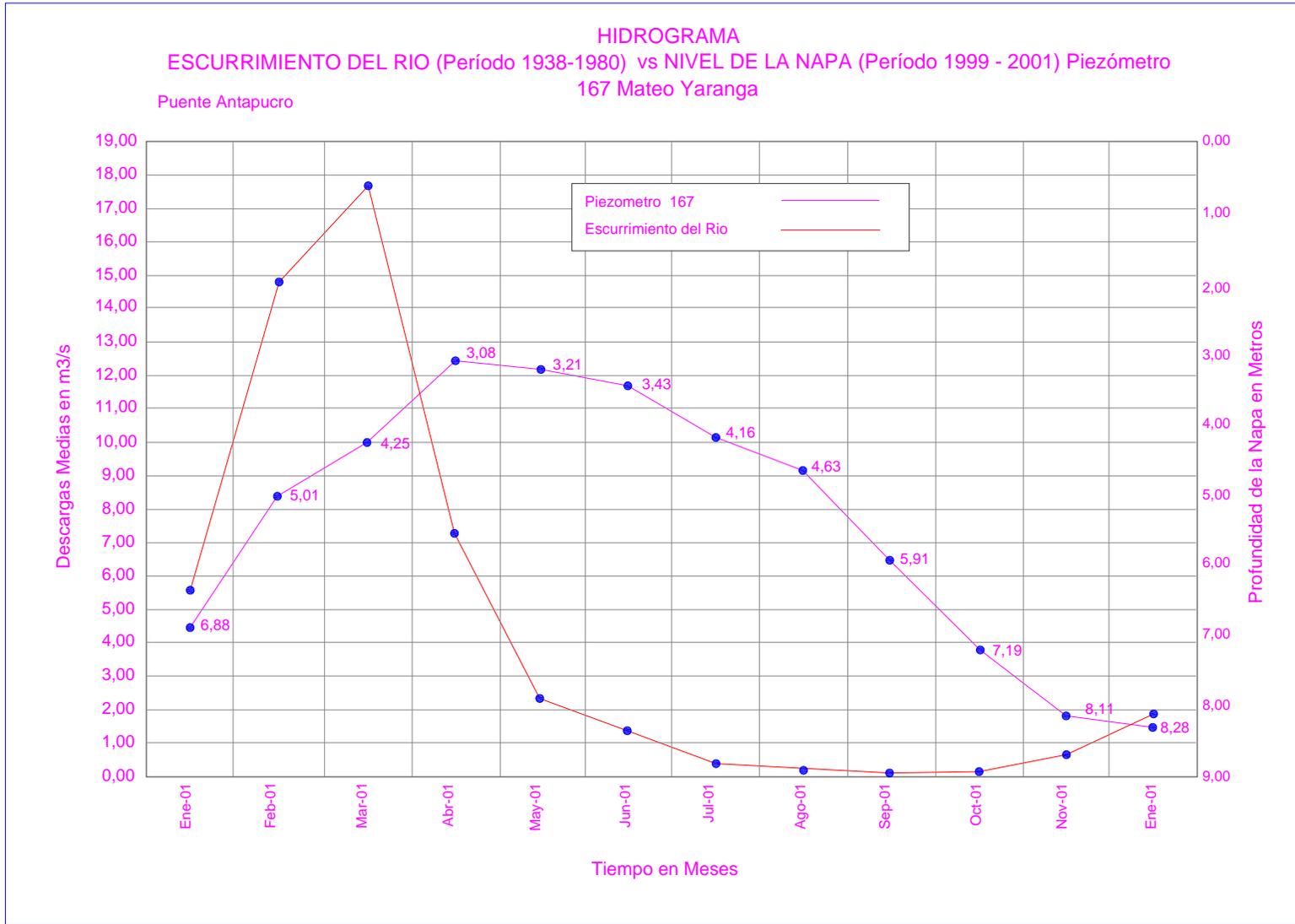
**Gráfico N° 10**

Comentario:

Ubicadas aguas abajo y el Oeste del cementerio. Tiene una profundidad de 85 m, se extraen 11.5 m/s, funciona 16 hrs. /día y tiene un periodo de vida útil de 13 años. Este pozo se esta explotando racionalmente de tal suerte que la recarga es sostenida y con tendencia a mejorar. El nivel estático varía de 11 a 20 metros.

#### **4.4.3 Variación mensual del nivel de la napa**

En el Gráfico N° 11 se ha representado la variación mensual del nivel de la napa obtenida en un piezómetro de observación (Pz-167) ubicado a 900m al NE del límite del camposanto Parque Ecológico “Parque del Paraíso”, en correlación con las descargas del río Lurín, fuente de alimentación de la napa. Allí se puede apreciar que las mayores descargas del río (5.5 á 17.8 m<sup>3</sup>/s) se producen entre los meses de Enero a Abril, llegando al máximo en el mes de Marzo, mientras que las menores descargas (<1 m<sup>3</sup>/s) entre Julio y Diciembre, llegando próximo a cero entre Agosto y Octubre. Bajo la influencia del comportamiento de las descargas del río Lurín, el nivel de la napa en el piezómetro de observación Pz-167 se eleva entre los meses de Enero y Abril, llegando a una profundidad del orden de los 3.0m en Abril, a partir de cuyo mes se produce un descenso moderado hasta Julio (4.0m), para luego descender con mayor velocidad hasta el mes de Diciembre en donde el nivel de la napa llega aproximadamente a 8.0m de profundidad.



Fuente: elaboración propia con apoyo del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL.

**GRAFICO N° 11**

#### **4.4.4 Sentido de escurrimiento de la napa**

Considerando la profundidad del nivel de la napa Enero del 2002 y las cotas topográficas del terreno en donde se ubican los pozos, se ha elaborado el Plano CH-1, en donde se observa la carta de Hidroisohipsas y el sentido preferencial del flujo subterráneo el que se produce de NE a SO pasando por el área del cementerio "Parques del Paraíso".

#### **4.4.5 Perfil litológico, características hidráulicas y análisis granulométrico**

Los perfiles litológicos de los pozos P-673 y P-675, ubicados inmediatamente aguas abajo y aguas arriba del área del cementerio "Parques del Paraíso", se aprecian en las Láminas N° 01 y N° 02 respectivamente. Como se aprecia, en ambos perfiles, en los primeros 5 a 10 metros de profundidad el terreno está constituido por arena, hormigón de río y piedras grandes y medianas (cantos rodados), de alta permeabilidad. Por debajo continúa la presencia de cantos rodados chicos, arenas gruesas y finas y un poco de arcilla, siendo en general material muy permeable. En la Lamina N° 03 se ha esquematizado un corte transversal del terreno pasando por el área del cementerio "Parques de Paraíso", correlacionando los perfiles litológicos de los pozos P-675 y P-673 descritos anteriormente, demostrando que dentro del terreno del referido cementerio también se encuentra el material descrito, lo cual facilita la infiltración vertical.

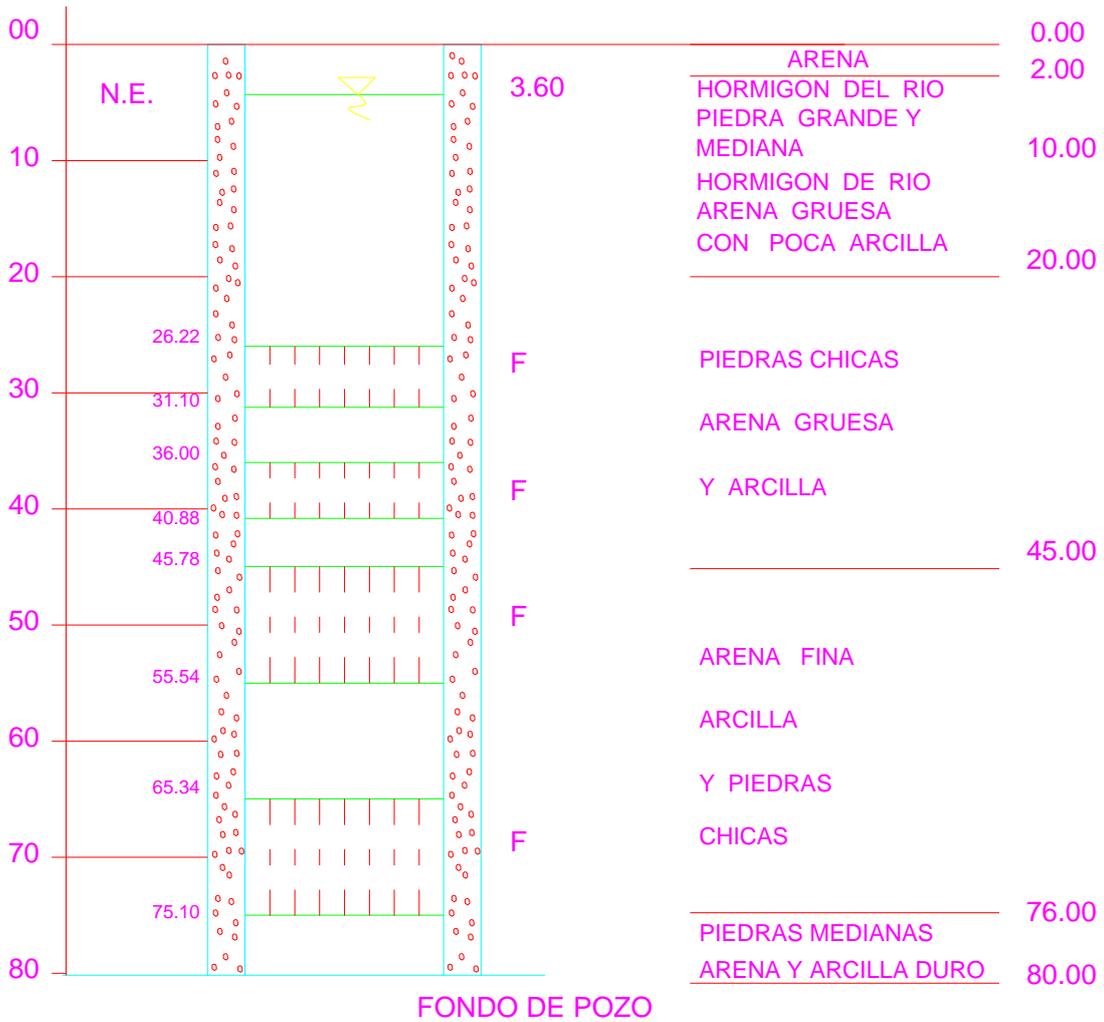
Las características hidráulicas del acuífero local, determinados mediante pruebas de bombeo en los pozos P-673 y P-675, ver Láminas N° 04 y N° 05, denotan valores muy representativos de acuíferos de buena a alta transmisividad y de buena a alta permeabilidad, respectivamente.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>P-673</b>	<b>P-675</b>
Transmisividad (m <sup>3</sup> /día/m)	527	187
Permeabilidad (m/día)	18	5

Con la información de los análisis granulométricos realizados para las muestras del terreno extraídas de los pozos P-671 y P-672, se ha elaborado los diagramas estratigráficos que se presentan en la Lámina N° 06, en ella se puede apreciar que el 60% del material del suelo está compuesto por material grueso permeable constituido por gravas, arena gruesa o fina, mientras que el 40% restante esta constituido por arcilla y limos, de escasa a nula permeabilidad.

