

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



"GEOQUIMICA DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA"

TESIS

para optar el Título Profesional de
INGENIERO GEOLOGO

Carlos Andrés Agreda Minaya

Lima - Perú

1995

A mi madre,

Elena.

*A quien quiero mucho y a quien siempre
corresponderé su amor y confianza.*

A mis hermanos,

Teófilo, Zenaida, Abel y Lucy.

MIS AGRADECIMIENTOS:

Al Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima Metropolitana (SEDAPAL); en la persona de la Ing. Nelly Nakamatsu Nakamatsu, Jefa de la Unidad Evaluación de Calidad, Gerencia de Redes Primarias y Disposición Final; por darme la oportunidad de realizar la presente tesis y brindarme el apoyo necesario durante el tiempo de duración del mismo.

A la Quím. Cristina Elizabeth Toro Vilchez, Analista Químico del Laboratorio Físico-Químico de la Unidad Evaluación de Calidad, por la realización de los análisis físico-químicos y análisis espectrométricos de absorción atómica.

A los catedráticos de la Universidad Nacional de Ingeniería (U.N.I.); de manera especial a mis asesores el Lic. Atilio Mendoza Apolaya y el Dr. Nestor Teves Rivas, profesores principales de la F.I.G.M.M., por el asesoramiento brindado durante la realización de la presente tesis y en general durante mi formación académica.

Finalmente a mi madre y hermanos; por todo el afecto y apoyo que siempre han tenido para conmigo.

"GEOQUIMICA DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA"

CONTENIDO GENERAL

PAG.

	1
<u>INTRODUCCION.</u>	2
<u>CAPITULO I.</u>	
<u>1. GENERALIDADES:</u>	
1.1. UBICACION Y EXTENSION.	3
1.2. OBJETIVOS Y ALCANCES.	4
1.3. METODOLOGIA DEL TRABAJO.	4
1.4. ESTUDIOS ANTERIORES REALIZADOS.	6
<u>CAPITULO II.</u>	
<u>2. MARCO GEOLOGICO:</u>	
2.1. GEOMORFOLOGIA:	
2.1.1. Rasgos geomorfológicos.	7
2.1.2. Drenaje.	9
2.2. CICLOS SEDIMENTARIOS:	
2.2.1. Facies Volcánico-sedimentario.	11
2.2.2. Facies Sedimentaria-clástica.	11
2.2.3. Facies Arcillo-calcárea.	11
2.2.4. Facies Sedimentario-volcánica.	11
2.3. UNIDADES LITO-ESTRATIGRAFICAS:	
2.3.1. Grupo Puente Piedra:	
Volcánico Santa Rosa.	13
Formación Puente Inga.	13
Formación Ventanilla.	14
Formación Cerro Blanco.	14
Volcánico Ancón.	14
2.3.2. Grupo Morro Solar:	
Formación Salto del Fraile.	15
Formación Herradura.	15
Formación Marcavilca.	15
2.3.3. Formaciones Pamplona y Atocongo:	
Formación Pamplona.	16
Formación Atocongo.	16
2.3.4. Grupo Casma:	
Formación Chilca.	16
Volcánico Quílmana.	16
2.4. DEPOSITOS CUATERNARIOS:	
2.4.1. Depósitos Cuaternarios Pleistocénicos.	17
2.4.2. Depósitos Cuaternarios Recientes.	18
<u>CAPITULO III.</u>	
<u>3. CARACTERISTICAS DEL ACUIFERO:</u>	
<u>3.1. EL RESERVORIO ACUIFERO:</u>	
3.1.1. Características del horizonte superior.	19
3.1.2. Características del horizonte inferior.	19
<u>3.2. LA NAPA ACUIFERA:</u>	
3.2.1. Características del ciclo hidrológico.	19
3.2.2. Principales fuentes de abastecimiento de agua en Lima Metropolitana.	21
3.2.3. Principales fuentes de alimentación de la napa acuífera en Lima Metropolitana.	23
3.2.4. Profundidad de la napa acuífera en las diversas zonas de Lima Metropolitana.	24
3.2.5. Variación del nivel de la napa acuífera en las diversas zonas de Lima Metropolitana.	26
3.2.6. Gradiente hidráulico del agua subterránea en las diversas zonas de Lima Metropolitana	29

4. GEOQUIMICA:**4.1. MUESTREO GEOQUIMICO:**

- 4.1.1. Determinación del Universo de Muestreo:
 - 4.1.1.1. Características de los pozos. 31
 - 4.1.1.2. Selección e inspección de pozos. 31
- 4.1.2. Estrategias de muestreo:
 - 4.1.2.1. Consideraciones hidrogeológicas. 35
 - 4.1.2.2. Consideraciones físico-químicas. 35
- 4.1.3. Recolección de muestras. 3
- 4.1.4. Resumen del muestreo geoquímico. 3

4.2. FACTORES QUE INFLUENCIAN LA COMPOSICION QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS:

- 4.2.1. Influencia de las lluvias que precipitan sobre el acuífero. 36
- 4.2.2. Influencia de las características geológicas del reservorio acuífero. 36
- 4.2.3. Influencia de las características de los suelos en donde se han perforado los pozos 38
- 4.2.4. Influencia de la explotación por medio de pozos perforados. 38

4.3. PARAMETROS FISICO-QUIMICOS ESTUDIADOS:

- 4.3.1. Parámetros físico-químicos determinados in situ durante las mediciones de campo:
 - 4.3.1.1. Conductividad (SEC). 40
 - 4.3.1.2. Sólidos disueltos totales (TDS). 40
 - 4.3.1.3. Temperatura (T.). 40
 - 4.3.1.4. pH. 41
 - 4.3.1.5. Eh. 41
 - 4.3.1.6. Oxígeno disuelto (D.O.). 41
- 4.3.2. Parámetros físico-químicos determinados durante los análisis de laboratorio:
 - 4.3.2.1. Cationes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ . 43
 - 4.3.2.2. Aniones: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- y NO_3^- . 44

4.4. PRINCIPALES PROCESOS FISICO-QUIMICOS OCURRIDOS EN EL ACUIFERO QUE DETERMINAN LA COMPOSICION QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS:

- 4.4.1. Procesos químicos redox. 46
- 4.4.2. Procesos de disoluciones minerales. 46
- 4.4.3. Condiciones redox típicas de campo y cambios geoquímicos a lo largo de la dirección de flujo de las aguas subterráneas. 48
- 4.4.4. Condiciones de disolución minerales típicas de campo y cambios geoquímicos a lo largo de la dirección de flujo de las aguas subterráneas. 51

4.5. COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA:

- 4.5.1. Tipos hidroquímicos de agua subterránea con respecto a su contenido iónico. 54
- 4.5.2. Tipos hidroquímicos de agua subterránea en base a diagramas de Piper. 58
- 4.5.3. Tipos hidroquímicos de agua subterránea en base a diagramas de Durov. 69
- 4.5.4. Resumen de los tipos hidroquímicos de agua subterránea presentes en el acuífero. 74

4.6. PLANOS GEOQUIMICOS:

- 4.6.1. Plano de Distribución de los tipos hidroquímicos de agua subterránea en el acuífero de Lima Metropolitana. 74
- 4.6.2. Planos de Distribución de la concentración de sulfatos, cloruros y nitratos en el acuífero de Lima Metropolitana. 74

	<u>PAG.</u>
<u>CAPITULO V.</u>	
<u>5. EVALUACION DE LOS RIESGOS DE CONTAMINACION</u>	
<u>ACUIFERO POR TRAZAS DE PLOMO EN LOS POZOS DE AG</u>	
<u>SEDAPAL.</u>	
5.1. ANTECEDENTES.	79
5.2. OBJETIVOS.	79
5.3. METODOLOGIA DEL TRABAJO:	
5.3.1. Trabajo de campo.	80
5.3.2. Trabajo de gabinete.	80
5.4. MUESTREO GEOQUIMICO:	
5.4.1. Selección e inspección de pozos.	81
5.4.2. Recolección y almacenamiento de muestras.	84
5.5. ANALISIS POR ESPECTROMETRIA DE ABSORCION ATOMICA:	
5.5.1. Preparación de muestras.	84
5.5.2. Análisis espectrométrico por aspiración directa en flama de aire-acetileno.	85
5.6. REPRESENTACION DE LOS VALORES DE LAS ANOMALIAS GEOQUIMICAS OBTENIDAS.	88
5.7. EVALUACION DE RESULTADOS.	94
5.8. FORMULACION DE ESTRATEGIAS PARA LA REALIZACION DE ACCIONES PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS.	94
 <u>CAPITULO VI.</u>	
<u>6. CONCLUSIONES.</u>	95
 <u>CAPITULO VII.</u>	
<u>7. RECOMENDACIONES.</u>	99
 <u>CAPITULO VIII.</u>	
<u>8. ANEXOS:</u>	
8.1. ANEXO 1. BIBLIOGRAFIA.	101
8.2. ANEXO 2. COORDENADAS DE UBICACION DE LOS POZOS DE ESTUDIO.	105
8.3. ANEXO 3. TABLA DE DATOS DE LAS MEDICIONES DE CAMPO.	107
8.4. ANEXO 4. TABLA DE DATOS DE LOS ANALISIS DE LABORATORIO.	109
8.5. ANEXO 5. TABLA DE DATOS DE LOS ANALISIS ESPECTROMETRICOS DE PLOMO.	111
8.6. ANEXO 6. PLANOS Y SECCIONES.	112

"GEOQUIMICA DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA"

RELACION DE CUADROS:

<u>CODIGO:</u>	<u>DESCRIPION:</u>	<u>PAG.</u>
3.2.3.1.	Principales fuentes de alimentación de caudal afluente de la napa acuífera.	23
3.2.3.2.	Principales fuentes de alimentación de caudal efluente de la napa acuífera.	23
3.2.4.	Profundidad que presenta la napa acuífera en las diversas zonas de Lima Metropolitana.	25
3.2.5.1.	Variación del nivel de la napa acuífera en los diversos pozos de observación piezométrica de Lima Metropolitana.	26
3.2.5.2.	Variación del nivel de la napa acuífera en los últimos años en Lima Metropolitana.	28
3.2.6.	Gradiente hidráulico que presentan las aguas subterráneas en las diversas zonas de Lima Metropolitana	30
4.1.1.1.	Pozos seleccionados para el estudio geoquímico del acuífero de Lima Metropolitana.	32
4.1.1.2.	Resumen de los pozos seleccionados para el estudio geoquímico del acuífero.	34
4.2.3.	Características de los suelos en donde se han perforado los pozos en las diversas zonas de Lima Metropolitana.	39
4.3.1.	Características de los parámetros físico-químicos determinados in situ durante las mediciones de campo.	42
4.3.2.	Características de los parámetros físico-químicos determinados durante los análisis de laboratorio.	45
4.5.1.	Tipos hidroquímicos de agua subterránea con respecto a su contenido iónico.	57
4.5.2.	Tipos hidroquímicos de agua subterránea en base a diagramas de Piper.	68
4.5.3.	Tipos hidroquímicos de agua subterránea en base a diagramas de Durov.	73
5.4.1.1.	Pozos seleccionados para el estudio geoquímico del plomo en Lima Metropolitana.	81
5.4.1.2.	Resumen de los pozos seleccionados para el estudio geoquímico del plomo.	83
5.4.2.	Condiciones de recolección, almacenamiento y grado de contaminación del plomo.	84
5.5.2.1.	Concentraciones de plomo en las 62 muestras de agua subterránea recolectadas en Lima Metropolitana.	86
5.5.2.2.	Concentraciones de plomo en función a su valor guía (V.G.).	87
5.6.0.	Valores de background, threshold y anomalías geoquímicas obtenidas para el plomo.	92

RELACION DE FIGURAS:

<u>CODIGO:</u>	<u>DESCRIPCION:</u>	<u>PAG.</u>
1.1.0.	Ubicación del área de estudio.	3
2.1.1.	Unidades Geomorfológicas en Lima Metropolitana y alrededores.	8
2.2.0.	Columna estratigráfica de los cuadrángulos de Chancay-Chosica, Lima-Lurín (zona costera).	12
3.2.1.1.	Ciclo hidrológico del agua.	20
3.2.1.2.	Ciclo hidrológico con énfasis en el flujo de aguas subterráneas someras.	20
4.2.2.1.	Movilidad geoquímica de los elementos basado en su abundancia en arenisca y su comparación con agua de mar.	37
4.2.2.2.	Transformaciones teóricas que pueden ocurrir en las aguas subterráneas durante reducción y oxidación.	37
4.4.0.	Ubicación de las secciones longitudinales para el estudio de los procesos físico-químicos que ocurren en el acuífero.	47

RELACION DE GRAFICOS:

<u>CODIGO:</u>	<u>DESCRIPCION:</u>	<u>PAG.</u>
3.2.5.	Variación del nivel de la napa acuífera en los últimos años en Lima Metropolitana.	28
4.1.1.	Resumen de los pozos seleccionados para el estudio geoquímico del acuífero.	34
4.5.1.	Tipos hidroquímicos de agua subterránea con respecto a su contenido iónico.	57
4.5.2.1.	Diagrama de Piper para las 121 muestras de agua subterránea recolectadas en Lima Metropolitana.	67
4.5.2.2.	Tipos hidroquímicos de agua subterránea en base a diagramas de Piper.	68
4.5.3.1.	Diagrama de Durov para las 121 muestras de agua subterránea recolectadas en Lima Metropolitana.	72
4.5.3.2.	Tipos hidroquímicos de agua subterránea en base a diagramas de Durov.	73
5.4.1.	Resumen de los pozos seleccionados para el estudio geoquímico del plomo.	83
5.5.2.	Concentraciones de plomo en función a su valor guía (V.G.).	87
5.6.0.	Valores de background, threshold y anomalías geoquímicas obtenidas para el plomo.	92

RELACION DE PLANOS:

<u>CODIGO:</u>	<u>DESCRIPCION:</u>	<u>PAG.</u>
P-01	Plano de ubicación de los ríos, límites del área de agua subterránea en los valles y geología en Lima Metropolitana.	10
P-02	Plano de distribución zonal para el estudio de las aguas subterráneas en el acuífero de Lima Metropolitana.	22
P-03	Plano de ubicación de los pozos de observación piezométrica existentes para el acuífero de Lima Metropolitana.	27
P-04	Plano de ubicación de las muestras hidroquímicas recolectadas para el estudio geoquímico del acuífero de Lima Metropolitana.	33
P-05	Plano de distribución de los tipos hidroquímicos de agua subterránea presentes en el acuífero de Lima Metropolitana.	75
P-06	Plano de distribución de las concentraciones de sulfatos presentes en el acuífero de Lima Metropolitana.	76
P-07	Plano de distribución de las concentraciones de cloruros presentes en el acuífero de Lima Metropolitana.	77
P-08	Plano de distribución de las concentraciones de nitratos presentes en el acuífero de Lima Metropolitana.	78
P-09	Plano de ubicación de las muestras hidroquímicas recolectadas para el estudio geoquímico del plomo en el acuífero de Lima Metropolitana.	82
P-10	Plano de distribución de las concentraciones de plomo presentes en el acuífero de Lima Metropolitana.	93

RESUMEN

La presente tesis que comprende el estudio de la "Geoquímica del acuífero de Lima Metropolitana", nos permite actualizar los conocimientos sobre los tipos hidroquímicos de agua subterránea presentes en el acuífero así como su evolución geoquímica y grado de contaminación sobretodo debido a trázras de plomo en los pozos de agua administrados por SEDAPAL.

La presente tesis comprendió un estudio completo de la composición hidroquímica de las aguas subterráneas del acuífero de Lima Metropolitana, para tal fin se llevaron a cabo diversas determinaciones tales como: mediciones in situ de conductividad específica, sólidos disueltos totales, temperatura, pH, Eh y oxígeno disuelto; análisis de laboratorio para determinaciones cuantitativas de los cationes: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ y K^+ , y de los aniones: HCO_3^{-2} , SO_4^{-2} , Cl^- y NO_3^- , todas estas determinaciones se llevaron a cabo en 121 pozos; finalmente se evaluó el grado de contaminación del agua de bebida por trazas de plomo mediante análisis por espectrometría de absorción atómica en 62 muestras de agua subterránea.

Los resultados obtenidos en la presente tesis ponen de manifiesto que en el acuífero de Lima Metropolitana se pueden distinguir marcadamente 6 tipos hidroquímicos de agua subterránea, de las cuales las aguas sulfatadas (tipo "sulfato de calcio") son las que predominan; también se confirma que el grado de contaminación por trazas de plomo en algunos pozos de agua es mínima y se debe principalmente a la corrosión en las tuberías usadas en las instalaciones de redes de agua y desagüe.

Esta tesis tiene la intención de servir de ayuda a geólogos graduados, a geólogos con experiencia práctica limitada en hidrogeoquímica y también a aquellos futuros geólogos que están en los inicios de su carrera profesional.

INTRODUCCION

El agua subterránea juega un rol muy importante en muchos procesos geológicos; su presencia o ausencia es esencial para los procesos hidrotermales y la génesis de muchos cuerpos y vetas mineralizadas pero quizás la característica mas importante del agua subterránea es su valor como recurso natural para ser usado como fuente de abastecimiento de agua.

En los capítulos preliminares tenemos el capítulo I que comprende la metodología y los objetivos para la realización de la presente tesis; el capítulo II en donde se menciona en un resumen bibliográfico todo lo correspondiente al Marco Geológico del área de estudio y el capítulo III que comprende las características principales tanto del reservorio acuífero como de las aguas subterráneas presentes en el acuífero de Lima Metropolitana en base a información proporcionada por SEDAPAL.

Los capítulos principales son el capítulo IV que comprende las técnicas de campo usadas para la evaluación de la composición hidroquímica de las aguas subterráneas a través de análisis físico-químicos in situ y de laboratorio, programas por computadora para el balance de iones y diagramas de caracterización de aguas subterráneas, concluyendo con la realización de planos que muestran la Geoquímica del Acuífero de Lima Metropolitana en la actualidad; y el capítulo V que comprende la Evaluación de los riesgos de contaminación del acuífero por trazas de plomo en los pozos de agua de SEDAPAL basándonos en análisis espectrométricos de absorción atómica para la determinación de las anomalías geoquímicas.

Finalmente tenemos el capítulo VIII, que comprende bibliografía utilizada, las coordenadas de ubicación de los pozos, los cuadros de datos de los resultados obtenidos en las etapas de recolección de muestras, análisis físico-químicos de laboratorio y análisis espectrométricos de absorción atómica.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES.

1.1. UBICACION Y EXTENSION:

El área de estudio se ubica en la parte central y occidental del Perú, exactamente en la parte central de la Costa Peruana y cubre una superficie de aproximadamente 1,700 Km²; además se encuentra limitada por las siguientes coordenadas geográficas:

**11°45' a 12°15' Latitud Sur y
76°45' a 77°15' Latitud Oeste.**

El área de estudio abarca el área urbana de Lima Metropolitana y se extiende de norte a sur desde el distrito de Comas hasta el distrito de Chorrillos; y de este a oeste desde el distrito de Ate-Vitarte hasta el distrito del Callao.

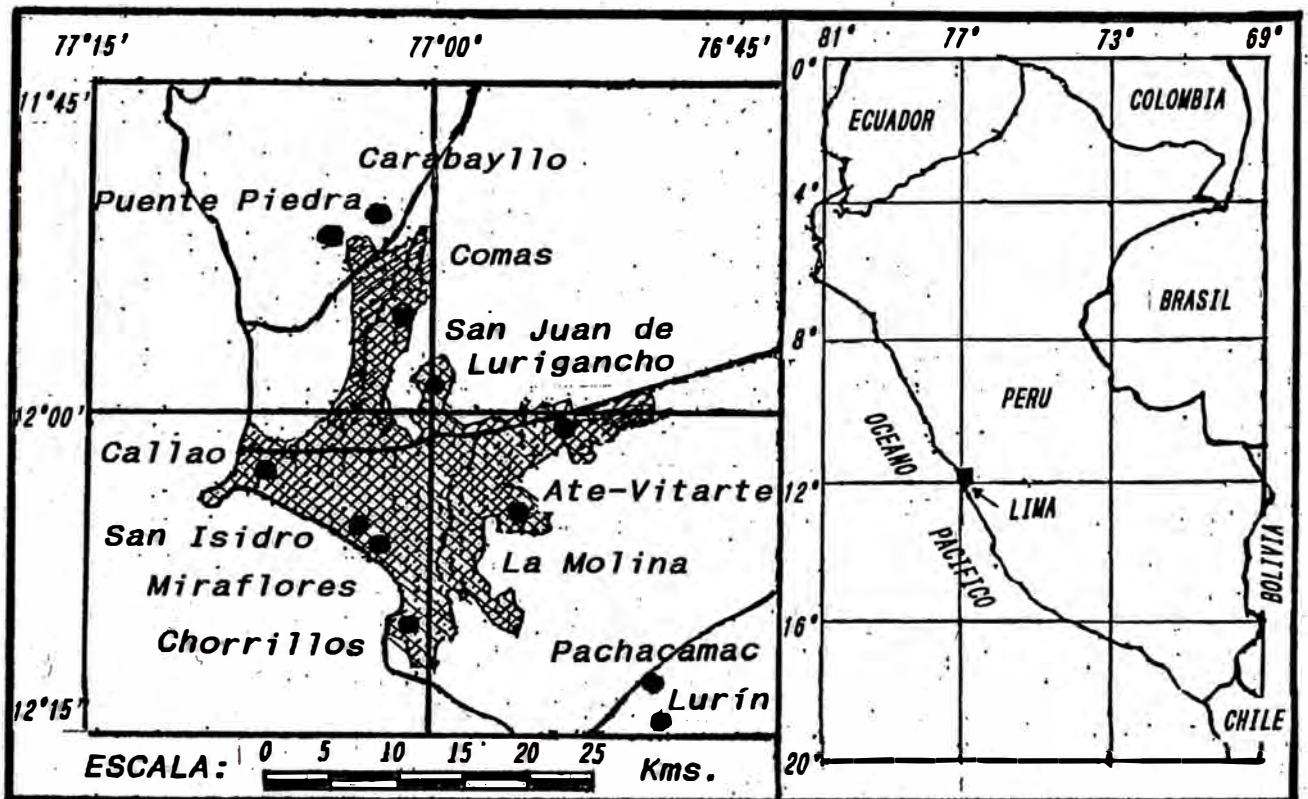


FIGURA 1.1.0. UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO.

1.2. OBJETIVOS Y ALCANCES:

El objetivo principal es actualizar los conocimientos existentes sobre la composición química de las aguas subterráneas del acuífero de Lima Metropolitana debido a que en los últimos años se ha hecho imprescindible contar con datos y planos más precisos así como con información para nuevas áreas que nos permitan realizar una mejor explotación de los recursos del acuífero.

Otro objetivo es determinar el grado de contaminación por trazas de plomo que presentan las aguas subterráneas que se extraen desde los pozos, determinando cuan corrosivas son las aguas en las diversas partes del acuífero.

Con estos objetivos, determinaremos la composición hidroquímica de las aguas subterráneas en la actualidad y protegeremos el recurso hídrico subterráneo destinado para el consumo humano de la población de Lima Metropolitana.

1.3. METODOLOGIA DEL TRABAJO:

TRABAJO DE CAMPO: el trabajo de campo comprende las siguientes etapas de investigación:

- Reconocimiento inicial del área de estudio.- comprende la observación in situ del área de estudio para conocer la accesibilidad y equipo de campo necesario.
- Inspección de pozos.- comprende la observación in situ de los pozos para determinar las condiciones necesarias para la toma de muestras.
- Mediciones físico-químicas in situ.- comprende la medición directamente en las tuberías de descarga de los pozos de parámetros tales como: conductividad específica, sólidos disueltos totales, temperatura, pH, Eh y oxígeno disuelto.
- Recolección de muestras.- comprende la toma de muestras y posterior almacenamiento de estas para ser recepcionadas y analizadas en el laboratorio físico-químico de la Unidad Evaluación de Calidad.

TRABAJO DE GABINETE: el trabajo de gabinete comprende las siguientes etapas de investigación:

- **Estudio bibliográfico.**- comprende la evaluación de toda la información necesaria recopilada para el estudio, así como también la evaluación de datos adicionales sobre información topográfica y geológica.
- **Determinación del universo de muestreo.**- comprende la selección de pozos de estudio en función a factores hidrogeológicos, cantidad de pozos existentes y características técnicas de los pozos.
- **Elaboración de un programa para la recolección de muestras.**- comprende el tiempo de duración que tardara el muestreo, la cantidad de muestras a ser recolectadas y analizadas por día, el material y equipo necesario para el muestreo.
- **Análisis de los parámetros físico-químicos de laboratorio.**- comprende la determinación cuantitativa de las concentraciones de los cationes: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} y K^{+} y de los aniones: HCO_3^{-2} , SO_4^{-2} , Cl^{-} , y NO_3^{-} .
- **Evaluación de los principales parámetros físico-químicos presentes en las aguas subterráneas.**- comprende la evaluación de todos los resultados obtenidos utilizando métodos de computación, siendo luego procesados para obtener el balance de iones y diversas informaciones esquematizadas.
- **Evaluación de los principales procesos físico-químicos ocurridos en las aguas subterráneas.**- comprende la determinación de procesos redox en base a Eh, oxígeno disuelto, sulfatos, nitratos y procesos de disoluciones de minerales en base a bicarbonatos, calcio, magnesio, ph.
- **Evaluación de la composición química del agua subterránea presente en el acuífero.**- comprende la determinación de tipos hidroquímicos de agua en base a contenido iónico, a diagramas de Piper y a diagramas de Durov.
- **Elaboración de planos geoquímicos.**- comprende la elaboración del plano de distribución de los tipos hidroquímicos de agua subterránea en el acuífero de Lima Metropolitana y la elaboración de planos de distribución de las concentraciones de sulfatos, cloruros y nitratos.

1.4. ESTUDIOS ANTERIORES REALIZADOS:

Existe una gran cantidad de estudios e investigaciones realizadas por diversas entidades, para las aguas subterráneas de la Gran Lima y corresponden a las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín; entre estas podemos mencionar las siguientes:

- Estudio para el Manejo de los Recursos Acuíferos de la Gran Lima.

Binnie & Partners / CRC. 1985 - 1986.

- Recursos de Aguas Subterráneas de los Acuíferos del Rímac, Chillón y Lurín. Proyecto Trasvase Mantaro.

Binnie & Partners / CRC. 1981.

Recursos de Aguas Subterráneas de los Acuíferos del Rímac, Chillón y Lurín, - Modelo Matemático.

Informe Intermedio, Apéndice B.

Binnie & Partners / CRC. 1980.

Derivación de aguas de la cuenca alta del río Mantaro a Lima. Estudio de Factibilidad (Informe Final).

Volumen 6: Aguas Subterráneas.

Binnie & Partners / CRC. 1980.

Informe Final sobre la Mejor Utilización de las Aguas Subterráneas para suministro de Agua a Lima, hasta el año 2,000 para el Banco Mundial.

Lucien Bourguet / A. Aguirre - Morales. 1981.

Plan Maestro de los Sistemas de Producción y Distribución de Agua Potable.

Engineering Science. 1981.

Evaluación Preliminar de Alternativas Potenciales de Manejo de Recursos de Aguas Subterráneas.

Engineering Science. 1980.

CAPITULO II

2. MARCO GEOLOGICO.

2.1. GEOMORFOLOGIA:

2.1.1. RASGOS GEOMORFOLOGICOS.- son el resultado del proceso tectónico y plutónico, la erosión, el drenaje y la acumulación de arena eólica sobre grandes extensiones de la región; estos pueden ser observados en la Figura 2.1.1. en la página 8.

Islas.- comprende las islas San Lorenzo y El Fronton frente al distrito del Callao, y a las islas Pachacamac y Peñon frente al distrito de Lurín; las islas San Lorenzo y El Fronton constituyen la continuación geológica de la Fm. La Herradura.

Borde Litoral.- comprende la faja delgada que va desde la línea de costa hasta 1 a 2 kms. tierra adentro; esta configurado por 5 bahías principales Ancon, Callao, Chorrillos, San Bartolo y Pucusana; habiéndose formado playas abiertas por acumulación de arenas y por deriva litoral, a lo largo del borde litoral se pueden observar acantilados en Magdalena, San Isidro, Miraflores, Barranco, entre Santa Rosa y Ancón al norte y entre San Bartolo y Pucusana al sur.

Planicies Costeras y conos deyeectivos.- comprende la faja angosta de territorio paralela a la línea de costa, esta adquiere mayor amplitud en los valles de Lurín, Chillón, y Rímac; una de estas planicies constituye el cono aluvial del río Rímac donde se asienta la ciudad de Lima Metropolitana, la cual se interdigita hacia el sur con el cono aluvial del río Lurín (Villa María del Triunfo y San Juan de Miraflores) y hacia el norte con el cono aluvial del río Chillón (Santa Rosa y Ancon).

Lomas y Cerros testigos.- comprende las colinas que bordean las estribaciones de la cordillera occidental (cerros testigos en medio del cono aluvial de Lima) y las lomas que bordean la faja costanera entre estas tenemos Pucusana, San Bartolo, Lurín, San Juan, Pamplona, el cerro Morro Solar y los cerros de Villa al sur y los cerros de El Agustino, San Luis y San Cosme al este.

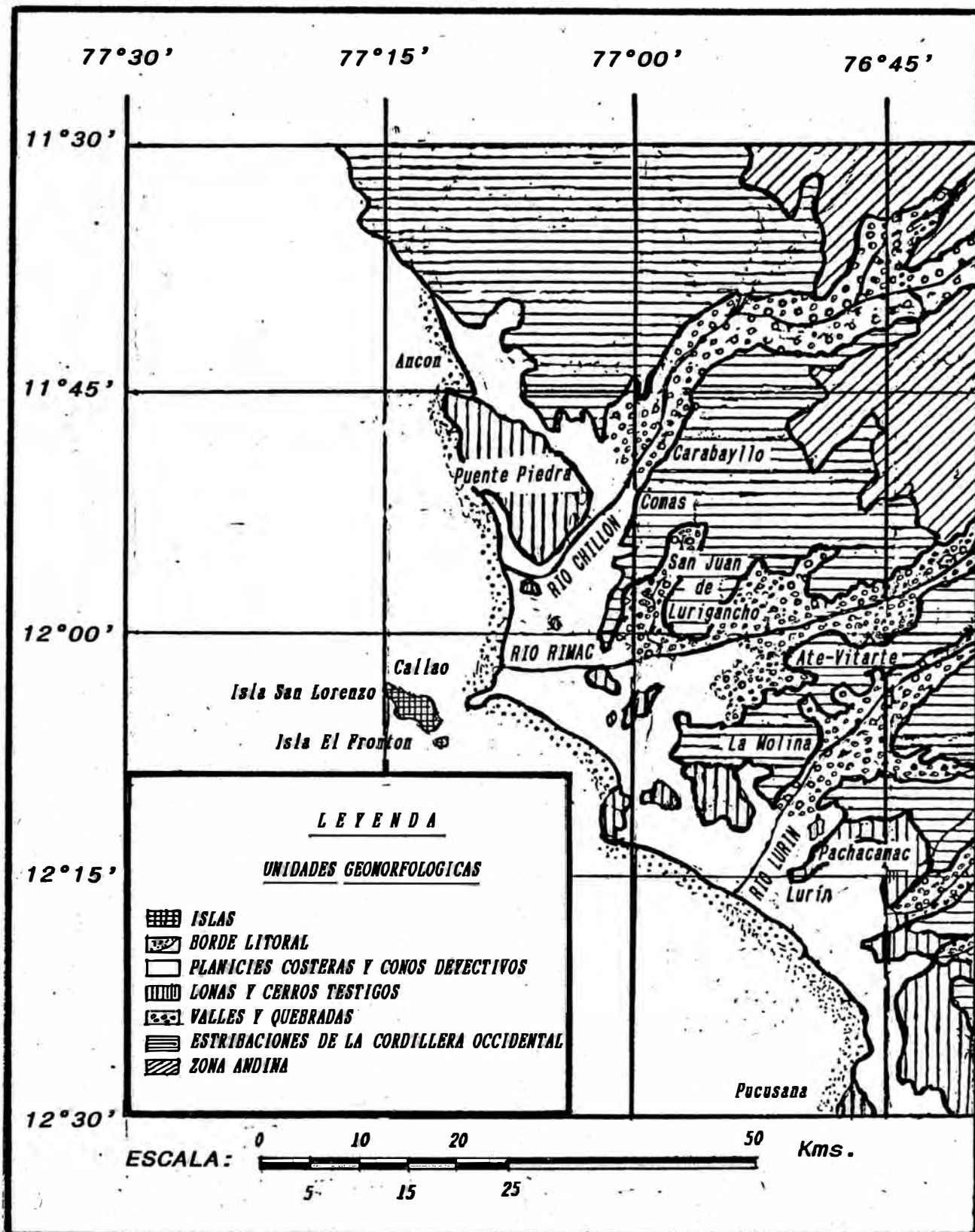


FIGURA 2.1.1. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS EN LIMA METROPOLITANA Y SUS ALREDEDORES.

Valles y quebradas.- comprende los valles del Rímac, Lurín y Chillón; las quebradas que discurren directamente al mar tales como: Malanche y Chilca al sur de Lurín y Quebrada Seca e Inocentes al norte de Ancón.

Estribaciones de la Cordillera Occidental.- comprende las laderas y crestas marginales de la Cordillera Andina cuya topografía abrupta formada por plutones y stocks del batolito de la costa se encuentra emplazado con rumbo NW-SE, el mismo que ha sido disectado por los ríos y quebradas que se abren camino hacia la costa, formando valles profundos con flancos de fuerte inclinación; hacia el oeste comprende una zona de lomas con pendientes menos abruptas.

Zona andina.- comprende una serie de altiplanicies y mesetas que se extienden mas hacia el este (fuera del área de estudio); el relieve presenta superficies suaves noduladas con contornos irregulares y cotas hasta de 2,800 metros de altura donde sobresalen los picos o cumbres formados en volcánicos piroclásticos que se elevan hasta los 3,500 metros; en estas mesetas tienen su nacimiento numerosas quebradas que bajan a la costa o que discurren a los valles de Lurín y Rímac.

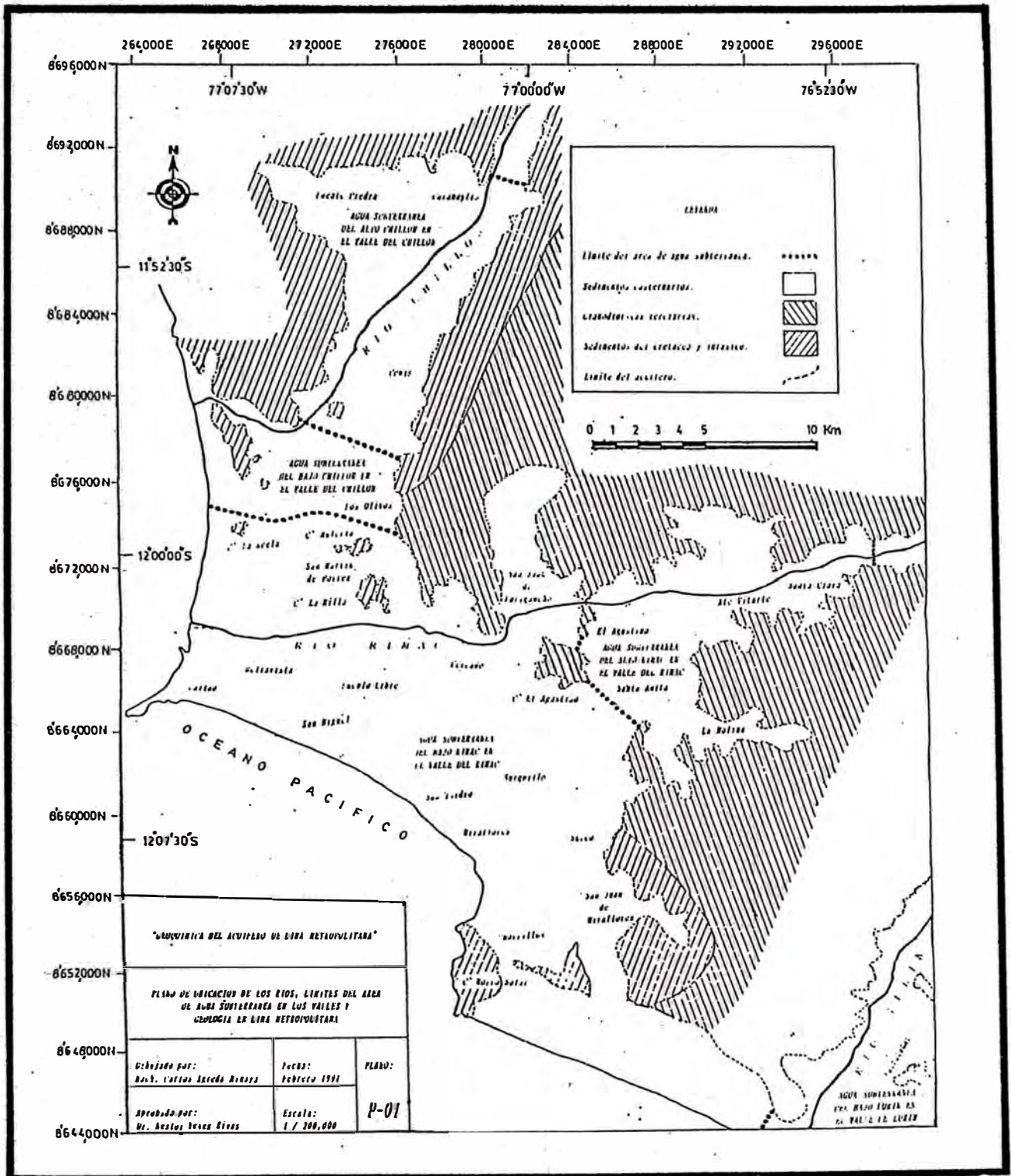
2.1.2. DRENAJE.- esta representado por ríos juvenes bastante torrentosos, cuyas cuencas colectoras son los valles del Chillón, Rímac y Lurín (ver el Plano P-01 en la página 10) y por las quebradas que discurren directo al mar con dirección NE-SW.