## PERFIL TECNICO Y LITOLOGICO

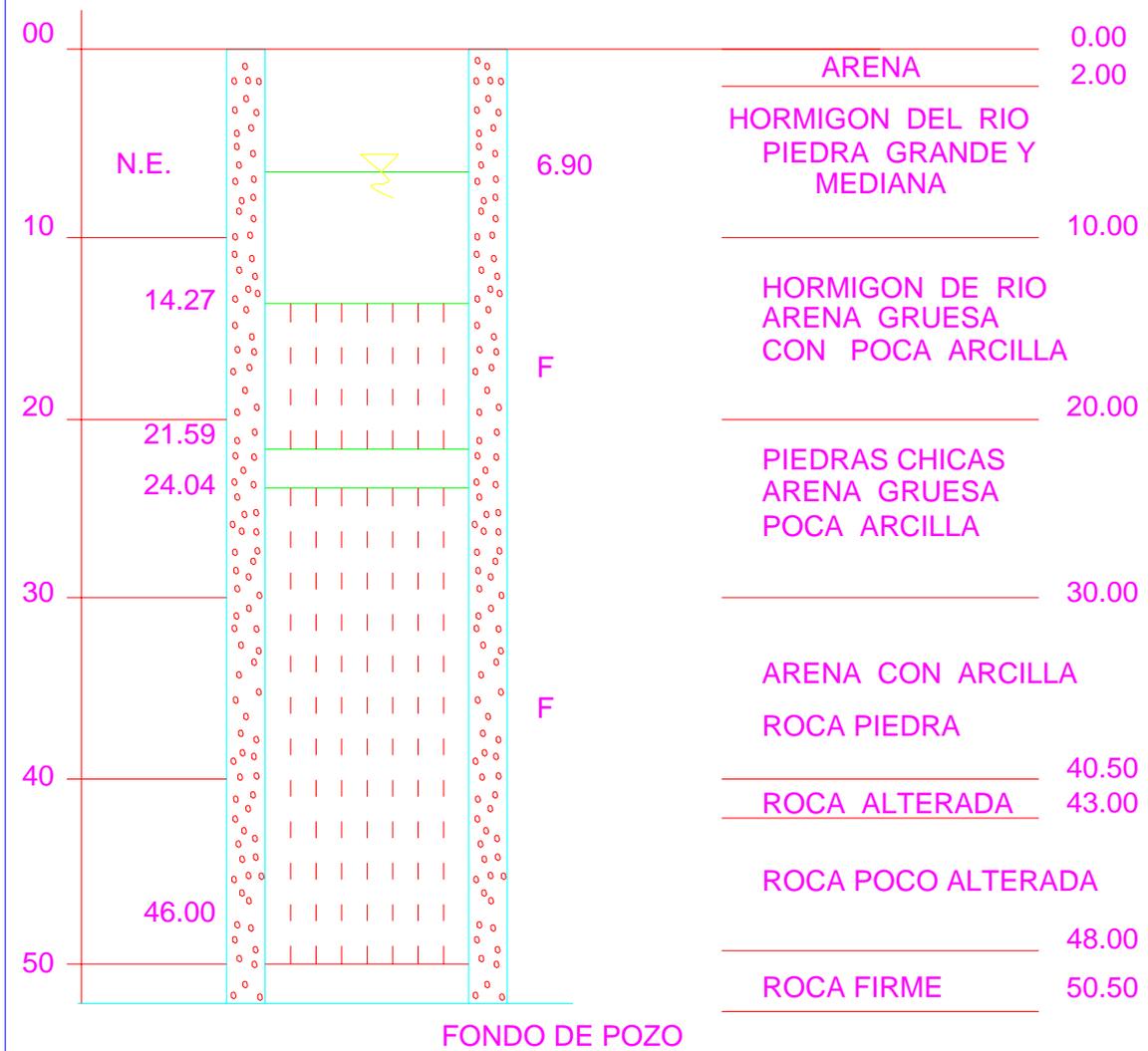
P - 673  
Villa El Salvador P3



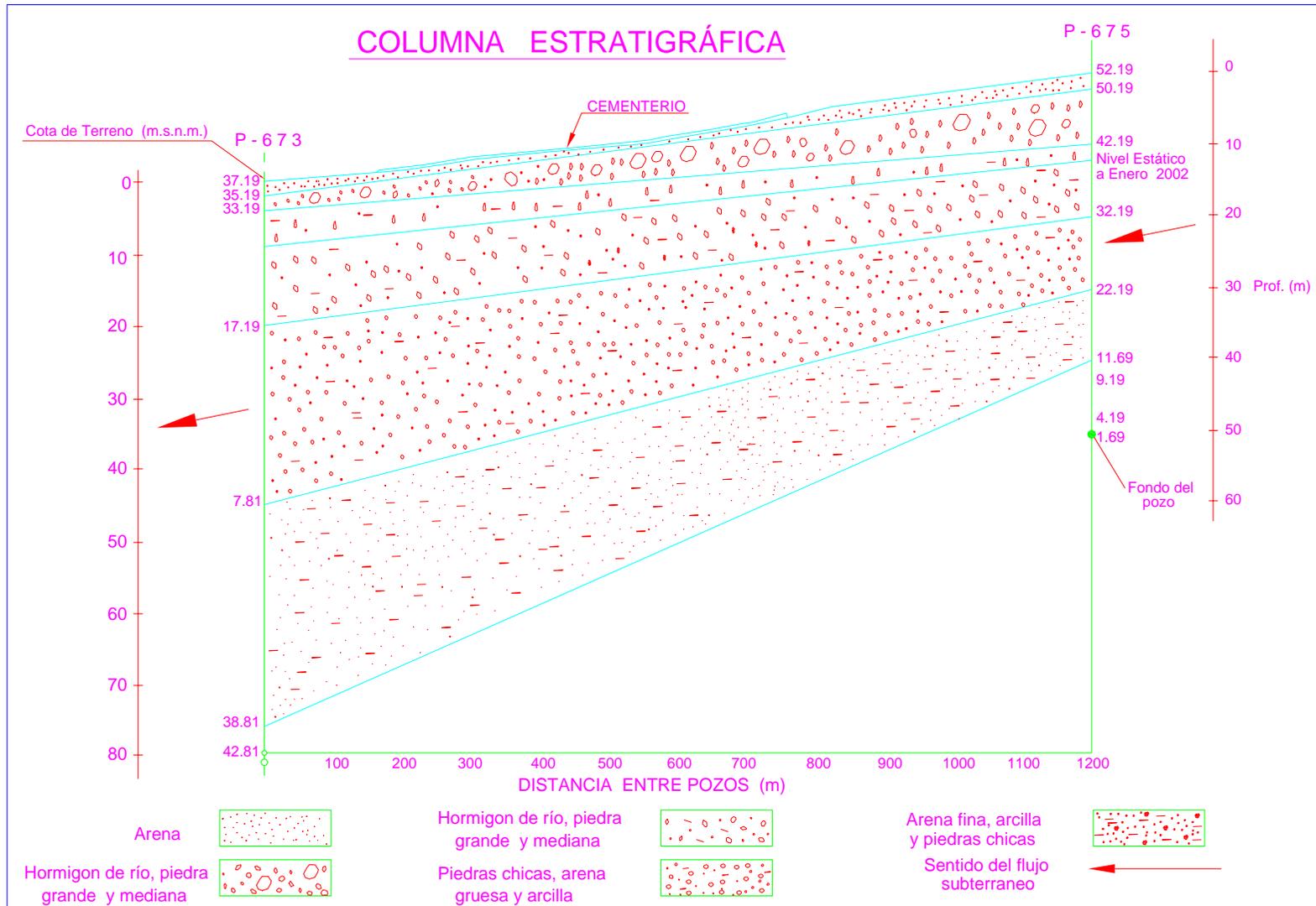
**LAMINA N° 1**

## PERFIL TECNICO Y LITOLOGICO

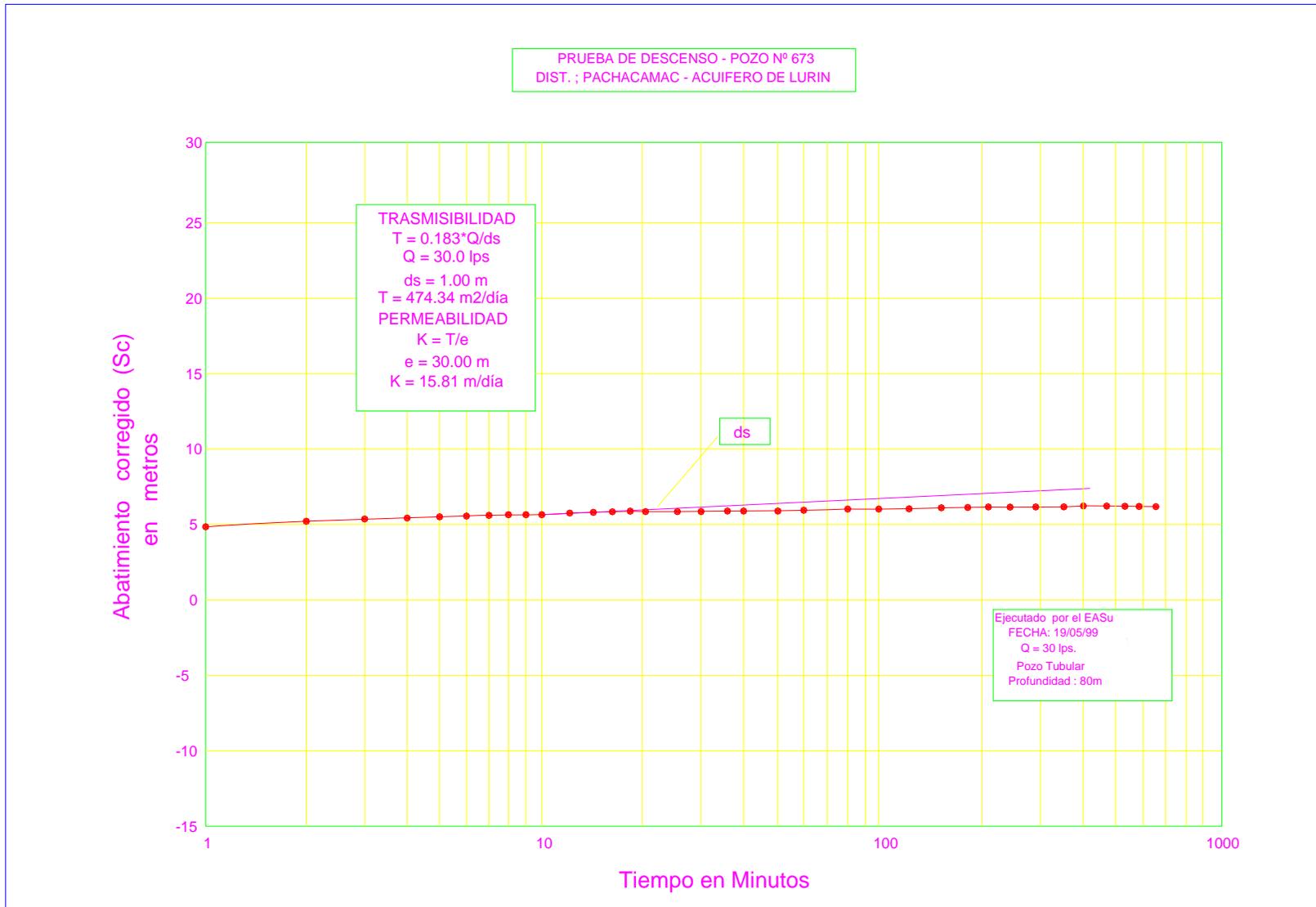
P - 675  
Villa El Salvador P5



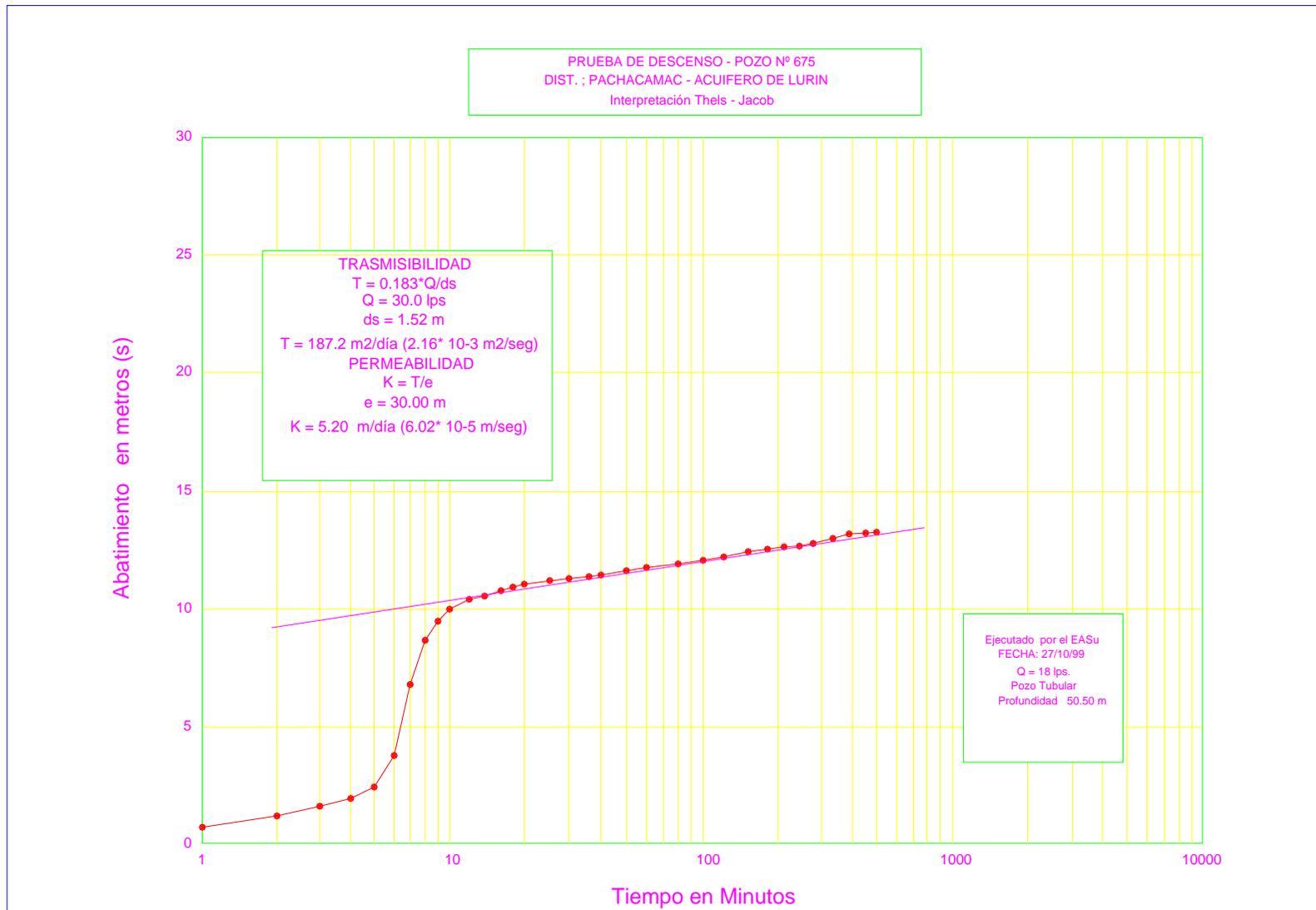
**LAMINA N° 2**



**LAMINA N° 3**

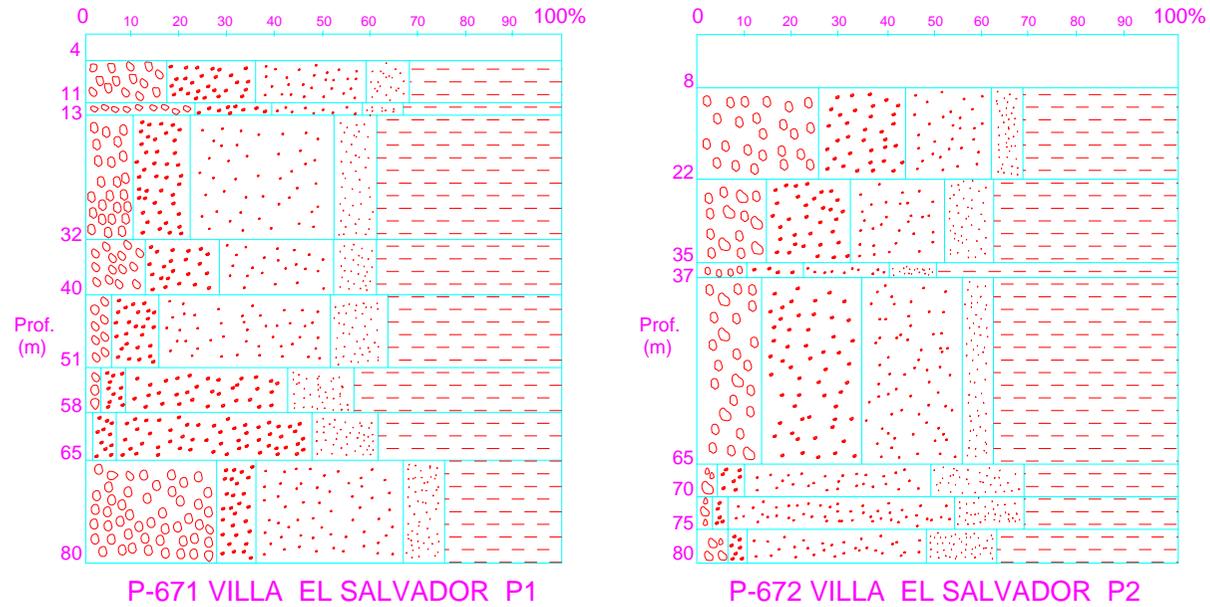


LAMINA N° 4

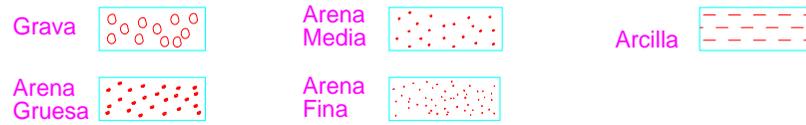


**LAMINA N° 5**

## PERFILES ESTRATIGRAFICOS



### LEYENDA



**LAMINA N° 6**

## 4.5 CALIDAD DE AGUAS

En los cuadros del N° 4.5.1 al N° 4.5.6 se anotan las características físico químico y bacteriológica de las aguas subterráneas captadas a través de los pozos de SEDAPAL. En los cuadros N° 4.5.7 y N° 4.5.8 se presenta, como muestra, un consolidado de resultados físicos, químicos y bacteriológicos más al detalle y que fue lo que sirvió para la preparación de los cuadros inicialmente mencionados. Los resultados fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles establecidos por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS y los valores Guía de la Organización Mundial de la Salud - OMS. En todos los casos la conclusión es que estas aguas son de buena calidad y aptas para consumo humano.



**Foto N° 4:** afloramiento natural de aguas subterráneas en Pachacamac.

## **4.6 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD**

### **4.6.1 Por su cercanía al cauce del río Lurín**

El cementerio “Parques del Paraíso” está ubicado en la avenida Las Palmas s/n, en la margen derecha del río Lurín. Buena parte del perímetro Sur del terreno se encuentra prácticamente en el lecho del río y podría ser afectado en el caso de la ocurrencia de una avenida extraordinaria. La identificación de dicho riesgo está sustentada por el comportamiento estacional del río Lurín, el mismo que según el cuadro de aforos de caudales máximos anuales periodo 1974 -2001, proporcionado por la Junta de Usuarios Lurín – Chilca, habría llegado a tener un caudal máximo de 84.80 m<sup>3</sup>/seg. en el último quinquenio.

### **4.6.2 Por el tipo de suelo**

Las características edafológicas, geológicas y de permeabilidad e infiltración del suelo califican el área del terreno donde se construirá el cementerio “Parques del Paraíso” como terreno de buen drenaje al tener una velocidad de infiltración que va desde  $5.5 \times 10^{-4}$  a  $1.8 \times 10^{-3}$  cm/seg., según evaluaciones efectuados por el SEDAPAL durante los años 2001 al 2004. Con respecto a la geología del acuífero, las principales unidades hidrogeológicas en el área de estudio lo conforman el aluvial y roca. El acuífero aluvial consta de depósitos no consolidados de arena, grava y finos, estos depósitos aluviales son de permeabilidad y porosidad relativamente altos y es la fuente principal de aguas subterráneas en esta zona. Las características descritas del tipo de suelo de la zona donde se establece el camposanto señalado probablemente facilitan la infiltración de descargas contaminantes en el suelo, pudiendo afectar la calidad del acuífero.