Los ríos Chillón, Rímac y Lurín presentan descargas permanentes y corren según la dirección SW; estos presentan valles angostos en sus partes altas y valles amplios en sus partes bajas.

El río Chillón nace en las alturas de la provincia de Canta, sus afluentes hacia la margen derecha son las quebradas Socos y Quilca y hacia la margen izquierda al río Lachaque y a la quebrada Río Seco, sus aguas corren siguiendo la dirección NE-SW.

El río Rímac nace en las alturas de Ticlio, presentando un valle encañonado, sus aguas corren siguiendo la dirección EW.

El río Lurín nace en las alturas de la provincia de Huarochiri, presentando un valle menos encañonado que el del Rímac, sus aguas corren siguiendo la dirección NE-SW.



P-01. PLANO DE UBICACION DE LOS RIOS, LIMITES DEL AREA DE AGUA SUBTERRANEA EN LOS VALLES Y GEOLOGIA EN LIMA METROPOLITANA.

2.2. CICLOS SEDIMENTARIOS:

En la cuenca de Lima se distinguen 4 ciclos sedimentarios, dentro de estos se han podido diferenciar unidades lito-estratigráficas definidas por cambios litológicos verticales y horizontales; coetáneamente con la sedimentación se desarrollo una intensa actividad volcánica, esto se evidencia en el sector costanero en donde se interdigitan secuencias volcánicas y sedimentarias. Las unidades estratigráficas del área de estudio se pueden observar en la Figura 2.2.0. en la página 12.

2.2.1. FACIES VOLCANICO-SEDIMENTARIO.- es el ciclo mas antiguo, se evidencio en el sector norte y NE de Lima, esta representado por el Grupo Puente Piedra, presento volcanismo predominante con focos magmáticos que eyectarón lavas y piroclastos entre fines del Jurásico y comienzos del Cretácico.

2.2.2. FACIES SEDIMENTARIA-CLASTICA.- continuo después de las facies volcánico-sedimentaria del Gpo. Pte. Piedra, se evidencio en el sector Este y SE de Lima, esta representado por el Grupo Morro Solar, cubrió todo el sector costanero durante el Neocomiano inferior.

2.2.3. FACIES ARCILLO-CALCAREA.- continuo después del ciclo sedimentario-clástico del Grupo Morro Solar, se evidencio también en el sector Este y SE de Lima, esta representado por las Fms. Pamplona y Atocongo; comenzó en el Neocomiano superior y probablemente finalizo en el Aptiano-Albiano.

2.2.4. FACIES SEDIMENTARIO-VOLCANICA.- continuo después del ciclo arcillo-calcáreo de las Fms. Pamplona y Atocongo, se evidencio en la costa norte de Lima, esta representado por el Grupo Casma, presento un volcanismo controlado por la presencia de diferentes focos de emisión mágmatica ubicados en el sector oriental del área durante el Albiano y que continuo probablemente hasta el Cenomaniano; a fines de este ciclo se levanta y pliega el paquete sedimentario emplazandose el Batolito de la Costa.

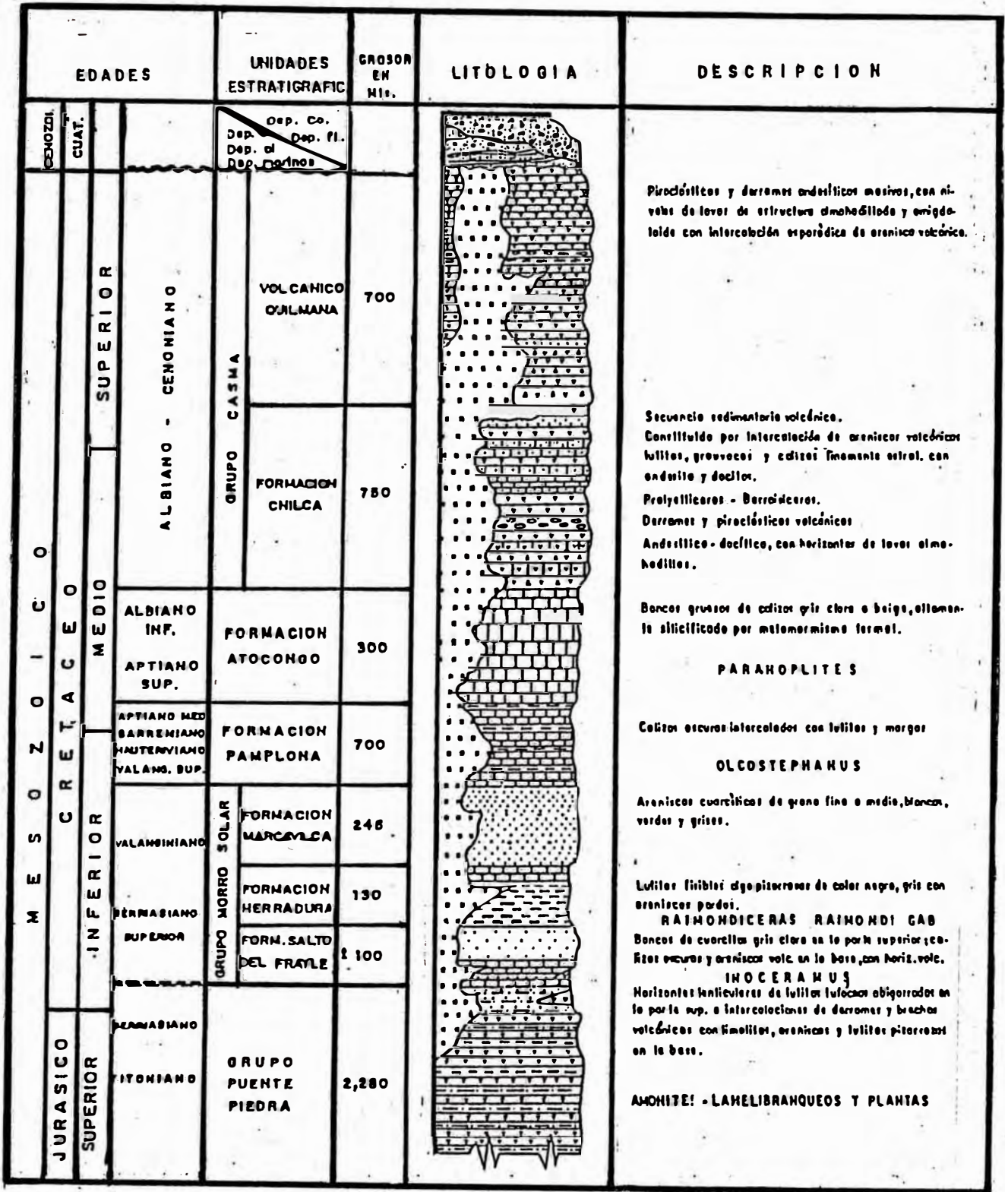


FIGURA 2.2.9. COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA DE LOS CUADRANGULOS DE CHANCAY - CHOSICA, LIMA - LURIN. (ZONA COSTERA).

2.3. UNIDADES LITO-ESTRATIGRAFICAS:

2.3.1. GRUPO PUENTE PIEDRA.- es una secuencia volcánico-clástica que aflora en los alrededores de los distritos de Puente Piedra, Ventanilla y Ancón; de edad Jurásico superior y que abarca aproximadamente desde el Titoniano hasta el Berriasiano.

En el "Estudio geológico tectónico del área de Lima", realizado por el INGEMMET en 1981, se describe a la Fm. Ventanilla como Fm. Cerro Chillón y a la Fm. Cerro Blanco como Fm. La Pampilla y se divide al grupo Puente Piedra en: Puente Piedra inferior (Volcánico Santa Rosa) y Puente Piedra superior (Fm. Puente Inga, Fm. Ventanilla, Fm. Cerro Blanco y Volcánico Ancón)

VOLCANICO SANTA ROSA (berriasiano).- serie volcánica que subyace concordantemente a la Fm. Puente Inga; aflora al sur de Pte. Piedra y alrededores de Santa Rosa; comprende:

En la base (250-300 metros), andesitas porfiríticas gris verdosas, intercaladas con areniscas feldespáticas grises de grano fino, limolitas pizarrosas gris oscuras y capas de chert. En el tope (aprox. 200 metros), meta-andesitas porfiríticas, derrames andesíticos, horizontes de brechas y aglomerados compuestos de fragmentos volcánicos en una matriz andesítica.

FORMACION PUENTE INGA (berriasiano inferior).- sobreyace concordantemente al Volcánico Santa Rosa e infrayace a la Fm. Ventanilla; aflora en Pte. Piedra, Pte. Inga, Cerros Altos Vela y Negro, NE de Carabayllo y km. 31 Panamericana Norte; comprende:
Miembro inferior: serie volcánica-sedimentaria (aprox. 40 m.).- lutitas tobáceas blanquecinas con intercalaciones lenticulares de horizontes volcánico-sedimentarios.

Miembro medio: serie volcánica (aprox. 50 metros).- volcánicos andesíticos porfiríticos masivos gris verdosos con estratificación gruesa.

Miembro superior: serie sedimentaria (aprox. 80 metros).- areniscas feldespáticas, piroclásticas y limolíticas grises de grano fino; limolitas tobáceas gris blanquecinas con alternancias de niveles de andesitas afaníticas y capas de chert.

FORMACION VENTANILLA (berriasiano superior).- serie volcánico-sedimentaria que descansa concordantemente sobre la Fm. Puente Inga y aflora en Cerro Chillón, desde los alrededores de Ventanilla hasta el cerro La Milla; comprende:

Miembro inferior: serie volcánico-sedimentaria (15-20 metros).- limolitas y arcillas abigarradas fosilíferas blanquecinas, intercaladas con areniscas limosas gris beige y volcánicos.

Miembro medio: serie volcánica-piroclástica (30-100 metros).- andesitas y dacitas intercaladas con areniscas, limolitas gris blanquecinas, capas de chert, brechas y aglomerados.

Miembro superior: serie sedimentaria (aprox. 150 metros).- areniscas feldespáticas y cuarcíticas, limolitas, lutitas, y calizas, intercaladas con arcillas abigarradas blanquecinas.

FORMACION CERRO BLANCO (valanginiano inferior).- aflora en Ventanilla y en los cerros La Regla, Oquendo, Cucaracha, Blanco, Huacho y El Perro; su contacto inferior sobre los depósitos del berriasiano presenta discordancia erosional; comprende:

Miembro inferior: serie sedimentaria-volcánica (aprox. 180 m.).- areniscas feldespáticas gris clara, capas de chert, areniscas piroclásticas, grawacas intercalados con bancos gruesos de volcánicos dacíticos y andesíticos porfiríticos gris claro.

Miembro superior: serie volcánica-sedimentaria (aprox. 200 m.).- areniscas piroclásticas y feldespáticas beige grisáceas, chert beige, lutitas negras, calizas, grawacas, limolitas intercalados con niveles de volcánicos andesíticos verde grisáceos.

VOLCANICO ANCON (berriasiano inferior-berriasiano superior).- aflora en los alrededores de los balnearios de Santa Rosa y Ancon, también al norte de Ventanilla; es el equivalente lateral de las formaciones Pte. Inga y Ventanilla; comprende:

En la base brechas piroclásticas andesíticas gris verdosas con vesículas rellenas de calcita y chert, intercaladas con derrames andesíticos, aglomerados e intercalaciones sedimentarias.

En el tope derrames andesíticos porfiríticos gris verdosos con fenocristales de plagioclasa y hornblenda en una matriz afanítica algo carbonatada constituida de máficos y feldespatos.

2.3.2. GRUPO MORRO SOLAR.- secuencia sedimentaria-clástica que aflora en Chorrillos, islas San Lorenzo y El Fronton; de edad Cretáceo inferior y que abarca aproximadamente del Berriasiano superior al Valanginiano; Fernandez Concha (1958), subdividió al grupo en las siguientes formaciones:

FORMACION SALTO DEL FRAILE (berriasiano superior).- espesor aprox. 100 m.; aflora en el C° Morro Solar y acantilados entre las playas de Agua Dulce y La Herradura; esta constituida por cuarcitas compactas gris parduscas con buena estratificación cruzada, intercaladas con lutitas gris azuladas a verdosas.

FORMACION HERRADURA (berriasiano superior).- aflora al NW del C° Morro Solar descansa concordantemente sobre la Fm. Salto del Fraile e infrayace de igual forma a la Fm. Marcavilca; comprende:

MIEMBRO LA VIRGEN: serie sedimentaria-clástica (50-60 metros).- lutitas gris oscuras carbonosas, conteniendo nódulos calcáreos, intercalándose con areniscas cuarzosas, conteniendo sales.

MIEMBRO LA HERRADURA: serie sedimentaria-clástica (60-70 m.).- areniscas cuarzosas verdosa-amarillentas, lutitas gris a negras y calizas gris oscuras en estructura pizarrosa.

FORMACION MARCAVILCA (valanginiano).- aflora en el C° Morro Solar alrededores de la U. N.I. y Lurín, descansa en contacto normal sobre la Fm. Herradura y subyace a la Fm. Pamplona; comprende:

MIEMBRO MORRO SOLAR: serie sedimentaria-clástica (aprox. 65 m.).- areniscas cuarzosas y lutitas intercalados con areniscas abigarradas con tubos de anelidos, cuarcitas interestratificadas con niveles limolíticos gris verdosos.

MIEMBRO MARCAVILCA: serie sedimentaria-clástica (100-120 m.).- cuarcita gris blanquecina con cemento silíceo de grano medio a grueso y hasta microconglomerádico, en menor proporción lutitas color ocre debido a las oxidaciones ferruginosas.

MIEMBRO LA CHIRA: serie sedimentaria-clástica (50-60 metros).- areniscas cuarcíticas blancas sacaroideas con estratificación cruzada muy conspicua y areniscas cuarzosas de color chocolate por su contenido de motitas de limonita.

2.3.3. FORMACIONES PAMPLONA Y ATOCONGO:

FORMACION PAMPLONA (valanginiano superior-aptiano inferior).-

aflora en Carabayllo, Pachacamac, cerros El Agustino, Pamplona y San Juan; su grosor total esta entre 600 y 700 m. comprende:

En la base calizas grisáceas en bancos delgados alternando con lutitas limolíticas, niveles tobáceos, margas gris verdosas de disyunción pizarrosa y películas de yeso.

En el tope calizas gris oscuras en estratificación delgada, intercaladas con lutitas gris verdosas de disyunción astillosa, margas oscuras y niveles de chert.

FORMACION ATOCONGO (aptiano superior-albiano inferior).- aflora al norte de Carabayllo y cerros El Agustino, Pamplona y Atocongo.

En la base, calizas margosas laminadas y skarns afaníticos grises; calizas metamorfizadas afaníticas y bancos gruesos de calizas silicificadas masivas con fenoblastos de cuarzo.

En el tope, calizas grises beige a gris oscuras intercaladas con margas gris claro; Calizas metamorfizadas y areniscas en paquetes gruesos interpuestos con paquetes delgados.

2.3.4. GRUPO CASMA.- aflora al norte de Lima; es de edad Cretáceo medio a superior y abarca aproximadamente del Albiano al Cenomaniano, el espesor en el valle de Chilca se estima entre 600 y 700 metros disminuyendo en el valle de Chillón donde alcanza grosores variables que van de 100 a 300 metros, se divide en:

FORMACION CHILCA (albiano superior).- esta en nítido contacto concordante sobre la Fm. Pamplona; esta constituida en la base por calizas y rocas clásticas intercaladas con derrames volcánicos y en el tope por rocas íntegramente volcánicas.

VOLCANICO QUILMANA (cenomaniano inferior-cenomaniano superior).-

aflora al este del valle de Lurín y entre Jicamarca y Santa Clara en el valle del Rimac; esta constituido por derrames andesíticos masivos de textura porfirítica destacando los fenocristales de plagioclasa en una pasta fina o microcristalina gris verdosas.

2.4. DEPOSITOS CUATERNARIOS:

2.4.1. DEPOSITOS CUATERNARIOS PLEISTOCENICOS:

Depósitos Marinos Pleistocénicos.- en el cerro Morro Solar en Chorrillos existen terrazas marinas, su reducida exposición se debe al limitado desarrollo durante su deposición o a una significativa destrucción en tiempos recientes; al sur de La Chira, existen zonas de marismas formadas por arenas grises con un elevado contenido de sales, intercalandose con lentes de gravas que reflejan cambios de velocidad de las corrientes en la deposición debido a variaciones en el clima.

Depósitos Aluviales Pleistocénicos.- el principal es el antiguo cono aluvial del río Rímac que contiene al acuífero de Lima Metropolitana, cuyas separaciones interfluviales con los ríos Lurín y Chillón están en las playas de Conchan y Marquez.

La litología de estos depósitos vistos a través de terrazas, cortes y perforaciones comprende conglomerados, conteniendo cantos de diferentes tipos de rocas especialmente intrusivas y volcánicas, gravas sub-angulosas, arenas con diferentes granulometría y en menor proporción limos y arcillas; todos estos materiales se encuentran intercalados formando paquetes de gran grosor como en los acantilados de la costa; los niveles de arena, limo y arcilla se pierden lenticularmente y a veces se interdigitan entre ellos o entre los conglomerados.

Los niveles basales, son mayormente producto de una dinámica de laderas muy intensas, sus acumulaciones consisten de gravas de forma angular sin llegar a cantos rodados en una matriz areno limosa y en menor proporción lentes de limos o arcillas.

Los niveles intermedios por lo general muestran mayor madurez, se presentan mejores seleccionados y con mayores espesores hacia la porción central del cono, que hacia los sectores marginales donde los materiales tienen influencia coluvial y están integrados mayormente con elementos sub-angulosos mal lavados.

Su forma topográfica es la de una planicie con inclinaciones al W y NW teniendo en el centro un abombamiento imperceptible.

Debido a este abombamiento y al socavamiento realizado por el mar, los acantilados tienen hacia el Sur en Chorrillos 32 m., en Miraflores 70 m., hacia el NW en Magdalena 60 m., hacia el Oeste en La Perla 4 m. y en La Punta 0 m.

La edad de estos depósitos es desconocido, pero debido a su gran volumen es evidente que su deposición debe venir desde el pleistoceno.

Depósitos Eólicos Pleistocénicos.- hacia el norte los cerros Salinas, Redondo, Pasamayo, Diente, al sur acumulaciones eólicas desde el cerro Lomo de Corvina hasta La Tablada de Lurín, en donde se encuentran cubiertos por depósitos mas recientes que se presentan en forma de grandes mantos de arenas cuyas superficies tienen un modelado suave con coloraciones grises.

2.4.2. DEPOSITOS CUATERNARIOS RECIENTES:

Depósitos Marinos recientes.- entre Agua Dulce y La Herradura las playas presentan arenas gris amarillentas de grano medio a fino con cuarzo, micas, ferromagnesianos y en menor cantidad limos inconsolidados conteniendo restos de conchas marinas; en La Punta el litoral presenta acumulaciones de cantos rodados provenientes de los acarreos aluviales del río Rímac.

Depósitos Aluviales recientes.- al norte de Lima se observa desde Pte. Piedra hasta Ventanilla terrazas constituidas de material grueso compuesto de cantos y gravas sub-redondeadas en matriz arenosa con materiales finos; los depósitos más jóvenes incluidos dentro de estos aluviales recientes pueden ser considerados como depósitos fluvio-aluviales.

Depósitos Eólicos Recientes.- mantos en las laderas occidentales de los cerros al SE y NE de Lima o en algunas llanuras aluviales; dunas y barcanes sobre los mantos de arena o sobre roca in situ; dunas longitudinales aisladas de hasta 12 kms. que migran hacia el NW; barcanes en pequeñas colonias con alturas de hasta 2 m. y moviéndose en la dirección de los vientos dominantes.

CAPITULO III

3. CARACTERISTICAS DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA.

3.1. EL RESERVORIO ACUIFERO:

Esta constituido por depósitos aluviales del cuaternario reciente provenientes de los valles del Rímac y Chillón, con una extensión aprox. de 390 km., con sectores estrechos (aprox. 1.5 km.) en las partes altas de ambos valles y sectores amplios (aprox. 27 km.) en la unión de los depósitos de los mismos.

3.1.1. CARACTERISTICAS DEL HORIZONTE SUPERIOR.- esta constituido por capas de permeabilidad variable formadas por cantos rodados, guijarros y gravas, en una matriz con presencia de arenas, limos, y arcillas, (aprox. 100 m. de espesor).

3.1.2. CARACTERISTICAS DEL HORIZONTE INFERIOR.- esta constituido por intercalaciones de gravas, arenas, limos y arcillas (aprox. 150 m. de espesor); la permeabilidad de las capas disminuye a profundidad debido al incremento de materiales mas finos.

3.2. LA NAPA ACUIFERA:

3.2.1. CARACTERISTICAS DEL CICLO HIDROLOGICO DEL AGUA.- la energía solar provoca que el agua se evapore desde los océanos hacia la atmósfera, el agua vaporizada forma nubes, las nubes al precipitar caen a la superficie como lluvia, nieve o granizo; del agua precipitada sobre terreno superficial una porción contribuye al flujo de los arroyos y ríos, otra regresa a la atmósfera por evaporación, y tan solo una porción percola a través del suelo y llega a convertirse en agua subterránea; el agua subterránea fluye bajo la influencia del gradiente hidráulico a través de rocas saturadas denominadas "acuíferos" para luego descargar en el mar o en puntos de descarga natural como son los arroyos, lagos y ríos (ver Figuras 3.2.1.1 y 3.2.1.2. en la página 20).

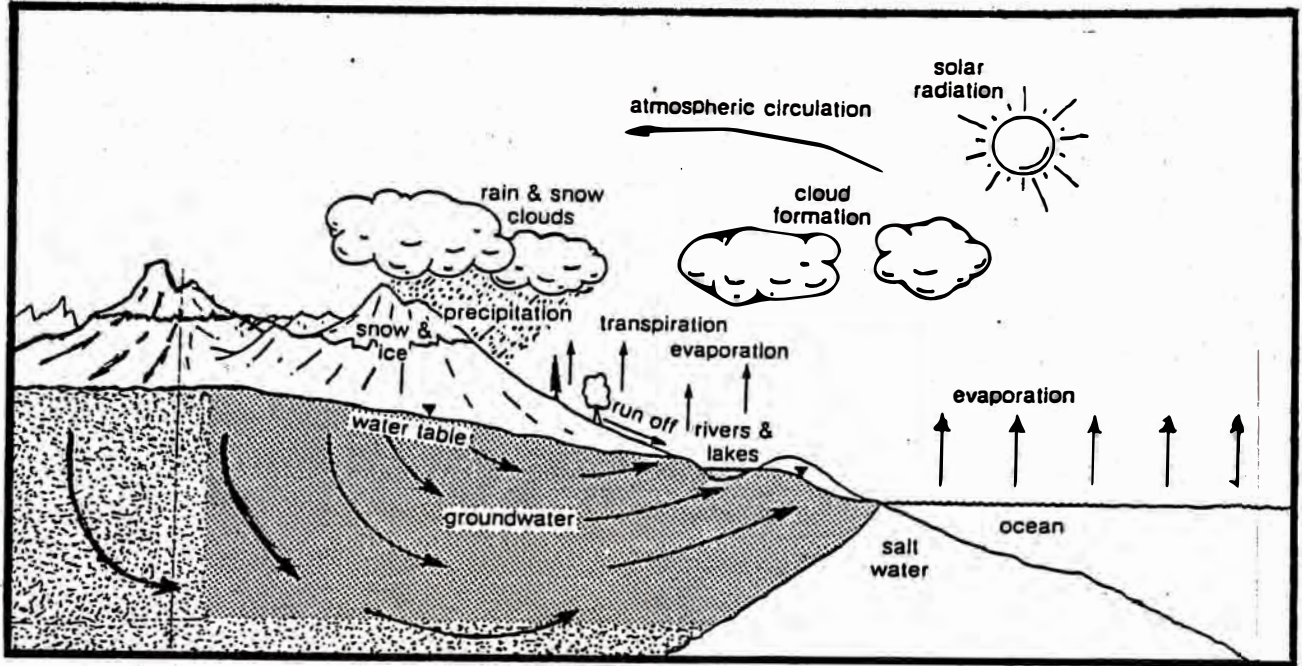


FIGURA 3.2.1.1. CICLO HIDROLOGICO DEL AGUA.

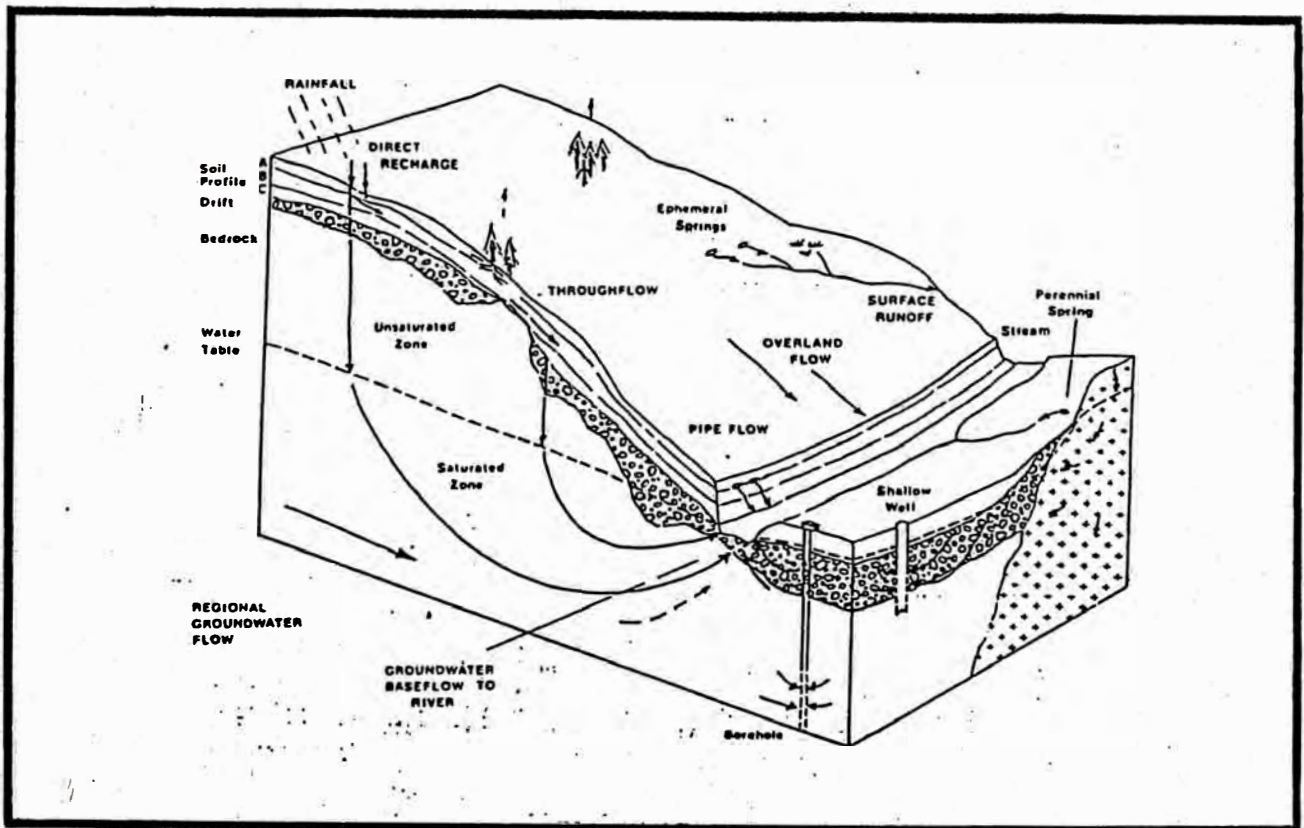


FIGURA 3.2.1.2. CICLO HIDROLOGICO CON ENFASIS EN EL FLUJO DE AGUAS SUBTERRANEAS SOMERAS.

3.2.2. PRINCIPALES FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LIMA

METROPOLITANA:

Considerando el tipo de fuente de abastecimiento de agua existente en nuestra ciudad capital, SEDAPAL ha clasificado para un mejor estudio de las aguas subterráneas a Lima Metropolitana en 6 zonas (ver Plano P-02 en la página 22).

A continuación mencionaremos algunas de las características principales del tipo de abastecimiento de agua en las diferentes zonas de Lima Metropolitana:

ZONA NORTE.- caracterizada porque su principal fuente de abastecimiento es el agua subterránea proporcionada por el funcionamiento de 74 pozos, existen un pequeño porcentaje de abastecimiento con agua superficial tratada, esta zona se encuentra influenciada por la recarga del río Chillón.

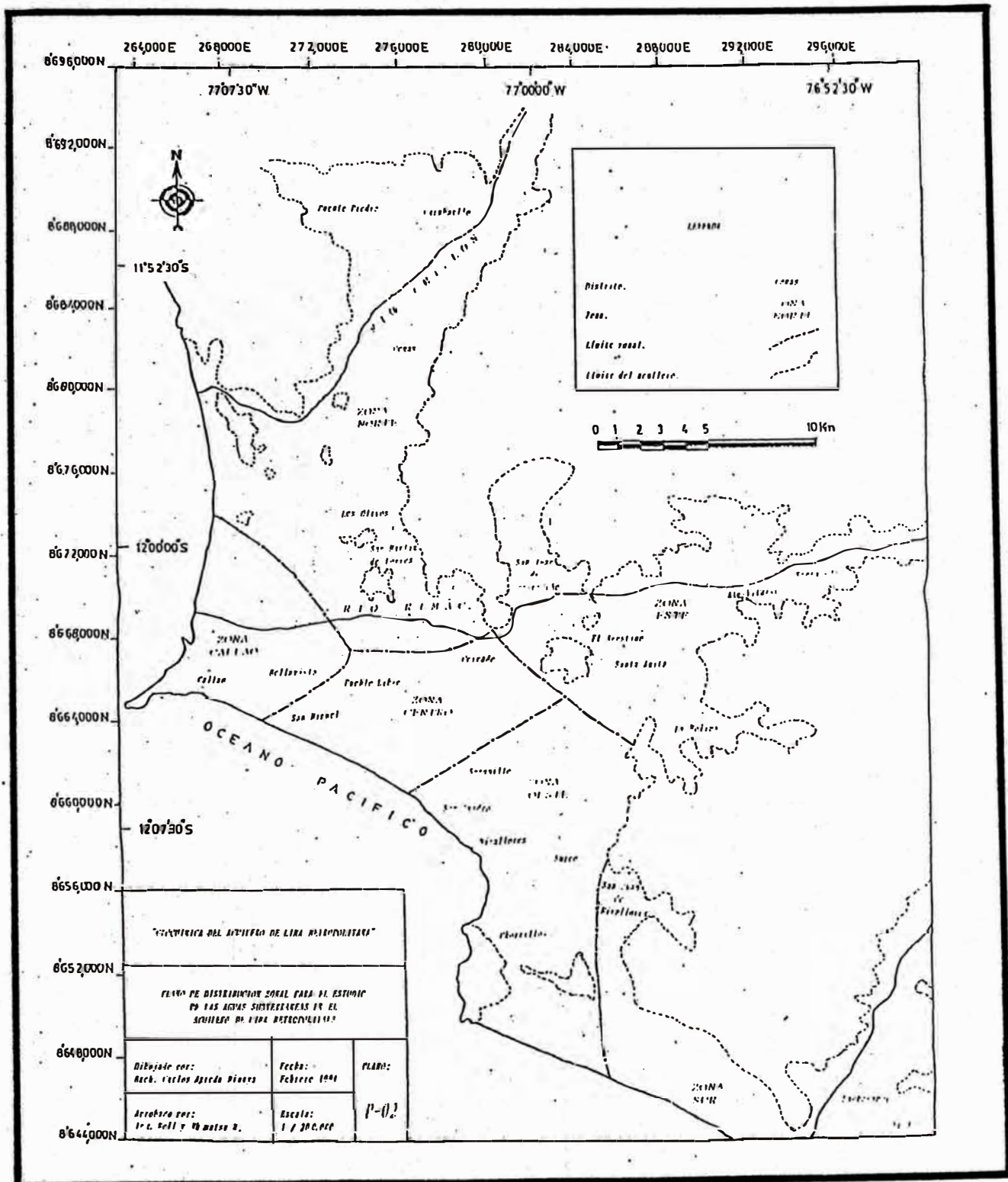
ZONA CENTRO.- caracterizada porque su principal fuente de abastecimiento es el agua superficial tratada en la Planta de la Atarjea, esto se manifiesta en que tan solo existen 25 pozos en funcionamiento que abastecen agua subterránea.

ZONA SUR.- caracterizada porque su principal fuente de abastecimiento es el agua subterránea, esta zona se encuentra influenciada por la recarga del río Lurín, debido a esto existe una gran cantidad de pozos particulares artesanales.

ZONA ESTE.- caracterizada porque su principal fuente de abastecimiento es el agua subterránea administrada a través de 65 pozos en funcionamiento, existe solo un pequeño porcentaje de abastecimiento con agua superficial tratada, esta zona se encuentra influenciada por la recarga del río Rímac.

ZONA OESTE.- caracterizada por tener tanto fuentes de abastecimiento de agua subterránea a través de 43 pozos en funcionamiento así como también fuentes de abastecimiento de agua superficial tratada en la planta de La Atarjea en cantidades bastante similares.

ZONA CALLAO.- caracterizada por tener abastecimientos de agua subterránea a través de 29 pozos en funcionamiento, a pesar de la presencia de intrusión marina en el borde litoral, lo cual eleva la cantidad de sales al agua subterránea, en algunos casos hasta el punto de poner fuera de funcionamiento los pozos.



P-02. PLANO DE DISTRIBUCION ZONAL PARA EL ESTUDIO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN EL ACUÍFERO DE LIMA METROPOLITANA.

3.2.3. PRINCIPALES FUENTES DE ALIMENTACIÓN DE LA NAPA ACUIFERA EN LIMA METROPOLITANA:

Las principales fuentes de alimentación de la napa son las filtraciones que se producen a través de los lechos de los ríos (Rímac y Chillón) y áreas bajo riego, así como también las pérdidas por fugas en los sistemas de agua y desagüe, estos determinan el balance del agua del acuífero.

PRINCIPALES FUENTES DE ALIMENTACION DE LA NAPA.	m³/seg
. Caudal afluente subterráneo desde la parte alta de los valles.	2.03
. Infiltración de los cauces de los ríos.	4.07
. Infiltración desde los campos y parques.	3.09
. Fugas desde el sistema de distribución del agua.	3.79
TOTAL:	12.98

CUADRO 3.2.3.1. PRINCIPALES FUENTES DE ALIMENTACION DE CAUDAL AFLUENTE DE LA NAPA ACUIFERA.

PRINCIPALES FUENTES DE ALIMENTACION DE LA NAPA	m³/seg
. Bombeo desde los pozos (Sedapal y particulares).	9.48
. Galerías.	0.28
. Manantiales (Chillón Alto y Costa Verde).	0.56
. Caudal subterráneo hacia el mar.	3.84
TOTAL:	14.16

CUADRO 3.2.3.2. PRINCIPALES FUENTES DE ALIMENTACION DE CAUDAL EFLUENTE DE LA NAPA ACUIFERA.

BALANCE: CAUDAL AFLUENTE - CAUDAL EFLUENTE.

BALANCE: 12.98 m³/seg - 14.16 m³/seg = - 1.18 m³/seg.

3.2.4. PROFUNDIDAD DE LA NAPA ACUIFERA EN LAS DIVERSAS ZONAS DE LIMA METROPOLITANA:

La profundidad de las aguas subterráneas se encuentran en función directa con la recarga de las secuencias litológicas de la zona; en nuestro caso la recarga proviene de los ríos Rímac, Chillón y Lurín los cuales se originan en las partes altas de la región central de la Cordillera de los Andes.

En base a datos de nivel estático de la napa podemos decir que el 60% del agua subterránea se encuentra entre 30 y 90 metros por debajo de la superficie, mientras que un 25% a profundidades menores de 30 metros y un 15% a profundidades mayores de 90 metros; dependiendo estos rangos de las características de abastecimiento y explotación que se producen en cada zona.

ZONA NORTE. - debido a la influencia de la recarga del río Chillón la profundidad de la napa acuífera varía desde menos de 5 metros en proximidades al litoral hasta 40 metros en Puente Piedra y Comas, en promedio presenta profundidades entre 30 y 80 metros con respecto a la superficie.

ZONA CENTRO. - la profundidad de la napa acuífera varía desde menos de 5 metros en proximidades al litoral hasta 70 metros en Breña, en promedio se encuentra entre los 60 y 100 metros de profundidad con respecto a la superficie.

ZONA SUR. - la napa acuífera esta a poca profundidad y tiene la influencia de la recarga del río Lurín, las profundidades están entre los 10 y 30 metros de profundidad.

ZONA ESTE. - la napa acuífera se encuentra a poca profundidad y porque además presenta la influencia de la recarga del río Rímac lo que lo hace altamente explotable, en esta zona la napa acuífera se encuentra entre los 10 y 80 metros de profundidad.

ZONA OESTE. - la profundidad de la napa acuífera varía desde menos de 5 metros en las proximidades litorales hasta los 70 metros en San Borja, en promedio se encuentre entre los 10 y 90 metros respectivamente.

ZONA CALLAO. - la profundidad de la napa acuífera varía desde menos de 5 metros en los bordes litorales hasta los 40 metros en Bellavista, las profundidades promedio se encuentran entre los 30 y 50 metros respectivamente.