**Foto N° 5:** perímetro del cementerio que colinda con el río Lurin y tipo de suelo aluvial predominante.

#### **4.6.3 Nivel Freático**

La calidad del agua subterránea tiene características adecuadas para su potabilización razón por la cual la empresa de abastecimiento de agua potable SEDAPAL tiene instalado en el sector 12 pozos tubulares con caudales variables de explotación que van desde 16 a 60 l/seg. y que permiten abastecer a poblaciones de los Sectores de José Gálvez, Villa Alejandro, San Camilo, Julio C. Tello y parte de Villa María del Triunfo. Uno de los pozos se ubica dentro del camposanto, y está calificado como de reserva. En su perímetro se ubican 2 pozos y otros 6 se encuentran hacia la zona Sur y Sur Oeste del camposanto, en la parte baja, mientras que en la zona Norte Nor Oeste se ubican 3 pozos más (ver Plano N° UP-1). El comportamiento del nivel freático en el sector responde a un período cíclico relacionado a las épocas de avenida y estiaje que llegan a variar de 3.08 a 8.28 metros de profundidad (Ver Grafico N° 11), comportamiento que se mantiene en equilibrio en el tiempo.

En Octubre del 2001 se trazaron curvas de isopropundidad (ver Plano CI-1) que indican la presencia del acuífero entre los 5.0 a 15 metros de profundidad, dentro del área donde se ubica el camposanto "Parques del

Paraíso". Según SEDAPAL, los estudios hidrogeológicos y de suelos realizados concluían que dentro del área del camposanto el nivel freático varía de 2.5 metros en el cauce del río a 9.0 metros de profundidad en el punto más lejano del río.

**CUADRO N° 4.5.1**  
**RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA**

**Nombre : Sector Las Palmas – Pachacamac – Año 2000**

**Fecha : 03/11/2005**

Parámetros	Unidad	P-329	P-346	P-483	P-671	P-672	P-673	P-674	P-675	P-676	P-713	P-749
Turbiedad	UNT	0.52	1.28	0.19	0.30	0.36	0.19	0.34	0.30	0.19	-	0.25
Ph	U	7.56	7.72	7.23	7.75	7.53	7.25	7.74	7.27	7.84	-	7.58
Conductividad	Us/cm	701	523	720	447	548	449	452	650	630	568	859
Dureza Total	mg/L	251	225	237	204	199	202	235	236	246	258	314
Sulfatos	mg/L	55	99	76	85	68	117	143	96	86	151	81
Cloruros	mg/L	68	47	64	51	60	43	48	59	66	50	107
Nitratos	mg/L	18	5	13	6	8	7	7	11	12	8	29
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	341	253	351	216	266	222	219	316	306	-	409
Coliformes Totales	UFC/100MI	0	0	0	0	-	0	-	0	5	0	0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100MI	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-
Colonias Heterotróficas	UFC/1MI	4	0	3	0	-	0	-	4	16	1	8

**Fuente:** Elaboración propia con apoyo del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima – SEDAPAL.

(\*): Pozos Paralizados.

**Comentario:**

El pozo 676 esta ubicado aguas debajo de donde esta el cementerio y como se observa presenta concentraciones altas de Coliformes Totales y Termotolerante. En todos los pozos las concentraciones de Nitratos están por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la SUNSS y la OMS. Cabe anotar que las

aguas de este pozo se juntan con la de los pozos 671, 672, 673, 674 y 675, en un reservorio donde se aplica gas cloro, antes de abastecer a la población.

**CUADRO N° 4.5.2**  
**RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA**

**Nombre : Sector Las Palmas – Pachacamac – Año 2001**

**Fecha : 03/11/2005**

Parámetros	Unidad	P-329	P-346	P-483	P-671	P-672	P-673	P-674	P-675	P-676	P-713	P-749
Turbiedad	UNT	0.21	*	-	0.43	0.20	0.19	*	*	0.22	0.19	0.45
Ph	U	7.42		-	7.61	7.40	7.52			7.61	7.57	7.65
Conductividad	uS/cm	714		-	453	480	360			626	527	775
Dureza Total	mg/L	283		-	185	228	235			283	228	335
Sulfatos	mg/L	118		-	80	85	82			95	101	105
Cloruros	mg/L	60		-	46	56	50			66	69	105
Nitratos	mg/L	20		-	9	10	7			17	8	28
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	424		-	261	328	300			373	307	454
Coliformes Totales	UFC/100mL	0		100	0	38	0			0	0	0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	-		-	-	-	-			-	-	-
Colonias Heterotróficas	UFC/1mL	0		150	0	9	3			1	25	0

**Fuente:** elaboración propia con apoyo del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima – SEDAPAL.

(\*): Pozos Paralizados.