ZONA	PROFUNDIDAD QUE PRESENTA LA NAPA ACUIFERA EN LAS DIVERSAS ZONAS DE LIMA METROPOLITANA			
	DEMASIADO PROFUNDO	PROFUNDO	POCO PROFUNDO	DEBILMENTE PROFUNDO
	> 90 metros	90 - 60 metros	60 - 30 metros	< 30 metros
NORTE	<*****>			
CENTRO	<*****>			
SUR				<*****>
ESTE		<*****>		
OESTE		<*****>		
CALLAO			<*****>	

CUADRO 3.2.4. PROFUNDIDAD QUE PRESENTA LA NAPA ACUIFERA EN LAS DIVERSAS ZONAS DE LIMA METROPOLITANA.

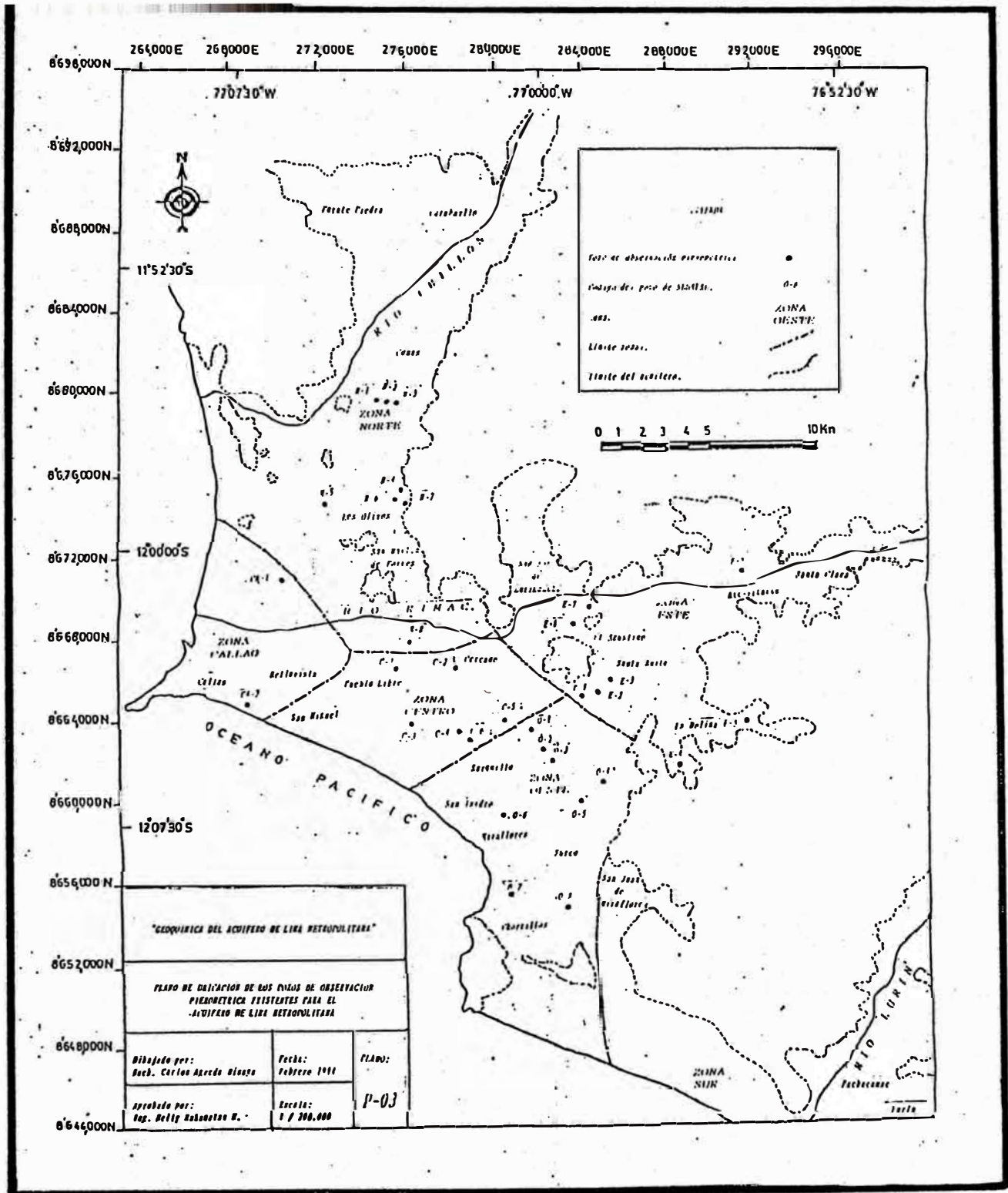
NOTA: cuadro en base a datos de niveles estáticos de los pozos, proporcionados por la Gerencia de Aguas Subterráneas de SEDAPAL.

3.2.5. VARIACION DEL NIVEL DE LA NAPA ACUIFERA EN LAS DIVERSAS ZONAS DE LIMA METROPOLITANA:

Ver los pozos de observación en el Plano P-03 en la página 27.

ZONA		NIVEL ESTÁTICO ANUAL (expresado en metros)										
ZONA	CODIGO	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Norte	N-1	12.4	13.4	14.2	11.6	11.8	14.0	16.1	15.9	----	----	----
Norte	N-2	16.8	19.3	21.2	17.2	16.9	19.7	23.5	22.8	24.1	26.8	29.3
Norte	N-3	41.4	43.7	44.3	41.1	39.3	44.9	----	45.5	48.2	48.7	50.4
Norte	N-4	44.3	46.6	51.6	44.6	----	38.6	38.3	38.6	38.6	39.3	40.4
Norte	N-5	17.6	20.5	20.5	18.8	18.4	18.0	19.3	21.5	23.4	---	----
Norte	N-6	44.2	46.1	46.9	44.3	41.5	41.1	39.7	39.8	41.0	42.4	43.8
Norte	N-7	----	47.8	48.8	44.8	42.3	41.3	40.1	40.2	40.8	41.6	----
Norte	N-8	66.8	68.1	68.6	62.3	60.7	59.4	60.2	57.3	58.9	----	----
Centro	C-1	73.4	74.7	74.3	70.1	66.4	68.5	69.3	----	----	----	----
Centro	C-2	84.2	85.2	----	82.4	79.5	80.4	82.0	82.1	----	----	----
Centro	C-3	64.9	65.4	62.4	61.1	----	----	----	62.1	63.3	63.2	64.8
Centro	C-4	69.4	69.8	70.4	68.2	65.2	65.3	66.5	65.9	68.0	69.0	69.5
Centro	C-5	91.8	93.5	94.5	92.9	----	88.7	----	----	----	92.9	----
Centro	C-6	68.9	69.6	70.3	69.3	67.2	67.2	68.0	68.9	70.1	69.3	70.3
Este	E-1	45.7	46.8	50.2	51.7	50.4	51.3	52.6	52.2	53.1	54.1	54.8
Este	E-2	39.2	40.2	42.2	43.4	44.4	45.5	47.2	46.9	48.0	48.9	50.6
Este	E-3	33.0	34.2	----	37.5	38.5	39.9	41.8	42.1	43.2	44.9	47.3
Este	E-4	18.0	22.5	24.7	30.0	31.4	36.4	42.3	45.8	46.9	51.9	54.1
Este	E-5	67.6	79.5	----	84.6	86.3	87.4	89.2	86.7	90.0	----	90.3
Este	E-6	22.3	24.5	27.0	30.0	28.8	35.9	40.8	41.2	----	----	56.7
Este	E-7	42.3	51.7	59.3	44.3	45.4	47.5	49.8	50.6	52.1	51.7	55.0
Este	E-8	23.3	23.6	24.6	24.4	24.2	24.2	24.6	----	----	----	----
Oeste	O-1	----	----	69.4	79.7	75.1	76.3	78.8	77.9	81.3	84.3	88.5
Oeste	O-2	69.9	71.0	72.3	73.3	71.2	71.8	73.0	72.7	75.1	77.2	77.3
Oeste	O-3	61.6	64.0	64.7	65.8	65.4	66.0	67.2	67.0	68.3	71.4	73.1
Oeste	O-4	61.2	61.5	62.7	61.7	----	----	----	----	----	----	----
Oeste	O-5	54.7	58.6	59.5	57.7	----	----	----	----	58.8	59.5	61.0
Oeste	O-6	46.4	47.4	49.0	48.1	47.6	47.6	47.7	47.8	48.9	49.3	50.6
Oeste	O-7	21.3	22.2	23.8	25.2	26.9	----	29.3	----	----	----	----
Oeste	O-8	15.2	17.6	18.9	21.0	22.4	23.9	24.5	24.3	24.5	25.6	----
Callao	CA-1	----	----	----	----	----	21.7	21.7	21.7	23.8	25.6	27.7
Callao	CA-2	----	----	----	----	----	----	26.5	25.9	25.9	26.3	28.9

CUADRO 3.2.5.1. VARIACION DEL NIVEL DE LA NAPA ACUIFERA EN LOS POZOS DE OBSERVACION PIEZOMETRICA DE LIMA METROPOLITANA.



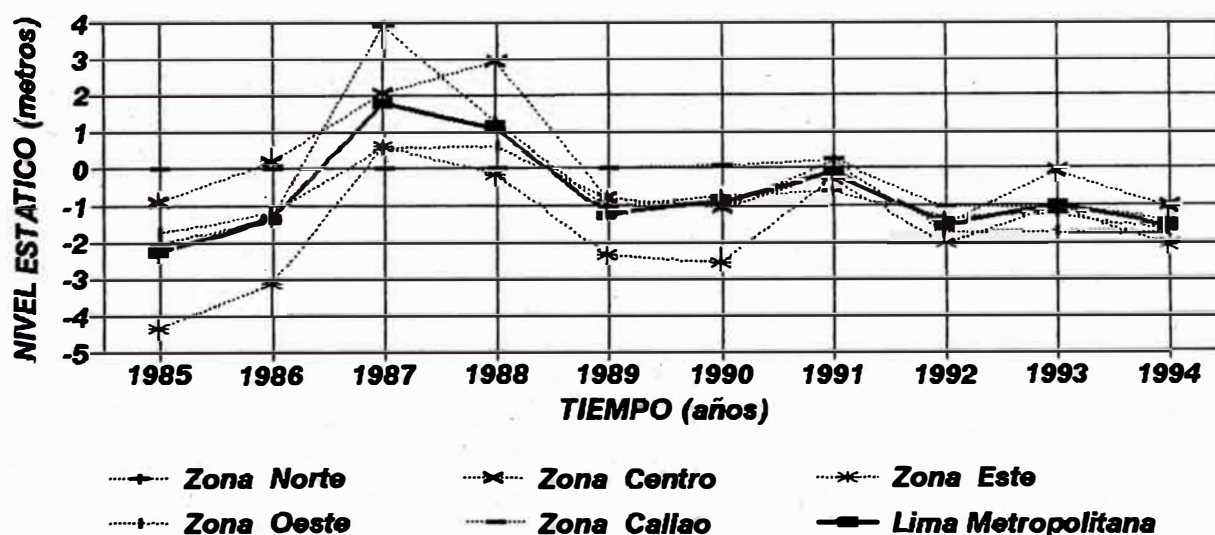
**P-03. PLANO DE UBICACION DE LOS POZOS DE OBSERVACION
PIEZOMETRICA EXISTENTES PARA EL
ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA.**

ZONA	NIVEL ESTÁTICO ANUAL (expresado en metros).										PROM. ZONAL
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	
Norte	-2.0	-1.3	+3.9	+1.3	-1.1	-0.7	-0.6	-1.3	-1.2	-1.6	-0.47
Centro	-0.9	+0.2	+2.1	+2.9	-0.8	-1.1	-0.1	-1.5	-0.1	-1.0	-0.03
Este	-4.3	-3.1	+0.6	-0.1	-2.3	-2.5	-0.3	-2.0	-1.0	-2.1	-1.75
Oeste	-1.7	-1.2	+0.6	+0.6	-0.8	-1.1	+0.2	-1.7	-1.7	-1.8	-0.85
Callao	----	----	----	----	----	+0.1	+0.3	-1.1	-1.1	-1.4	-0.64
PROM. ANUAL	-2.3	-1.4	+1.8	+1.1	-1.2	-0.9	-0.1	-1.5	-1.0	-1.6	

NOTA: el signo + indica aumento en el nivel de la napa acuífera.
el signo - indica disminución en el nivel de la napa acuífera.

**CUADRO 3.2.5.2. VARIACION DEL NIVEL DE LA NAPA ACUIFERA
EN LOS ULTIMOS AÑOS EN LIMA METROPOLITANA.**

**TENDENCIA DEL NIVEL DE LA NAPA ACUIFERA
Acuífero Lima Metropolitana**



**GRAFICO 3.2.5. VARIACION DEL NIVEL DE LA NAPA ACUIFERA
EN LOS ULTIMOS AÑOS EN LIMA METROPOLITANA**

3.2.6. GRADIENTE HIDRAULICO DEL AGUA SUBTERRANEA EN LAS DIVERSAS ZONAS DE LIMA METROPOLITANA:

Las aguas subterráneas en Lima Metropolitana, presentan una dirección de flujo predominante hacia el Sur-oeste (variando esta dirección de Sur-oeste a Este-oeste en algunas zonas) y gradientes hidráulicos que varían entre 0.25 % y 2.5 %.

Para el siguiente estudio tenemos que aproximadamente el 40% de los pozos de seleccionados se encuentran en zonas que presentan gradientes entre 1 y 2 % ; el 30% se encuentran en zonas con gradientes mayores al 2 % y otro 30% se encuentran en zonas con gradientes menores de 1 %, dependiendo estos valores de la morfología que presenta el basamento en cada zona.

ZONA NORTE.- gradientes hidráulicos entre 0.5 % y 2.5 % ; estos valores disminuyen de Noreste a Suroeste, presentándose los valores mas altos en el distrito de Comas y los valores mas bajos en los distritos de Los Olivos y San Martín de Porres.

ZONA CENTRO.- gradientes hidráulicos comprendidos entre 0.5 % y 1.5 % ; estos valores disminuyen de Este a Oeste; presentándose los valores mas altos en los distritos de El Cercado y Pueblo Libre y los valores mas bajos en el distrito de San Miguel.

ZONA SUR.- presenta los valores de gradiente hidráulico mas bajos de todo Lima, con valores comprendidos entre 0.25 % y 0.5 % ; estos valores se presentan en los distritos de San Juan de Miraflores y Villa María del Triunfo.

ZONA ESTE.- presenta los valores mas altos de gradiente hidráulico con valores comprendidos entre 1.5 % y 2.5 % los que disminuyen de Noreste a suroeste, estos valores se presentan en los distritos de Santa Anita, La Molina y Ate-Vitarte.

ZONA OESTE.- gradiente hidráulico que varían entre 0.5 % y 2 % , estos valores disminuyen de Noreste a Suroeste, presentándose los valores mas bajos en el distrito de Chorrillos mientras que los valores mas altos se presentan en los distritos de Santiago de Surco, Surquillo y Miraflores.

ZONA CALLAO.- presenta los valores mas bajos de gradiente hidráulico con valores entre 0.25 % y 0.5 % ; estos valores disminuyen de Este a oeste, presentándose estos valores en los distritos de Bellavista y el Callao.

ZONA	GRADIENTE HIDRAULICO QUE PRESENTAN LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LAS DIVERSAS ZONAS DE LIMA METROPOLITANA			
	NULA	BAJA	MEDIA	ALTA
	< 0.5%	0.5% - 1%	1% - 2%	> 2%
NORTE		<*****>		
CENTRO		<*****>		
SUR	<*****>			
ESTE			<*****>	
OESTE		<*****>		
CALLAO	<*****>			

CUADRO 3.2.6. GRADIENTE HIDRAULICO QUE PRESENTAN LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LAS DIVERSAS ZONAS DE LIMA METROPOLITANA.

NOTA: cuadro en base a datos de gradiente hidráulico proporcionados por la Gerencia de Aguas Subterráneas de SEDAPAL.

CAPITULO IV

4. GEOQUIMICA.

4.1. MUESTREO GEOQUIMICO:

4.1.1. DETERMINACION DEL UNIVERSO DE MUESTREO:

4.1.1.1. CARACTERISTICAS DE LOS POZOS:

- Los pozos se encuentran ubicados según las coordenadas de ubicación usadas por el Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.).
- La profundidad de los pozos varia entre 60 y 180 metros; 15% entre 60 y 100 metros, 55% entre 100 y 120 metros, 20% entre 120 y 160 metros, 10% entre 160 y 180 metros; encontrandose la profundidad promedio entre 100 y 120 metros.
- El tiempo de funcionamiento de los pozos varia entre 20 a 24 horas al día y entre 25 a 27 días al mes.
- El rendimiento de los pozos varia entre 10 y 90 lt/seg, y los caudales de producción entre 15 y 80 lt/seg.
- El diámetro de perforación varía entre 18" y 21" y la columna de producción (tubería y filtros) generalmente es de 15".

4.1.1.2. SELECCION E INSPECCION DE POZOS.- se selecciono el 50% de la cantidad total de pozos en funcionamiento en cada zona y se eligio los más importantes como fuente de abastecimiento y lo mejor ubicados con respecto al flujo de las aguas subterráneas.

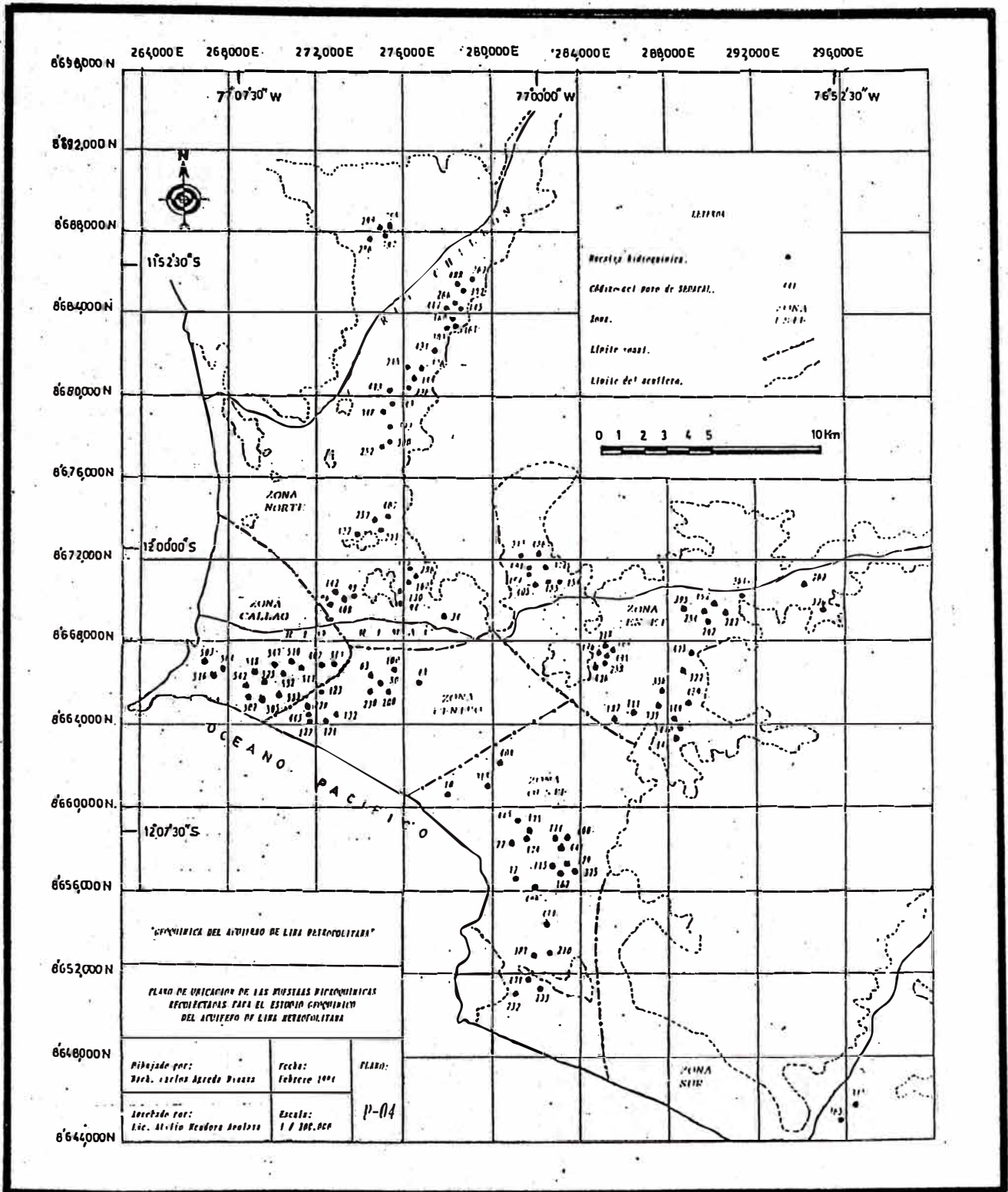
La inspección de pozos determino algunos inconvenientes:

- Algunos pozos no tienen tubería de descarga antes que el agua sea tratada con cloro; en estos casos se colocó una nueva tubería de descarga para facilitar la toma de muestras.
- Las tuberías de descarga no presentan diámetro estándar, estas varían en cada pozo, por lo que se hizo previsible contar con un juego de adaptadores para facilitar la técnica de muestreo.
- Algunas tuberías de descarga presentan demasiado contenido de aire debido al alto caudal administrado en ellos, debido a esto se tuvo que admistrar otro caudal al pozo para facilitar la toma de muestras sin producir el fenómeno de aereación.

ZONA	DISTRITO	CANTIDAD DE POZOS			NUMERO DE LOS POZOS SELECCIONADOS
		TOTAL	FUNCIONANDO	ELEGIDOS	
NORTE	Comas	36	35	18	144, 145, 160, 161, 215, 226, 243, 266, 267, 303, 326, 332, 348, 392, 413, 417, 431, 488
	Rimac	3	1	0	
	Los Olivos	23	12	6	172, 252, 257, 271, 300, 407.
	Puente Piedra	7	7	4	296, 297, 298, 299.
	San Martín	24	19	10	34, 94, 96, 99, 130, 142, 162, 195, 286, 408.
	SUB TOTAL:	93	74	38	
CENTRO	Breña	1	1	0	
	La Victoria	2	1	0	
	Cercado	8	7	4	43, 65, 80, 100
	Pueblo Libre	5	3	2	200, 230
	San Miguel	18	12	6	121, 122, 123, 132, 428, 445.
	Jesús María	5	1	0	
	SUB TOTAL:	39	25	12	
SUR	Lurín	1	1	0	
	Pachacamac	4	4	2	315, 365.
	S.J.Miraflores	2	1	0	
	SUB TOTAL:	7	6	2	
ESTE	Ate-Vitarte	24	19	10	254, 261, 262, 283, 292, 320, 327, 395, 475, 492.
	El Agustino	4	4	1	218.
	La Molina	16	15	8	111, 146, 182, 339, 349, 356, 410, 479.
	S.J.Lurigancho	19	16	8	154, 155, 194, 213, 374, 405, 486, 491.
	San Luis	1	1	0	
	Santa Anita	13	10	5	164, 176, 258, 426, 495.
	SUB TOTAL:	77	65	32	
OESTE	Chorrillos	15	11	6	210, 232, 233, 387, 411, 471.
	Miraflores	6	6	3	77, 174, 175.
	San Borja	2	1	0	
	San Isidro	7	4	2	10, 409.
	Surco	30	19	10	17, 114, 115, 129, 167, 375, 441, 443, 499, 600.
	Surquillo	4	2	1	318
	SUB TOTAL:	64	43	22	
CALLAO	Bellavista	11	11	6	402, 505, 511, 513, 532, 533.
	Callao	22	17	9	503, 504, 507, 510, 516, 518, 525, 542, 547.
	C. de la Legua	2	0	0	
	La Perla	2	1	0	
	La Punta	1	0	0	
	SUB TOTAL:	38	29	15	
	TOTALES:	318	242	121	

**CUADRO 4.1.1.1. POZOS SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO GEOQUIMICO
DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA.**

NOTA: datos proporcionados por la Unidad de Control Operacional de la Gerencia de Aguas Subterráneas, La Atarjea, Febrero 1994.



**P-04. PLANO DE UBICACION DE LAS MUESTRAS HIDROQUIMICAS
RECOLECTADAS PARA EL ESTUDIO GEOQUIMICO
DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA**

ESTUDIO GEOQUIMICO DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA.			
ZONA DE ESTUDIO	POZOS EXISTENTES	POZOS FUNCIONANDO	POZOS SELECCIONADOS
ZONA NORTE	93	74	38
ZONA CENTRO	39	25	12
ZONA SUR	7	6	2
ZONA ESTE	77	65	32
ZONA OESTE	64	43	22
ZONA CALLAO	38	29	15
TOTAL	318	242	121

CUADRO 4.1.1.2. RESUMEN DE LOS POZOS SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO GEOQUIMICO DEL ACUIFERO.

GRAFICO ACUMULATIVO LIMA METROPOLITANA
Estudio geoquímico del acuífero

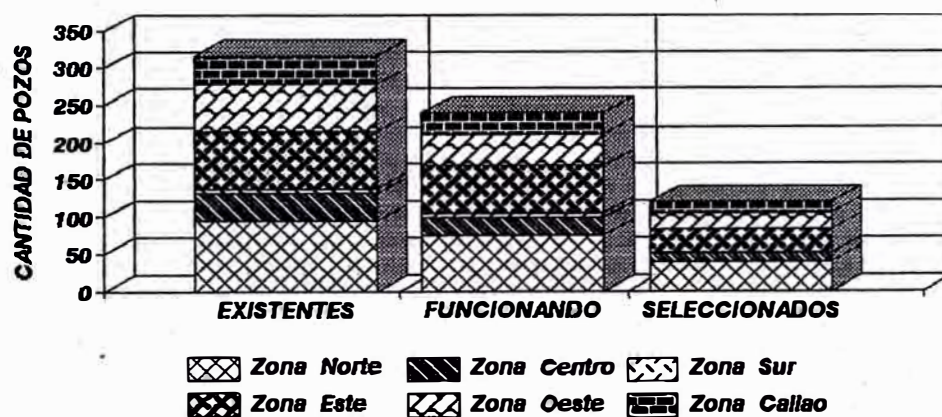


GRAFICO PORCENTUAL LIMA METROPOLITANA
Estudio geoquímico del acuífero

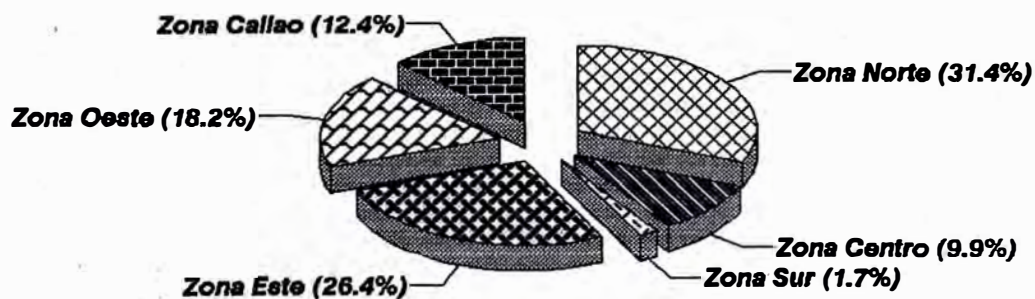


GRAFICO 4.1.1. RESUMEN DE LOS POZOS SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO GEOQUIMICO DEL ACUIFERO.

4.1.2. ESTRATEGIAS DE MUESTREO:

4.1.2.1. CONSIDERACIONES HIDROGEOLOGICAS.- podemos mencionar:

- Recolectar muestras a profundidades similares; ya que las muestras obtenidas desde las tuberías de descargas de los pozos, inevitablemente consisten de una mezcla de aguas provenientes de varios estratos penetrados por el pozo, los cuales pueden ser o no de diferente calidad y edad.

- Regular entre 20 y 40 lt/seg. los caudales de producción y el tiempo de funcionamiento a 24 horas/día; ya que en los pozos en funcionamiento la contribución relativa de cualquier estrato individual dependerá del régimen de flujo del agua subterránea, el diseño del pozo, la razón de bombeo y el tiempo transcurrido desde que empieza el bombeo.

4.1.2.2. CONSIDERACIONES FISICO-QUIMICAS.- podemos mencionar:

- No producir el fenómeno de aereación durante la toma de muestras, para evitar este fenómeno regular los caudales del pozo a una velocidad entre 25 lt/seg y 30 lt/seg.

Usar envases nuevos de polietileno para almacenar las muestras por ser inertes y así evitar la contaminación microbacteriana.

4.1.3. RECOLECCION DE MUESTRAS.

Se recolecto las muestras en botellas nuevas de polietileno de 200 ml. de capacidad, evitando agitación y exposición prolongada al aire, estas fueron cerradas hermeticamente para evitar contaminación microbacteriana y luego fueron refrigeradas a 4°C, las muestras fueron analizadas en un tiempo máximo de 24 horas despues de ser recepcionadas.

4.1.4. RESUMEN DEL MUESTREO GEOQUIMICO.

Se realizo durante 4 meses (Marzo, Abril, Mayo y Junio de 1994). Las muestras fueron recolectadas dentro de las 09:00 horas hasta las 15:00 horas y llevadas al laboratorio inmediatamente para complementar los análisis de campo; del total de 121 pozos seleccionados para la etapa de recolección se muestrearon el 100% lo que nos permitió obtener los resultados deseados.

4.2. FACTORES QUE INFLUENCIAN LA COMPOSICION QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS:

4.2.1. INFLUENCIA DE LAS LLUVIAS QUE PRECIPITAN SOBRE EL

ACUIFERO.— las deposiciones atmosféricas forman un porcentaje importante de las sustancias solubles encontradas en las aguas subterráneas; pueden ser: deposiciones húmedas (lluvia, nieve, neblina o granizo) y deposiciones secas (transferencia de gases y partículas de agua y plantas).

La deposición total se puede determinar midiendo la precipitación total durante tormentas individuales y combinando las muestras para dar una concentración total de sustancias disueltas, por ejemplo a través de registros mensuales.

4.2.2. INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL

RESERVORIO ACUIFERO.— la geología dentro y fuera de la cuenca, influencia la composición química del agua subterránea, a través de diversos factores (abundancia geoquímica, movilidad geoquímica, reacciones redox, etc.).

Elementos abundantes de la corteza terrestre como el Si, Al y Fe, son menos movibles en el ciclo hidrológico, que el Na, Cl y Br, la movilidad de solubles en la hidrosfera se puede expresar en términos de tiempo de residencia en los océanos, usando la "arenisca común" y comparando su abundancia geoquímica con la del agua de mar; ver la Figura 4.2.2.1. en la página 37.

Considerando la naturaleza y estabilidad de los minerales que forman el reservorio acuífero; muchos son formados en ambientes de alta temperatura, ejm. feldspatos y biotitas y son inestables en las temperaturas bajas del sistema de agua subterránea.

Similarmente, muchos minerales carbonatados han sido formados en ambientes marinos bajo condiciones biológicas altamente energizadas y son inestables bajo condiciones normales de baja temperatura en aguas dulces.

En la mayoría de aguas subterráneas de los reservorios acuíferos la secuencia de reacciones de reducción-oxidación siguen la secuencia pronosticada termodinámicamente (reacciones teóricas), ver la Figura 4.2.2.2. en la página 37.

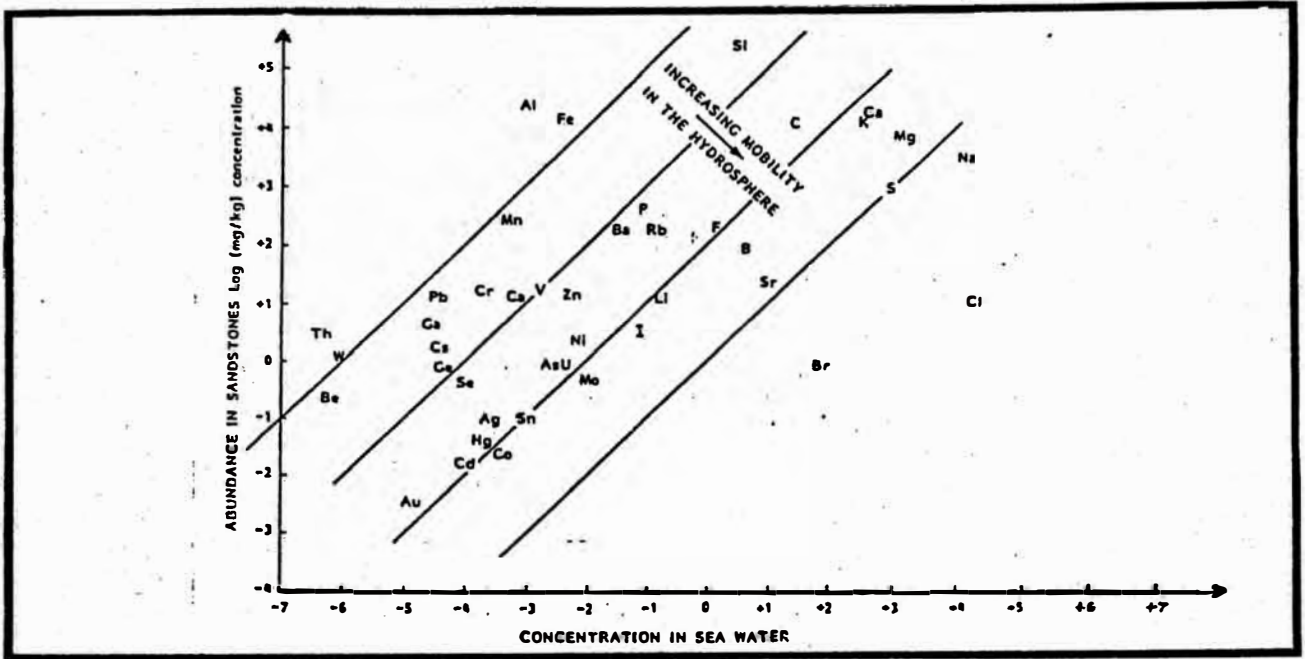


FIGURA 4.2.2.1. MOVILIDAD GEOQUIMICA DE LOS ELEMENTOS BASADO EN SU ABUNDANCIA EN ARENISCA Y SU COMPARACION CON AGUA DE MAR.

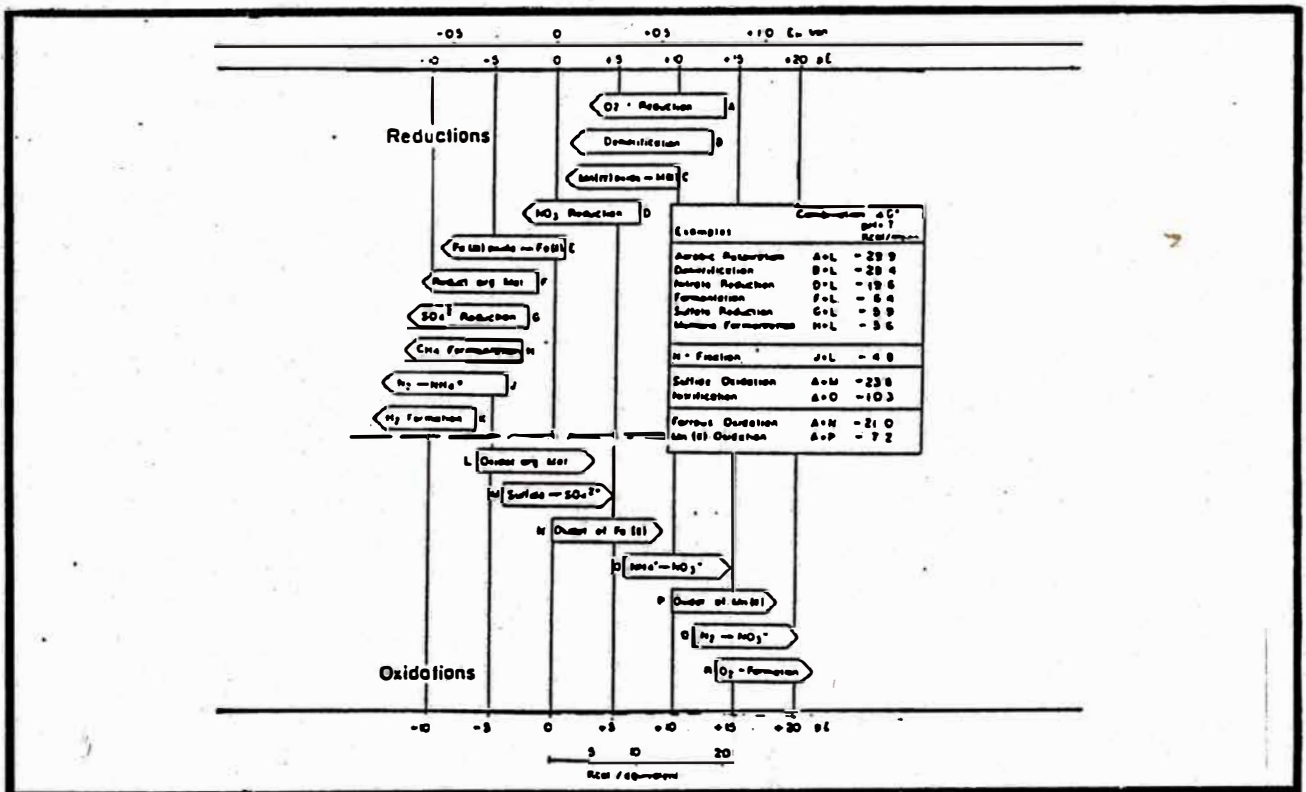


FIGURA 4.2.2.2. TRANSFORMACIONES TEORICAS QUE PUEDEN OCURRIR EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS DURANTE REDUCCION Y OXIDACION.

4.2.3. INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS EN DONDE

SE HAN PERFORADO LOS POZOS.- el suelo de Lima Metropolitana esta formado por sedimentos fluvio-aluviales (cantos rodados, capas de arena, niveles arcillosos) intercalados con sedimentos coluviales (gravas, gravillas); y presenta variaciones según la zona:

ZONA NORTE.- secuencias de arenas y cantos rodados en los niveles inferiores y en los niveles superiores secuencias gravas y gravillas en matriz arenosa de grano grueso.

ZONA CENTRO.- secuencias de gravas sub-redondeadas, gravas angulosas y gravillas en matriz arenosa o areno-arcillosa, hay poca presencia de cantos rodados.

ZONA SUR.- depósitos de origen marino formados por arenas de grano fino a medio, en sectores cercanos al río Lurín se tienen niveles de material areno arcilloso intercalado con gravas.

ZONA ESTE.- secuencias sedimentarias constituidas de bloques de gravas y gravillas en matriz arenosa de grano fino a grueso y poca cantidad de arcillas.

ZONA OESTE.- secuencias de cantos rodados y gravas sub-angulosas en matriz arenosa-arcillosa, intercaladas con niveles arcillosos y niveles arenosos en los sectores cercanos al litoral costero.

ZONA CALLAO.- secuencias de conglomerados en matriz areno-arcillosa intercalados con niveles arenosos de grano fino a grueso y niveles arcillosos compactos en los niveles inferiores.

4.2.4. INFLUENCIA DE LA EXPLOTACION POR MEDIO DE POZOS

PERFORADOS.- induce flujos mucho más rápidos y reduce los tiempos de residencia (ver la figura 4.4.2.1. en la página 37) y esta limitado por el descenso de la napa acuífera.

Los efectos de la explotación por medio de pozos perforados son:

- Incrustacion de fierro en los filtros, fundas, bombas y columnas de los pozos (la incustración no deja que se manifieste el verdadero potencial corrosivo del agua subterránea).

Descenso del nivel freático en el acuífero.

- La incrustación reduce la longitud efectiva de los filtros y el descenso del nivel freático disminuye el rendimiento de los pozos, produciendo una disminución en el abastecimiento de agua.

ZONA	CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS EN DONDE SE HAN PERFORADO LOS POZOS EN FUNCION A SU PERMEABILIDAD (CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA) EXPRESADA EN METROS POR DIA (m/día)			
	MUY BAJA	BAJA	MODERADA	ALTA
	arcillas masivas y compactas. $10^{-6} \text{ -- } 10^{-4}$ (m/día)	limos y/o arcillas arenosas. $10^{-4} \text{ -- } 10^{-1}$ (m/día)	arenas de grano fino a medio. $10^{-1} \text{ -- } 10$ (m/día)	arena de grano grueso y gravas. $10 \text{ -- } 10^4$ (m/día)
NORTE			<*****>	
CENTRO		<*****>		
SUR			<*****>	
ESTE			<*****>	
OESTE		<*****>		
CALLAO	<*****>			

CUADRO 4.2.3. CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS EN DONDE SE HAN PERFORADO LOS POZOS EN LAS DIVERSAS ZONAS DE LIMA METROPOLITANA.

NOTA: los rangos de valor de conductividad hidráulica son los mostrados en el texto "Field Hydrogeology" de Brassington Rick.

4.3. PARAMETROS FISICO-QUIMICOS ESTUDIADOS:

4.3.1. PARAMETROS FISICO-QUIMICOS DETERMINADOS IN SITU DURANTE LAS MEDICIONES DE CAMPO:

4.3.1.1. CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA (SEC).- es la capacidad que tiene el agua para transmitir la corriente eléctrica; depende de la concentración total de sustancias iónicas disueltas en el agua y de la temperatura a la cual se hace la medida; afectan esta medida la naturaleza de los distintos iones disueltos, sus valencias y sus concentraciones reales y relativas; la SEC se midió directamente con un conductímetro digital, sumergiendo el electrodo en la muestra y realizando una lectura directa.

4.3.1.2. SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (TDS).- son todos los sólidos (iones presentes en el agua) que se disuelven (iones libres) debido a que no tienden a formar pares de iones o complejos y que como presentan una red de carga alta tienden a incrementar la concentración iónica total; en aguas naturales las relaciones entre TDS y SEC son confiables a la temperatura de 25°C.

Estas relaciones son importantes para tener una idea aproximada del total de cationes o aniones en mili-equivalentes o para tener una idea del tipo de agua que se analiza.

Los sólidos disueltos totales se midieron directamente a través del conductímetro digital, sumergiendo el electrodo dentro de la muestra a ser analizada y realizando una lectura directa.

4.3.1.3. TEMPERATURA (T.).- tiene fuerte impacto en la composición del agua, las diferencias de temperatura en aguas subterráneas pueden ayudar a caracterizar las aguas que provienen de diferentes profundidades del acuífero; como todas las reacciones geoquímicas dependen de temperatura, su medición es esencial para determinar hasta que extensión una reacción ha logrado el equilibrio; La temperatura se midió por lectura directa usando los termómetros incorporados en el: conductímetro, medidor de oxígeno disuelto y pH-metro/mv-metro; las lecturas realizadas presentan una precisión de 0.1 °C.

4.3.1.4. PH.- Es importante medir el pH en el campo porque la medida realizada en el laboratorio puede cambiar debido a la pérdida o ganancia de gases disueltos tales como CO_2 y O_2 .

Los valores de pH pueden ser relacionados con tipos específicos de agua; por ejm. aguas de tipo Ca,Mg-HCO_3 presentan pH bajos; aguas de tipo Na-HCO_3 presentan $\text{pH} \approx 6.7$ y aguas del tipo Ca-HCO_3 a bajas presiones de CO_2 presentan $\text{pH} \approx 7.3$.

El pH se midió directamente a través del pH-metro, sumergiendo el electrodo dentro de la muestra a ser analizada y se realizando una lectura directa.

4.3.1.5. EH.- el Eh mide la habilidad de un medio ambiente para suministrar electrones a un agente oxidante o para quitar electrones a un agente reductor, similar a como el pH de un medio ambiente mide su habilidad para abastecer protones (iones hidrógeno) a una base o para quitar protones desde un ácido.

En aguas del tipo reducción el Eh medido será el resultado de una mezcla de potenciales desarrollados en una serie de reacciones de reducción-oxidación, sin embargo a lo largo de una línea de flujo de agua subterránea frecuentemente se observa una secuencia de cambios que refleja el dominio de una reacción particular de reducción-oxidación en algún punto de la línea.

El Eh se midió a través de un mv-metro, sumergiendo el electrodo dentro de la muestra y realizando una lectura directa.

4.3.1.6. OXIGENO DISUELTO (D.O).- el agua en contacto con el aire contiene una cantidad de oxígeno que varía dependiendo de la presión atmosférica y temperatura y salinidad del agua; en aguas naturales las variables principales son temperatura y presión; En aguas subterráneas el contenido de oxígeno disuelto varía de 0 a 100% de saturación; debido a que en el agua que se percola a través de las rocas, el oxígeno está fuera de contacto con la atmósfera y puede ser consumido por la oxidación de materia orgánica y/o minerales conteniendo hierro y manganeso.

El oxígeno disuelto se midió directamente a través de un tritrador digital, sumergiendolo dentro de la muestra hasta que se estabilize y luego se realizo una lectura directa.

PARAMETRO FISICO-QUIMICO.	CARACTERISTICAS.
Conductividad específica (SEC).	Los valores promedios de SEC se encuentran entre 700 y 900 $\mu\text{hos/cm}$; aproximadamente el 70% de las muestras se encuentran a SEC entre 500 y 1000 $\mu\text{hos/cm}$, y el 30% restante de las muestras a SEC mayores de 1000 $\mu\text{hos/cm}$; estos valores indican que la mayor parte de las aguas (aprox. 70%) presentan baja salinidad.
Sólidos disueltos totales (TDS).	Los valores promedios de TDS se encuentran entre 400 y 600 mg/l; aproximadamente el 77% de las muestras se encuentran a TDS entre 200 y 600 mg/l, mientras que el 23% restante de las muestras se encuentran a TDS entre 600 y 1200 mg/l; estos valores de TDS relacionados con los valores de SEC nos indican la presencia en mayor cantidad de iones tales como el Ca^{+2} , HCO_3^{-2} , Mg^{+2} y SO_4^{-2} , al mismo tiempo la presencia en menor cantidad del ion Na^+ .
Temperatura (T.).	La temperatura promedio de las aguas se encuentra entre 23 y 24 °C; de estos el 85% se encuentran a temperaturas entre 22 y 25 °C, y el 15% restante a temperaturas entre 25 y 27 °C.
pH.	El pH promedio de las muestras se encuentra entre 7.2 y 7.6 unidades de pH; el 12% se encuentra entre 6.6 y 7.2 mientras que aproximadamente el 88% se encuentra entre 7.2 y 7.8; estos valores indican el efecto del CO_2 , en el 12% las muestras con pH entre 6.6 y 7.2 que son las muestras con SEC mayores de 1000 $\mu\text{hos/cm}$.
Eh.	Para los valores de Eh se observan dos poblaciones; la primera población presenta valores promedios de Eh entre -150 y -250 mv, y la segunda valores promedios de Eh entre -550 y -650 mv; estos valores nos indican la presencia de ambientes de tipo reductor.
Oxígeno disuelto (D.O.).	El D.O. de las muestras se encuentra entre 1.5 y 3.0 mg/l; estando aproximadamente el 79% con valores de D.O. menores de 3mg/l y el 21% con valores de D.O. entre 3 y 10.5 mg/l; estos valores indican que aprox. el 80% del acuífero se encuentra confinado.

CUADRO 4.3.1. CARACTERISTICAS DE LOS PARAMETROS FISICO-QUIMICOS DETERMINADOS IN SITU DURANTE LAS MEDICIONES DE CAMPO.

**4.3.2. PARAMETROS FISICO-QUÍMICOS DETERMINADOS DURANTE LOS
ANÁLISIS DE LABORATORIO:**

4.3.2.1. CATIONES: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} y K^{+} :

CALCIO (Ca^{+2}).- se determino a partir de la dureza cálcica y esta a partir de la dureza total; ambas por el Método complexométrico usando ácido etilendiaminetetracético (EDTA) 0.01M.

La determinación de la dureza cálcica se realizo en medio básico (pH=12) usando hidróxido de sodio (NaOH) 1N y murexida-NaCl (1/100) como indicador; y la determinación de la dureza total se realizo en un medio tamponado a pH=10 (amonio-amoníaco) y utilizando negro eriocromo T como indicador.

MAGNESIO (Mg^{+2}).- se determino a partir de la diferencia de volumen de ácido etilendiaminetetracético (EDTA) 0.01 M, gastado al valorar la dureza cálcica del gastado al valorar la dureza total; y se comprobo haciendo la diferencia entre la dureza total y la dureza cálcica:

$$\text{Dureza Magnésiana} = \text{Dureza Total} - \text{Dureza Cálcica.}$$

SODIO (Na^{+}).- se determino por análisis espectrométrico, usando lámpara de cátodo hueco de sodio (Longitud de onda = 589 nm.) y un conjunto nebulizador-quemador en flama de aire-acetileno; se preparo la curva de calibración Absorbancia vs. Concentración, usando cloruro de sodio anhidro (NaCl) y como supresor cloruro de potasio 4000 ppm.; la concentración de sodio la da el equipo, luego el dato reportado se corrige según el factor de dilución.

POTASIO (K^{+}).- se determino por análisis espectrométrico, usando lámpara de cátodo hueco de potasio (Longitud de onda = 766.5 nm.) y un conjunto nebulizador-quemador en flama de aire-acetileno; se preparo la curva de calibración Absorbancia vs. Concentración, usando cloruro de sodio anhidro NaCl y como supresor cloruro de sodio 4000 ppm; la concentración de potasio la da el equipo, luego el dato reportado se corrige según la dilución realizada antes de la lectura.

4.3.2.2. ANIONES: HCO_3^{-2} , SO_4^{-2} , Cl^- y NO_3^- :

BICARBONATOS (HCO_3^{-2}).- previamente al análisis del contenido de bicarbonatos primero se determino la alcalinidad como CaCO_3 que presentaba la muestra, luego se procedio a determinar el contenido de bicarbonatos según la relación:

$\text{Alcalinidad en mg/l CaCO}_3 \times 1.22 = \text{Bicarbonatos como mg/l CaCO}_3$.
La alcalinidad se determino por el método titulométrico, las aguas se valoran con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.02 M, usando indicador mixto.

SULFATOS (SO_4^{-2}).- el contenido de sulfatos se determino por el método turbidimétrico, midiendo la turbiedad del sulfato de bario formado en la muestra después de la adición de cloruro de bario en medio alcohólico (etanol-glicerol).

La concentración de sulfatos en la muestra se determino a través de la curva de calibración de Concentración de Sulfatos vs. Lectura de Turbiedad, realizado previamente usando ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.02 N.

CLORUROS (Cl^-).- previamente a la determinación de la concentración de cloruros, se diluyo la muestra; esta dilución dependio directamente del valor de la conductividad que presento la muestra.

El contenido de cloruros se determino por el método de Mohr, que consiste en la valoración con una disolución de nitrato de plata (AgNO_3) 0.0141 N usando como indicador dicromato de potasio (K_2CrO_4).

NITRATOS (NO_3^-).- el contenido de nitratos se determino por espectrofotometría de Ultravioleta (UV), por el método directo a longitud de onda 220 nm. y una corrección por interferencias (materia orgánica) a 276 nm.

Se realizo previamente una curva de calibración Concentración vs. Absorvancia usando nitrato de potasio (KNO_3).

La concentración de la muestra se determino comparando la absorvancia de la muestra con la curva estándar.

PARAMETRO FISICO-QUIMICO		CARACTERISTICAS
CATIONES	Ca^{+2} .	Los valores promedios de Ca se encuentran entre 80 y 120 ppm.; aprox. el 56% se encuentra entre 40 y 120 ppm., y el 44% restante entre 120 y 320 ppm.; estos valores indican disolución de minerales de Ca entre los cuales tenemos rocas carbonatadas como calcita, dolomita.
	Mg^{+2} .	Los valores promedios de Mg se encuentran entre 16 y 32 ppm.; aprox. el 74% se encuentra entre 8 y 32 ppm, y el 26 % se encuentra entre 32 y 64 ppm.; estos valores indican una relación entre el Ca y el Mg relativamente alta, es decir debe existir exceso de Ca por disolución de yeso.
	Na^{+} .	Los valores promedios de Na se encuentran entre 22 y 32 ppm. ; aprox. el 85% se encuentra entre 12 y 42 ppm., el 15% se encuentra entre 42 y 92 ppm.; estos valores indican disolución de plagioclasas por la mezcla de aguas saladas o disolución de sal vaporizada del mar.
	K^{+} .	Los valores promedios de K se encuentran entre 3 y 5 ppm.; aprox. el 80% se encuentra entre 1 y 5 ppm., el 20% se encuentra entre 5 y 13 ppm.; estos valores indican disolución de feldspatos potásicos como la ortosa.
ANIONES	HCO_3^{-2} .	Los valores promedios de HCO_3 se encuentran entre 130 y 190 ppm.; aprox. el 83% se encuentra entre 90 y 190 ppm., el 17% restante se encuentra entre 190 y 270 ppm.; estos valores indican generalmente disolución de rocas carbonatadas, pero tambien efectos del CO_2 en el 17% de las muestras.
	SO_4^{-2} .	Para el SO_4 se observan dos poblaciones; la primera población presenta valores promedio entre 120 y 180 ppm., la segunda presenta valores promedio entre 240 y 360 ppm.; estos valores indican disolución de rocas carbonatadas conteniendo otros minerales como yeso y piritita.
	Cl^{-} .	Los valores promedio de Cl se encuentran entre 20 y 80 ppm abarcando aprox. el 80% de la población mientras que el 20% restante presenta valores entre 80 y 260 ppm.; estos valores indican que la mayor parte de las aguas (80%) presentan baja salinidad y solo un 20% alta salinidad.
	NO_3^{-} .	Los valores promedio de NO_3 se encuentran entre 20 y 30 ppm.; aprox. un 48% entre 0 y 30 ppm., el 38% entre 30 y 50 ppm y un 14% entre 50 y 90 ppm.; estos valores confirman presencia de confinamiento y no confinamiento.

CUADRO 4.3.2. CARACTERISTICAS DE LOS PARAMETROS FISICO-QUIMICOS DETERMINADOS DURANTE LOS ANALISIS DE LABORATORIO.

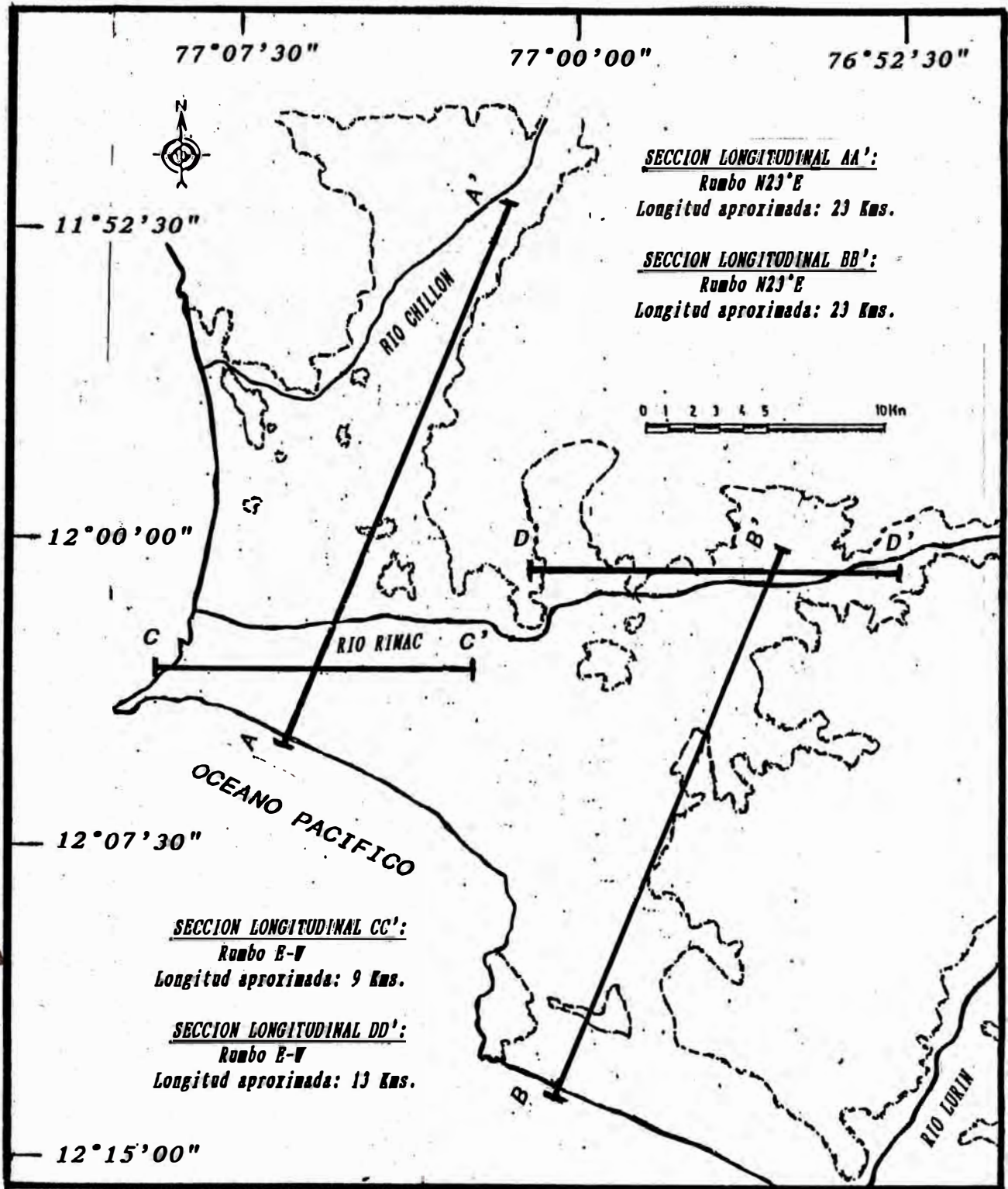
4.4. PRINCIPALES PROCESOS FISICO-QUIMICOS OCURRIDOS EN E ACUIFERO QUE DETERMINAN LA COMPOSICION QUIMICA DE LA AGUAS SUBTERRANEAS:

4.4.1. PROCESOS QUIMICOS REDOX.- contribuyen a través de un cierto número de reacciones a identificar los ambientes físico-químicos en donde el acuífero presenta condiciones de reducción u oxidación; estas reacciones siguen la secuencia pronosticada termodinámicamente en un sistema cerrado tal como ocurre en las líneas de flujo de aguas subterráneas en un acuífero confinado (ver Figura 4.2.2.2. en la página 37).

Las reacciones redox juegan también un papel importante en el control de la hidroquímica del hierro en donde la oxidación involucra pérdida de un electrón y subsecuentemente incremento en carga (ejm. $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3} + e^{-}$), mientras que la reducción involucra la ganancia de un electrón y subsecuentemente disminución en carga (ejm. $Fe^{+3} + e^{-} \rightarrow Fe^{+2}$).

4.4.2. PROCESOS DE DISOLUCIONES MINERALES.- determinan la evolución geoquímica de las aguas subterráneas en función a disoluciones progresivas de minerales a través de la solubilidad de minerales como la calcita, dolomita, yeso, plagioclasa, feldespato potásico; lo que nos permite medir la tendencia a disolver o precipitar sólidos a lo largo de la dirección de flujo de las aguas subterráneas hasta que el equilibrio sea alcanzado; estos procesos se encuentran influenciados por parámetros tales como: pH, presión parcial de dióxido de carbono en la atmósfera, acción microbiológica, etc.; de los cuales el pH inicial de las aguas subterráneas y la presión parcial de dióxido de carbono son los parámetros más importantes que influyen la solubilidad; si bien la presión parcial de dióxido de carbono de la atmósfera es bajo (aprox. 5 ppm.) la acción microbiológica en el suelo puede incrementar este valor hasta en dos ordenes de magnitud.

En la mayoría de aguas subterráneas de un acuífero confinado se presentan relaciones muy bajas entre el Mg y el Ca equivalentes a aquellas que resultan de la disolución del yeso sólido, alcanzando un valor máximo de $Mg/Ca = 1$.



**FIGURA 4.4.0. UBICACION DE LAS SECCIONES LONGITUDINALES
 PARA EL ESTUDIO DE LOS PROCESOS FISICO-QUIMICOS
 QUE OCURREN EN EL ACUIFERO.**

**4.4.3. CONDICIONES REDOX TÍPICAS DE CAMPO Y CAMBIOS GEOQUÍMICOS
A LO LARGO DE LA DIRECCIÓN DE FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.**

SECCIÓN LONGITUDINAL AA'

ZONA	DISTRITO	POZO	DISTANCIA (kms.)	Eh (mv)	D.O. ppm	NO ₃ ⁻ ppm	SO ₄ ⁻² ppm
CALLAO	Bellavista	505	0.9	-581	1.44	17	251
CALLAO	Bellavista	533	1.7	-215	1.92	25	108
CALLAO	Bellavista	532	2.2	-216	1.89	23	113
CALLAO	Bellavista	511	2.7	-221	2.39	33	102
CALLAO	Callao	510	3.1	-217	2.06	26	116
NORTE	San Martín	96	5.8	-635	1.73	46	120
NORTE	San Martín	408	6.1	-73	0.96	32	102
NORTE	San Martín	142	6.4	-203	1.64	39	99
NORTE	Los Olivos	271	10.1	-249	2.50	30	341
NORTE	Los Olivos	257	10.6	-219	3.59	43	370
NORTE	Los Olivos	407	10.9	-174	0.87	60	378
NORTE	Los Olivos	252	13.9	-70	1.54	28	276
NORTE	Los Olivos	300	14.3	-172	2.35	38	367
NORTE	Comas	332	15.4	-626	8.67	31	339
NORTE	Comas	243	15.9	-73	1.68	33	312
NORTE	Comas	226	17.2	-182	5.54	33	339
NORTE	Comas	144	17.6	-255	0.83	60	310
NORTE	Comas	326	18.2	-207	1.65	46	325
NORTE	Comas	431	19.8	-227	3.00	34	281
NORTE	Comas	303	20.5	-223	3.09	33	299
NORTE	Comas	161	20.7	-205	2.86	42	310
NORTE	Comas	417	21.4	-211	2.54	25	283
NORTE	Comas	392	21.7	-620	3.09	20	296
NORTE	Comas	488	22.1	-211	1.97	25	288
NORTE	Comas	267	22.4	-257	2.57	49	320

La sección longitudinal AA' presenta valores bajos de oxígeno disuelto (1 a 3 mg/l), característicos de procesos de reducción, sin embargo entre los kms. 10 al 15 se incrementan estos valores hasta los 8.67 mg/l inclusive, indicando áreas menos confinadas.

Los altos valores de sulfatos encontrados indican que los procesos de reducción del sulfato son bastante rápidos y se dan en gran porcentaje a través de la disolución del yeso:



y en menor porcentaje a través de la disolución de la pirita:



Entre los kms. 10 al 15 (Los Olivos) los altos valores de sulfato indican alta salinidad de las aguas, lo que produce intercambio iónico inverso (Na → Ca) en el área donde el acuífero limita con rocas granodioritas, pero debido a la poca cantidad de Na proveniente de la granodiorita y a la alta cantidad de sulfato de las aguas este intercambio se hace reversible (Ca → Na).

SECCION LONGITUDINAL BB'

ZONA	DISTRITO	POZO	DISTANCIA (kms.)	Eh ppm	D.O. ppm	NO ₃ ⁻ ppm	SO ₄ ⁻² ppm
OESTE	Chorrillos	232	1.7	-201	0.81	136	263
OESTE	Chorrillos	471	2.5	-637	1.01	43	287
OESTE	Chorrillos	387	3.9	-679	1.92	31	265
OESTE	Chorrillos	411	4.5	-264	2.96	25	162
OESTE	Surco	167	7.7	-233	2.41	24	166
OESTE	Surco	115	8.0	-696	2.37	22	166
OESTE	Surco	375	8.1	-219	2.34	44	235
OESTE	Surco	129	8.4	-223	2.24	23	145
OESTE	Surco	441	9.0	-196	1.95	21	151
ESTE	La Molina	182	15.2	-614	1.96	29	137
ESTE	La Molina	111	15.8	-187	2.14	27	160
ESTE	La Molina	339	16.5	-640	2.34	34	166
ESTE	La Molina	349	16.7	-660	2.38	42	219
ESTE	La Molina	356	17.3	-176	8.14	32	156
ESTE	Ate-Vitarte	327	18.5	-215	2.53	42	164
ESTE	Ate-Vitarte	475	19.4	-210	2.15	45	159
ESTE	Ate-Vitarte	395	21.2	-163	0.60	17	109
ESTE	Ate-Vitarte	254	21.5	-229	1.78	30	185
ESTE	Ate-Vitarte	283	22.0	-180	6.19	35	114
ESTE	Ate-Vitarte	492	22.4	-155	4.85	26	93

La sección longitudinal BB' presenta valores bajos de oxígeno disuelto (1 a 3 mg/l) que indican ambientes reductores, estos valores aumentan hasta 8.14 mg/l inclusive, entre los kms. 17 al 25 (Comas), indicando áreas menos confinadas.

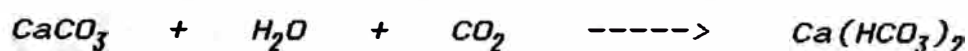
En este tramo los valores de nitratos y sulfatos son ligeramente mas bajos que en el tramo anterior, lo cual nos indica que los procesos de reducción del sulfato son bastante lentos entre los kms. 8 al 22 (Surco, La Molina y Ate), mientras que es mas rápida entre los kms. 1 al 8 (Chorrillos y Santiago de Surco).

SECCION LONGITUDINAL CC'

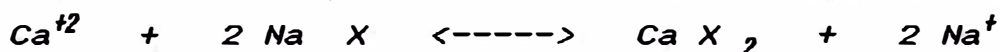
ZONA	DISTRITO	POZO	DISTANCIA (kms.)	Eh ppm	D.O. ppm	NO ₃ ⁻ ppm	SO ₄ ⁻² ppm
CALLAO	Callao	503	1.4	-564	1.49	20	89
CALLAO	Callao	504	1.6	-199	9.37	20	105
CALLAO	Callao	516	1.8	-241	3.24	16	129
CALLAO	Callao	542	2.5	-250	1.51	23	115
CALLAO	Callao	518	2.7	-237	1.11	21	119
CALLAO	Callao	525	3.5	-205	1.41	17	92
CALLAO	Callao	547	3.8	-184	0.86	12	92
CALLAO	Bellavista	532	4.4	-216	1.89	23	113
CALLAO	Bellavista	511	4.6	-221	2.39	33	102
CALLAO	Bellavista	402	5.5	-241	2.48	33	102
CALLAO	Bellavista	513	5.9	-248	2.08	30	113
CENTRO	Cercado	43	6.9	-225	1.88	27	171
CENTRO	Cercado	65	7.3	-241	1.92	48	142
CENTRO	Cercado	80	7.8	-184	1.94	52	140
CENTRO	Cercado	100	8.4	-270	4.16	73	148
CENTRO	P. Libre	230	8.8	-150	1.72	45	141

Para la sección longitudinal CC' tenemos valores bajos de oxígeno disuelto (1 a 2 mg/l), excepto entre los kms. 1 al 2 (Callao), en donde inclusive se llega a los 9.37 mg/l, a pesar de ser este el tramo mas reductor de todos; esto se debe a que tenemos aguas no saturadas en las que hay perdida de CO₂ debido a la recarga proveniente del sistema de distribución de agua potable.

Los bajos valores de sulfatos y nitratos nos indican que los procesos de reducción del sulfato son muy lentos y la disolución de la roca con el agua, debido a la pérdida de CO₂ en este tramo esta expresado según la reacción:



Además debido a la presencia de material arcilloso con contenido de sal podría darse el intercambio iónico normal (Ca → Na) en aguas de baja salinidad o el intercambio inverso (Na → Ca) en aguas de alta salinidad, entre el Ca y el Na según la reacción:



en donde X representa el medio de intercambio.

SECCION LONGITUDINAL DD'

ZONA	DISTRITO	POZO	DISTANCIA (kms.)	Eh ppm	D.O. ppm	NO ₃ ⁻ ppm	SO ₄ ⁻² ppm
ESTE	Lurigancho	194	14.2	-262	2.37	18	127
ESTE	Lurigancho	491	14.4	-217	2.31	15	126
ESTE	Lurigancho	155	15.1	-237	1.97	23	137
ESTE	Lurigancho	374	15.5	-223	2.19	19	163
ESTE	Lurigancho	154	15.8	-219	2.11	18	137
ESTE	Ate-Vitarte	395	20.5	-163	0.60	17	109
ESTE	Ate-Vitarte	254	20.7	-229	1.78	30	185
ESTE	Ate-Vitarte	292	21.1	-627	3.69	30	148
ESTE	Ate-Vitarte	492	21.3	-144	4.85	26	93
ESTE	Ate-Vitarte	261	23.3	-564	0.91	17	175
ESTE	Ate-Vitarte	262	25.1	-665	0.70	15	174
ESTE	Ate-Vitarte	320	26.3	-162	6.50	36	172

Para la sección longitudinal DD' tenemos valores bajos de oxígeno disuelto (1 a 3 mg/l), estos valores se incrementan hasta los 6.50 mg/l inclusive, entre los kms. 20 al 26 (Ate-Vitarte).

En este tramo tenemos que los valores de nitratos y sulfatos indican procesos de reducción bastante lentos debidos a la recarga ejercida por la infiltración de las aguas del río Rimac.

**4.4.4. CONDICIONES DE DISOLUCIONES MINERALES TÍPICAS DE CAMPO Y
CAMBIOS GEOQUÍMICOS A LO LARGO DE LA DIRECCIÓN DE FLUJO
DEL AGUA SUBTERRÁNEA.**

SECCIÓN LONGITUDINAL AA'

ZONA	DISTRITO	POZO	DISTANCIA (kms.)	pH	HCO ₃ ⁻² ppm	Ca ⁺² ppm	Mg ⁺² ppm
CALLAO	Bellavista	505	0.9	7	164	396	95
CALLAO	Bellavista	533	1.7	7.4	137	83	30
CALLAO	Bellavista	532	2.2	7.5	122	58	38
CALLAO	Bellavista	511	2.7	7.6	129	76	30
CALLAO	Callao	510	3.1	7.5	131	72	31
NORTE	San Martín	96	5.8	7.6	121	99	18
NORTE	San Martín	408	6.1	7.4	127	94	19
NORTE	San Martín	142	6.4	7.6	127	86	18
NORTE	Los Olivos	271	10.1	7.4	153	194	31
NORTE	Los Olivos	257	10.6	7.2	190	238	37
NORTE	Los Olivos	407	10.9	7.2	250	256	34
NORTE	Los Olivos	252	13.9	7.3	181	158	22
NORTE	Los Olivos	300	14.3	7.3	160	171	31
NORTE	Comas	332	15.4	7.4	181	184	30
NORTE	Comas	243	15.9	7.3	188	170	21
NORTE	Comas	226	17.2	7.2	196	166	30
NORTE	Comas	144	17.6	7.6	291	223	26
NORTE	Comas	326	18.2	7.1	219	169	39
NORTE	Comas	431	19.8	7.2	193	136	50
NORTE	Comas	303	20.5	7.1	214	156	40
NORTE	Comas	161	20.7	7.2	210	153	42
NORTE	Comas	417	21.4	7.2	183	133	47
NORTE	Comas	392	21.7	7.2	199	174	21
NORTE	Comas	488	22.1	7.2	182	148	31
NORTE	Comas	267	22.4	7.2	198	161	41

Para la sección longitudinal AA' tenemos algunos valores altos de calcio en el km. 1 y entre los kms. 10 al 17 (Bellavista, Los Olivos y Comas); mientras que tenemos valores altos de magnesio en el km. 1 y entre los kms. 20 al 22 (Bellavista y Comas).

En este tramo tenemos disoluciones minerales de la roca con el agua que corre a través de ella según la siguiente reacción:



La reacción anterior se dará si en la roca predomina el mineral calcita, pero si predomina el mineral dolomita otra reacción de disolución entre la roca y el agua se dará según la reacción:



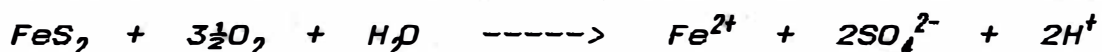
De la relación molar entre el calcio y el magnesio tenemos un exceso de calcio debido a que también se genera por disolución del yeso; y de la relación molar entre el bicarbonato y el calcio tenemos que predominante mas la calcita que la dolomita.

SECCION LONGITUDINAL BB'

ZONA	DISTRITO	POZO	DISTANCIA (kms.)	pH	HCO ₃ ⁻² ppm	Ca ⁺² ppm	Mg ⁺² ppm
OESTE	Chorrillos	232	1.7	7.0	278	256	65
OESTE	Chorrillos	471	2.5	7.2	209	263	32
OESTE	Chorrillos	387	3.9	7.2	198	158	35
OESTE	Chorrillos	411	4.5	7.3	169	101	32
OESTE	Surco	167	7.7	7.4	181	115	24
OESTE	Surco	115	8.0	7.4	167	115	22
OESTE	Surco	375	8.1	7.2	182	241	46
OESTE	Surco	129	8.4	7.4	183	112	24
OESTE	Surco	441	9.0	7.4	173	112	16
ESTE	La Molina	182	15.2	7.3	171	143	8
ESTE	La Molina	111	15.8	6.8	176	108	26
ESTE	La Molina	339	16.5	7.2	182	153	8
ESTE	La Molina	349	16.7	7.4	139	140	30
ESTE	La Molina	356	17.3	7.2	168	128	15
ESTE	Ate-Vitarte	327	18.5	7.2	205	137	24
ESTE	Ate-Vitarte	475	19.4	7.2	205	130	35
ESTE	Ate-Vitarte	395	21.2	7.3	142	93	17
ESTE	Ate-Vitarte	254	21.5	7.2	159	115	16
ESTE	Ate-Vitarte	283	22.0	7.2	172	119	8
ESTE	Ate-Vitarte	492	22.4	6.9	151	97	14

Para la sección longitudinal BB' tenemos valores altos de calcio y magnesio entre los kms. 1 al 8 (Chorrillos y Surco), que indican áreas no confinadas en el acuífero.

En este tramo los valores de calcio son altos al igual que los valores de sulfatos; esto nos podría indicar que se produce un cambio de aguas bicarbonatadas a sulfatadas seguramente como resultado de la disolución de la pirita mediante la reacción:



y sobretodo por la disolución del yeso mediante la reacción:



SECCION LONGITUDINAL CC'

ZONA	DISTRITO	POZO	DISTANCIA (kms.)	pH	HCO ₃ ⁻² ppm	Ca ⁺² ppm	Mg ⁺² ppm
CALLAO	Callao	503	1.4	7.6	100	68	30
CALLAO	Callao	504	1.6	7.6	105	92	16
CALLAO	Callao	516	1.8	7.2	149	94	22
CALLAO	Callao	542	2.5	7.4	146	76	43
CALLAO	Callao	518	2.7	7.4	169	94	31
CALLAO	Callao	525	3.5	7.5	123	58	32
CALLAO	Callao	547	3.8	7.6	97	43	32
CALLAO	Bellavista	532	4.4	7.5	122	58	38
CALLAO	Bellavista	511	4.6	7.6	129	76	30
CALLAO	Bellavista	402	5.5	7.5	129	72	32
CALLAO	Bellavista	513	5.9	7.5	133	68	30
CENTRO	Cercado	43	6.9	7.4	140	112	17
CENTRO	Cercado	65	7.3	7.4	148	104	14
CENTRO	Cercado	80	7.8	7.4	160	101	30
CENTRO	Cercado	100	8.4	7.4	146	112	16
CENTRO	Pueblo Libre	230	8.8	7.4	169	78	20

Para la sección longitudinal CC' tenemos valores de calcio menores de 100 mg/l entre los kms. 1 al 6 (Callao), y valores de magnesio menores de 38 mg/l entre los kms. 1 al 8 (Callao y el Cercado).