**Comentario:**

El pozo 483 ubicado dentro del camposanto, no estuvo abasteciendo a la población y presenta valores altos de Coliformes Totales, al igual que el pozo 672 que está ubicado aguas abajo del cementerio. Este último pozo abasteció en conjunto con los pozos 671, 673, 676, a la población a través de un reservorio donde se aplicaba gas cloro, obteniéndose calidad bacteriológica satisfactoria.

Los valores de concentración de Nitratos, están por debajo de los valores límites establecidos por la SUNASS y la OMS.

**CUADRO N° 4.5.3**  
**RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA**

**Nombre : Sector Las Palmas – Pachacamac – Año 2002**

**Fecha : 03/11/2005**

Parámetros	Unidad	P-329	P-346	P-483	P-671	P-672	P-673	P-674	P-675	P-676	P-713	P-749
Turbiedad	UNT	0.21	*	0.18	0.16	0.19	0.55	*	*	1.26	0.19	0.24
pH	U	7.81		7.89	8.11	8.05	7.43			8.15	7.87	7.20
Conductividad	uS/cm	710		677	483	483	690			684	539	840
Dureza Total	mg/L	298		258	-	-	-			-	226	372
Sulfatos	mg/L	72		111	-	-	-			-	98	93
Cloruros	mg/L	92		42	-	-	-			-	37	126
Nitratos	mg/L	26		15	-	-	-			-		39
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	-		-	-	-	-			-	-	-
Coliformes Totales	UFC/100mL	0		0	0	0	0			0	0	0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	-		-	-	-	-			-	-	-
Colonias Heterotróficas	UFC/1mL	0		8	1	2	4			3	1	0

**Fuente:** elaboración propia con el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL.

(\*): Pozos Paralizados

**Comentarios:**

La calidad fisicoquímica y bacteriológica de los Pozos 671, 672, 673 y 676 se determinó en la salida del reservorio alimentado con las aguas de estos pozos. Los valores de Nitratos, no exceden los valores límites establecidos por la SUNASS y la OMS.

**CUADRO N° 4.5.4**  
**RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA**

**Nombre : Sector Las Palmas – Pachacamac – Año 2003**

**Fecha : 03/11/2005**

Parámetros	Unidad	P- 329	P- 346	P- 483	P- 671	P- 672	P- 673	P- 674	P- 675	P- 676	P- 713	P- 749
Turbiedad	UNT	0.38	*	0.40	*	*	*	*	*	*	*	0.44
Ph	U	8.13		7.56								8.24
Conductividad	Us/cm	633		667								1050
Dureza Total	mg/L	273		-								315
Sulfatos	mg/L	87		-								65
Cloruros	mg/L	6		-								135
Nitratos	mg/L	23		-								37
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	-		-								-
Coliformes Totales	UFC/100MI	0		0								0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100MI	-		-								-
Colonias Heterotróficas	UFC/1MI	3		160								26

**Fuente:** elaboración propia con apoyo del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima – SEDAPAL.

(\*): Pozos Paralizados

**Comentario:**

En este año la mayoría de Pozos estuvo paralizada. Notar que la calidad bacteriológica de los pozos 329, 483 y 749, todos ubicados aguas abajo del camposanto, es buena. Cabe anotar que en este año comenzó a funcionar el cementerio. Las concentraciones de Nitratos estuvieron siempre por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en las normas de SUNASS y OMS.

**CUADRO N° 4.5.5**  
**RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA**

**Nombre : Sector Las Palmas – Pachacamac – Año 2004**

**Fecha : 03/11/2005**

Parámetros	Unidad	P-329	P-346	P-483	P-671	P-672	P-673	P-674	P-675	P-676	P-713	P-749
Turbiedad	UNT	0.13	*	0.08	*	*	0.72	*	*	*	*	*
pH	U	7.45		7.67			8.12					
Conductividad	uS/cm	826		686			538					
Dureza Total	mg/L	326		317			-					
Sulfatos	mg/L	146		158			-					
Cloruros	mg/L	68		60			-					
Nitratos	mg/L	26		14			-					
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	-		-			-					
Coliformes Totales	UFC/100mL	0		0			0					
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	-		-			-					
Colonias Heterotróficas	UFC/1mL	-		-			-					

**Fuente:** elaboración propia con apoyo del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima – SEDAPAL.

(\*): Pozos Paralizados

**Comentario:**

En este año la mayoría de pozos estuvo paralizada y los valores de coliformes y nitratos están por debajo de los valores límites establecidos por las normas dada por la SUNASS y la OMS. En este año ya el camposanto “Parques del Paraíso” estaba operando.

**CUADRO N° 4.5.6**  
**RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA**

**Nombre : Sector Las Palmas – Pachacamac – Año 2005**

**Fecha : 03/11/2005**

Parámetros	Unidad	P-329	P-346	P-483	P-671	P-672	P-673	P-674	P-675	P-676	P-713	P-749
Turbiedad	UNT	0.14	-	*	0.66	*	*	*	*	*	3.45	*
pH	U	7.40	7.18		7.43						7.45	
Conductividad	uS/cm	815	681		497						560	
Dureza Total	mg/L	314	206		107						129	
Sulfatos	mg/L	106	90		45						53	
Cloruros	mg/L	72	57		38						45	
Nitratos	mg/L	25	18		8						16	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	-	329		-						-	
Coliformes Totales	UFC/100mL	0	-		-						-	
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	-	-		-						-	
Colonias Heterotróficas	UFC/1mL	-	-		-						-	

**Fuente:** elaboración propia con apoyo del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima – SEDAPAL.

(\*): Pozos Paralizados.

**Comentario:**

Los Pozos 346, 671, y 713 estaban paralizados y fueron muestreados para establecer el impacto generado por el funcionamiento del camposanto. El pozo 346 esta ubicado dentro, el 671 esta ubicado aguas abajo y el 713 aguas arriba del camposanto, respectivamente. Como se observa los valores de Nitratos y Coliformes determinan que son de buena calidad para el consumo humano.

**CUADRO N° 4.5.7**  
**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**  
**SECTOR LAS PALMAS-PACHACAMAC**

Poz	Fecha	Turbied. NTU	pH	Conductivid. Eléctrica pmhos/cm	Alcalinid. mg/l CaCO <sub>3</sub>	Bicarbonat. mg/l CaCO <sub>3</sub>	Dureza total mg/l	Dureza calcica mg/l	Dureza magns. mg/l	Magnes .mg/l	Calcio mg/l Ca	Sulfatos mg/l SO <sub>4</sub>	Cloruros mg/l Cl	Nitratos mg/l NO <sub>3</sub>	PH saturaci ón	Índice saturación	Total sólidos disueltos mg/l	Calidad de agua
329	16/05/01	0.39	7.46	716	202	202	266	219	47	14	88	116	60	17	7.22	0.24	290	Buena
346	19/04/00	1.28	7.72	523	129	129	225	174	51	15	70	99	47	5	7.48	0.24	253	Buena
483	19/04/00	0.19	7.23	720	162	162	237	194	43	12	78	76	64	13	7.37	-0.14	351	Buena
	27/12/01		7.08	705			241						50				18	
671	20/02/01	0.43	7.61	453	107	107	185	153	32	9	61	80	46	9	7.61	0.00	261	Buena
672	20/02/01	0.20	7.4	480	122	122	228	183	45	13	73	85	56	10	7.48	-0.08	328	Buena
673	20/02/01	0.19	7.52	360	124	124	235	214	20	6	86	82	50	7	7.38	0.14	300	Buena
674	27/09/99	0.21	7.70	506	97	97	203	165	38	11	66	132	45	57	7.63	0.07	241	Buena
	19/06/00	4.08		441			210					43						
675	19/04/00	0.30	7.27	650	150	150	236	160	76	22	64	96	59	11	7.47	-0.20	316	Buena
676	20/02/01	0.22	7.61	626	149	149	283	216	67	19	87	95	66	17	7.34	0.27	373	Buena
713	20/02/01	0.19	7.57	527	122	122	228	191	37	11	76	101	69	8	7.47	0.10	307	Buena
749	20/02/01	0.45	7.65	775	136	136	335	268	67	19	107	105	105	28	7.31	0.34	454	Buena

Fuente: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL

Límites Máximos Permisibles	Conductividad Eléctrica pmhos/cm	Dureza Total Mg/l CaCO <sub>3</sub>	Sulfatos Mg/l SO <sub>4</sub>	Cloruros mg/l Cl	Nitratos mg/l NO <sub>3</sub>	TSD mg/l
SUNASS	1500	500	250	250	50	1000
OMS	----	----	250	250	50	----

Comentario:

De estas muestras tomadas entre los años 1999 al 2001, solo el valor de Nitratos del Pozo 674 estuvo por encima de los límites máximos permisibles establecidos en las normas de la SUNASS y la OMS. En este año el cementerio "Parques del Paraíso" ya estaba funcionando.

**CUADRO N° 4.5.8**  
**CALIDAD BACTERIOLÓGICA DE LOS POZOS DE SEDAPAL EN EL SECTOR**  
**DE “LAS PALMAS”**

	Nombre	Dirección	Fecha	Coliforme total UFC/100 ml	Coliforme termo tolerante UFC/100	Colonias heterótrofas UFC/ML
329	J.C. TELLO 2	P.J. Julio C. Tello Pachacamac	18/01/01	0	--	0
			20/04/01	0	--	0
			16/05/01	0	--	0
			13/07/01	0	--	0
			06/02/02	0	--	0
483	José Gálvez 3	Fundo las Palmas	10/01/02	0	--	0
671	Villa El Salvador P-1	Ex fundo las Palmas	18/01/01	0	--	0
			16/05/01	0	--	0
			13/07/01	0	--	0
			10/01/02	0	--	0
672	Villa El Salvador P-2	Ex fundo Las Palmas	10/01/02	0	--	0
673	Villa El Salvador P-3	Ex fundo Las Palmas	10/01/02	0	--	0
676	Villa El Salvador P-6	Margen derecha del río Lurín	13/07/01	0	--	14
			06/02/02	0	--	1
713	José Gálvez 4	Av. Las Palmas, Esq. Av. Ferrocarril	16/02/01	0	--	25
			16/05/01	0	--	0
			13/08/01	0	--	0
			22/11/01	0	--	0
			06/02/02	0	--	0
749	Cideproc	Fundo Las Palmas	08/03/01	0	--	1
			16/05/01	0	--	0
			13/07/01	0	--	0
			22/11/01	0	--	0
			06/02/02	0	--	0

Fuente: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima – SEDAPAL.

<b>Límites Microbiológicos permisibles</b>		
<b>Coliformes Totales</b>	<b>:</b>	<b>0 ufc/100 ml</b>
<b>Coliformes Termotolerantes</b>	<b>:</b>	<b>0 ufc/100 ml</b>
<b>Colonias Heterótrofas</b>	<b>:</b>	<b>500 ufc/ml</b>

Comentario:

Todos los valores encontrados están por debajo de los límites máximos permisibles. Los pozos 346, 674 y 675 no fueron muestreados por encontrarse, según SEDAPAL, en reserva. Estas muestras fueron tomadas entre los años 2001 y 2002.

#### **4.6.4 De las sepulturas:**

En principio los propietarios del camposanto habían considerado habilitar 171,221 sepulturas, todas en fosas de profundidades de 1.30m y 2.10m y dentro de cajas de concreto armado con aditivo impermeabilizante y de espesor de 0.10m. De acuerdo a lo dispuesto en el artículo 15° del Reglamento de Cementerios y Servicios funerarios aprobado por Decreto Supremo N° 03-94-SA, la napa freática debe encontrarse a no menos de 2.50 metros de profundidad.

#### **4.6.5 De la disposición de aguas residuales:**

Para el tratamiento y disposición de aguas residuales generadas al interior del camposanto se cuenta con la instalación de tanques sépticos y pozos percoladores ubicados en diferentes áreas del camposanto, y de profundidades 5m, 6m y 7 m.



Foto N° 6: las aguas residuales de los servicios higiénicos se descargan en tanques sépticos y pozos de percolación.