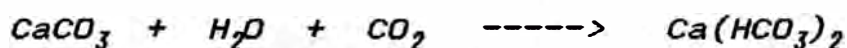
En este tramo a pesar de los valores bajos de calcio tenemos que las aguas del acuífero mantienen su carácter bicarbonatado debido mas a la recarga del sistema de distribución de agua de la ciudad que a la recarga y filtraciones del río Rimac.

SECCION LONGITUDINAL DD'

ZONA	DISTRITO	POZO	DISTANCIA (kms.)	pH	HCO_3^{-2} PPM	Ca^{+2} PPM	Mg^{+2} PPM
ESTE	S.J.Lurigancho	194	14.2	7.3	129	86	16
ESTE	S.J.Lurigancho	491	14.4	7.4	140	90	19
ESTE	S.J.Lurigancho	155	15.1	7.4	146	104	19
ESTE	S.J.Lurigancho	374	15.5	7.3	172	115	22
ESTE	S.J.Lurigancho	154	15.8	7.4	160	112	19
ESTE	Ate-Vitarte	395	20.5	7.3	142	93	17
ESTE	Ate-Vitarte	254	20.7	7.2	159	115	16
ESTE	Ate-Vitarte	292	21.1	7.3	140	101	14
ESTE	Ate-Vitarte	492	21.3	6.9	151	97	14
ESTE	Ate-Vitarte	261	23.3	7.1	167	133	13
ESTE	Ate-Vitarte	262	25.1	7.2	146	104	15
ESTE	Ate-Vitarte	320	26.3	7.2	176	148	26

Para la sección longitudinal DD' tenemos valores de calcio entre 100 mg/l y 150 mg/l, en los kms. 25 y 26 (Ate-Vitarte).

En este tramo puede verse claramente que el mayor caudal proviene de la zona de Vitarte entre los km. 20 y 26, en la parte alta del valle del Rímac, en donde se produce entre el agua y la roca carbonatada la siguiente reacción:



Entre los km. 14 y 16 (S.J. Lurigancho) el acuífero limita con el basamento rocoso en este tramo se encuentran flujos menores de agua subterránea con contenido de ClNa que proviene de la granodiorita y produce zonas de intercambio iónico entre las aguas tipo cloruro de sodio y las tipo sulfato de calcio; la reacción de intercambio iónico es inverso (Na \rightarrow Ca), y debido a la alta cantidad de Na proveniente de la granodiorita y la baja cantidad de sulfatos el intercambio se hace irreversible.

**4.5. COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA EN EL ACUIFERO DE
LIMA METROPOLITANA:**

**4.5.1. TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA CON RESPECTO A SU
CONTENIDO IONICO:**

Características hidroquímicas de los pozos de la zona Norte:

ZONA	DISTRITO	POZO	SEC	T °C	SEC _{25°C}	TDS	k
NORTE	Comas	161	1220	24.5	1232	610	0.50
NORTE	Comas	392	1170	25.0	1170	580	0.50
NORTE	Comas	267	1270	24.9	1273	630	0.50
NORTE	Comas	145	1260	25.3	1252	620	0.50
NORTE	Comas	266	1010	25.0	1010	500	0.50
NORTE	Comas	417	1060	24.5	1071	530	0.50
NORTE	Comas	488	1080	24.6	1085	540	0.50
NORTE	Comas	160	1300	24.5	1313	650	0.50
NORTE	Comas	303	1200	24.5	1212	600	0.50
NORTE	Comas	431	1140	24.6	1149	570	0.50
NORTE	Comas	215	1340	24.5	1359	670	0.50
NORTE	Comas	226	1200	26.0	1176	600	0.51
NORTE	Comas	326	1310	24.9	1313	650	0.50
NORTE	Comas	348	1050	25.0	1050	520	0.50
NORTE	Comas	413	710	24.8	713	350	0.49
NORTE	Comas	332	1260	25.1	1257	630	0.50
NORTE	Comas	144	1410	25.6	1393	710	0.51
NORTE	Comas	243	1040	25.5	1030	520	0.51
NORTE	Los Olivos	407	1650	24.9	1653	820	0.50
NORTE	Los Olivos	300	1250	26.0	1225	610	0.50
NORTE	Los Olivos	252	1100	24.5	1111	550	0.50
NORTE	Los Olivos	172	1950	25.9	1915	970	0.51
NORTE	Los Olivos	257	1550	25.8	1525	770	0.50
NORTE	Los Olivos	271	1350	25.9	1326	670	0.51
NORTE	S.M.Porres	130	850	22.9	886	430	0.49
NORTE	S.M.Porres	408	710	24.5	717	350	0.49
NORTE	S.M.Porres	94	880	22.8	919	440	0.48
NORTE	S.M.Porres	96	740	24.1	753	370	0.49
NORTE	S.M.Porres	99	720	23.8	737	360	0.49
NORTE	S.M.Porres	142	680	23.3	703	340	0.48
NORTE	S.M.Porres	162	950	23.8	973	470	0.48
NORTE	S.M.Porres	286	970	23.7	995	480	0.48
NORTE	S.M.Porres	34	830	22.8	867	420	0.48
NORTE	S.M.Porres	195	1000	24.5	1010	500	0.50
NORTE	Puente Piedra	296	2070	24.8	2078	1030	0.50
NORTE	Puente Piedra	297	1580	24.5	1596	790	0.50
NORTE	Puente Piedra	298	1280	24.5	1293	640	0.50
NORTE	Puente Piedra	299	1310	24.9	1313	650	0.50

Características hidroquímicas de los pozos de la zona Sur:

ZONA	DISTRITO	POZO	SEC	T °C	SEC _{25°C}	TIB	k
SUR	Pachacamac	315	900	24.5	909	450	0.50
SUR	Lurín	365	710	24.7	714	350	0.49

NOTA: la conductividad específica es altamente dependiente de la temperatura y se incrementa aproximadamente 2% por cada °C de incremento de temperatura.

Características hidroquímicas de los pozos de la zona Centro:

ZONA	DISTRITO	POZO	SEC	T °C	SEC _{25°C}	TDS	k
CENTRO	Cercado	43	880	23.0	915	440	0.48
CENTRO	Cercado	80	830	22.8	867	410	0.47
CENTRO	Cercado	100	830	23.7	852	410	0.48
CENTRO	Cercado	65	780	23.6	802	390	0.49
CENTRO	Pueblo Libre	200	860	23.6	884	430	0.49
CENTRO	Pueblo Libre	230	830	22.8	867	410	0.47
CENTRO	San Miguel	121	720	23.5	742	360	0.49
CENTRO	San Miguel	122	770	24.1	784	380	0.48
CENTRO	San Miguel	123	870	23.6	894	430	0.48
CENTRO	San Miguel	132	830	23.3	858	410	0.48
CENTRO	San Miguel	428	620	23.5	639	310	0.49
CENTRO	San Miguel	445	560	23.5	577	280	0.49

Características hidroquímicas de los pozos de la zona Este:

ZONA	DISTRITO	POZO	SEC	T °C	SEC _{25°C}	TDS	k
ESTE	Ate	327	940	23.8	963	470	0.49
ESTE	Ate	254	830	24.2	843	410	0.49
ESTE	Ate	395	710	23.4	733	350	0.48
ESTE	Ate	492	760	24.1	774	380	0.49
ESTE	Ate	292	720	24.1	733	360	0.49
ESTE	Ate	283	850	23.8	870	420	0.48
ESTE	Ate	475	950	23.5	979	470	0.48
ESTE	Ate	320	1050	23.1	1121	530	0.47
ESTE	Ate	262	750	22.8	783	370	0.47
ESTE	Ate	261	880	23.5	906	440	0.49
ESTE	Santa Anita	176	700	23.7	718	350	0.49
ESTE	Santa Anita	164	760	23.5	783	380	0.49
ESTE	Santa Anita	426	630	23.4	650	320	0.49
ESTE	Santa Anita	258	780	23.8	799	390	0.49
ESTE	Santa Anita	495	620	23.6	637	310	0.49
ESTE	El Agustino	218	680	24.4	688	340	0.49
ESTE	La Molina	356	870	24.7	875	430	0.49
ESTE	La Molina	349	1220	25.1	1218	610	0.46
ESTE	La Molina	111	890	25.8	876	440	0.47
ESTE	La Molina	182	870	26.4	846	440	0.48
ESTE	La Molina	339	950	25.2	946	470	0.47
ESTE	La Molina	410	2150	26.6	2081	1070	0.45
ESTE	La Molina	146	1080	24.8	1084	540	0.46
ESTE	La Molina	479	1400	25.9	1375	700	0.45
ESTE	Lurigancho	154	810	24.2	823	400	0.49
ESTE	Lurigancho	155	740	23.7	759	370	0.49
ESTE	Lurigancho	374	850	23.8	870	420	0.48
ESTE	Lurigancho	213	1060	23.5	1092	530	0.45
ESTE	Lurigancho	486	1160	24.6	1169	580	0.46
ESTE	Lurigancho	405	710	23.5	731	350	0.48
ESTE	Lurigancho	194	680	23.1	706	340	0.48
ESTE	Lurigancho	491	710	23.7	728	350	0.48

NOTA:

$$TDS = k \cdot SEC_{25^\circ C}$$

- TDS = sólidos disueltos totales expresado en mg/L.
 SEC_{25°C} = conductividad específica a la temperatura de 25 °C, expresada en umhos/cm.
 k = constante de contenido iónico, el cual varía dependiendo de los iones mayores presentes.

Características hidroquímicas de los pozos de la zona Oeste:

ZONA	DISTRITO	POZO	SEC	T °C	SEC _{25°C}	TDS	k
OESTE	Chorrillos	471	1770	25.0	1770	880	0.46
OESTE	Chorrillos	387	1160	25.7	1144	580	0.47
OESTE	Chorrillos	232	2290	24.2	2327	1140	0.45
OESTE	Chorrillos	233	1740	24.4	1761	870	0.45
OESTE	Chorrillos	210	1300	24.7	1308	650	0.46
OESTE	Chorrillos	411	880	25.1	878	440	0.46
OESTE	Miraflores	174	830	23.4	857	410	0.48
OESTE	Miraflores	77	770	23.7	790	380	0.48
OESTE	Miraflores	175	800	23.5	824	400	0.49
OESTE	Surco	443	780	24.0	796	390	0.49
OESTE	Surco	375	1790	24.2	1819	890	0.49
OESTE	Surco	17	860	23.8	881	430	0.49
OESTE	Surco	499	780	23.9	797	380	0.48
OESTE	Surco	129	840	23.9	858	420	0.49
OESTE	Surco	600	820	23.9	838	410	0.49
OESTE	Surco	114	850	26.9	818	420	0.51
OESTE	Surco	115	830	23.2	860	410	0.48
OESTE	Surco	441	810	23.7	831	400	0.48
OESTE	Surco	167	830	23.4	857	410	0.48
OESTE	San Isidro	409	780	24.3	791	390	0.49
OESTE	San Isidro	10	820	23.4	846	410	0.48
OESTE	Surquillo	318	780	23.2	808	390	0.48

ZONA	DISTRITO	POZO	SEC	T °C	SEC _{25°C}	TDS	k
CALLAO	Bellavista	533	760	22.9	792	380	0.48
CALLAO	Bellavista	511	710	23.6	730	350	0.48
CALLAO	Bellavista	402	680	23.1	706	340	0.48
CALLAO	Bellavista	513	680	22.8	710	340	0.48
CALLAO	Bellavista	532	660	22.9	688	330	0.48
CALLAO	Bellavista	505	3230	22.5	3392	1610	0.47
CALLAO	Callao	525	620	22.9	646	310	0.48
CALLAO	Callao	507	1020	22.3	1075	510	0.47
CALLAO	Callao	510	680	22.9	709	340	0.48
CALLAO	Callao	547	550	23.7	564	270	0.48
CALLAO	Callao	516	760	24.0	775	380	0.49
CALLAO	Callao	542	810	23.2	839	400	0.48
CALLAO	Callao	504	690	23.8	707	340	0.48
CALLAO	Callao	503	670	23.2	694	330	0.48
CALLAO	Callao	518	800	23.8	819	400	0.49

NOTA: la conductividad específica final (SEC_{25°C}) fue calculada de la siguiente manera:

$$SEC_{25°C} = \frac{(25-T.) \times 2 \times SEC}{100}$$

para temperaturas (T.) menores de 25°C.

$$SEC_{25°C} = \frac{(T.-25) \times 2 \times SEC}{100}$$

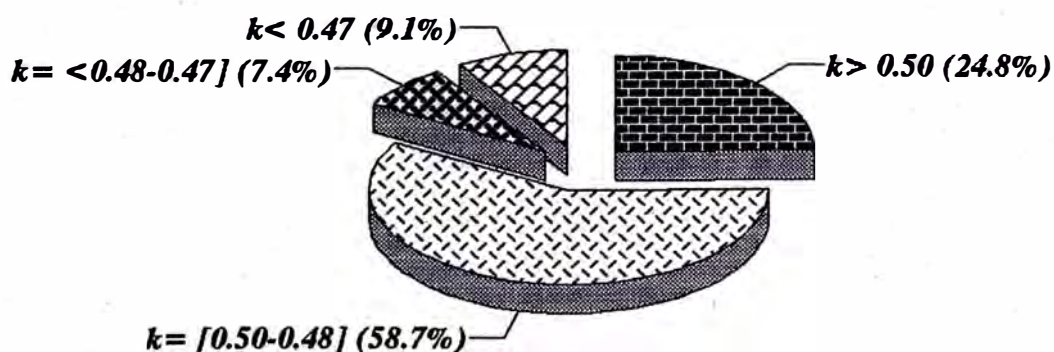
para temperaturas (T.) mayores de 25°C.

TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA CON RESPECTO A SU CONTENIDO IONICO.								
PARAMETRO	ZONA..						TOTAL	PORCENTAJE
	Norte	Centro	Sur	Este	Oeste	Callao		
$k > 0.50$	28	0	1	0	1	0	30	24.79 %
$k = [0.50 - 0.48]$	10	10	1	22	15	13	71	58.68 %
$k = < 0.48 - 0.47]$	0	2	0	4	1	2	9	7.44 %
$k < 0.47$	0	0	0	6	5	0	11	9.09 %
TOTAL	38	12	2	32	22	15	121	100.00 %

TIPO HIDROQUIMICO DE AGUA SUBTERRANEA	PARAMETRO	TOTAL	PORCENTAJE
Aguas con alto contenido de sulfatos	$k > 0.50$	30	24.79 %
Aguas neutras (ligeramente sulfatadas)	$k = [0.50 - 0.48]$	71	58.68 %
Aguas con alto contenido de bicarbonatos	$k = < 0.48 - 0.47]$	9	7.44 %
Aguas con alto contenido de cloruros	$k < 0.47$	11	9.09 %

**CUADRO 4.5.1. TIPOS HIROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA
CON RESPECTO A SU CONTENIDO IONICO.**

**TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA
Acuífero de Lima Metropolitana**



**GRAFICO 4.5.1. TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA
CON RESPECTO A SU CONTENIDO IONICO.**

**4.5.2. TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA EN BASE A
DIAGRAMAS DE PIPER:**

**RESULTADOS DE LOS PORCENTAJES DE ERROR EN LA CONVERSION DE ppm A
me/l EN LA SUMATORIA DE CATIONES Y ANIONES DE LAS MUESTRAS.**

POZO	CATIONES				TOTAL me/l	ANIONES				TOTAL me/l	ERROR %
	Zona Norte	Ca ⁺² me/l	Mg ⁺² me/l	Na ⁺ me/l		K ⁺ me/l	HCO ₃ ⁻² me/l	SO ₄ ⁻² me/l	Cl ⁻ me/l		
161	7.635	3.454	1.737	0.184	13.01	4.200	6.453	1.325	0.677	12.66	1.38
392	8.683	1.727	1.826	0.164	12.40	3.980	6.162	1.692	0.323	12.16	0.99
267	8.034	3.372	2.030	0.205	13.64	3.960	6.661	1.495	0.790	12.91	2.77
145	8.932	1.727	1.987	0.164	12.81	4.300	6.724	1.325	0.742	13.09	-1.09
266	6.836	3.125	1.257	0.169	11.39	3.340	5.412	1.128	0.677	10.56	3.78
417	6.637	3.865	1.370	0.176	12.05	3.660	5.891	1.184	0.403	11.14	3.92
488	7.385	2.549	1.274	0.174	11.38	3.640	5.995	1.072	0.403	11.11	1.21
160	8.882	2.138	2.178	0.169	13.37	4.340	6.661	1.720	0.903	13.62	-0.95
303	7.784	3.289	1.704	0.199	12.98	4.280	6.224	1.325	0.532	12.36	2.43
431	6.786	4.112	1.491	0.156	12.55	3.860	5.849	1.325	0.548	11.58	3.99
215	8.633	2.220	1.496	0.062	12.41	3.260	7.057	1.241	0.484	12.04	1.51
226	8.283	2.467	1.926	0.065	12.74	3.920	7.057	1.382	0.532	12.89	-0.58
326	8.433	3.207	1.957	0.028	13.63	4.380	6.765	1.636	0.742	13.52	0.38
348	7.535	2.385	1.639	0.059	11.62	3.480	5.787	1.100	0.355	10.72	4.01
413	8.084	2.303	1.043	0.072	11.50	3.060	4.788	2.933	0.339	11.12	1.69
332	9.182	2.467	1.804	0.060	13.51	3.620	7.057	1.523	0.500	12.70	3.10
144	11.128	2.138	0.522	0.246	14.03	4.820	6.453	1.466	0.968	13.71	1.18
243	8.483	1.727	1.739	0.084	12.03	3.760	6.495	1.241	0.532	12.03	0.02
407	12.774	2.796	0.609	0.184	16.36	5.000	7.868	2.792	0.968	16.63	-0.80
300	8.533	2.549	1.739	0.235	13.06	3.200	7.639	1.551	0.613	13.00	0.20
252	7.884	1.809	1.504	0.060	11.26	3.620	5.745	1.382	0.452	11.20	0.26
172	14.571	4.194	2.609	0.108	21.48	4.280	11.116	3.017	1.387	19.80	4.07
257	11.876	3.043	1.539	0.079	16.54	3.800	7.702	3.187	0.693	15.38	3.62
271	9.681	2.549	1.591	0.105	13.93	3.060	7.098	2.171	0.484	12.81	4.16
130	5.589	0.905	1.257	0.092	7.84	2.960	2.664	1.213	0.968	7.80	0.24
408	4.691	1.563	0.917	0.076	7.25	2.540	2.123	1.748	0.516	6.93	2.25
94	5.938	1.809	1.500	0.092	9.34	3.060	2.769	1.889	0.984	8.70	3.53
96	4.940	1.480	0.943	0.076	7.44	2.420	2.498	1.748	0.742	7.41	0.22
99	4.940	1.480	1.074	0.076	7.57	2.800	2.453	1.495	0.742	7.47	0.66
142	4.291	1.480	0.900	0.079	6.75	2.540	2.061	1.072	0.629	6.30	3.44
162	7.485	1.151	0.957	0.054	9.65	2.580	3.560	2.002	0.742	8.88	4.12
286	6.387	1.398	1.457	0.113	9.35	3.020	3.476	2.200	0.935	9.63	-1.46
34	5.938	1.398	1.174	0.072	8.58	3.480	3.081	1.325	0.516	8.34	1.43
195	9.281	2.056	0.870	0.066	12.27	4.640	5.121	2.538	1.080	13.38	-4.31
296	8.982	4.194	1.970	0.146	15.29	3.420	9.540	1.748	0.403	15.02	0.89
297	12.575	2.220	1.796	0.064	16.65	3.720	9.846	1.636	0.661	15.86	2.44
298	9.531	2.632	1.474	0.066	13.70	3.260	7.473	1.748	0.822	13.30	1.48
299	9.531	2.878	1.491	0.061	13.96	3.060	7.785	1.636	0.887	13.37	2.17

POZO	CATIONES				TOTAL me/l	ANIONES				TOTAL me/l	ERROR %
	Zona Sur	Ca ⁺² me/l	Mg ⁺² me/l	Na ⁺ me/l		K ⁺ me/l	HCO ₃ ⁻² me/l	SO ₄ ⁻² me/l	Cl ⁻ me/l		
315	4.591	2.303	2.248	0.113	9.25	2.920	2.477	3.102	0.435	8.93	1.75
365	2.894	1.974	1.491	0.049	6.41	2.900	1.374	2.453	0.129	6.86	-3.88

POZO	CATIONES				TOTAL	ANIONES				TOTAL	ERROR
	Zona Centro	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l	Na ⁺ mg/l		K ⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻² mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	Cl ⁻ mg/l		
43	5.589	1.398	1.130	0.082	8.20	2.800	3.560	1.213	0.435	8.01	1.18
80	5.040	2.467	1.117	0.097	8.72	3.200	2.914	1.495	0.839	8.45	1.60
100	5.589	1.316	1.739	0.066	8.71	2.920	3.081	1.410	1.177	8.59	0.71
65	5.190	1.151	1.813	0.092	8.25	2.960	2.956	1.354	0.774	8.04	1.24
200	5.739	1.809	1.522	0.087	9.16	3.180	2.644	1.748	0.774	8.35	4.63
230	4.890	1.645	1.126	0.110	7.77	3.380	2.935	1.410	0.726	8.45	-4.19
121	3.792	2.467	1.257	0.095	7.61	2.920	2.082	1.636	0.548	7.19	2.87
122	4.691	1.974	1.652	0.092	8.41	3.180	2.186	1.636	0.774	7.78	3.91
123	5.040	2.632	1.391	0.118	9.18	3.220	2.914	1.748	1.016	8.90	1.56
132	5.589	1.563	1.252	0.087	8.49	3.000	2.519	1.692	0.919	8.13	2.17
428	2.395	1.809	1.078	0.064	5.35	2.600	1.311	0.987	0.258	5.16	1.81
445	3.244	1.316	1.222	0.087	5.87	2.460	1.603	1.072	0.306	5.44	3.78

POZO	CATIONES				TOTAL	ANIONES				TOTAL	ERROR
	Zona Este	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l	Na ⁺ mg/l		K ⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻² mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	Cl ⁻ mg/l		
327	6.836	1.974	1.122	0.125	10.06	4.100	3.414	1.325	0.677	9.52	2.76
254	5.739	1.316	1.030	0.054	8.14	3.180	3.851	1.213	0.484	8.73	-3.49
395	4.641	1.398	1.526	0.067	7.63	2.840	2.269	1.889	0.274	7.27	2.41
492	4.840	1.151	1.270	0.073	7.33	3.020	1.936	1.889	0.419	7.26	0.48
292	5.040	1.151	1.178	0.084	7.45	2.800	3.081	1.213	0.484	7.58	-0.82
283	5.938	0.658	2.000	0.076	8.67	3.440	2.373	1.748	0.564	8.13	3.25
475	6.487	2.878	1.126	0.123	10.61	4.100	3.310	1.325	0.726	9.46	5.74
320	7.385	2.138	1.552	0.162	11.24	3.520	3.580	2.566	0.581	10.25	4.61
262	6.637	1.069	0.783	0.079	8.57	3.340	3.643	1.410	0.274	8.67	-0.58
261	5.190	1.234	0.974	0.082	7.48	2.920	3.622	1.156	0.242	7.94	-2.99
176	3.792	2.632	1.030	0.072	8.52	2.760	2.685	3.328	0.339	9.11	-3.33
164	5.040	1.809	1.004	0.077	7.93	2.940	2.789	1.636	0.403	7.77	1.03
426	3.992	1.563	1.078	0.064	6.70	2.420	2.082	1.748	0.258	6.51	1.43
258	5.190	1.316	1.039	0.092	7.64	3.020	3.643	1.213	0.532	8.41	-4.81
495	3.393	1.536	1.239	0.084	6.28	2.500	2.706	1.015	0.242	6.46	-1.44
218	4.641	1.316	1.122	0.069	7.15	2.900	2.352	1.354	0.290	6.90	1.79
356	6.387	1.234	1.135	0.077	8.83	3.360	3.247	1.636	0.516	8.76	0.42
349	6.986	2.467	2.217	0.159	11.83	2.780	4.559	4.512	0.677	12.53	-2.87
111	5.389	2.138	0.739	0.090	8.36	3.520	3.331	1.325	0.435	8.61	-1.51
182	7.136	0.658	0.996	0.077	8.87	3.420	2.852	1.889	0.468	8.63	1.36
339	7.635	0.658	1.004	0.090	9.39	3.640	3.455	2.171	0.548	9.82	-2.23
410	8.084	4.030	3.261	0.223	15.60	2.040	8.201	4.343	0.887	15.47	-0.40
146	6.287	3.125	0.965	0.141	10.52	1.920	3.726	5.020	0.355	11.02	-2.33
479	6.737	2.056	3.870	0.176	12.84	1.880	6.182	2.274	0.419	13.76	-3.45
154	5.589	1.563	0.926	0.092	8.17	3.200	2.852	1.354	0.290	7.70	2.99
155	5.190	1.563	1.226	0.087	8.07	2.920	2.852	1.213	0.371	7.36	4.60
374	5.739	1.809	1.400	0.102	9.05	3.440	3.393	1.354	0.306	8.49	3.17
213	6.587	2.632	1.630	0.096	10.95	2.960	3.976	3.299	1.129	11.36	-1.88
486	7.186	2.632	2.230	0.087	12.13	2.840	3.705	4.061	0.742	11.35	3.35
405	4.840	1.151	0.852	0.056	6.90	2.800	2.852	0.959	0.290	6.90	-0.01
194	4.291	1.316	1.213	0.074	6.89	2.580	2.644	0.818	0.290	6.33	4.25
491	3.992	1.563	1.552	0.095	7.20	2.800	2.623	1.213	0.242	6.88	2.30

POZO	CATIONES				TOTAL	ANIONES				TOTAL	ERROR
	Zona Oeste	Ca ⁺² me/l	Mg ⁺² me/l	Na ⁺ me/l		K ⁺ me/l	HCO ₃ ⁻² me/l	SO ₄ ⁻² me/l	Cl ⁻ me/l		
471	13.124	2.632	2.913	0.148	18.82	4.180	5.974	6.909	0.693	17.76	2.90
387	7.884	2.878	1.735	0.146	12.64	3.960	5.516	1.720	0.500	11.70	3.89
232	11.277	4.934	3.565	0.261	20.04	4.760	5.475	7.022	1.387	18.64	3.60
233	10.978	3.536	3.213	0.281	18.01	5.040	4.455	6.373	1.258	17.13	2.51
210	8.134	3.783	1.743	0.179	13.84	4.060	5.350	2.538	0.710	12.66	4.46
411	5.040	2.632	1.522	0.115	9.31	3.380	3.372	1.325	0.403	8.48	4.65
174	5.739	1.316	1.400	0.107	8.56	3.160	3.093	1.466	0.435	8.10	2.77
77	5.389	1.974	1.035	0.102	8.50	3.220	2.977	1.184	0.387	7.77	4.50
175	5.589	1.563	1.109	0.110	8.37	3.200	2.914	1.325	0.387	7.83	3.35
443	5.190	1.809	1.078	0.090	8.17	3.280	2.581	1.325	0.371	7.56	3.87
375	11.527	2.961	1.565	0.095	16.97	3.640	4.892	5.950	0.710	15.19	3.05
17	6.088	1.563	1.117	0.101	8.87	3.340	3.580	1.325	0.500	8.75	0.70
499	5.040	1.809	1.226	0.100	8.17	3.220	2.706	1.466	0.355	7.75	2.69
129	5.589	1.974	1.130	0.092	8.79	3.660	3.018	1.466	0.371	8.52	1.56
600	5.190	2.632	1.270	0.115	9.21	3.440	3.039	1.466	0.387	8.33	4.98
114	5.389	1.809	1.326	0.118	8.64	3.400	3.268	1.607	0.403	8.68	-0.21
115	5.739	1.809	1.174	0.087	8.81	3.340	3.455	1.325	0.355	8.48	1.93
441	5.589	1.316	1.261	0.095	8.26	3.460	3.143	1.325	0.339	8.27	-0.04
167	5.739	1.974	1.174	0.090	8.98	3.620	3.455	1.325	0.387	8.79	1.06
409	5.190	1.891	1.174	0.077	8.33	3.060	3.247	1.072	0.435	7.81	3.20
10	5.589	1.974	0.939	0.077	8.58	3.260	3.164	1.213	0.452	8.09	2.94
318	5.389	1.809	1.013	0.118	8.53	3.280	3.039	1.184	0.452	7.96	2.30

POZO	CATIONES				TOTAL	ANIONES				TOTAL	ERROR
	Zona Callao	Ca ⁺² me/l	Mg ⁺² me/l	Na ⁺ me/l		K ⁺ me/l	HCO ₃ ⁻² me/l	SO ₄ ⁻² me/l	Cl ⁻ me/l		
533	4.142	2.467	1.248	0.074	7.93	2.740	2.248	2.087	0.403	7.48	2.94
511	3.792	2.467	0.961	0.041	7.26	2.580	2.123	1.636	0.532	6.87	2.76
402	3.593	2.632	0.570	0.069	6.86	2.580	2.123	1.354	0.532	6.59	2.04
513	3.393	2.467	1.130	0.072	7.06	2.660	2.352	1.354	0.484	6.85	1.53
532	2.894	2.467	1.157	0.056	6.57	2.440	2.352	1.354	0.371	6.52	0.44
505	9.281	4.523	2.513	0.304	16.62	3.280	5.225	6.627	0.274	15.41	3.80
525	2.894	2.303	1.017	0.069	6.28	2.460	1.915	1.213	0.274	5.86	3.47
507	6.637	1.809	1.357	0.105	9.91	2.800	2.061	4.597	0.452	9.91	-0.01
510	3.593	2.549	1.048	0.064	7.25	2.620	2.415	1.495	0.419	6.95	2.15
547	2.146	2.632	0.926	0.072	5.77	1.940	1.915	1.213	0.194	5.26	4.66
516	4.691	1.809	0.978	0.074	7.55	2.980	2.685	1.748	0.258	7.67	-0.78
542	3.792	3.536	1.574	0.082	8.98	2.920	2.394	2.566	0.371	8.25	4.25
504	4.591	1.316	0.965	0.069	6.94	2.100	2.186	2.030	0.323	6.64	2.23
503	3.393	2.303	1.130	0.082	6.91	2.000	1.853	2.171	0.323	6.35	4.24
518	4.691	2.549	1.417	0.102	8.76	3.380	2.477	2.030	0.339	8.23	3.14

NOTA: los factores de conversión de ppm (mg/l) a (me/l) fueron:

Cation	Factor
Calcio	20.04
Magnesio	12.16
Sodio	23.00
Potasio	39.10

Anion	Factor
Cloruro	35.46
Sulfato	48.04
Nitrato	62.01
Bicarbonato	61.01

RESULTADOS DEL BALANCE ENTRE CATIONES Y ANIONES (RESULTADOS CORREGIDOS) PARA LAS MUESTRAS DE LIMA METROPOLITANA.

Pozo	CATIONES				TOTAL me/l	ANIONES				TOTAL me/l
	Ca ⁺² me/l	Mg ⁺² me/l	Na ⁺ me/l	K ⁺ me/l		HCO ₃ ⁻² me/l	SO ₄ ⁻² me/l	Cl ⁻ me/l	NO ₃ ⁻ me/l	
161	7.531	3.407	1.713	0.181	12.83	4.259	6.543	1.344	0.687	12.83
392	8.597	1.710	1.808	0.162	12.28	4.020	6.223	1.709	0.326	12.28
267	7.818	3.281	1.976	0.199	13.27	4.073	6.851	1.537	0.813	13.27
145	9.030	1.746	2.009	0.165	12.95	4.254	6.651	1.311	0.734	12.95
266	6.587	3.011	1.211	0.163	10.97	3.471	5.625	1.172	0.704	10.97
417	6.386	3.719	1.318	0.170	11.59	3.809	6.131	1.233	0.420	11.59
488	7.297	2.519	1.259	0.172	11.25	3.685	6.069	1.085	0.408	11.25
160	8.968	2.159	2.199	0.170	13.50	4.299	6.598	1.704	0.895	13.50
303	7.600	3.211	1.664	0.195	12.67	4.387	6.379	1.358	0.545	12.67
431	6.526	3.954	1.434	0.150	12.06	4.020	6.092	1.381	0.571	12.06
215	8.504	2.187	1.473	0.061	12.23	3.310	7.165	1.260	0.491	12.23
226	8.332	2.482	1.937	0.065	12.82	3.897	7.016	1.374	0.529	12.82
326	8.401	3.195	1.949	0.028	13.57	4.397	6.791	1.642	0.754	13.57
348	7.244	2.293	1.576	0.057	11.17	3.626	6.029	1.146	0.370	11.17
413	7.949	2.264	1.026	0.070	11.31	3.113	4.870	2.983	0.344	11.31
332	8.905	2.393	1.750	0.058	13.11	3.736	7.283	1.572	0.516	13.11
144	10.998	2.113	0.516	0.243	13.87	4.877	6.530	1.484	0.979	13.87
243	8.481	1.727	1.739	0.084	12.03	3.761	6.496	1.241	0.532	12.03
407	12.878	2.819	0.614	0.186	16.50	4.960	7.806	2.770	0.960	16.50
300	8.515	2.544	1.736	0.235	13.03	3.207	7.655	1.554	0.614	13.03
252	7.864	1.804	1.500	0.060	11.23	3.630	5.760	1.385	0.453	11.23
172	14.001	4.030	2.507	0.130	20.64	4.462	11.588	3.146	1.446	20.64
257	11.461	2.936	1.485	0.077	15.96	3.943	7.991	3.306	0.719	15.96
271	9.294	2.448	1.528	0.101	13.37	3.193	7.406	2.266	0.505	13.37
130	5.576	0.902	1.254	0.092	7.82	2.967	2.671	1.216	0.970	7.82
408	4.587	1.528	0.897	0.074	7.09	2.598	2.172	1.789	0.528	7.09
94	5.735	1.747	1.449	0.089	9.02	3.172	2.870	1.959	1.020	9.02
96	4.929	1.477	0.941	0.076	7.42	2.425	2.503	1.752	0.743	7.42
99	4.908	1.471	10.67	0.076	7.52	2.819	2.452	1.505	0.747	7.52
142	4.149	1.431	0.870	0.076	6.53	2.631	2.134	1.110	0.651	6.53
162	7.189	1.106	0.919	0.052	9.27	2.691	3.712	2.088	0.774	9.27
286	6.482	1.419	1.478	0.115	9.49	2.977	3.426	2.168	0.922	9.49
34	5.854	1.378	1.157	0.071	8.46	3.530	3.026	1.345	0.524	8.46
195	9.700	2.149	0.909	0.069	12.83	4.448	4.909	2.433	1.036	12.83
296	8.903	4.157	1.952	0.144	15.16	3.451	9.535	1.764	0.407	15.16
297	12.276	2.168	1.753	0.062	16.26	3.813	10.092	1.676	0.678	16.26
298	9.392	2.593	1.452	0.066	13.50	3.309	7.585	1.775	0.835	13.50
299	9.328	2.817	1.460	0.060	13.66	3.128	7.958	1.672	0.907	13.66

POZO	CATIONES				TOTAL me/l	ANIONES				TOTAL me/l
	Ca ⁺² me/l	Mg ⁺² me/l	Na ⁺ me/l	K ⁺ me/l		HCO ₃ ⁻² me/l	SO ₄ ⁻² me/l	Cl ⁻ me/l	NO ₃ ⁻ me/l	
315	4.512	2.263	2.209	0.111	9.09	2.972	2.521	3.158	0.443	9.09
365	2.996	2.043	1.543	0.050	6.63	2.805	1.329	2.373	0.125	6.63

POZO	CATIONES				TOTAL	ANIONES				TOTAL
	Zona Centro	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l	Na ⁺ mg/l		K ⁺ mg/l	mg/l	HCO ₃ ⁻² mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	
43	5.524	1.382	1.117	0.081	8.10	2.833	3.602	1.227	0.441	8.10
80	4.961	2.428	1.100	0.096	8.58	3.252	2.962	1.519	0.852	8.58
100	5.550	1.307	1.727	0.066	8.65	2.941	3.103	1.420	1.186	8.65
65	5.126	1.137	1.791	0.091	8.14	2.997	2.993	1.371	0.784	8.14
200	5.485	1.729	1.454	0.083	8.75	3.334	2.772	1.833	0.812	8.75
230	5.104	1.717	1.175	0.115	8.11	3.244	2.817	1.353	0.697	8.11
121	3.686	2.398	1.221	0.092	7.40	3.006	2.143	1.684	0.565	7.40
122	4.514	1.899	1.590	0.089	8.09	3.309	2.275	1.702	0.806	8.09
123	4.963	2.591	1.370	0.116	9.04	3.271	2.960	1.776	1.032	9.04
132	5.470	1.529	1.226	0.085	8.31	3.067	2.575	1.730	0.940	8.31
428	2.353	1.777	1.059	0.063	5.25	2.648	1.336	1.005	0.263	5.25
445	3.125	1.268	1.177	0.084	5.65	2.527	1.666	1.114	0.318	5.65