## **CAPITULO V**

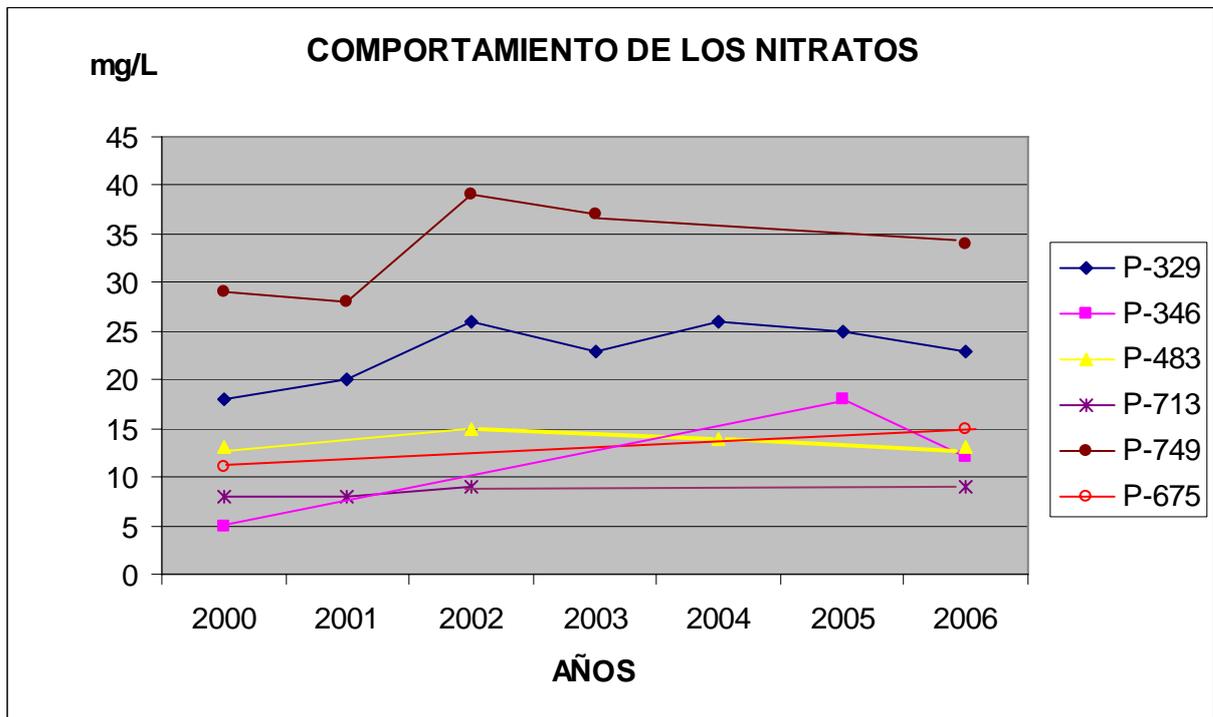
### **ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS**

- De acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15° del Reglamento de Cementerios y Servicios Funerarios, aprobado por Decreto Supremo N° 03-94-SA, la napa freática debe encontrarse a no menos de 2.50 m de profundidad. Teniendo en cuenta que la máxima profundidad del fondo de las fosas será de 2.10 m, que sumado a lo dispuesto por el Reglamento hacen un total de 4.60 m de profundidad, dado el comportamiento cíclico del nivel freático en el área en que esta ubicado el camposanto, que varía entre 2.5 a 9.0 metros, es obvio que existirán áreas del camposanto en que no se cumpla con la normatividad y que el riesgo potencial de contaminación de la napa freática será latente. Pero, eso ocurrirá en el área cercana al cauce del río Lurin, desde la línea que representa la isoprofundidad igual a 10 m.s.n.m. hacia el SE (ver Plano CI-1).
- Dadas las características geológicas e hidrogeológicas del lugar donde se asienta el camposanto, comparándolo con lo obtenido en otras investigaciones señaladas como la desarrollada por el Dr. Martins, es lógico pensar que debieron encontrarse contaminantes en las aguas subterráneas. Una de las causas del porque no se ha encontrado contaminación es por los diferentes características climáticas, principalmente precipitaciones, existentes entre Lima y Sao Paulo; al no haber casi precipitaciones en Lima la generación de lixiviados es mínima circunscribiéndose a los líquidos que se desprenden de la descomposición de cadáveres y el agua de riego que se infiltra. La otra causa esta asociada a las características de los suelos que indudablemente condicionan la transmisión de contaminantes. Respecto a las aguas subterráneas, se desprende que los niveles mas superficiales de napa freática se presentan en épocas de verano, en que las lluvias son intensas en la cuenca alta del río Lurin.

- Con los resultados de calidad de aguas se han elaborado las Gráficas N° 12 y 13, referidos a las concentraciones asociadas con el contenido de lixiviados, es decir nitratos y colonias heterótrofas en los pozos monitoreados. Como resultado de ello se puede decir que no existen indicios que señalen claramente que desde el inicio del funcionamiento del camposanto “Parques del Paraíso”, años 2003, la calidad del agua utilizada para abastecer a cerca de 100,000 pobladores haya sufrido un deterioro continuo, inclusive la calidad del pozo que se encuentra dentro del cementerio (P-346) y de otro muy próximo a su límite (P-483), son de buena calidad. Comparando el comportamiento de variación del nivel estático del pozo 329 con la variación de concentración de Nitratos, es curioso identificar que la concentración más alta de este elemento (ver Gráfico N° 12) coincide con el nivel estático más profundo que se presento en este pozo (ver Gráfico N° 01), y que la concentración de Nitratos fue casi la misma en el 2002 y el 2004.

#### **Comportamientos de los Nitratos**

<b>AÑOS</b>	<b>P-329</b>	<b>P-346</b>	<b>P-483</b>	<b>P-675</b>	<b>P-713</b>	<b>P-749</b>
2000	18	5	13	11	8	29
2001	20	-		-	8	28
2002	26	-	15	-	9	39
2003	23	-		-	-	37
2004	26	-	14	-	-	-
2005	25	18		-	-	-
2006	23	12	13	15	9	34



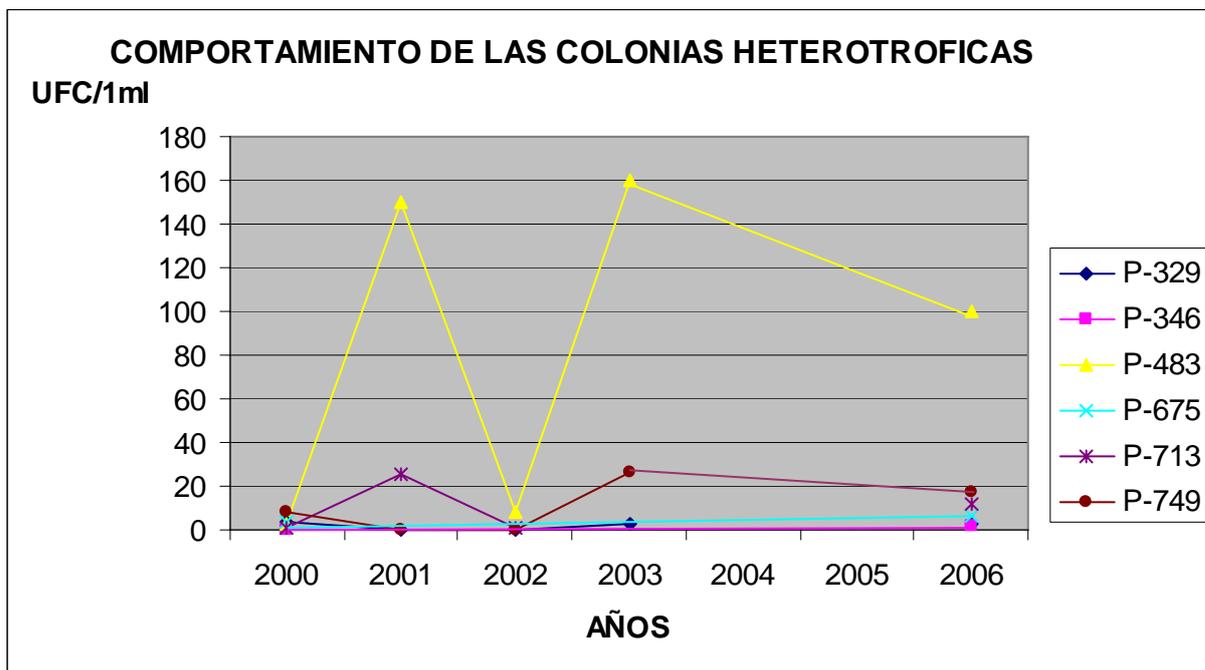
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 12**

Respecto al pozo N° 329, es curioso que justo la concentración más alta de nitratos (2002) coincide con el nivel estático más bajo que se presenta en el perfil hidráulico. Cabe anotar que el pozo está ubicado aguas abajo del camposanto.

**Comportamiento de las Colonias Heterotróficas**

AÑOS	P-329	P-346	P-483	P-675	P-713	P-749
2000	4	0	3	4	1	8
2001	0	-	150	-	25	0
2002	0	-	8	-	1	0
2003	3	-	160	-	-	26
2004	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-
2006	3	2	100	6	12	17



Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 13**

- Respecto a los resultados de carga bacteriana patogénica, en realidad estos microorganismos tienen poca resistencia a condiciones de oxigenación y relativa ausencia de humedad del suelo, desapareciendo de inmediato en zonas no saturadas. Como la capacidad de retención del suelo es función de un conjunto de factores (litología, aireación, humedad, etc.) cuando estas no son favorables los efectos estabilizadores pueden ser insuficientes para retenerlos.
- Como se ha señalado anteriormente el cementerio Parques del Paraíso no cuenta actualmente con Autorización Sanitaria de Funcionamiento. Los profesionales de la DIGESA fundamentaron su negativa en base a un análisis realizado considerando que la ubicación de sepulturas bajo suelo y pozos de percolación se encontrarían encima del pozo N° 346: calificado como de reserva y ubicado dentro de los linderos del camposanto, pozo N° 674: ubicado en el perímetro Nor Oeste del terreno del camposanto, y el pozo N° 483: ubicado en el perímetro Sur Oeste del camposanto. Para los 3 pozos

señalados, se considero la leyenda que se presenta a continuación y el Grafico N° 14.

Símbolo	Profundidad (metros)	Numero de Pozos	Descripción General
A	7.00	9	Pozos Percoladores
B	6.00	2	
C	5.00	2	
F1	2.10	171,221	Fosas para sepulturas
F2	1.30		

Fuente: Dirección de Ecología y Medio Ambiente de la Dirección General de Salud Ambiental – DEMA/DIGESA.

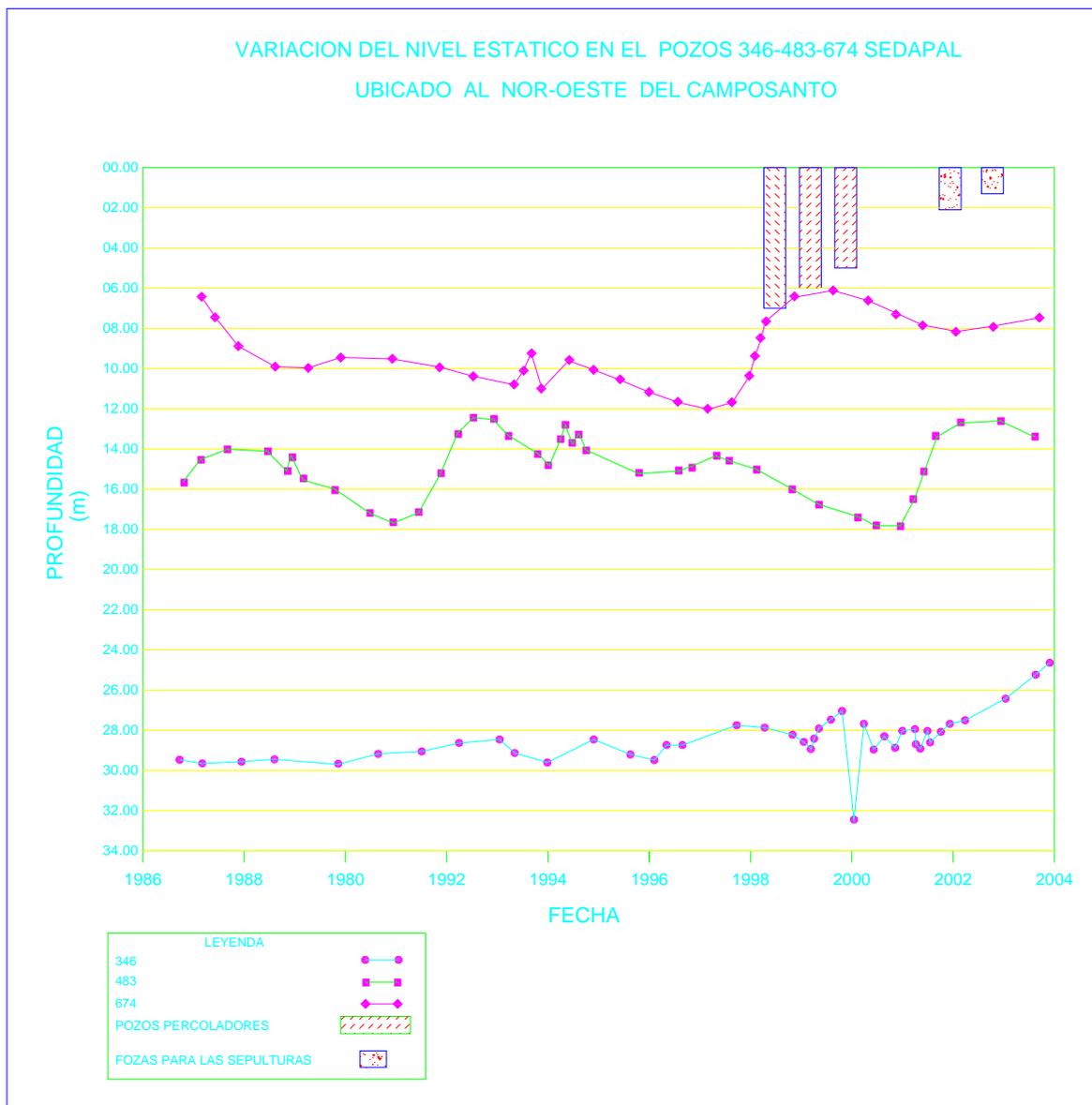


Gráfico N° 14

El análisis es desde todo punto de vista erróneo por las causas que se enumeran a continuación:

- En todos los casos se partió de la premisa errónea que las sepulturas y los pozos de percolación fueron construidos justo debajo de la ubicación de los pozos.
  - La variación del nivel estático del pozo N° 346, en los últimos 6 años, es de 25 metros de profundidad (ver Grafico N° 2) y esta muy por debajo de la profundidad máxima de las sepulturas (2.10 m) así como de los pozos percoladores más profundos (9.00 m.). La gráfica que empleo DIGESA tampoco fue coherente con la curva de isopropundidades diseñada.
  - La variación del nivel estático del pozo N° 483, coincide con la establecida en la curva de isopropundidades (ver Plano CI-1) y que en promedio es de 14 metros. Esto queda reforzado con lo que se puede analizar de variación del nivel estático del pozo N° 329.
  - La variación de nivel estático del pozo N° 674, que en promedio es de 8 metros, es el que aparentemente quedaría impactado negativamente debido a la profundidad de las pozas de percolación, no así por las fosas de las sepulturas bajo suelo, pero cabe reasaltar que este pozo esta ubicado fuera y aguas arriba del camposanto.
- 
- El traslado de sustancias contaminantes en el subsuelo como consecuencia de los fenómenos de advección, dispersión hidrodinámica y difusión molecular, además de los múltiples y complejos procesos tanto de índole química como microbiológica, indudablemente que afectan el destino de las sustancias contaminantes en el subsuelo, contribuyendo al frenado de su traslado o a la atenuación de su concentración. Es fundamental tener en cuenta que las sustancias contaminantes inmovilizadas no son transformadas y que estos procesos son reversibles, especialmente cuando la transformación de sustancias contaminantes en las aguas subterráneas disminuye, o su frenado es elevado. Como resultado de estos procesos reversibles las sustancias contaminantes frenadas vuelven a su estado soluble tras un cierto periodo de

tiempo, provocando una larga estela de contaminación. Respecto a la atenuación incluye dos clases distintas de procesos: la eliminación irreversible y la transformación. La eliminación por medio de procesos de atenuación se diferencia del frenado en que se produce una reducción de la masa de sustancias (un proceso similar al de disipación). Uno de los ejemplos más comunes es el del traspaso de sustancias contaminantes a medios diferentes (como el caso de la volatilización). El proceso de atenuación más conocido es el de la transformación de la estructura molecular de las sustancias, similar al que se produce en las reacciones de oxidación reducción. Pero también algunos de estos procesos contribuyen al aumento de movilidad de las sustancias químicas en el subsuelo, como sucede tras la disolución de sustancias orgánicas y la Complejización de iones metálicos, procesos conocidos como fenómenos activadores de movilidad.

- El suelo se compone de una mezcla de materiales diversos tanto inorgánicos como orgánicos. Los inorgánicos consisten fundamentalmente en granos minerales. Los porcentajes de peso de gravas, arenas, sedimentos y arcilla facilitan una base para la clasificación de los suelos según su textura. La mineralogía de las arcillas es de gran variedad, pero la mayoría suelen estar compuestas por silicatos, siendo los más comunes los conocidos como caolinita, illita y montmorillonita. Las partículas individuales de arcilla en forma de placas coloidales se agrupan habitualmente en agregados arcillosos. Los elementos más abundantes en los suelos son la silicona, el aluminio y el hierro, con una gran variedad de micro y oligoelementos. Es interesante comprobar que las sustancias tóxicas como Arsénico, Cadmio, Níquel, Plomo y Selenio, se encuentran entre algunos oligoelementos naturales más comunes de los suelos. Los suelos contienen también, por lo general, cantidades apreciables de materia orgánica consistente básicamente en vegetales descompuestos o humus, materia que suele disminuir con la profundidad y que varía en mayor medida en dimensión vertical que en horizontal. El contenido orgánico de la mayor parte de los suelos se encuentra

entre 0.2% y 3.0% y se compone de una gran mezcla de sustancias químicas (es decir, ácido húmico). Esta fracción orgánica consta de formaciones coloidales y se caracteriza por las matrices orgánicas de polímeros. La materia orgánica del manto del suelo provoca, normalmente, efectos estabilizadores gracias a la aglutinación de las partículas inorgánicas en formas de agregados compuestos por arenas, sedimentos, arcilla y materia orgánica, cuyo tamaño y estructura pueden variar considerablemente. A medida que se va ganando en profundidad se produce la transición del suelo a las formaciones geológicas subyacentes, compuesta por depósitos no consolidados como por rocas. El medio poroso comprende el manto del suelo, las formaciones permeables inferiores y la materia de transición existente entre ambos. Estas tres capas se conocen colectivamente como la matriz subterránea. El movimiento de aguas subterráneas a través de medio poroso tanto saturado como no saturado es, como consecuencia, una combinación de los movimientos que se producen tanto a través de las aberturas intersticiales existentes entre los agregados como a través de los poros existentes en cada uno de los agregados. Entre los agregados se encuentran la mayor parte de las superficies coloidales orgánicas como inorgánicas, que forman la porción más activa de matriz subterránea, siendo esta micro escala el ámbito en el cual se producen la mayor parte de los procesos de frenado y atenuación. Estos procesos dependen del traslado de aguas subterráneas en el interior de los agregados (es decir, a través de los poros existentes en el agregado que permiten el acceso hacia las superficies internas). El diámetro efectivo de los poros de una estructura mineralógica cristalina de arcilla puede ser de entre 100 y 1000 nm., restringiendo drásticamente la advección de las aguas subterráneas y limitando el movimiento de sustancias contaminantes en el interior de los agregados a la simple difusión molecular. No obstante, la división estructural de la arcilla permite la existencia de grandes áreas superficiales internas superiores incluso a su área externa, en todo caso de gran tamaño en relación a su masa.

Ante los resultados de contaminación obtenidos, y tratando de establecer efectivamente las características del tipo de suelo que predomina en el camposanto, se realizó un análisis granulométrico extrayendo muestras de calicatas construidas en diferentes puntos. Los resultados se anotan en la siguiente tabla:

C2	C5	C1	C10	C3	C4	C6	C11	C9	C7	C8
-2.50	-2.00	-2.00	-1.65*	-1.30	-1.50	-2.30	-2.20	-1.50	-2.00	-2.80
FA	FAAr	FAAr	FAAr*	FA	FA	AL	AL	FA	FAAr	Ar
-2.80	-3.70	-3.70	-3.25*	-2.8	-2.80	-2.80*	-2.80	-2.60	-2.60	-2.80
Ar	FA	Ar	Ar	FA	FAAr	Ar*	Ar	FAAr	Ar	Ar

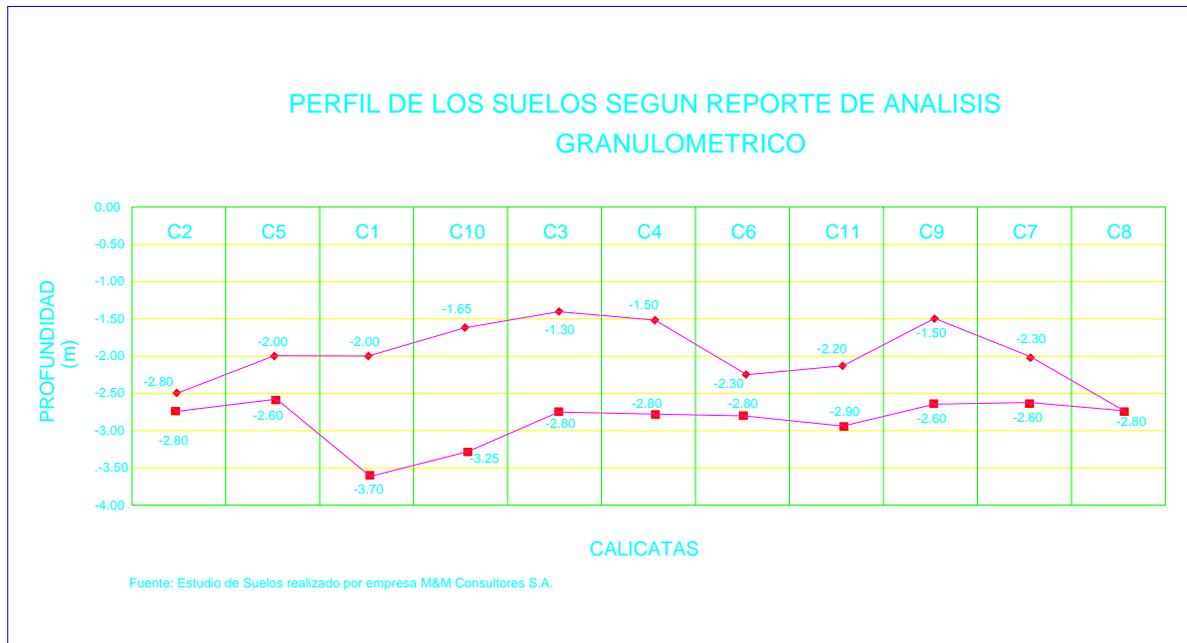
Fuente: Estudio de Suelos realizado por empresa M&M Consultores S.A.

Donde:

- Los números indican valores medios estimados, en metros, de las profundidades de las calicatas realizadas para el análisis granulométrico. Las que tienen un asterisco (\*) fueron llevadas a cabo por M&M Consultores S.A. El resto de los valores fueron obtenidos en el estudio de suelos realizado por BLASA S.A.
- Los valores Ci significan las calicatas realizadas para el estudio de suelos del camposanto “Parques del Paraíso” y varían del 1 al 11.
- Los tipos de suelo simbolizados son los siguientes:

FA	Franco Arcilloso	FAAr	Franco Arcillo Arenoso
Ar	Arenoso	Al	Arcillo Limoso

Los datos son graficados en el siguiente Gráfico N° 15:



**Gráfico N° 15**

Según estos resultados existe una capa de arcilla, natural en estos suelos, que actúa como una barrera que impide la transmisión de contaminantes hacia las aguas subterráneas.