POZO	CATIONES				TOTAL	ANIONES				TOTAL
	Zona Este	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l	Na ⁺ mg/l		K ⁺ mg/l	mg/l	HCO ₃ ⁻² mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	
327	6.653	1.921	1.092	0.122	9.79	4.216	3.511	1.363	0.697	9.79
254	5.946	1.363	1.068	0.056	8.43	3.073	3.721	1.172	0.467	8.43
395	4.532	1.365	1.490	0.065	7.54	2.910	2.325	1.936	0.281	7.54
492	4.817	1.146	1.264	0.073	7.30	3.034	1.945	1.898	0.421	7.30
292	5.082	1.161	1.188	0.085	7.52	2.777	3.056	1.203	0.480	7.52
283	5.751	0.637	1.937	0.073	8.40	3.556	2.453	1.807	0.583	8.40
475	6.135	2.722	1.065	0.116	10.04	4.350	3.511	1.406	0.770	10.04
320	7.060	2.044	1.484	0.155	10.74	3.690	3.753	2.690	0.609	10.74
262	6.675	1.075	0.787	0.080	8.62	3.321	3.622	1.402	0.273	8.62
261	5.350	1.272	1.004	0.084	7.71	2.835	3.517	1.123	0.235	7.71
176	4.956	2.722	1.066	0.074	8.82	2.671	2.599	3.220	0.322	8.82
164	4.988	1.791	0.994	0.076	7.85	2.971	2.818	1.653	0.407	7.85
426	3.936	1.540	1.063	0.063	6.60	2.455	2.112	1.774	0.262	6.60
258	5.452	1.382	1.092	0.097	8.02	2.882	3.476	1.157	0.508	8.02
495	3.443	1.585	1.257	0.086	6.37	2.464	2.668	1.001	0.238	6.37
218	4.559	1.293	1.102	0.068	7.02	2.953	2.395	1.378	0.296	7.02
356	6.361	1.228	1.130	0.076	8.80	3.374	3.261	1.642	0.518	8.80
349	7.192	2.540	2.283	0.163	12.18	2.702	4.432	4.386	0.658	12.18
111	5.472	2.171	0.750	0.091	8.48	3.468	3.281	1.306	0.429	8.48
182	7.040	0.649	0.982	0.076	8.75	3.467	2.891	1.915	0.474	8.75
339	7.809	0.673	1.027	0.092	9.60	3.561	3.380	2.124	0.536	9.60
410	8.051	4.013	3.248	0.222	15.53	2.048	8.235	4.361	0.891	15.53
146	6.438	3.200	0.988	0.144	10.77	1.876	3.641	4.905	0.347	10.77
479	6.977	2.129	4.008	0.183	13.30	1.817	5.976	5.098	0.405	13.30
154	5.427	1.517	0.899	0.089	7.93	3.299	2.940	1.395	0.299	7.93
155	4.961	1.494	1.172	0.083	7.71	3.061	2.989	1.271	0.389	7.71
374	5.562	1.754	1.357	0.099	8.77	3.553	3.504	1.398	0.316	8.77
213	6.713	2.682	1.662	0.098	11.15	2.905	3.903	3.239	1.108	11.15
486	6.953	2.546	2.158	0.084	11.74	2.938	3.834	4.202	0.768	11.74
405	4.841	1.151	0.852	0.056	6.90	2.800	2.852	0.959	0.290	6.90
194	4.116	1.262	1.164	0.071	6.61	2.695	2.761	0.854	0.303	6.61
491	3.902	1.527	1.517	0.093	7.04	2.866	2.685	1.241	0.248	7.04

POZO	CATIONES				TOTAL	ANIONES				TOTAL
	Zona Oeste	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l	Na ⁺ mg/l		K ⁺ mg/l	mg/l	HCO ₃ ⁻² mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	
471	12.754	2.557	2.831	0.144	18.29	4.305	6.152	7.115	0.714	18.29
387	7.589	2.771	1.670	0.140	12.17	4.120	5.739	1.790	0.520	12.17
232	10.885	4.763	3.441	0.252	19.34	4.938	5.679	7.285	1.439	19.34
233	10.709	3.450	3.134	0.274	17.57	5.170	4.569	6.538	1.290	17.57
210	7.786	3.621	1.669	0.171	13.25	4.250	5.599	2.657	0.743	13.25
411	4.816	2.515	1.454	0.110	8.89	3.545	3.537	1.390	0.423	8.89
174	5.584	1.280	1.362	0.105	8.33	3.250	3.126	1.508	0.448	8.33
77	5.157	1.889	0.990	0.098	8.13	3.372	3.117	1.240	0.405	8.13
175	5.407	1.512	1.073	0.106	8.10	3.311	3.015	1.371	0.400	8.10
443	4.996	1.742	1.038	0.086	7.86	3.412	2.685	1.379	0.386	7.86
375	11.186	2.873	1.519	0.092	15.67	3.754	5.046	6.138	0.732	15.67
17	6.046	1.552	1.110	0.101	8.81	3.364	3.606	1.335	0.503	8.81
499	4.908	1.762	1.194	0.097	7.96	3.309	2.781	1.507	0.365	7.96
129	5.503	1.943	1.113	0.091	8.65	3.718	3.066	1.490	0.377	8.65
600	4.943	2.507	1.209	0.110	8.77	3.620	3.198	1.543	0.407	8.77
114	5.401	1.813	1.329	0.118	8.66	3.393	3.261	1.604	0.402	8.66
115	5.630	1.775	1.152	0.085	8.64	3.406	3.523	1.351	0.362	8.64
441	5.591	1.316	1.261	0.095	8.26	3.458	3.142	1.325	0.339	8.26
167	5.679	1.953	1.162	0.089	8.88	3.659	3.492	1.340	0.391	8.88
409	5.028	1.833	1.137	0.074	8.07	3.161	3.355	1.107	0.450	8.07
10	5.429	1.917	0.912	0.075	8.33	3.359	3.260	1.249	0.465	8.33
318	5.268	1.769	0.990	0.115	8.14	3.357	3.111	1.212	0.462	8.14

POZO	CATIONES				TOTAL	ANIONES				TOTAL
	Zona Callao	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l	Na ⁺ mg/l		K ⁺ mg/l	mg/l	HCO ₃ ⁻² mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	
533	4.024	2.397	1.212	0.072	7.70	2.823	2.316	2.150	0.415	7.70
511	3.691	2.401	0.935	0.040	7.07	2.653	2.184	1.682	0.547	7.07
402	3.521	2.579	0.558	0.068	6.73	2.634	2.167	1.382	0.543	6.73
513	3.342	2.430	1.113	0.071	6.96	2.701	2.389	1.375	0.491	6.96
532	2.882	2.456	1.151	0.056	6.55	2.451	2.363	1.360	0.373	6.55
505	8.942	4.358	2.421	0.293	16.01	3.409	5.431	6.889	0.285	16.01
525	2.797	2.225	0.983	0.067	6.07	2.548	1.984	1.256	0.284	6.07
507	6.637	1.809	1.357	0.105	9.91	2.800	2.061	4.596	0.452	9.91
510	3.517	2.496	1.026	0.063	7.10	2.678	2.468	1.527	0.428	7.10
547	2.050	2.515	0.885	0.068	5.52	2.035	2.009	1.272	0.203	5.52
516	4.728	1.824	0.986	0.075	7.61	2.957	2.664	1.735	0.256	7.61
542	3.638	3.392	1.510	0.079	8.62	3.050	2.500	2.680	0.387	8.62
504	4.491	1.287	0.944	0.068	6.79	2.148	2.235	2.077	0.330	6.79
503	3.255	2.209	1.084	0.079	6.63	2.088	1.935	2.268	0.337	6.63
518	4.548	2.472	1.374	0.099	8.49	3.490	2.557	2.096	0.350	8.49

NOTA: El error fue calculado de la siguiente manera:

$$\text{Error} = \frac{\Sigma (\text{cationes} - \text{aniones})}{\Sigma (\text{cationes} + \text{aniones})} \times 100\%$$

Se considera satisfactorio un balance con error entre +5% y -5%.

**RESULTADOS DEL RECALCULADO DEL BALANCE ENTRE CATIONES Y ANIONES
EXPRESADOS EN PORCENTAJES PARA LAS MUESTRAS.**

Pozo	CATIONES			TOTAL	ANIONES			TOTAL
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺ +K ⁺		HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	
Zona Norte	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡
161	58.687	26.550	14.763	100.00	35.063	53.872	11.065	100.00
392	70.025	13.928	16.047	100.00	33.633	52.068	14.229	100.00
267	58.897	24.718	16.385	100.00	32.685	54.979	12.336	100.00
145	69.729	13.482	16.789	100.00	34.821	54.446	10.733	100.00
266	60.038	27.444	12.517	100.00	33.805	54.778	11.417	100.00
417	55.086	32.081	12.832	100.00	34.093	54.874	11.033	100.00
488	64.883	22.397	12.720	100.00	33.998	55.993	10.009	100.00
160	66.447	15.995	17.558	100.00	34.116	52.362	13.523	100.00
303	59.983	25.347	14.670	100.00	36.181	52.614	11.205	100.00
431	54.094	32.775	13.131	100.00	34.980	53.008	12.012	100.00
215	69.556	17.890	12.554	100.00	28.207	61.057	10.736	100.00
226	65.012	19.363	15.625	100.00	31.719	57.100	11.181	100.00
326	61.894	25.539	14.566	100.00	34.270	52.932	12.798	100.00
348	64.854	20.527	14.619	100.00	33.569	55.822	10.609	100.00
413	70.285	20.020	9.695	100.00	28.384	44.410	27.205	100.00
332	67.946	18.257	13.797	100.00	29.673	57.844	12.483	100.00
144	79.296	15.236	5.468	100.00	37.835	50.654	11.511	100.00
243	70.495	14.351	15.154	100.00	32.709	56.497	10.794	100.00
407	78.067	17.087	4.845	100.00	31.928	50.244	17.828	100.00
300	65.353	19.525	15.122	100.00	25.826	61.656	12.518	100.00
252	70.035	16.071	13.895	100.00	33.684	53.459	12.858	100.00
172	67.830	19.524	12.645	100.00	23.244	60.368	16.388	100.00
257	71.814	18.399	9.786	100.00	25.870	52.435	21.695	100.00
271	69.514	18.306	12.180	100.00	24.818	57.570	17.612	100.00
130	71.268	11.535	17.197	100.00	43.293	38.971	17.736	100.00
408	64.730	21.562	13.708	100.00	39.615	33.115	27.270	100.00
94	63.581	19.372	17.047	100.00	39.648	35.871	24.481	100.00
96	66.396	19.895	13.708	100.00	36.302	37.470	26.228	100.00
99	65.253	19.552	15.195	100.00	41.604	36.188	22.208	100.00
142	63.570	21.928	14.503	100.00	44.778	36.330	18.892	100.00
162	77.593	11.935	10.472	100.00	31.688	43.719	24.592	100.00
286	68.277	14.944	16.778	100.00	34.729	39.976	25.295	100.00
34	69.195	16.291	14.514	100.00	44.480	38.579	16.941	100.00
195	75.622	16.751	7.627	100.00	37.727	41.636	20.637	100.00
296	58.793	27.428	13.834	100.00	23.394	64.645	11.960	100.00
297	75.503	13.332	11.165	100.00	24.471	34.769	10.760	100.00
298	69.554	19.205	11.241	100.00	26.119	59.873	14.008	100.00
299	68.264	20.615	11.121	100.00	24.518	62.377	13.105	100.00

POZO	CATIONES			TOTAL	ANIONES			TOTAL
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺ +K ⁺		HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	
Zona Sur	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡
315	49.610	24.883	25.507	100.00	34.356	29.145	36.499	100.00
365	45.167	30.801	24.032	100.00	43.108	20.422	36.470	100.00

POZO	CATIONES			TOTAL	ANIONES			TOTAL
	Zona Centro	Ca ⁺²	Mg ⁺²		Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	
	§	§	§	§	§	§	§	§
43	68.164	17.051	14.785	100.00	36.978	47.008	16.014	100.00
80	57.787	28.287	13.926	100.00	42.056	38.300	19.643	100.00
100	64.164	15.106	20.730	100.00	39.402	41.571	19.027	100.00
65	62.935	13.962	23.103	100.00	40.718	40.661	18.621	100.00
200	62.672	19.759	17.569	100.00	41.996	34.913	23.091	100.00
230	62.929	21.165	15.906	100.00	43.754	37.994	18.253	100.00
121	49.830	32.416	17.753	100.00	43.994	31.362	24.643	100.00
122	55.784	23.472	20.744	100.00	45.420	31.218	23.362	100.00
123	54.898	28.665	16.437	100.00	40.849	36.970	22.181	100.00
132	65.825	18.403	15.772	100.00	41.604	34.930	23.466	100.00
428	44.799	33.838	21.363	100.00	53.078	26.772	20.150	100.00
445	55.275	22.423	22.302	100.00	47.912	31.217	20.871	100.00

POZO	CATIONES			TOTAL	ANIONES			TOTAL
	Zona Este	Ca ⁺²	Mg ⁺²		Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	
	§	§	§	§	§	§	§	§
327	67.975	19.625	12.400	100.00	46.384	38.621	14.995	100.00
254	70.511	16.168	13.321	100.00	38.575	46.715	14.710	100.00
395	60.809	18.319	20.872	100.00	40.581	32.421	26.998	100.00
492	65.998	15.698	18.304	100.00	44.118	28.280	27.602	100.00
292	67.615	15.446	16.940	100.00	39.473	43.431	17.095	100.00
283	68.477	7.587	23.936	100.00	45.494	31.383	23.123	100.00
475	61.117	27.117	11.766	100.00	46.937	37.890	15.174	100.00
320	65.717	19.026	15.257	100.00	36.414	37.038	26.548	100.00
261	77.462	12.478	10.060	100.00	39.796	43.404	16.801	100.00
262	69.390	16.494	14.116	100.00	37.931	47.050	15.019	100.00
176	56.199	30.872	12.929	100.00	31.460	30.608	37.931	100.00
164	63.553	22.814	13.632	100.00	39.919	37.873	22.208	100.00
426	59.612	23.332	17.056	100.00	38.720	33.305	27.975	100.00
258	67.957	17.230	14.813	100.00	38.347	46.255	15.398	100.00
495	54.039	24.884	21.078	100.00	40.184	43.497	16.319	100.00
218	64.930	18.410	16.661	100.00	43.901	35.608	20.492	100.00
356	72.317	13.966	13.717	100.00	40.762	39.395	19.843	100.00
349	59.058	20.856	20.086	100.00	23.458	38.467	38.074	100.00
111	64.495	25.588	9.917	100.00	43.053	40.736	16.211	100.00
182	80.484	7.420	12.095	100.00	41.905	34.943	23.152	100.00
339	81.337	7.009	11.654	100.00	39.280	37.288	23.432	100.00
410	51.830	25.836	22.334	100.00	13.988	56.235	29.778	100.00
146	59.776	29.710	10.514	100.00	18.001	34.935	47.064	100.00
479	52.471	16.014	31.515	100.00	14.097	46.359	39.544	100.00
154	68.471	19.126	12.463	100.00	43.212	38.509	18.279	100.00
155	64.346	19.373	16.280	100.00	41.807	40.831	17.362	100.00
374	63.409	19.991	16.600	100.00	42.020	41.446	16.535	100.00
213	60.180	24.043	15.777	100.00	28.919	38.844	32.236	100.00
486	59.216	21.687	19.097	100.00	26.777	34.935	38.288	100.00
405	70.149	16.686	13.166	100.00	42.356	43.140	14.504	100.00
194	62.245	19.085	18.670	100.00	42.705	43.758	13.537	100.00
491	55.435	21.697	22.868	100.00	42.198	39.527	18.275	100.00

POZO	CATIONES			TOTAL	ANIONES			TOTAL
	Zona Oeste	Ca ⁺²	Mg ⁺²		Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	
	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡
471	69.745	13.985	16.269	100.00	24.497	35.012	40.491	100.00
387	62.360	22.766	14.874	100.00	35.368	49.268	15.364	100.00
232	56.281	24.625	19.094	100.00	27.584	31.725	40.692	100.00
233	60.960	19.636	19.404	100.00	31.762	28.073	40.165	100.00
210	58.773	27.353	13.892	100.00	33.981	44.776	21.243	100.00
411	54.144	28.271	17.585	100.00	41.844	41.747	16.409	100.00
174	67.025	15.368	17.606	100.00	41.223	39.647	19.130	100.00
77	63.403	23.220	13.377	100.00	43.625	40.328	16.047	100.00
175	66.772	18.668	14.560	100.00	43.013	39.172	17.816	100.00
443	63.547	22.154	14.299	100.00	45.640	35.917	18.443	100.00
375	71.386	18.334	10.279	100.00	25.134	33.778	41.088	100.00
17	68.642	17.618	13.741	100.00	40.506	43.420	16.074	100.00
499	61.651	22.131	16.218	100.00	43.558	36.606	19.837	100.00
129	63.618	22.466	13.916	100.00	44.937	37.058	18.005	100.00
600	56.373	28.586	15.041	100.00	43.295	38.249	18.456	100.00
114	62.360	20.935	16.706	100.00	41.085	39.491	19.424	100.00
115	65.147	20.539	14.314	100.00	41.128	42.550	16.321	100.00
441	67.660	15.929	16.410	100.00	43.639	39.644	16.717	100.00
167	63.934	21.989	14.076	100.00	43.091	41.132	15.777	100.00
409	62.288	22.702	15.011	100.00	41.469	44.008	14.523	100.00
10	65.150	23.008	11.842	100.00	42.689	41.432	15.879	100.00
318	64.703	21.722	13.575	100.00	43.713	40.503	15.785	100.00

POZO	CATIONES			TOTAL	ANIONES			TOTAL
	Zona Callao	Ca ⁺²	Mg ⁺²		Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	
	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡
533	52.223	31.108	16.669	100.00	38.728	31.776	29.496	100.00
511	52.228	33.976	13.796	100.00	40.701	33.495	25.803	100.00
402	52.350	38.344	9.305	100.00	42.596	35.055	22.349	100.00
513	48.046	34.933	17.020	100.00	41.786	36.950	21.264	100.00
532	44.024	37.528	18.448	100.00	39.702	38.273	22.025	100.00
505	55.839	27.211	16.950	100.00	21.676	34.528	43.796	100.00
525	46.062	36.647	17.291	100.00	44.025	34.273	21.702	100.00
507	66.988	18.261	14.751	100.00	29.606	21.790	48.604	100.00
510	49.529	35.144	15.326	100.00	40.127	36.982	22.891	100.00
547	37.155	45.569	17.276	100.00	38.282	37.790	23.929	100.00
516	62.109	23.956	13.935	100.00	40.196	36.220	23.584	100.00
542	42.211	39.359	18.429	100.00	37.055	30.378	32.566	100.00
504	66.142	18.957	14.901	100.00	33.248	34.605	32.147	100.00
503	49.119	33.332	17.549	100.00	33.200	30.754	36.046	100.00
518	53.548	29.103	17.349	100.00	42.852	31.405	25.743	100.00

NOTA: los porcentajes fueron calculados de la siguiente manera:

Ejemplo cationes:

$$\%Ca = \frac{(me/l Ca) \times (100\%)}{\Sigma (\text{cationes})}$$

Ejemplo aniones:

$$\%HCO_3 = \frac{(me/l HCO_3) \times (100\%)}{\Sigma (\text{aniones} - \text{nitratos})}$$

DIAGRAMA DE PIPER

Lima Metropolitana

AREA 5 = Aguas subterráneas bicarbonatadas.
 AREA 6 = Aguas subterráneas sulfatadas.
 AREA 9 = Aguas subterráneas neutras.

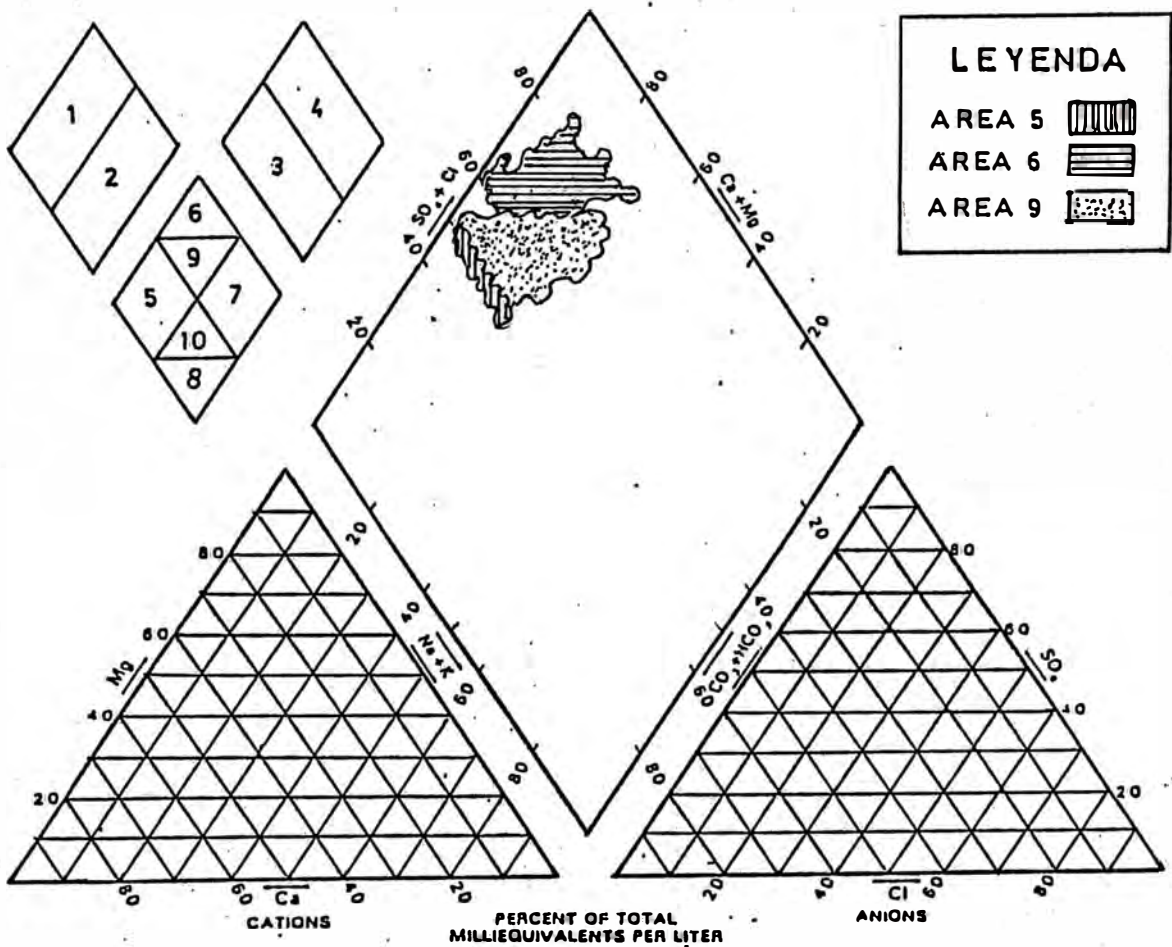


GRAFICO 4.5.2.1. DIAGRAMA DE PIPER PARA LAS 121 MUESTRAS DE AGUA SUBTERRANEA RECOLECTADAS EN LIMA METROPOLITANA.

TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA EN BASE A DIAGRAMAS DE PIPER.

PARAMETRO	ZONA						TOTAL	PORCENTAJE
	Norte	Centro	Sur	Este	Oeste	Callao		
AREA 5	0	1	0	3	1	3	8	6.61 %
AREA 6	25	0	0	5	5	0	35	28.93 %
AREA 7	0	0	0	0	0	0	0	0.00 %
AREA 9	13	11	2	24	16	12	78	64.46 %
TOTAL	38	12	2	32	22	15	121	100.00 %

TIPO HIDROQUIMICO DE AGUA SUBTERRANEA	PARAMETRO	TOTAL	PORCENTAJE
Aguas con alto contenido de sulfatos	AREA 6	35	28.93 %
Aguas neutras (ligeramente sulfatadas)	AREA 9	78	64.46 %
Aguas con alto contenido de bicarbonatos	AREA 5	8	6.61 %
Aguas con alto contenido de cloruros	AREA 7	0	0.00 %

CUADRO 4.5.2. TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA EN BASE A DIAGRAMAS DE PIPER.

**TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA
Acuífero de Lima Metropolitana**

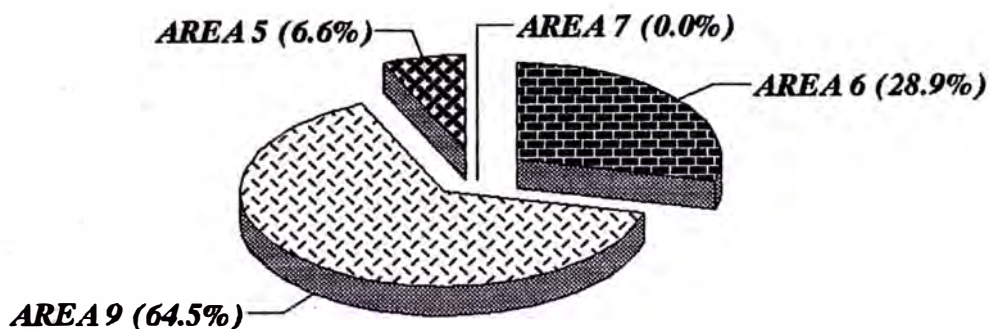


GRAFICO 4.5.2.2. TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA EN BASE A DIAGRAMAS DE PIPER.

**4.5.3. TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA EN BASE A
DIAGRAMAS DE DUROV:**

**RESULTADOS DEL RECALCULADO DEL BALANCE ENTRE CATIONES Y ANIONES
EXPRESADOS EN PORCENTAJES PARA LAS MUESTRAS.**

Pozo	CATIONES			TOTAL	ANIONES			TOTAL
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺		HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	
Zona Norte	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡
161	29.764	13.465	6.771	50.00	17.532	26.936	5.533	50.00
392	35.481	7.057	7.462	50.00	16.817	26.034	7.149	50.00
267	29.897	12.547	7.556	50.00	16.342	27.489	6.168	50.00
145	35.316	6.828	7.856	50.00	17.410	27.223	5.367	50.00
266	30.471	13.929	5.601	50.00	16.903	27.389	5.709	50.00
417	27.953	16.279	5.768	50.00	17.046	27.437	5.517	50.00
488	32.945	11.372	5.683	50.00	16.999	27.997	5.005	50.00
160	33.648	8.100	8.252	50.00	17.058	26.181	6.761	50.00
303	30.460	12.871	6.669	50.00	18.090	26.307	5.602	50.00
431	27.388	16.594	6.018	50.00	17.490	26.504	6.006	50.00
215	34.954	8.990	6.056	50.00	14.103	30.528	5.368	50.00
226	32.672	9.731	7.597	50.00	15.860	28.550	5.591	50.00
326	31.011	11.794	7.195	50.00	17.135	26.466	6.399	50.00
348	32.594	10.316	7.090	50.00	16.785	27.911	5.305	50.00
413	35.363	10.073	4.565	50.00	14.192	22.205	13.603	50.00
332	34.125	9.169	6.706	50.00	14.837	28.922	6.241	50.00
144	40.354	7.754	1.892	50.00	18.918	25.327	5.756	50.00
243	35.496	7.226	7.277	50.00	16.354	28.249	5.397	50.00
407	39.478	8.641	1.881	50.00	15.964	25.122	8.914	50.00
300	33.276	9.942	6.782	50.00	12.913	30.828	6.259	50.00
252	35.204	8.078	6.717	50.00	16.842	26.729	6.429	50.00
172	34.086	9.811	6.103	50.00	11.622	30.184	8.194	50.00
257	36.080	9.244	4.676	50.00	12.935	26.217	10.847	50.00
271	35.021	9.223	5.757	50.00	12.409	28.785	8.806	50.00
130	36.057	5.836	8.107	50.00	21.647	19.485	8.868	50.00
408	32.708	10.895	6.397	50.00	19.808	16.558	13.635	50.00
94	32.107	9.782	8.110	50.00	19.824	17.936	12.241	50.00
96	33.543	10.051	6.406	50.00	18.151	18.735	13.114	50.00
99	32.959	9.876	7.165	50.00	20.802	18.094	11.104	50.00
142	32.161	11.094	6.745	50.00	22.389	18.165	9.446	50.00
162	39.014	6.001	4.986	50.00	15.844	21.860	12.296	50.00
286	34.556	7.564	7.880	50.00	17.364	19.988	12.648	50.00
34	34.889	8.214	6.897	50.00	22.240	19.289	8.471	50.00
195	38.017	8.421	3.562	50.00	18.864	20.818	10.318	50.00
296	29.652	13.846	6.502	50.00	11.697	32.323	5.980	50.00
297	37.897	6.692	5.412	50.00	12.236	32.385	5.380	50.00
298	34.947	9.649	5.404	50.00	13.059	29.936	7.004	50.00
299	34.283	10.353	5.364	50.00	12.259	31.189	6.553	50.00

POZO	CATIONES			TOTAL	ANIONES			TOTAL
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺		HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	
Zona Sur	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡
315	25.110	12.595	12.295	50.00	17.178	14.573	18.249	50.00
365	22.756	15.518	11.726	50.00	21.554	10.211	18.235	50.00

POZO	CATIONES			TOTAL	ANIONES			TOTAL
	Zona Centro	Ca ⁺²	Mg ⁺²		Na ⁺	HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	
	§	§	§	§	§	§	§	§
43	34.425	8.611	6.963	50.00	18.489	23.504	8.007	50.00
80	29.219	14.303	6.478	50.00	21.028	19.150	9.822	50.00
100	32.329	7.611	10.060	50.00	19.701	20.786	9.513	50.00
65	31.823	7.060	11.118	50.00	20.359	20.331	9.310	50.00
200	31.636	9.974	8.389	50.00	20.998	17.456	11.545	50.00
230	31.916	10.734	7.349	50.00	21.877	18.997	9.126	50.00
121	25.229	16.412	8.359	50.00	21.997	15.681	12.322	50.00
122	28.201	11.866	9.933	50.00	22.710	15.609	11.681	50.00
123	27.806	14.519	7.676	50.00	20.425	18.485	11.090	50.00
132	33.253	9.297	7.450	50.00	20.802	17.465	11.733	50.00
428	22.670	17.124	10.206	50.00	26.539	13.386	10.075	50.00
445	28.053	11.380	10.567	50.00	23.956	15.609	10.436	50.00

POZO	CATIONES			TOTAL	ANIONES			TOTAL
	Zona Este	Ca ⁺²	Mg ⁺²		Na ⁺	HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	
	§	§	§	§	§	§	§	§
327	34.417	9.936	5.647	50.00	23.192	19.311	7.497	50.00
254	35.490	8.137	6.373	50.00	19.288	23.357	7.355	50.00
395	30.673	9.240	10.087	50.00	20.290	16.210	13.499	50.00
492	33.330	7.928	8.742	50.00	22.059	14.140	13.801	50.00
292	34.194	7.811	7.994	50.00	19.737	21.716	8.548	50.00
283	34.540	3.827	11.633	50.00	22.747	15.692	11.562	50.00
475	30.916	13.717	5.367	50.00	23.468	18.945	7.587	50.00
320	33.340	9.653	7.007	50.00	18.207	18.519	13.274	50.00
261	39.093	6.297	4.610	50.00	19.898	21.702	8.400	50.00
262	35.079	8.338	6.583	50.00	18.965	23.525	7.510	50.00
176	28.338	15.567	6.095	50.00	15.730	15.304	18.966	50.00
164	32.087	11.519	6.394	50.00	19.959	18.937	11.104	50.00
426	30.093	11.779	8.128	50.00	19.360	16.653	13.987	50.00
258	34.393	8.720	6.887	50.00	19.174	23.128	7.699	50.00
495	27.387	12.611	10.001	50.00	20.092	21.748	8.159	50.00
218	32.782	9.295	7.924	50.00	21.950	17.804	10.246	50.00
356	36.475	7.044	6.480	50.00	20.381	19.697	9.921	50.00
349	29.930	10.570	9.500	50.00	11.729	19.234	19.037	50.00
111	32.597	12.933	4.471	50.00	21.526	20.368	8.106	50.00
182	40.593	3.743	5.664	50.00	20.953	17.472	11.576	50.00
339	41.060	3.538	5.401	50.00	19.640	18.644	11.716	50.00
410	26.290	13.105	10.605	50.00	6.994	28.117	14.889	50.00
146	30.293	15.056	4.650	50.00	9.001	17.467	23.532	50.00
479	26.601	8.118	15.280	50.00	7.049	23.179	19.772	50.00
154	34.595	9.672	5.733	50.00	21.606	19.255	9.139	50.00
155	32.524	9.792	7.684	50.00	20.904	20.415	8.681	50.00
374	32.067	10.110	7.823	50.00	21.010	20.723	8.267	50.00
213	30.357	12.128	7.514	50.00	14.460	19.422	16.118	50.00
486	29.822	10.922	9.257	50.00	13.388	17.467	19.144	50.00
405	35.363	8.411	6.226	50.00	21.178	21.570	7.252	50.00
194	31.461	9.646	8.893	50.00	21.352	21.879	6.768	50.00
491	28.086	10.993	10.921	50.00	21.099	19.764	9.138	50.00

POZO	CATIONES			TOTAL	ANIONES			TOTAL
	Ca ⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	
Zona Oeste	§		§	§	§	§	§	§
471	35.150	7.048	7.802	50.00	12.248	17.506	20.246	50.00
387	31.544	11.516	6.941	50.00	17.684	24.634	7.682	50.00
232	28.512	12.475	9.014	50.00	13.792	15.862	20.346	50.00
233	30.964	9.974	9.062	50.00	15.881	14.036	20.082	50.00
210	29.772	13.847	6.382	50.00	16.991	22.388	10.622	50.00
411	27.411	14.313	8.276	50.00	20.922	20.874	8.204	50.00
174	33.938	7.782	8.280	50.00	20.612	19.823	9.565	50.00
77	32.088	11.751	6.161	50.00	21.812	20.164	8.023	50.00
175	33.831	9.458	6.711	50.00	21.506	19.586	8.908	50.00
443	32.126	11.200	6.675	50.00	22.820	17.958	9.222	50.00
375	35.903	9.221	4.875	50.00	12.567	16.889	20.544	50.00
17	34.717	8.911	6.372	50.00	20.253	21.170	8.037	50.00
499	31.206	11.202	7.592	50.00	21.779	18.303	9.918	50.00
129	32.146	11.352	6.502	50.00	22.468	18.529	9.002	50.00
600	28.543	14.474	6.983	50.00	21.647	19.125	9.228	50.00
114	31.610	10.612	7.778	50.00	20.542	19.746	9.712	50.00
115	32.898	10.372	6.730	50.00	20.564	21.275	8.161	50.00
441	34.222	8.057	7.721	50.00	21.820	19.822	8.359	50.00
167	32.289	11.105	6.605	50.00	21.545	20.566	7.889	50.00
409	31.433	11.456	7.110	50.00	20.735	22.004	7.261	50.00
10	32.869	11.608	5.523	50.00	21.344	20.716	7.940	50.00
318	32.815	11.016	6.168	50.00	21.856	20.251	7.892	50.00

POZO	CATIONES			TOTAL	ANIONES			TOTAL
	Ca ⁺²	Mg ⁺²			HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²		
Zona Callao	§	§		§	§		§	
533	26.358	15.701	7.941	50.00	19.364	15.888	14.748	50.00
511	26.262	17.084	6.654	50.00	20.351	16.748	12.902	50.00
402	26.441	19.367	4.192	50.00	21.298	17.527	11.174	50.00
513	24.269	17.645	8.085	50.00	20.893	18.475	10.632	50.00
532	22.202	18.926	8.872	50.00	19.851	19.137	11.013	50.00
505	28.440	13.859	7.700	50.00	10.838	17.264	21.898	50.00
525	23.287	18.527	8.186	50.00	22.013	17.136	10.851	50.00
507	33.852	9.228	6.919	50.00	14.803	10.895	24.302	50.00
510	24.985	17.728	7.287	50.00	20.063	18.491	11.446	50.00
547	18.811	23.070	8.119	50.00	19.141	18.895	11.964	50.00
516	31.362	12.097	6.541	50.00	20.098	18.110	11.792	50.00
542	21.300	19.861	8.840	50.00	18.528	15.189	16.283	50.00
504	33.403	9.574	7.023	50.00	16.624	17.302	16.074	50.00
503	24.854	16.866	8.280	50.00	16.600	15.377	18.023	50.00
518	27.090	14.724	8.186	50.00	21.426	15.703	12.871	50.00

NOTA: los porcentajes fueron calculados de la siguiente manera:

Ejemplo cationes:

$$\%Ca = \frac{(me/l Ca) \times (50\%)}{\Sigma (\text{cationes} - \text{potasio})}$$

Ejemplo aniones:

$$\%HCO_3 = \frac{(me/l HCO_3) \times (50\%)}{\Sigma (\text{aniones} - \text{nitratos})}$$

DIAGRAMA DE DUROY

Lima Metropolitana

TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA
E INTERCAMBIOS IONICOS

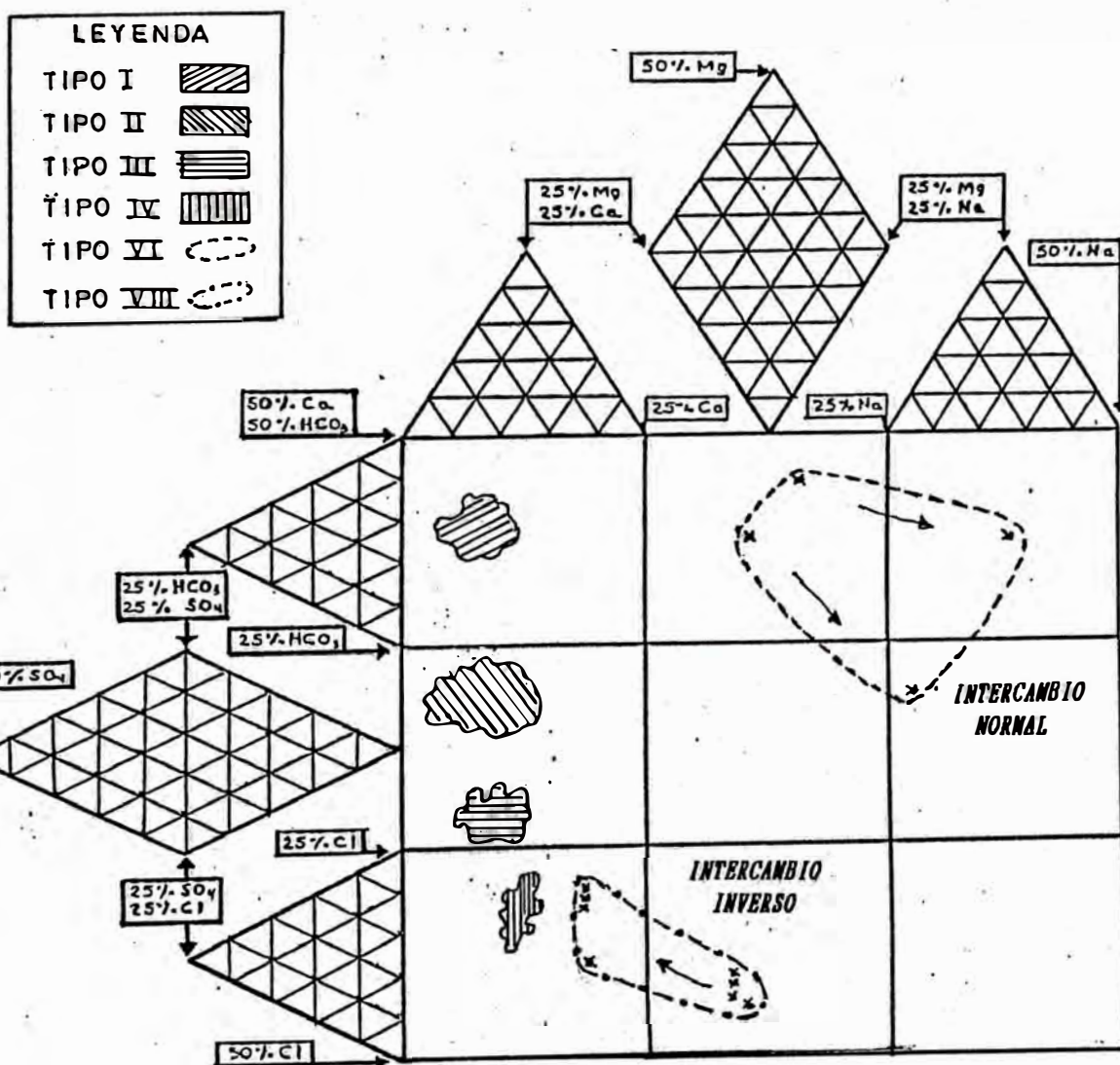


GRAFICO 4.5.3.1. DIAGRAMA DE DUROY PARA LAS 121 MUESTRAS DE AGUA
SUBTERRANEA RECOLECTADAS EN LIMA METROPOLITANA.

TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA EN BASE A DIAGRAMAS DE DUROV.

PARAMETRO	ZONA						TOTAL	PORCENTAJE
	Norte	Centro	Sur	Este	Oeste	Callao		
TIPO I	0	2	1	3	2	0	8	6.61 %
TIPO II	11	10	0	22	13	11	67	55.37 %
TIPO III	27	0	0	4	3	0	34	28.10 %
TIPO IV	0	0	0	2	3	1	6	4.96 %
TIPO VI	0	0	0	0	0	1	1	0.83 %
TIPO VIII	0	0	1	1	1	2	5	4.13 %
TOTAL	38	12	2	32	22	15	121	100.00 %

TIPO HIDROQUIMICO DE AGUA SUBTERRANEA	PARAMETRO	TOTAL	PORCENTAJE
Aguas con alto contenido de sulfatos	TIPO III	34	28.10 %
Aguas neutras (ligeramente sulfatadas)	TIPO II	67	55.37 %
Aguas con alto contenido de bicarbonatos	TIPO I, TIPO VI	9	7.44 %
Aguas con alto contenido de cloruros	TIPO IV, TIPO VIII	11	9.09 %

CUADRO 4.5.3. TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA EN BASE A DIAGRAMAS DE DUROV.

**TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA
Acuífero de Lima Metropolitana**

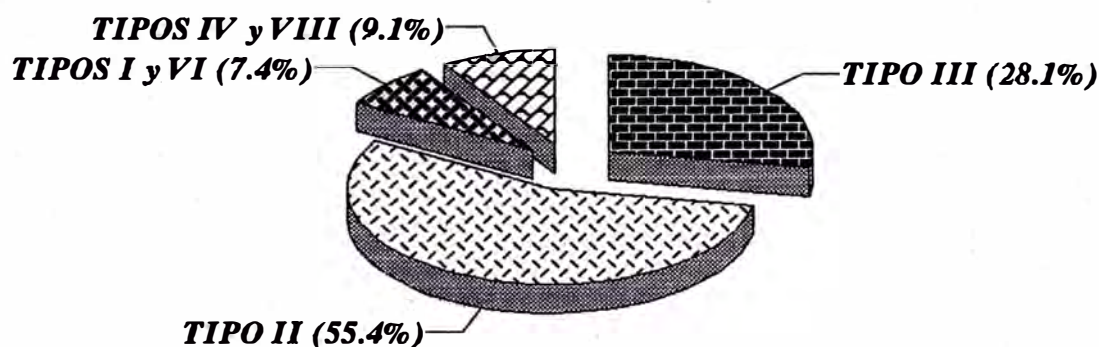


GRAFICO 4.5.3.2. TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA EN BASE A DIAGRAMAS DE DUROV.

4.5.4. RESUMEN DE LOS TIPOS HIDROQUÍMICOS DE AGUA SUBTERRÁNEA PRESENTES EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA:

Se han distinguido 6 tipos hidroquímicos de agua subterránea:

Tipo "bicarbonato de calcio", se presentan en los alrededores del río Rímac, parte del valle del Rímac (alto Rímac), en Ate-Vitarte y en una estrecha faja desde el Cercado hasta el Callao.

Tipo "sulfato de calcio", se presentan en los alrededores del río Chillón, en gran parte del valle Chillón (bajo y alto Chillón) y en la casi totalidad de distritos de Lima Metropolitana.

Tipo "bicarbonato/sulfato de calcio", se presentan en una pequeña parte del valle del Chillón (en el bajo Chillón) y en Surco, se caracterizan por presentar alta salinidad.

Tipo "sulfato/cloruro de calcio", que se encuentran presentes en zonas muy pequeñas del acuífero como en el valle del bajo Chillón y al este de Chorrillos.

Tipo "cloruro sódico", se presentan en La Molina y San Juan de Lurigancho, se originan en el basamento rocoso debido al intercambio normal de iones.

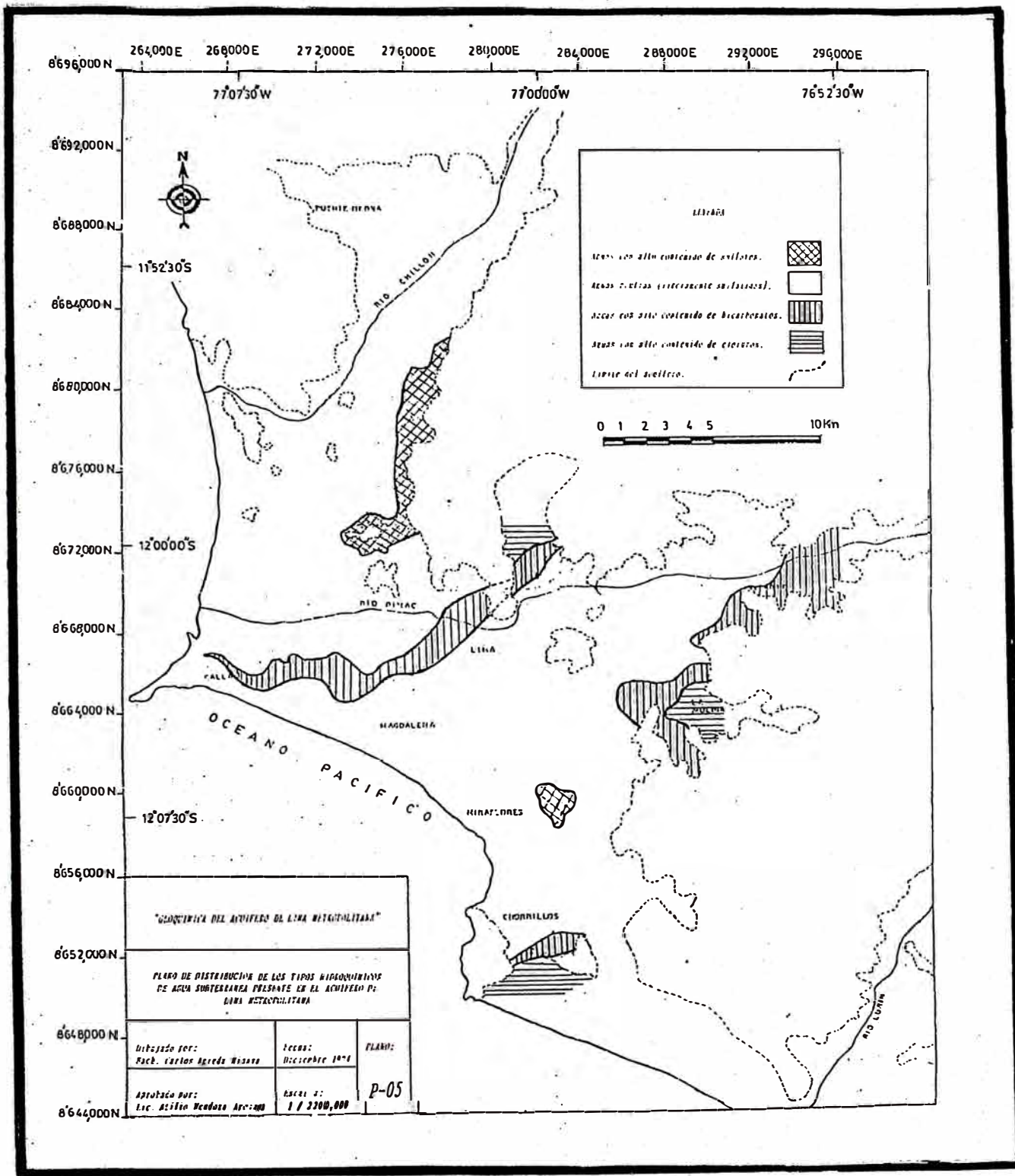
Tipo "bicarbonato sódico", presentes en zonas muy pequeñas del acuífero como en las aguas subterráneas en el distrito de La Molina y al sur de Chorrillos.

Las aguas sulfatadas son las que predominan en el acuífero, tanto en el valle del Chillón como en el del Rímac; exactamente se trata de un agua de tipo "sulfato de calcio" de baja salinidad.

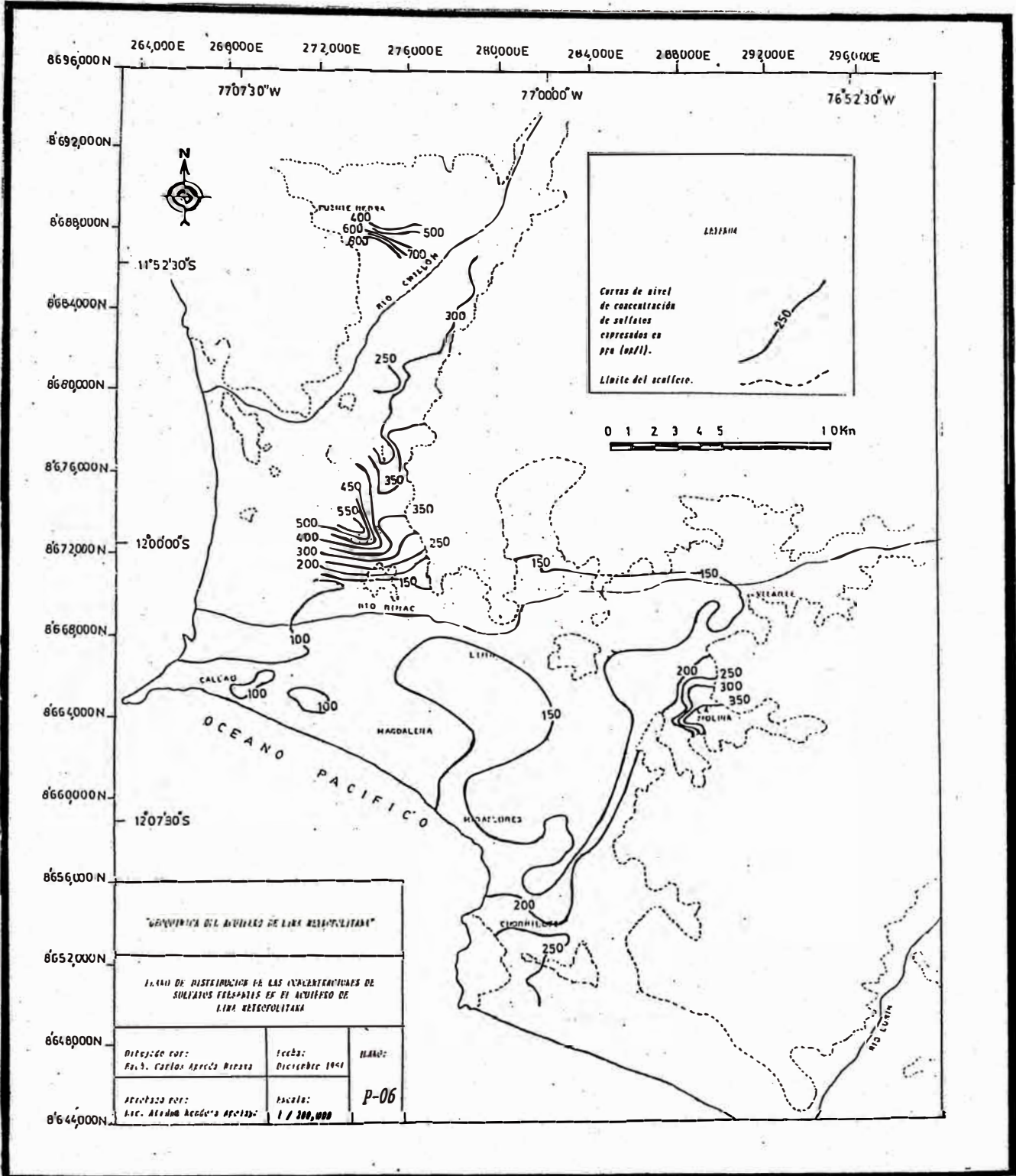
4.6. PLANOS GEOQUÍMICOS:

4.6.1. PLANO DE DISTRIBUCION DE LOS TIPOS HIDROQUÍMICOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA. - ver plano P-05 en la página 75.

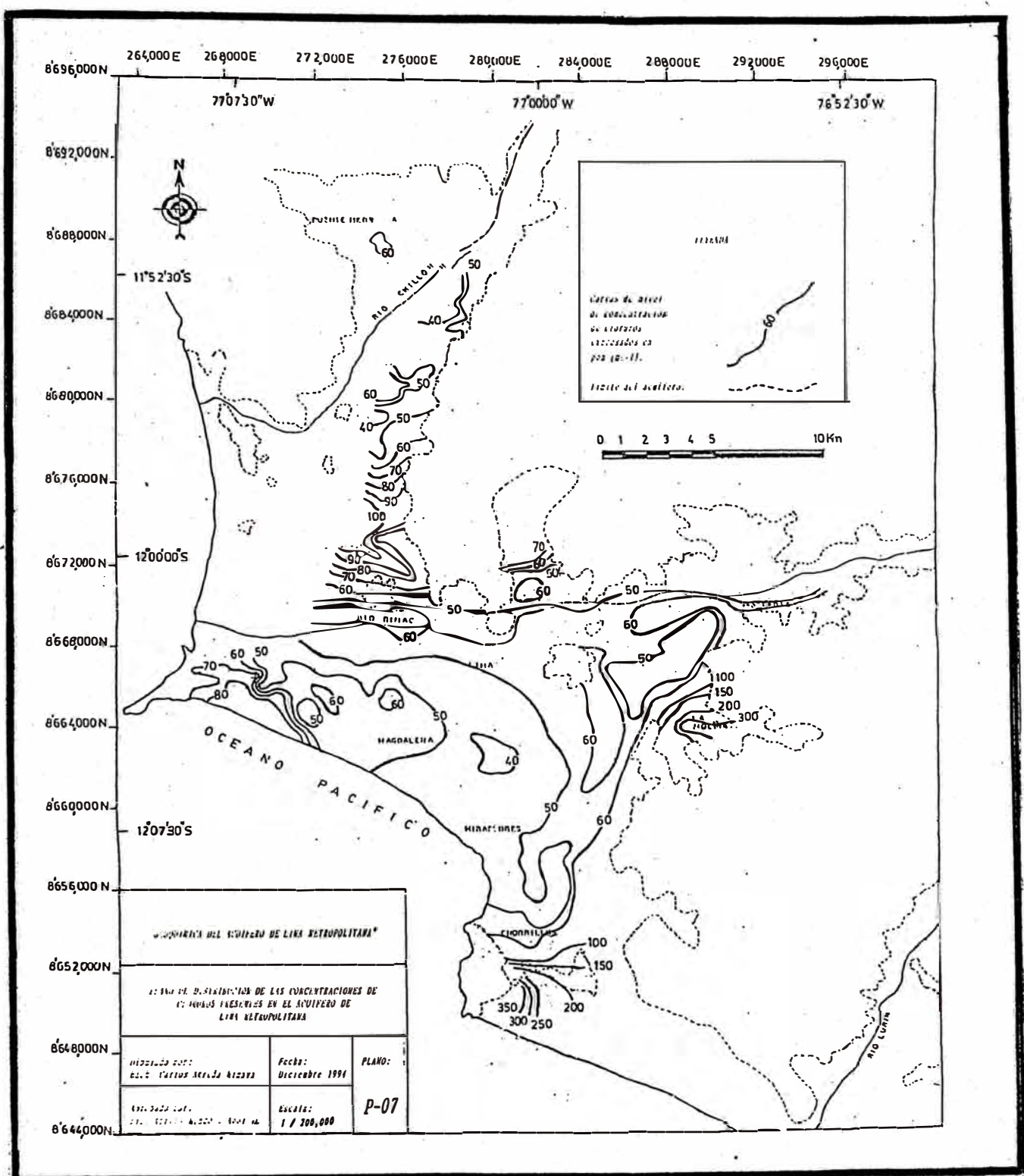
4.6.2. PLANOS DE DISTRIBUCION DE LAS CONCENTRACIONES DE SULFATOS, CLORUROS Y NITRATOS EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA. - ver planos P-06, P-07 y P-08 en las páginas 76, 77 y 78 respectivamente.



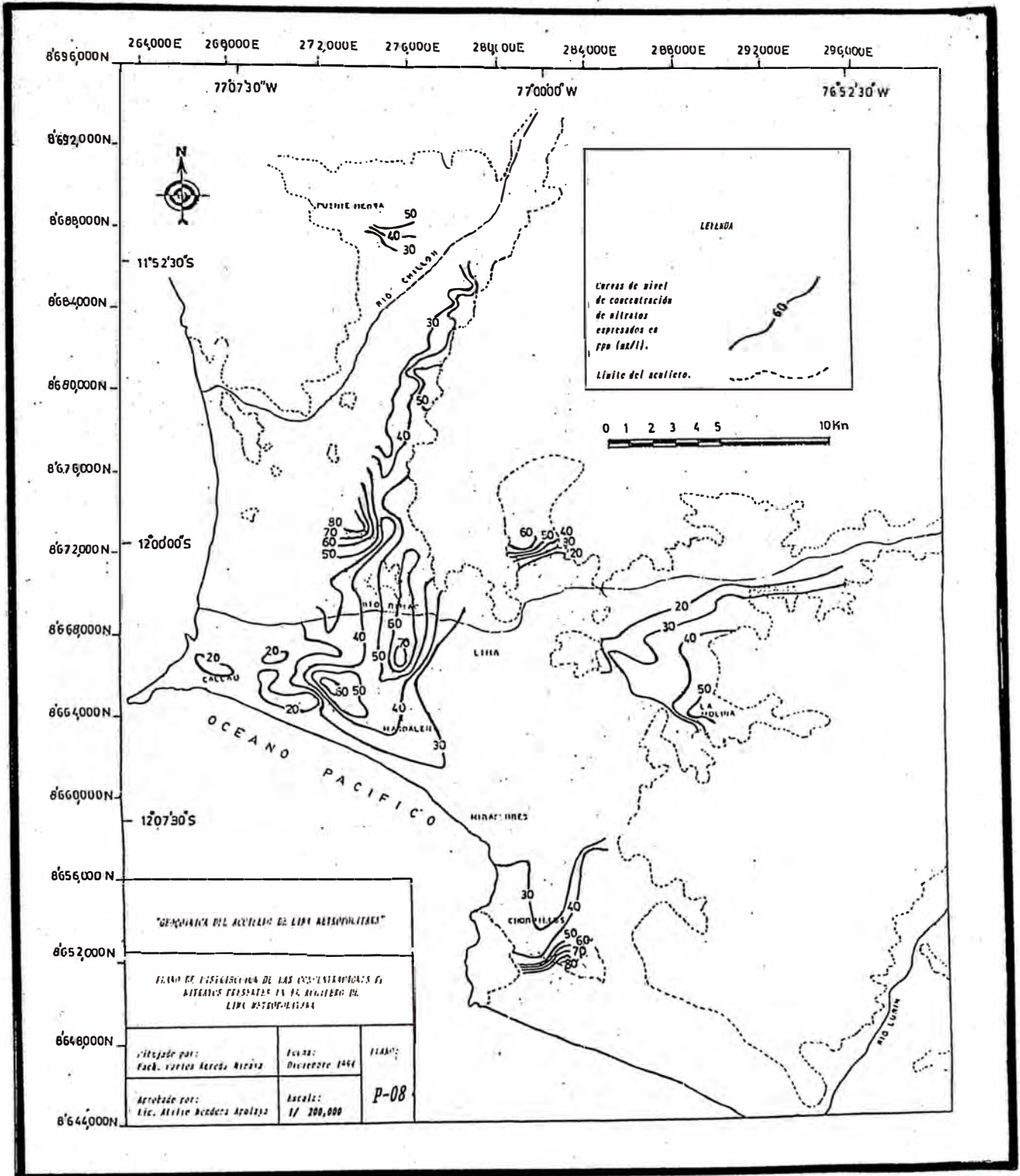
P-05. PLANO DE DISTRIBUCION DE LOS TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA PRESENTES EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA



P-06. PLANO DE DISTRIBUCION DE LAS CONCENTRACIONES DE SULFATOS PRESENTES EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA



P-07. PLANO DE DISTRIBUCION DE LAS CONCENTRACIONES DE CLORUROS PRESENTES EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA



P-08. PLANO DE DISTRIBUCION DE LAS CONCENTRACIONES DE NITRATOS PRESENTES EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA

CAPITULO V

5. EVALUACION DE LOS RIESGOS DE CONTAMINACION DEL ACUIFERO POR TRAZAS DE PLOMO EN LOS POZOS DE AGUA DE SEDAPAL.

5.1. ANTECEDENTES:

En los últimos años SEDAPAL, ha identificado agua de pozo con presencia de trazas de plomo y/o hidrocarburos, estos hallazgos que sugieren contaminación netamente en el pozo de agua; el cual podría deberse a la corrosión de las tuberías usadas en las instalaciones de redes de agua y desagüe o a infiltraciones provenientes de las estaciones de expendio de gasolina.

Podemos considerar indicios que alertan la posible contaminación de algunos pozos de agua administrados por SEDAPAL, los cuales de no ser protegidos, pondrán en riesgo la salud de la población por una posible ingesta de hidrocarburos y/o trazas de plomo.

5.2. OBJETIVOS:

Determinar la existencia o no de contaminación por trazas de plomo del acuífero, de existir esta es necesario determinar los niveles de extensión de las áreas contaminadas, para establecer una proyección conforme avanzan los años.

Elaborar posibles métodos de control de la contaminación (si existiera esta), controlando básicamente las características que presenta el agua (ya que algunas de sus propiedades deben de hacer mas corrosivo al plomo) y estableciendo un control periódico en función a un cronograma de toma de muestras.

Determinar si las concentraciones de plomo encontradas constituyen un peligro para la salud de los consumidores o si estas concentraciones se encuentran dentro de los límites permisibles de contaminación, así protegeremos el recurso hídrico subterráneo destinado para el consumo humano de la población de Lima Metropolitana.

5.3. METODOLOGIA DEL TRABAJO:

5.3.1. TRABAJO DE CAMPO.- comprende las siguientes etapas:

- Reconocimiento inicial del área de estudio.- observación in situ para conocer accesibilidad y equipo de campo necesario.
- Inspección de pozos.- para conocer el estado de los pozos y el material necesario para la recolección de muestras.
- Recolección y almacenamiento de muestras.- toma de muestras y posterior almacenamiento para ser analizadas.

5.3.2. TRABAJO DE GABINETE.- comprende las siguientes etapas:

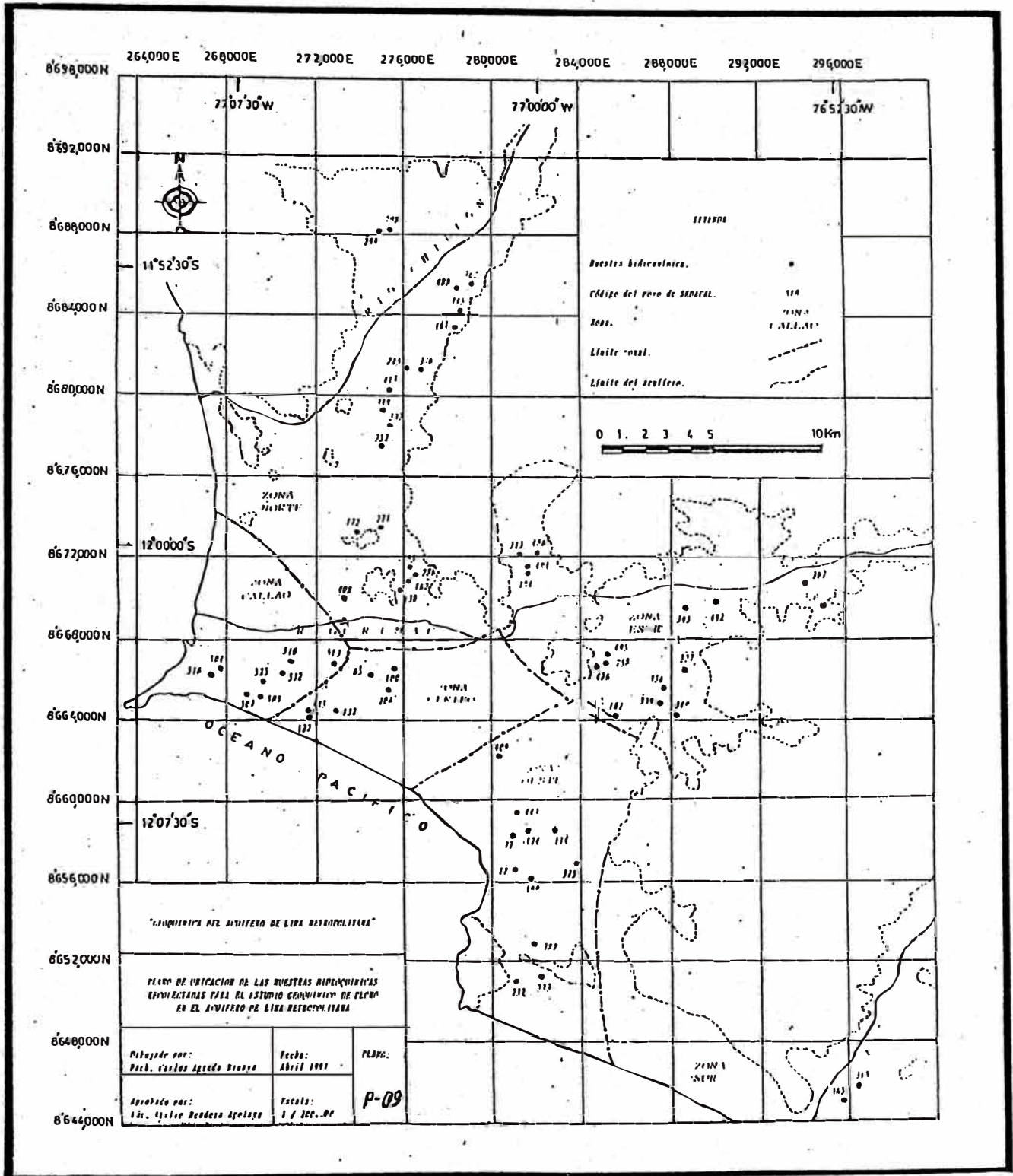
- Recopilación bibliográfica.- recopilación de toda la información necesaria para el estudio.
- Estudio bibliográfico.- evaluación de toda la información obtenida en la recopilación bibliográfica.
- Determinación del universo de muestreo.- selección de pozos de estudio, en función a factores hidrogeológicos, factores hidroquímicos y cantidad de pozos existentes.
- Elaboración de un programa para la recolección de muestras.- tiempo de duración del muestreo, cantidad de muestras a ser recolectadas y analizadas, material y equipo de muestreo.
- Determinación de las características del espectrómetro de absorción atómica.- determinación del límite de detección y grado de confiabilidad del equipo; en base a un patrón estándar de la Environmental Protection Agency (E.P.A.)
- Análisis del plomo por espectrometría de absorción atómica.- determinación de las concentraciones de plomo en las muestras de agua, por el método directo en flama aire-acetileno.
- Evaluación de las concentraciones de plomo presentes en las aguas subterráneas.- evaluación estadística de los valores de plomo, en función a su valor guía (V.G. = 0.01 mg/l).
- Determinación de las anomalías geoquímicas presentes en las muestras de agua.- determinación de los valores de background, threshold y anomalías geoquímicas; en base a distribuciones logarítmicas normales.
- Elaboración de planos geoquímicos.- elaboración del plano de distribución de las concentraciones de plomo en el acuífero.

5.4. MUESTREO GEOQUIMICO:

5.4.1. SELECCION E INSPECCION DE POZOS.- se consideró el 25% de la cantidad de pozos en funcionamiento, siguiendo los mismos criterios usados en el muestreo geoquímico anterior.

ZONAL	DISTRITO	CANTIDAD DE POZOS			NUMERO DE LOS POZOS SELECCIONADOS
		TOTAL	FUNCIONANDO	ELEGIDOS	
NORTE	Comas	36	35	9	145,161,215,267,326,332,348,413,488.
	Rimac	3	1	0	
	Los Olivos	23	12	3	
	Puente Piedra	7	7	2	
	San Martín	24	19	5	
	SUB TOTAL:	93	74	19	
CENTRO	Breña	1	1	0	65,100. 200. 122,132,445.
	La Victoria	2	1	0	
	Cercado	8	7	2	
	Pueblo Libre	5	3	1	
	San Miguel	18	12	3	
	Jesús María	5	1	0	
SUB TOTAL:	39	25	6		
SUR	Lurín	1	1	0	315,365.
	Pachacamac	4	4	2	
	S.J.Miraflores	2	1	0	
SUB TOTAL:	7	6	2		
ESTE	Ate-Vitarte	24	19	5	262,320,327,395,492. 182,339,349,356. 194,213,486,491. 258,426,495.
	El Agustino	4	4	0	
	La Molina	16	15	4	
	S.J.Lurigancho	19	16	4	
	San Luis	1	1	0	
	Santa Anita	13	10	3	
SUB TOTAL:	77	65	16		
OESTE	Chorrillos	15	11	3	232,233,387. 77,174. 409. 17,114,375,443,499.
	Miraflores	6	6	2	
	San Borja	2	1	0	
	San Isidro	7	4	1	
	Surco	30	19	5	
	Surquillo	4	2	0	
SUB TOTAL:	64	43	11		
CALLAO	Bellavista	11	11	3	505,513,532. 504,507,510,516,525.
	Callao	22	17	5	
	C. de la Legua	2	0	0	
	La Perla	2	1	0	
	La Punta	1	0	0	
SUB TOTAL:	38	29	8		
TOTAL:	TOTALES:	318	242	62	

CUADRO 5.4.1.1. POZOS SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO GEOQUIMICO DEL PLOMO EN LIMA METROPOLITANA.

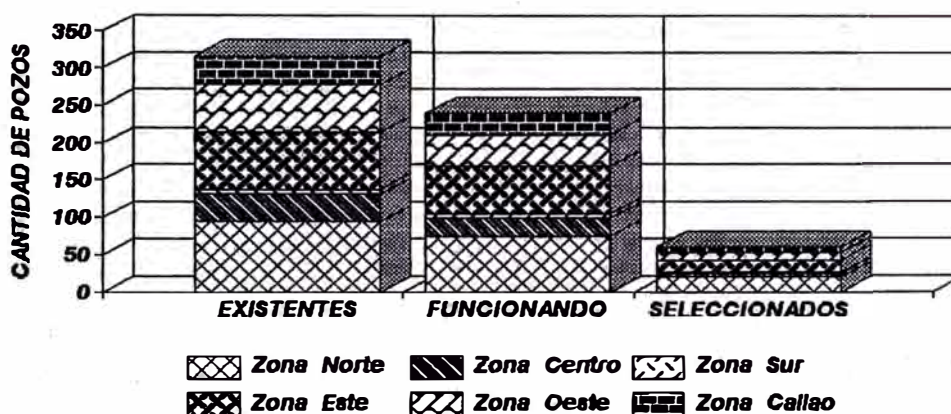


**P-09. PLANO DE UBICACION DE LAS MUESTRAS HIDROQUIMICAS
 RECOLECTADAS PARA EL ESTUDIO GEOQUIMICO DEL PLOMO
 EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA**

ESTUDIO GEOQUIMICO DEL PLOMO EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA.			
ZONA DE ESTUDIO	POZOS EXISTENTES	POZOS FUNCIONANDO	POZOS SELECCIONADOS
ZONA NORTE	93	74	19
ZONA CENTRO	39	25	6
ZONA SUR	7	6	2
ZONA ESTE	77	65	16
ZONA OESTE	64	43	11
ZONA CALLAO	38	29	8
TOTAL	318	242	62

CUADRO 5.4.1.2. RESUMEN DE LOS POZOS SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO GEOQUIMICO DEL PLOMO.

**GRAFICO ACUMULATIVO LIMA METROPOLITANA
Estudio geoquímico del plomo**



**GRAFICO PORCENTUAL LIMA METROPOLITANA
Estudio geoquímico del plomo**

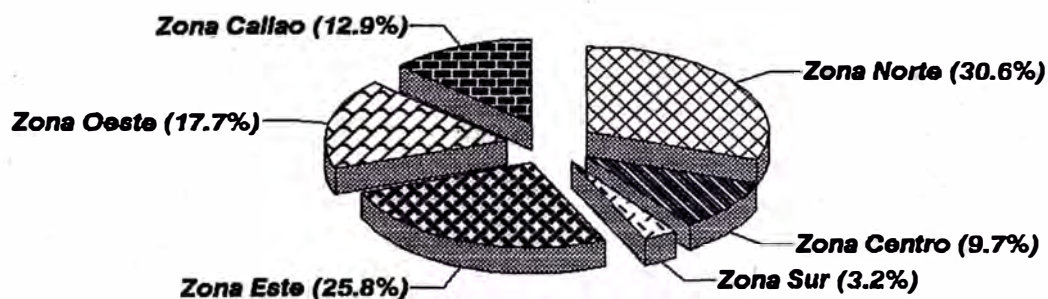


GRAFICO 5.4.1. RESUMEN DE LOS POZOS SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO GEOQUIMICO DEL PLOMO.

5.4.2. RECOLECCION Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS. - las condiciones generales de recolección y almacenamiento son mencionadas en el cuadro 5.4.2. a continuación:

CONDICIONES GENERALES PARA EL MUESTREO DEL PLOMO	CARACTERISTICAS GENERALES			
CONDICIONES DE RECOLECCION	Las muestras fueron recolectadas directamente de las tuberías de descarga de los pozos realizando 2 mediciones; la primera cuando el pozo se encuentre paralizado (agua estancada) y la segunda cuando el pozo se encuentre en funcionamiento (agua en movimiento), usando mangueras esterilizadas de teflón para evitar cualquier tipo de contaminación.			
CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO	Las muestras fueron conservadas en frascos nuevos de polietileno de 500 ml.; se llenaron evitando exposición prolongada al aire y agitación; a las muestras se les añadió 10 ml de HCl 5M por litro de muestra recolectada y se les almaceno con un tiempo máximo de 6 meses.			
GRADO DE CONTAMINACION EN BASE AL VALOR GUIA DEL PLOMO ESTABLECIDO POR LA ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD (V.G. = 0.01 mg/l).	Presencia No Detectable	Presencia Mínima < V.G.	Presencia Marcada V.G.	Presencia Excesiva > V.G.

CUADRO 5.4.2. CONDICIONES DE RECOLECCION, ALMACENAMIENTO Y GRADO DE CONTAMINACION DEL PLOMO

5.5. ANALISIS POR ESPECTROMETRIA DE ABSORCION ATOMICA:

Equipo: Espectrofotómetro de Absorción Atómica SHIMATSU AA-670.

Reactivos: Solución estándar de plomo, HNO_3 y agua bidestilada.

5.5.1. PREPARACION DE MUESTRAS:

a) **Digestión preliminar de la muestra.** - tomar 200 ml. de muestra, añadir 5 ml. de HNO_3 , evaporar hasta un volumen entre 10 y 20 ml. y filtrar, transferir el filtrado a una fiola volumétrica de 100 ml. y diluir hasta la marca agitando suavemente.