- En el cuadro que se presenta a continuación se muestran datos bacteriológicos referidos a: coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), estreptococos fecales (EF), clostridium sulfito reductores (CSR), bacterias proteolíticas (PROT), conteo probable de bacterias heterotróficas aerobias (CPH 1), conteo probable de bacterias heterotróficas anaerobias (CPH 2) y bacterias lipolíticas (LIPO), de aguas subterráneas de tres cementerios ubicados en las regiones de Brasil: Grande Sao Paulo y Baixada Santista. Los cementerios estudiados fueron: Villa Nueva Cachoeirinha (CVNC) donde predominan suelos arenosos con algo de arcilla y el nivel de agua varía entre 4.0 a 9.0 metros de profundidad; Villa Hermosa (CVF) donde predominan los sedimentos terciarios y hay alternancia de suelos arcillosos y areno-arcillosos,

el nivel estático de las aguas subterráneas varia entre 4.0 a 12.0 metros; y Arena Blanca (CAB) en que predominan sedimentos cuaternarios marinos, arenosos, con alta porosidad y permeabilidad, el nivel de la napa freática varia entre los 0.60 a 2.20 m y esta influenciada por las aguas marinas.

Los resultados obtenidos indican que: las diferencias geológicas y de nivel de napa freática influyen en la calidad bacteriológica de las aguas estudiadas; las mayores concentraciones de CF, EF, CSR, CPH 1 y LIPO fueron encontradas en CAB que favorece el pasaje de bacterias del suelo y de los desechos hacia las aguas subterráneas por presentar suelos arenosos; dada la elevada cantidad de bacterias heterotróficas aerobias al parecer existen condiciones de aerobiedad en el pasaje de materia orgánica hacia la napa freática donde las proteínas serian convertidas a nitratos que se acumularían en esas aguas. Cabe anotar que el exceso de nitratos desarrolla la Metahemoglobinemia que se manifiesta por dificultades respiratorias y vértigos debido a la falta de oxigenación de los tejidos.

Nuestra área en estudio se asemeja más a lo establecido para Arena Blanca (CAB).

## CUADRO N° 5.1

### Valores máximos, mínimos y media geométrica (MG) de diferentes indicadores bacteriológicos, en muestras de aguas de los tres cementerios estudiados

Indicadores	CAB			Centímetros CVF			CVNC		
	Máx.	Min.	MG	Máx.	Min.	MG	Máx.	Min.	MG
CT	$>1,6 \times 10^3$	<2	58	$>1,6 \times 10^3$	<2	14	$>1,6 \times 10^3$	27	$1,6 \times 10^2$
CF	$1,6 \times 10^3$	<2	5	$3,0 \times 10^2$	<2	3	7	<2	2
EF	$>1,6 \times 10^3$	<2	55	$1,6 \times 10^3$	<2	8	$1,6 \times 10^3$	<2	8
CSR	$>1,6 \times 10^3$	<2	21	$2,4 \times 10^4$	<2	14	27	2	7
PROT	$>1,6 \times 10^3$	23	$4,3 \times 10^2$	$>1,6 \times 10^3$	<2	$2,7 \times 10^2$	$9,0 \times 10^3$	$2,2 \times 10^2$	$1,0 \times 10^3$
CPH1	$8,1 \times 10^3$	$7,0 \times 10^2$	$1,5 \times 10^4$	$7,1 \times 10^5$	$2,0 \times 10^2$	$9,0 \times 10^3$	$5,3 \times 10^4$	$2,8 \times 10^3$	$1,1 \times 10^4$
CPH2	$3,8 \times 10^5$	<2	$4,0 \times 10^3$	$1,2 \times 10^3$	$1,3 \times 10^2$	$6,7 \times 10^2$	$1,6 \times 10^5$	$4,4 \times 10^2$	$1,6 \times 10^4$
LIPO	$1,2 \times 10^8$	80	$6,4 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$	75	$2,5 \times 10^3$	$3,6 \times 10^4$	$1,6 \times 10^2$	$3,9 \times 10^3$

Fuente: Martins, M.T, Calidad Bacteriológica de Aguas Subterráneas en Cementerio de San Paulo, S. Paulo-1991.

- Del análisis de los fenómenos cadavéricos que se presentan a la muerte de un ser humano, se extrajo que son dos los procesos físicos y un proceso químicos los que generan líquidos que se podrían lixiviar, estos son: a) deshidratación, b) desepitelización de las mucosas, y c) adipocira.

Los agentes microbianos que generan la putrefacción son principalmente *Clostridium welchii*, *putridus gracilis* y *magnus*, los cuales producen los gases pútridos del cadáver y son gérmenes anaerobios, que actúan después que otras bacterias aeróbicas como el *proteus vulgaris*, *coli putrificus*, *liquefaciens marnus* y *vibrión colérico* han agotado el poco oxígeno existente en el cadáver. Los hongos se desarrollan en los cadáveres inhumados, no así en aquellos que están expuestos al aire libre y al sol; los que se encuentran con mayor frecuencia son los del tipo *Mucor*, *Penicillium* y *Aspergillus*, que no requieren de luz para desarrollarse ya que están desprovistos de clorofila.

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES**

- Los lixiviados provenientes de la descomposición de cuerpos sepultados bajo suelo tiene, entre otras características, las siguientes: alto grado de toxicidad y patogenicidad, la toxicidad depende de la presencia de compuestos orgánicos y la carga viral patogénica del cuerpo inhumado, su volumen de generación puede llegar a 40 litros por cada adulto que pese 70 kilos y su constitución es 60% agua, 30% sales minerales y 10% de sustancias como la putrescina y cadaverina.
- En lo que respecta a líquidos que emanan de un cadáver, cuando la causa de la muerte han sido naturales, estos se comienzan a generar a partir de la 8ª hora post mortem, a razón de 10 a 15 gr./kgr.xdía. A las 72 horas post mortem los signos de deshidratación se magnifican.
- De acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15° del Reglamento de Cementerios y Servicios Funerarios aprobado por Decreto Supremo N° 03-94-SA, la napa freática debe encontrarse a no menos de 2.50m de profundidad. Tomando como referencia la máxima profundidad de las fosas, que será de 2.10m para 2 niveles de sepulturas, y sumándole los 2.50m de profundidad dispuesto por el Reglamento, hacen un total de 4.60m de profundidad mínima a la que debe encontrarse el nivel freático. Dado el comportamiento cíclico del nivel freático, que varia entre los 6.0 a 16.0 metros en toda el área del cementerio “Parques de Paraíso”, el proyecto referido al cementerio “Parques de Paraíso” cumple con la exigencia establecida en el Reglamento antes mencionado.

- Con respecto a la disposición final de aguas residuales domésticas, que se realiza a través de pozos percoladores de profundidades de hasta 7 metros, constituye un factor de alto riesgo de contaminación de las aguas de este acuífero.
- De las características principales del suelo existente en el área en estudio son: están constituidos por arena, grava, cantos rodados y con algo de arcilla; la permeabilidad del suelo es alta; el escurrimiento superficial es moderadamente lento; tiene buen drenaje.
- El sector Sur del terreno donde se ha construido este cementerio colinda con el cauce del río Lurín. A pesar que los propietarios del cementerio han construido una defensa en esta ribera, lo cierto es que existe la amenaza de inundación en caso de presencia de fenómenos como el de El Niño que pondrían en riesgo la calidad de las aguas subterráneas.
- Como estaciones de monitoreo de calidad de las aguas subterráneas se utilizaron los 11 pozos profundos ubicados al entorno del cementerio. Los elementos indicadores de contaminación seleccionados fueron: Coliformes Termotolerantes, Colonias Heterótrofas y Nitratos. La data histórica que se recopiló y analizó fue de 5 años.
- De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que las operaciones que se están desarrollando en el cementerio “Parques del Paraíso” a la fecha no están generando contaminación de las aguas subterráneas que están bajo su influencia. Tampoco se ha podido establecer un patrón que haga presumir que ello va a ocurrir en el futuro.
  - Respecto a carga bacteriana, los valores obtenidos de coliformes fecales y colonias heterótrofas en ningún caso excedieron el límite máximo permisible que se establece en las guías de la Superintendencia Nacional

de Servicios de Saneamiento – SUNASS para agua potable y que es de 500 ufc/100 ml.

- En lo referente a la concentración de nitratos, considerando los valores establecidos por la SUNASS y en las guías de la OMS, en ningún caso exceden los límites máximos permisibles. Pero considerando los valores límite establecidos en la Ley General de Aguas, el contenido de nitratos excede los 10 mg./l para cuerpos de agua Clase I, en casi la totalidad de pozos muestreados.
  
- El traslado de sustancias contaminantes en el subsuelo esta influenciada por los fenómenos de advección, dispersión hidrodinámica y difusión molecular, además de otros múltiples y complejos procesos físico-químico y biológico.

## CAPITULO VII

### DISCUSION DE RESULTADOS

- En el cementerio “Parques del Paraíso” en promedio se llevan a cabo 60 sepultamientos al mes, considerando que cada cuerpo pese 70 kilos, el volumen teórico de generación de lixiviados será de  $2.4 \text{ m}^3/\text{mes}$  o  $0.1 \text{ m}^3/\text{día}$ . Dado que el nivel de precipitaciones en esta zona es casi nula, la única fuente capas de arrastrarlos serían las aguas que se utilizan para el riego de las áreas verdes del camposanto y para el procedimiento de compactación del fondo de las sepulturas bajo suelos. En el año de 1970, el Ingeniero Sanitario peruano Alejandro Vínces Araos realizó una investigación con la finalidad de establecer cuando es que se producían emisiones de líquidos de un relleno sanitario de la ciudad de California, llegando a establecer que cuando se aplican 45 cms de agua, a razón de 3 cm diarios, y esto significa una proporción de 140 litros por  $\text{m}^3$  de residuos sólidos (que corresponde aproximadamente a unos 270 l/tn), se producen emisiones de líquidos.
- El hecho de no haber encontrado contaminación, a la fecha, en las aguas subterráneas que están bajo la influencias del cementerio “Parques del Paraíso” se debería a los siguientes hechos:
  - La cantidad promedio de entierros que se tiene actualmente (60 sepultamientos al mes) es mucho menor a lo que se proyectó en un comienzo (200 sepultamientos por mes).
  - El nivel de aguas que discurren por el río Lurin no han rebasado los registros históricos que se presentaron durante el Fenómeno El Niño periodo Noviembre 1997 Abril 1998, en que el caudal del río alcanzó un máximo de  $84,800 \text{ m}^3/\text{mes}$ . Se ha demostrado que las aguas de escorrentía son las principales recargadoras de este acuífero.

- Los propietarios del camposanto “Parques del Paraíso” decidieron no construir sepulturas bajo suelo en lugares muy cercanos a la orilla del río Lurin.
  
- Es necesario un mayor análisis de tipo de suelos donde se ha construido el cementerio “Parques del Paraíso” a fin de establecer si por las características físicas, químicas y bacteriológicas posibilitan que estos sean asimilados o absorbidos por los ecosistemas existentes en dicho recurso.
  
- Respecto al contenido de coliformes termotolerantes o fecales, según la investigación realizada el Dr. Alberto Pacheco, y publicada en un artículo de la revista SPAM-1986, titulado “Los cementerios como riesgo potencial para las aguas de abastecimiento”, luego de evaluar 22 cementerios ubicados en la ciudad de Sao Paulo – Brasil en los que se llevan a cabo 200 sepultamientos por mes, concluyo que la inexistencia de este tipo de microorganismos podría deberse a la poca resistencia que tienen los patógenos a las condiciones de oxigenación y ausencia relativa de humedad en los suelos. Considerando que los suelos donde esta asentado el camposanto “Parques del Paraíso” están, dada la alta porosidad por la que circularía aire y agua en tasa moderada a alta, bien oxigenados y que la humedad que presentan es alta, se podría concluir que deberían haberse tenido resultados contenido de coliformes en los pozos ubicados cerca y aguas debajo de donde se ubica el camposanto. El que no se hayan obtenido estos resultados se debe a la composición de estos suelos que como ya se señaló son arenos gravosos con piedras grandes o chicas. Esta hipótesis se sustenta aun mas si consideramos lo establecido en el trabajo desarrollado por un grupo de maestristas de Salud Ambiental de la Facultad de Salud Publica de la Universidad de Sao Paulo – Brasil (“Minimización de la contaminación de aguas subterráneas causadas por cementerios”) en que señalaban la presencia de coliformes totales y fecales en pozos cuyos niveles de agua variaban entre los 4 a 9 metros y con suelos arenosos con ciertos niveles de arcilla.

- Respecto al contenido de sustancias nitrogenadas, en la investigación desarrollada por el Dr. Leziro Márquez Silva, que resume datos registrados por 25 años en 600 cementerios ubicados en varios Estados de Brasil, se señala la presencia de concentraciones excesivas de sustancias nitrogenadas y contaminación bacterial. Considerando el volumen de generación de lixiviados estimado para el camposanto “Parques del Paraíso”, tenemos que el volumen de sustancias nitrogenadas a generarse será de 0.24 m<sup>3</sup>/mes o 0.01 m<sup>3</sup>/día. Cabe anotar que 1 mgr/l de NH<sub>3</sub> es capaz de generar 4.43 mgr/l de nitratos y la cantidad potencial del mismo en los líquidos evacuados de un relleno sanitario supera en mucho la tasa segura de 20 mgr/l de nitrato en el agua apta para consumo infantil, inclusive un alto contenido de nitratos en el agua desmejora los suelos en su coeficiente de permeabilidad. Pues, a pesar de estas consideraciones tampoco se han encontrados este tipo de sustancias en las muestras analizadas, tampoco existe un patrón que nos permita establecer que este hecho se podría presentar en el futuro.

## **CAPITULO VIII**

### **RECOMENDACIONES**

- Para acuíferos ubicados en zonas de alto riesgo de contaminación de características similares a las analizadas en esta investigación, y con mayor razón si constituyen fuentes principales de agua para consumo humano, se debe exigir los estudios que comprendan el cabal desarrollo de los siguientes temas:
  - Homogeneidad del suelo, es decir, establecer el grado de concentración de arcillas en el terreno, presentar valores porcentuales en peso, de arena, sílice y arcilla, y coeficiente de permeabilidad media del suelo.
  - Nivel de la napa freática, especificando: profundidades del nivel, sentido del flujo hidráulico subterráneo, inventario detallado de pozos, análisis de la calidad físico-química y bacteriológica de las aguas subterráneas.
  - Hidrología, con información histórica no menor a 50 años sobre: caudales, niveles de escorrentía y análisis de la calidad físico-química y bacteriológica de las aguas superficiales.
  - Espesor de la capa no saturada, calculada con relación a la profundidad de la superficie piezométrica que tenga en cuenta la altura máxima de la masa geológica a lo largo de su historia hidrológica.
  - Evaluación socioeconómica, consulta mediante encuestas sobre las expectativas de la población circundante en relación al camposanto.
  - Evaluación minuciosa de las consideraciones geológicas, características litológicas y estructurales del terreno, tales como: la capacidad de retención del suelo, litología, aireación, humedad, nutrientes, porcentajes de arena, sílice, arcilla entre otros.

- En lugares como el de materia de la investigación, el enterramiento de cadáveres siempre deberá realizarse en cofres impermeabilizados y zonas impermeabilizadas con geomembranas, de tal forma que se garantice el confinamiento adecuado y la retención de los lixiviados.
- Para el caso específico del cementerio “Parque del Paraíso”, a fin de proteger las sepulturas de las probables inundaciones dada la cercanía al río Lurin, se recomienda exigir lo siguiente:
  - Construir defensas ribereñas en que se considere como altura el nivel medio mensual de las aguas de escorrentía que se presenten en las épocas de máximo aforo presentado en los últimos 50 años.
  - Establecer una zona de protección que abarque hasta el nivel igual a 10 de las curvas de isoprofundidad.
- El sistema de tratamiento de aguas residuales de origen domestico actual, constituido por tanques sépticos y pozos de percolación, debe ser cambiado por otro que impida el probable contacto de carga patogénica con las aguas subterráneas.
- Son validas las recomendaciones proporcionadas luego del desarrollo de los trabajos de investigación liderados por el Dr. Alberto Pacheco y Dr. Edu Parreira, es decir:
  - Tomar serios cuidados en el entierro de cuerpos en los que la causa mortis haya sido contagiosa o epidémica, en que se recomienda la cremación, y con los cadáveres de las personas que fueron tratadas con elementos radiactivos.
  - Desarrollar campañas de concienciación, a todo nivel, respecto a las implicancias ambientales que puede tener la construcción de camposantos en lugares de riesgo para la calidad de las aguas subterráneas.
  - Desarrollar campañas de incentivo a la cremación en caso de enfermedades contagiosas.

- Un control riguroso del monitoreo de recursos hídricos.
  - Supervisar la adecuada construcción de nuevos cementerios.
- En la medida que este no es el único caso de problemática de contaminación de aguas subterráneas, también está el caso de el “Campo de Fe de Huachipa” en que se permitió su funcionamiento previa construcción de un sistema de drenaje en el fondo del área y que dicho sea de paso nadie controla, y el de “Jardines de la Paz” en que se permite el uso de geomembranas para proteger nichos bajo tierra ya que las aguas subterráneas interactúan con las oceánicas, es necesario que la Autoridad de Salud competente, específicamente la Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA, se preocupe por revisar, modificar o dejar sin efecto artículos del Reglamento de la Ley General de Cementerios y Servicios Funerarios, Ley N° 26298, con la finalidad de posibilitar una mejor protección de los acuíferos existentes. Específicamente en los siguientes artículos:
    - Artículo 26º, que en la práctica incentiva la construcción de cementerios con sepulturas bajo suelos en zonas agrícolas (donde mayormente las aguas subterráneas y/o superficiales están próximos) y considero debe ser derogado.
    - Artículo 15º:
      - ítem ii), en que se debe exigir el análisis minucioso del espesor de la capa no saturada y de la homogeneidad del suelo;
      - ítem c - iii), en que se debe exigir la realización de un estudio hidrológico y ambiental minucioso;
      - ítem r-ii), en que se debe exigir la evaluación minuciosa de la variación del nivel de napa freática.
  - Debido a que en los últimos años se ha incrementado la construcción de cementerios tipo parque ecológico en áreas cercanas a cursos de aguas superficiales y subterráneas, y que ponen en riesgo la calidad de éstas, es necesario desarrollar una metodología que nos permita determinar la

vulnerabilidad de los acuíferos. Se propone desarrollar algo similar al sistema PATHS que se usa en Cuba, el cual consiste en la aplicación de un sistema por rangos ponderados que permite calcular un índice que esta en relación directa con la vulnerabilidad del acuífero. Este método requiere lo siguiente:

- a) Información disponible sobre precipitación media anual, mapa de relieve topográfico, mapa de suelos y mapa hidrogeológico, digitalizados.
- b) Establecer variables a emplear: nivel estático del agua subterránea, precipitaciones, litología del acuífero, tectónica, pendiente topográfica, resistencia hidráulica del suelo.
- c) Asignación de pesos y rangos a cada una de las variables señaladas, establecer un formula matemática y analizar la variabilidad del índice.
- d) Utilizar como instrumento el GIS, digitalizar toda la información con la finalidad de procesarla en este sistema.

## BIBLIOGRAFIA

Mulder, (1954):

*Incidencia de fiebre tifoidea en Berlín (1863 y 1867) y Paris (sin fecha).  
Alemania-Francia.*

Bach. Ricardo M; Gonzáles Videla, Lorenzo Jorge (1985):

*Monitoreo de la calidad hídrica en el entorno de rellenos sanitarios,  
algunos comentarios sobre la experiencia en nuestro país. Lima – Perú.*

Dr. Alberto Pacheco (1986):

*Los Cementerios como riesgo potencial para las aguas de  
abastecimiento.*

Instituto Brasileño de Administración Municipal (1988):

*Sistema Urbano de Cementerios – Brasil.*

Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental Brasil – CETESB (1900):

*Implantación y Operación de Cementerios en Brasil.*

Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental Brasil – CETESB (1970):

*Los Cementerios como fuente de Contaminación en Brasil.*

Dr. Martins M.T. (1991):

*Calidad bacteriológica de aguas subterráneas en cementerios de Sao  
Paulo.*

Foster, Stephen S.D., Ricardo Cesar Aoki (1991)

*Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, una  
metodología basada en datos existentes.*

Dr. Leziro Marques Silva (1996):

*Los cementerios en la problemática ambiental de Brasil.*

Dr. Edu Parriera (1999)

*Minimización de la Contaminación de Aguas Subterráneas causadas por los Cementerios. San Paulo – Brasil.*

Michael D. LaGrega, Phillip L. Buckingsm, Jeffrey C. Evans (1998)

*Gestión de los Residuos Tóxicos.*

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática – INEI 2000,

*Características Socio - Demográficas y de Vivienda de Lurin y Pachacamac. Lima – Perú.*

Higienistas franceses, (2004):

*Endemia de fiebre tifoidea y hepatitis A en principales ciudades de Francia. Francia.*

# ANEXO N° 1:

## Glosario de Términos

**Acuífero:** son todos los depósitos permanentes o temporales de agua, tanto los cargados de manera artificial como natural, en el subsuelo, de suficiente capacidad para un uso adecuado. Esta categoría incluye el agua contenida en la napa freática y la de las depresiones geológicas.

**Agua:** el agua pura es un líquido inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A la presión atmosférica (760mm de mercurio), el punto de congelación del agua es de 0° C y su punto de ebullición de 100° C. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4° C y se expande al congelarse. Como muchos otros líquidos, el agua puede existir en estado sobre enfriado, es decir, que puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar fácilmente a unos -25° C sin que se congele.

**Agua subterránea:** agua contenida en el subsuelo, procedente de la infiltración (precipitaciones y escorrentía) y en ocasiones de aguas juveniles magmáticas.

**Calidad del agua:** propiedades físicas, químicas, biológicas y organolépticas del agua, condición general que permite que el agua se emplee para usos concretos. La calidad del agua está determinada por la hidrología, la fisicoquímica y la biología de la masa de agua a que se refiera.

**Cuenca hidrográfica:** es una porción del terreno definido, por donde discurren las aguas en forma continua o intermitente hacia un río mayor, un lago o el mar.

**Coliformes fecales:** Son microorganismos con una estructura parecida a una bacteria común que se llama Escherichia Coli y se transmite por medio de los excrementos. La Escherichia Coli es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del hombre y en el de otros animales.

**Contaminación del agua:** vertidos, derrames, desechos y depósitos directos o indirectos de toda clase de materiales y, más generalmente, todo hecho susceptible de provocar un incremento de la degradación de las aguas, modificando sus características físicas, químicas o bacteriológicas.

**Efluente:** líquido que fluye de un recipiente u otro sistema, agua o aguas residuales que fluyen fuera de un embalse o de una planta de tratamiento, derivación de un curso de agua principal o de un lago, agua residual u otro líquido, parcial o completamente tratado o en su estado natural que, fluye de un depósito, estanque, planta de tratamiento o planta industrial.

**Espesor de la capa no saturada:** Capa que tiene como límite superior el propio perfil del suelo y como límite inferior la zona saturada.

**Homogeneidad del suelo:** conjunto de elementos que componen un suelo y que son de igual condición o naturaleza.

**Lixiviados:** Se trata de materia sólida descompuesta y microbios, incluidas las bacterias causantes de enfermedades. Todos los vertederos donde los residuos son depositados con un alto contenido en materia orgánica, tienen una producción de aguas residuales, llamados lixiviados. Los lixiviados,

provenientes de vertederos, tienen normalmente una contaminación orgánica muy alta.

**Nivel de la napa freática:** distancia entre el perfil del suelo y el nivel más superficial a que llegan las aguas subterráneas solo por acción de la gravedad.

**Putrescina y cadaverina:** complejos químicos provenientes, entre otros orígenes, de la descomposición de cadáveres y en los que predominan los compuestos nitrogenados.



**Foto N° 7: Frontis del camposanto Parques del Paraíso - Lurín - Lima.**



**Foto N° 8: Acequia de regadío que discurre por el frontis.**



**Foto N° 9: Ambiente interior del camposanto Parques del Paraíso.**



**Foto N° 10: Oficinas administrativas donde hay servicios higiénicos**



**Foto N° 11: Este es el tipo de sepulturas que predominan en el camposanto.**



**Foto N° 12: Franja que se ha dejado sin sepulturas. La margen izquierda del cauce del río Lurin esta al fondo de esta toma.**