Enjuagar el nebulizador del espectrómetro por aspiración de agua bidestilada que contiene 1.5 ml. HNO_3 / litro.

Atomizar el blanco, cero instrumental y la muestra para determinar su absorvancia y concentración.

b) Preparación de la curva de calibración. - se preparó patrones de concentración para 0.2, 0.5 y 1 mg.Pb/l, en frascos de 100 ml. y se aforaron con agua bidestilada que contenía 1.5 ml.HNO₃/l, de esta manera el equipo preparo la curva de calibración.

Concentración de mg. Pb / litro	ml. de solución estándar / 100 ml.
0.00	0.00
0.20	0.20
0.50	0.50
1.00	1.00

c) Cálculos. - la concentración de la muestra se lee directamente del equipo y las muestras previamente diluidas se multiplican por el factor de dilución apropiado como se indica a continuación:

$$\text{Concentración de Plomo en mg/l} = \frac{A \times B}{C}$$

Donde: A = concentración del metal leído por el equipo en mg/l
 B = volumen final de solución digestada expresado en ml.
 C = volumen de muestra inicial expresado en ml.

5.5.2. ANALISIS ESPECTROMETRICO POR ASPIRACION DIRECTA EN FLAMA

DE AIRE-ACETILENO. - el límite de detección del equipo es de 0.001 mg/l y el valor guía del plomo es 0.01 mg/l, por lo tanto las concentraciones serán detectadas durante los análisis. El grado de confiabilidad del equipo fue determinado a partir de una solución estándar suministrado por la Environmental Protection Agency of the United States (U.S., E.P.A.):

El estándar de Plomo se preparó así: 900 ml. H₂O destilada + 1 ml. HNO₃ + 10 ml. de solución estándar.

Valor verdadero.	Valor determinado.	Desviación estándar	Grado de confiabilidad del equipo.
0.05 ppm.	0.0504 ppm.	0.0201	95% (0.0403-0.0605)

Luego tenemos que el grado de confiabilidad del equipo es de aproximadamente 95%.

Con este valor corregimos las lecturas directas que se obtuvieron del equipo, previamente multiplicadas por su factor de dilución, para de esta manera obtener los verdaderos valores de las concentraciones de plomo en las muestras de agua.

ZONA	POZO	CONCENTRACIONES OBTENIDAS POR LECTURA DIRECTA Y MULTIPLICADAS POR EL FACTOR DE DILUCION EXPRESADO EN PPM (mg/l).	CONCENTRACIONES DE PLOMO CORREGIDAS POR GRADO DE CONFIABILIDAD, EXPRESADOS EN PPM (mg/l).
Norte	488	0.0034	0.0036
Norte	267	0.0039	0.0041
Norte	298	0.0045	0.0047
Norte	286	0.0051	0.0054
Norte	172	0.0052	0.0055
Norte	408	0.0056	0.0059
Norte	215	0.0068	0.0072
Norte	252	0.0073	0.0077
Norte	145	0.0074	0.0078
Norte	326	0.0075	0.0079
Norte	299	0.0075	0.0079
Norte	195	0.0084	0.0088
Norte	162	0.0090	0.0095
Norte	348	0.0097	0.0102
Norte	161	0.0099	0.0104
Norte	271	0.0102	0.0107
Norte	413	0.0105	0.0110
Norte	332	0.0107	0.0113
Norte	130	0.0118	0.0124
Centro	200	0.0029	0.0031
Centro	132	0.0054	0.0057
Centro	65	0.0064	0.0067
Centro	100	0.0079	0.0083
Centro	445	0.0110	0.0116
Centro	122	0.0115	0.0121
Sur	365	0.0044	0.0046
Sur	315	0.0118	0.0124
Este	182	0.0046	0.0048
Este	349	0.0047	0.0049
Este	426	0.0048	0.0050
Este	320	0.0067	0.0070
Este	258	0.0068	0.0072
Este	395	0.0071	0.0075
Este	492	0.0073	0.0077
Este	339	0.0084	0.0088
Este	495	0.0087	0.0092
Este	327	0.0088	0.0093
Este	356	0.0088	0.0093
Este	213	0.0089	0.0094
Este	194	0.0105	0.0111
Este	486	0.0115	0.0121
Este	491	0.0118	0.0124
Este	262	0.0119	0.0125
Oeste	375	0.0025	0.0026
Oeste	232	0.0025	0.0026
Oeste	174	0.0026	0.0027
Oeste	233	0.0033	0.0035
Oeste	409	0.0050	0.0053
Oeste	114	0.0068	0.0072
Oeste	77	0.0085	0.0089
Oeste	387	0.0104	0.0104
Oeste	17	0.0120	0.0120
Oeste	443	0.0132	0.0132
Oeste	499	0.0132	0.0132
Callao	525	0.0026	0.0027
Callao	504	0.0036	0.0038
Callao	510	0.0063	0.0066
Callao	516	0.0068	0.0072
Callao	513	0.0071	0.0075
Callao	532	0.0088	0.0093
Callao	505	0.0095	0.0100
Callao	507	0.0097	0.0102

CUADRO 5.5.2.1. CONCENTRACIONES DE PLOMO EN LAS 62 MUESTRAS DE AGUA SUBTERRANEA RECOLECTADAS EN LIMA METROPOLITANA.

Rangos de concentración de plomo en mg/l (ppm).	Cantidad de muestras	Porcentaje
< 0.000 - 0.002]	0	0.00 %
< 0.002 - 0.004]	8	12.90 %
< 0.004 - 0.006]	11	17.74 %
< 0.006 - 0.008]	14	22.58 %
< 0.008 - 0.010]	11	17.74 %
< 0.010 - 0.012]	10	16.13 %
< 0.012 - 0.014]	8	12.90 %
< 0.014 - 0.016]	0	0.00 %

Rangos de concentración de plomo en función al valor guía (V.G.).	Cantidad de muestras	Porcentaje
< 0.01	43	69.35 %
> 0.01	14	22.58 %
0.01	5	8.06 %

CUADRO 5.5.2.2. CONCENTRACIONES DE PLOMO EN FUNCION A SU VALOR GUIA (V. G.).

CONCENTRACION DE PLOMO Lima Metropolitana

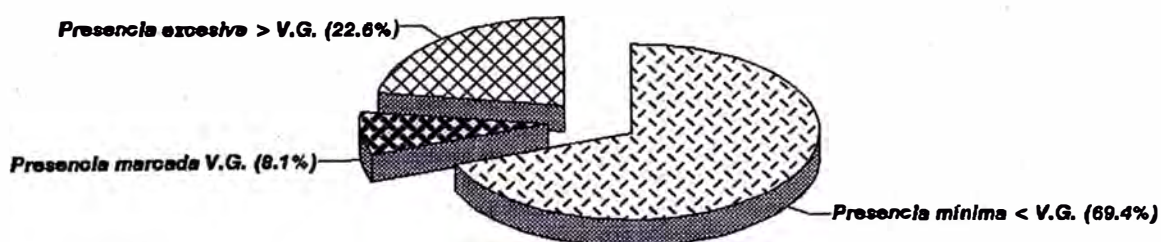


GRAFICO 5.5.2. CONCENTRACIONES DE PLOMO EN FUNCION A SU VALOR GUIA (V.G.).

5.6. REPRESENTACION DE LOS VALORES DE LAS ANOMALIAS GEOQUIMICAS OBTENIDAS:

Anomalia geoquímica es toda desviación o exceso fuera de los valores de concentración considerados normales para un área de medio ambiente geoquímico-geológico-geomorfológico determinado. Determinaremos el background, el threshold y las anomalías, evaluando distribuciones logarítmicas normales.

Esta evaluación puede determinarse directamente a través de un análisis estadístico o gráficamente a través de un ajuste de curva mediante una regresión lineal.

RESULTADOS DEL TRATAMIENTO ESTADISTICO DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO, PARA DETERMINAR LOS VALORES DE LAS ANOMALIAS GEOQUIMICAS.

Concentraciones de plomo en ppm (x)	Frecuencia (f)	Frecuencia Relativa (%)	Frecuencia Acumulada (%)	d = (x - X) (x - 0.0079)	(x - X) ² (x - 0.0079) ²
0.0026	1	1.613 %	1.61 %	- 0.0053	0.00002809
0.0026	1	1.613 %	3.23 %	- 0.0053	0.00002809
0.0027	1	1.613 %	4.84 %	- 0.0052	0.00002704
0.0027	1	1.613 %	6.45 %	- 0.0052	0.00002704
0.0031	1	1.613 %	8.06 %	- 0.0048	0.00002304
0.0035	1	1.613 %	9.68 %	- 0.0044	0.00001936
0.0036	1	1.613 %	11.29 %	- 0.0043	0.00001849
0.0038	1	1.613 %	12.90 %	- 0.0041	0.00001681
0.0041	1	1.613 %	14.52 %	- 0.0035	0.00001444
0.0046	1	1.613 %	16.13 %	- 0.0033	0.00001089
0.0047	1	1.613 %	17.74 %	- 0.0032	0.00001024
0.0048	1	1.613 %	19.35 %	- 0.0031	0.00000961
0.0049	1	1.613 %	20.97 %	- 0.0030	0.00000900
0.0050	1	1.613 %	22.58 %	- 0.0029	0.00000841
0.0053	1	1.613 %	24.19 %	- 0.0026	0.00000676
0.0054	1	1.613 %	25.81 %	- 0.0025	0.00000625
0.0055	1	1.613 %	27.42 %	- 0.0024	0.00000576
0.0057	1	1.613 %	29.03 %	- 0.0022	0.00000484
0.0059	1	1.613 %	30.65 %	- 0.0020	0.00000400
0.0066	1	1.613 %	32.26 %	- 0.0013	0.00000169
0.0067	1	1.613 %	33.87 %	- 0.0012	0.00000144
0.0070	1	1.613 %	35.48 %	- 0.0009	0.00000081
0.0072	1	1.613 %	37.10 %	- 0.0007	0.00000049
0.0072	1	1.613 %	38.71 %	- 0.0007	0.00000049
0.0072	1	1.613 %	40.32 %	- 0.0007	0.00000049
0.0072	1	1.613 %	41.94 %	- 0.0007	0.00000049
0.0075	1	1.613 %	43.55 %	- 0.0004	0.00000016
0.0075	1	1.613 %	45.16 %	- 0.0004	0.00000016
0.0077	1	1.613 %	46.77 %	- 0.0002	0.00000004
0.0077	1	1.613 %	48.39 %	- 0.0002	0.00000004
0.0078	1	1.613 %	50.00 %	- 0.0001	0.00000001
0.0079	1	1.613 %	51.61 %	0.0000	0.00000000
0.0079	1	1.613 %	53.23 %	0.0000	0.00000000
0.0083	1	1.613 %	54.84 %	0.0004	0.00000016
0.0088	1	1.613 %	56.45 %	0.0009	0.00000081
0.0088	1	1.613 %	58.06 %	0.0009	0.00000081
0.0089	1	1.613 %	59.68 %	0.0010	0.00000100
0.0092	1	1.613 %	61.29 %	0.0013	0.00000169
0.0093	1	1.613 %	62.90 %	0.0014	0.00000196

Concentraciones de plomo en ppm (x)	Frecuencia (f)	Frecuencia Relativa (%)	Frecuencia Acumulada (%)	d = (x - X) (x - 0.0079)	(x - X) ² (x - 0.0079) ²
0.0093	1	1.613 %	64.52 %	0.0014	0.00000196
0.0093	1	1.613 %	66.13 %	0.0014	0.00000196
0.0094	1	1.613 %	67.74 %	0.0015	0.00000225
0.0095	1	1.613 %	69.35 %	0.0016	0.00000256
0.0100	1	1.613 %	70.97 %	0.0021	0.00000441
0.0102	1	1.613 %	72.58 %	0.0023	0.00000529
0.0102	1	1.613 %	74.19 %	0.0023	0.00000529
0.0104	1	1.613 %	75.81 %	0.0025	0.00000625
0.0104	1	1.613 %	77.42 %	0.0025	0.00000625
0.0107	1	1.613 %	79.03 %	0.0028	0.00000784
0.0110	1	1.613 %	80.65 %	0.0031	0.00000961
0.0111	1	1.613 %	82.26 %	0.0032	0.00001024
0.0113	1	1.613 %	83.87 %	0.0034	0.00001156
0.0116	1	1.613 %	85.48 %	0.0037	0.00001369
0.0120	1	1.613 %	87.10 %	0.0041	0.00001681
0.0121	1	1.613 %	88.71 %	0.0042	0.00001764
0.0121	1	1.613 %	90.32 %	0.0042	0.00001764
0.0124	1	1.613 %	91.94 %	0.0045	0.00002025
0.0124	1	1.613 %	93.55 %	0.0045	0.00002025
0.0124	1	1.613 %	95.16 %	0.0045	0.00002116
0.0125	1	1.613 %	96.77 %	0.0046	0.00002116
0.0132	1	1.613 %	98.39 %	0.0053	0.00002809
0.0132	1	1.613 %	100.00 %	0.0053	0.00002809
$\Sigma x = 0.4900$	$\Sigma f = 62$	100.000 %		$\Sigma d = 0.0038$	$\Sigma d^2 = 0.00057024$

$$\text{Valor promedio (X)} = \frac{\Sigma x}{\Sigma f} = \frac{0.49}{62} = 0.0079 \text{ ppm.}$$

$$\text{Desviación estándar (s)} = \sqrt{\frac{\Sigma d^2}{\Sigma f}} = \sqrt{\frac{0.00057024}{62}} = \sqrt{0.000009197} = 0.0031 \text{ ppm.}$$

Los valores de background, threshold y anomalías geoquímicas también pueden determinarse gráficamente a través de una distribución logarítmica normal analizando el porcentaje de frecuencias acumuladas para diferentes valores de concentración de plomo, por ajuste de curva mediante una regresión lineal.

RESULTADOS DE LA REGRESION LINEAL PARA LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO, PARA DETERMINAR LOS VALORES DE LAS ANOMALIAS GEOQUIMICAS.

SALIDA DE REGRESION

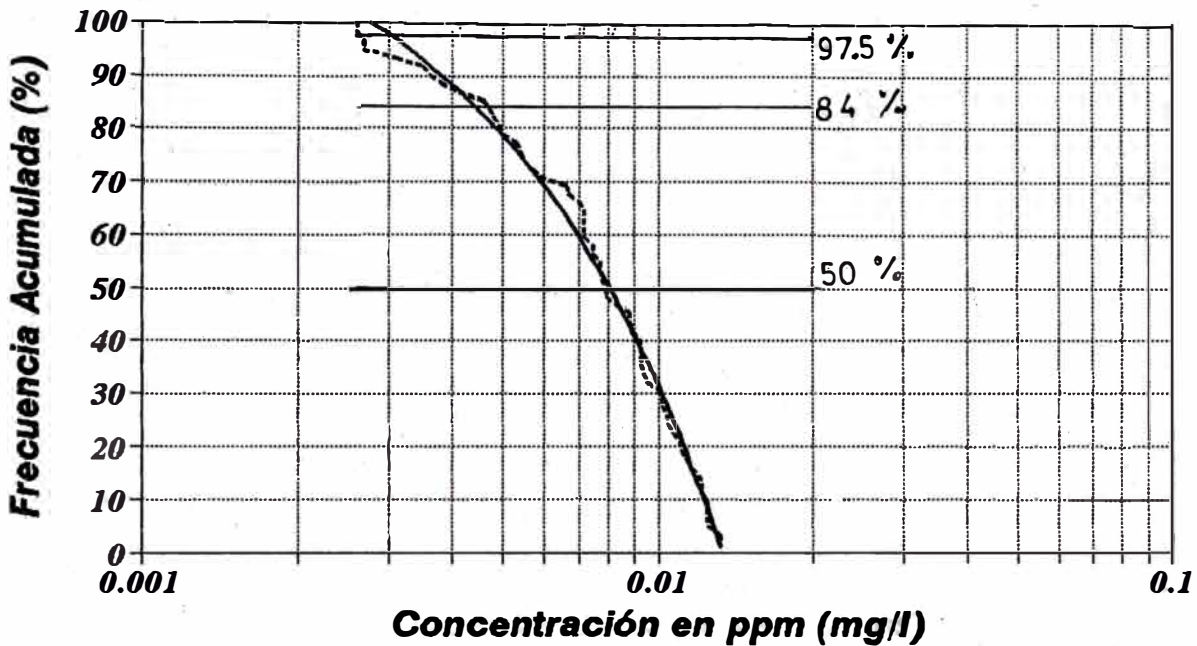
Constante	126.05
Error estándar Est Y	2.5608981
R cuadrado	0.9923515
Nº de observaciones	62
Grados de libertad	60
Coeficiente(s) X	-9463.9382
Error estándar de coef.	107.26355

Concentraciones de plomo en mg/l (ppm)	Frecuencia	Frecuencia Acumulada Invertida	Porcentaje Frecuencia Acumulada	Porcentaje Frecuencia Corregida	Porcentaje Frecuencia Ajustada
0.0026	1	62	100.00 %	99.80 %	101.4 %
0.0026	1	61	98.39 %	98.19 %	101.4 %
0.0027	1	60	96.77 %	96.58 %	100.5 %
0.0027	1	59	95.16 %	94.97 %	100.5 %
0.0031	1	58	93.55 %	93.36 %	96.7 %
0.0035	1	57	91.94 %	91.75 %	92.9 %
0.0036	1	56	90.32 %	90.14 %	92.0 %
0.0038	1	55	88.71 %	88.53 %	90.1 %
0.0041	1	54	87.10 %	86.92 %	87.2 %
0.0046	1	53	85.48 %	85.31 %	82.5 %
0.0047	1	52	83.87 %	83.70 %	81.6 %
0.0048	1	51	82.26 %	82.09 %	80.6 %
0.0049	1	50	80.65 %	80.48 %	79.7 %
0.0050	1	49	79.03 %	78.87 %	78.7 %
0.0053	1	48	77.42 %	77.26 %	75.9 %
0.0054	1	47	75.81 %	75.65 %	74.9 %
0.0055	1	46	74.19 %	74.05 %	74.0 %
0.0057	1	45	72.58 %	72.44 %	72.1 %
0.0059	1	44	70.97 %	70.83 %	70.2 %
0.0066	1	43	69.35 %	69.22 %	63.6 %
0.0067	1	42	67.74 %	67.61 %	62.6 %
0.0070	1	41	66.13 %	66.00 %	59.8 %
0.0072	1	40	64.52 %	64.39 %	57.9 %
0.0072	1	39	62.90 %	62.78 %	57.9 %
0.0072	1	38	61.29 %	61.17 %	57.9 %
0.0072	1	37	59.68 %	59.56 %	57.9 %
0.0075	1	36	58.06 %	57.95 %	55.1 %
0.0075	1	35	56.45 %	56.34 %	55.1 %
0.0077	1	34	54.84 %	54.73 %	53.2 %
0.0077	1	33	53.23 %	53.12 %	53.2 %
0.0078	1	32	51.61 %	51.51 %	52.2 %
0.0079	1	31	50.00 %	49.90 %	51.3 %
0.0079	1	30	48.39 %	48.29 %	51.3 %
0.0083	1	29	46.77 %	46.68 %	47.5 %
0.0088	1	28	45.16 %	45.07 %	42.8 %
0.0088	1	27	43.55 %	43.46 %	42.8 %
0.0089	1	26	41.94 %	41.85 %	41.8 %
0.0092	1	25	40.32 %	40.24 %	39.0 %
0.0093	1	24	38.71 %	38.63 %	38.0 %
0.0093	1	23	37.10 %	37.02 %	38.0 %
0.0093	1	22	35.48 %	35.41 %	38.0 %
0.0094	1	21	33.87 %	33.80 %	37.1 %
0.0095	1	20	32.26 %	32.19 %	36.1 %
0.0100	1	19	30.65 %	30.58 %	31.4 %
0.0102	1	18	29.03 %	28.97 %	29.5 %
0.0102	1	17	27.42 %	27.36 %	29.5 %
0.0104	1	16	25.81 %	25.75 %	27.6 %
0.0104	1	15	24.19 %	24.15 %	27.6 %
0.0107	1	14	22.58 %	22.54 %	24.8 %
0.0110	1	13	20.97 %	20.93 %	21.9 %
0.0111	1	12	19.35 %	19.32 %	21.0 %
0.0113	1	11	17.74 %	17.71 %	19.1 %
0.0116	1	10	16.13 %	16.10 %	16.3 %
0.0120	1	9	14.52 %	14.49 %	12.5 %
0.0121	1	8	12.90 %	12.88 %	11.5 %
0.0121	1	7	11.29 %	11.27 %	11.5 %
0.0124	1	6	9.68 %	9.66 %	8.7 %
0.0124	1	5	8.06 %	8.05 %	8.7 %
0.0124	1	4	6.45 %	6.44 %	8.7 %
0.0125	1	3	4.84 %	4.83 %	7.8 %
0.0132	1	2	3.23 %	3.22 %	1.1 %
0.0132	1	1	1.61 %	1.61 %	1.1 %

NOTA: los porcentajes de frecuencias se calcularon de la siguiente manera:

% Frecuencia Acumulada = (Frec. acumulada invertida) x (100/62).
 % Frecuencia Corregida = (% Frecuencia acumulada) x (99.8/100).
 % Frecuencia Ajustada = (Conc. Pb x coeficiente(s)X) + constante.
 los valores de coeficiente(s)X y constante, se obtuvieron al realizar la regresión lineal entre el porcentaje de frecuencias corregidas y las concentraciones de plomo.

DISTRIBUCION LOGARITMICA NORMAL PLOMO



----- FrecuenciaAcumulada -.-.-.- FrecuenciaCorregida — FrecuenciaAjustada

En el gráfico obtenemos el background, threshold y anomalías para el 50% de frecuencia acumulada (geometría promedio "X"), en donde corresponde el 84% de frecuencia acumulada al valor background "X + s", y el 97.5% al valor threshold "X + 2s". En el gráfico la línea continua representa el ajuste lineal de los datos ploteados (frecuencia ajustada).

Para mejor precisión del ajuste lineal, realizamos un ajuste lineal para tan solo para 11 observaciones:

SALIDA DE REGRESION	
Constante	123.33464
Error estándar Est Y	2.0474059
R cuadrado	0.9958334
Nº de observaciones	11
Grados de libertad	9
Coeficiente(s) X	-8771.7717
Error estándar de coef.	189.13144

Concentraciones de plomo en $\mu\text{g/l}$ (ppm)	Frecuencia	Frecuencia Acumulada Invertida	Porcentaje Frecuencia Acumulada	Porcentaje Frecuencia Corregida	Porcentaje Frecuencia Ajustada
0.0026	1	11	100.00 %	99.80 %	100.5 %
0.0036	2	10	90.91 %	90.73 %	91.8 %
0.0049	3	9	81.82 %	81.65 %	80.4 %
0.0059	4	8	72.73 %	72.58 %	71.6 %
0.0072	5	7	63.64 %	63.51 %	60.2 %
0.0078	6	6	54.55 %	54.44 %	54.9 %
0.0089	7	5	45.45 %	45.36 %	45.3 %
0.0095	8	4	36.36 %	36.29 %	40.0 %
0.0107	9	3	27.27 %	27.22 %	29.5 %
0.0121	10	2	18.18 %	18.15 %	17.2 %
0.0132	11	1	9.09 %	9.07 %	7.5 %

DISTRIBUCION LOGARITMICA NORMAL PLOMO

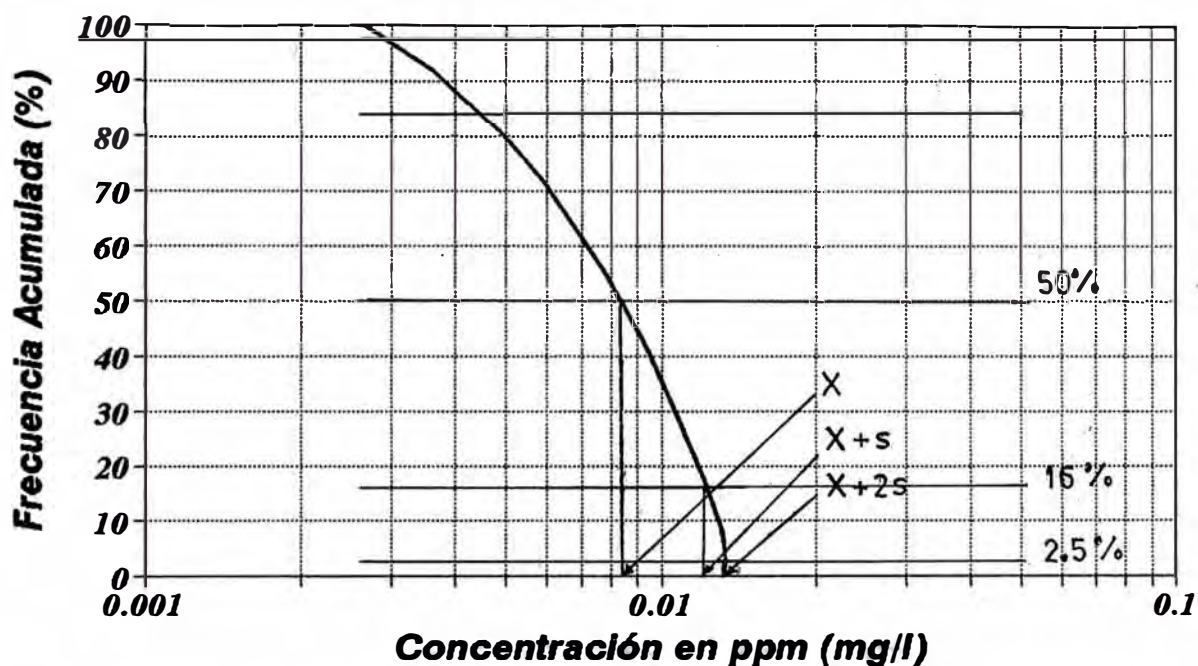
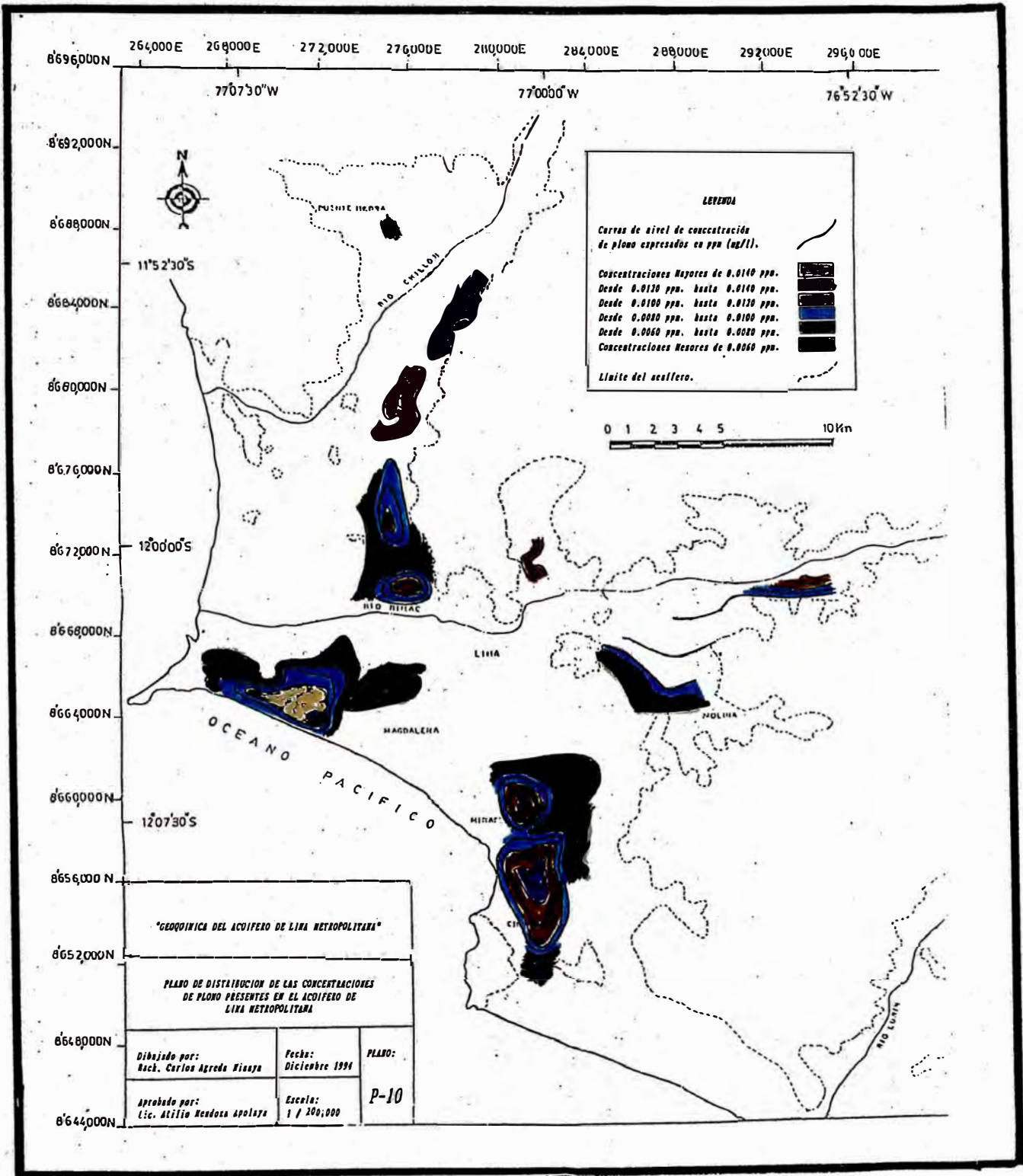


GRAFICO 5.6.0. VALORES DE BACKGROUND, THRESHOLD Y ANOMALIAS GEOQUIMICAS OBTENIDAS PARA EL PLOMO.

Rangos de concentración	Valores obtenidos
Background: $X + s$	0.0124 ppm (mg/l).
Threshold: $X + 2s$	0.0140 ppm (mg/l).
Anomalías: $> X + 2s$	> 0.0140 ppm (mg/l).

CUADRO 5.6.0. VALORES DE BACKGROUND, THRESHOLD Y ANOMALIAS GEOQUIMICAS OBTENIDAS PARA EL PLOMO.



P-10. PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO PRESENTES EN EL ACUÍFERO DE LIMA METROPOLITANA.

5.7. EVALUACION DE RESULTADOS:

- Para el estudio del plomo se considero las mediciones realizadas en el agua corrida (pozo en funcionamiento) y no las realizadas en el agua estancada (pozo paralizado), debido a que en estas últimas las concentraciones eran muy altas.
- Se encontraron concentraciones ligeramente por encima del valor guía en el 22.58% de las muestras, estas corresponden a 14 pozos; 4 en la zona norte (Comas, Los Olivos y San Martín), 2 en la zona centro (San Miguel), 1 en la zona sur (Pachacamac), 3 en la zona este (San Juan de Lurigancho y Ate-Vitarte) y 4 en la zona oeste (Surco y Chorrillos).
- La solubilidad del plomo no se ve incrementada debido a que los valores de los parámetros principales del agua: pH (promedio entre 7.2 y 7.6), contenido de calcio (promedio entre 80 y 120 ppm) y temperatura (varia entre 22°C y 27°C), se encuentran dentro de los niveles aceptables, estos niveles se dan donde el agua es baja en contenido de calcio.
- Estadísticamente sabemos que concentraciones de plomo por encima de 0.050 mg/l incrementan el nivel de plomo en la sangre de las personas que lo consumen, sin embargo los daños a la salud recién se manifiestan a los 0.500 mg/l.

5.8. FORMULACION DE ESTRATEGIAS PARA LA REALIZACION DE ACCIONES PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS:

- Acciones correctivas a corto plazo.- debido a que los valores de pH se encuentran en niveles aceptables, la reducción de los niveles de plomo se realizaría incrementando el contenido de carbonato de calcio, para hacer al agua menos corrosiva.
- Acciones correctivas a largo plazo.- restricción del uso de materiales de plomo en las tuberías, y en lo posible remover las tuberías de plomo de las conexiones principales; realizar un muestreo sistemático en las zonas contaminadas.
- Acciones preventivas.- determinación de límites contaminantes en función a distribuciones logarítmicas normales en base a valores de background, threshold y anomalías geoquímicas para una población determinada de muestras hidroquímicas; de tal manera que estos suministren protección de daños a la salud.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES

- A pesar que el acuífero de Lima Metropolitana se encuentra compuesto tanto por sedimentos permeables como por sedimentos impermeables, podemos decir que este se encuentra no confinado debido a que generalmente esta infrayaciendo a sedimentos no consolidados permeables que facilitan cualquier recarga directa, sobretodo por que la permeabilidad de estos sedimentos consolidados se ve incrementada por fisuras.
- Tenemos algunos casos de confinamiento en sectores en donde el acuífero esta sobreyaciendo a rocas impermeables y sedimentos consolidados, en estos pequeños sectores del acuífero tenemos que el nivel del agua se encuentra en la base de la roca sobreyacente (Bellavista, Callao, Chorrillos) y en otros casos que el nivel del agua se encuentra por encima de la base de la roca sobreyacente (San Juan de Lurigancho, Ate-Vitarte, Los Olivos, Comas), presentando estas zonas el nivel del agua a profundidades promedios entre 30 y 60 metros.
- Con respecto a los tipos hidroquímicos de las aguas subterráneas del acuífero de Lima Metropolitana en función a su contenido iónico; tenemos que según los valores obtenidos para k , existe un 24.79% de aguas con alto contenido de sulfatos las cuales se ubican en los distritos de Comas, Los Olivos y Santiago de Surco; un 58.68% de aguas neutras (ligeramente sulfatadas) las cuales abarcan aproximadamente todos los distritos de Lima Metropolitana; un 7.44% de aguas con alto contenido de bicarbonatos las cuales se ubican en los distritos de Los Olivos, San Martín de Porres, Breña, Cercado, San Miguel, La Molina, Ate, Chorrillos y Bellavista; y finalmente la existencia de un 9.09% de aguas con alto contenido de cloruros en los distritos de La Molina, Chorrillos y San Juan de Lurigancho.

- Con respecto a los tipos hidroquímicos de las aguas subterráneas para Lima Metropolitana en base a diagramas de Piper; tenemos que según las áreas obtenidos en el diagrama, existe un 28.93% de aguas sulfatadas (área 6) que circulan en terrenos yesosos, las cuales se ubican en los distritos de Comas, Los Olivos y Santiago de Surco; un 64.46% de aguas neutras (área 9) donde no hay exceso de un grupo de cationes o un grupo de aniones, las cuales abarcan aproximadamente todos los distritos de Lima Metropolitana; un 6.61% de aguas bicarbonatadas (área 5) que circulan en rocas calcáreas, las cuales se ubican en los distritos de Cercado, San Miguel, La Molina, Ate, Chorrillos y Bellavista.

- Con respecto a los tipos hidroquímicos de aguas subterráneas para Lima Metropolitana en base a diagramas de Durov, tenemos que según los tipos obtenidos en el diagrama tenemos que un 28.10% de aguas tipo III (sulfato de calcio de alta salinidad) se ubican en los distritos de Comas, Los Olivos y Santiago de Surco; un 55.37% de aguas tipo II (sulfato de calcio de baja salinidad) abarcan aproximadamente todos los distritos de Lima Metropolitana; un 7.44% de aguas tipo I (bicarbonato de calcio) y tipo VI (bicarbonato de sodio) se ubican en los distritos de Cercado, La Molina, Ate, Chorrillos y Bellavista; un 9.09% de aguas tipo IV (cloruro/sulfato de calcio) y VIII (cloruro de calcio) se ubican en los distritos de La Molina, Chorrillos y San Juan de Lurigancho.

- Debemos mencionar que para la clasificación de los tipos hidroquímicos de agua subterránea en el acuífero de Lima Metropolitana no fueron estudiados los bordes litorales debido a que no se seleccionaron pozos cercanos a estas zonas, por criterios tales como: paralización de los pozos cercanos al borde litoral en los cuales no puede hacerse medición alguna y recarga proveniente de las tuberías del sistema de distribución de agua potable y alcantarillado de Lima Metropolitana que en estos sectores es alta y puede alterar las mediciones en caso se persista en un muestreo.

- El acuífero de Lima Metropolitana presenta condiciones de reducción, a pesar que se trata de un acuífero no confinado, esto puede ser debido básicamente al alto grado de consolidación de los sedimentos que lo sobreyacen; estas condiciones de reducción se manifiestan a través de los bajos valores de oxígeno disuelto encontrados en la mayoría de las aguas los cuales en promedio varían entre 1 y 3 mg/l; los valores negativos de Eh encontrados en las aguas los cuales en promedio varían entre -100 y -150 mV.; estas condiciones de reducción también se dan a través de las disoluciones de minerales tales como el yeso y la pirita, los cuales determinan el carácter sulfatado de las aguas subterráneas en la casi totalidad de distritos de Lima Metropolitana.

- El acuífero de Lima Metropolitana presenta dentro de su evolución geoquímica además de los procesos de disolución ocurridos entre las aguas subterráneas y el suelo como son las disoluciones del yeso, pirita, calcita, dolomita, etc; otros tipos de disoluciones como son la que se generan en la roca que conforma el macizo rocoso (en nuestro caso granito, granodiorita) en los límites del acuífero con el basamento, especialmente en los distritos de San Juan de Lurigancho y La Molina en la zona Este; en los cuales las aguas producen disoluciones de plagioclasas y feldespatos potásicos; en estos límites también existen además de los procesos de disoluciones, intercambios iónicos debido a la mezcla que se genera entre las aguas del acuífero y las aguas que se originan en el basamento rocoso.

- Los intercambios iónicos se dan en donde se mezclan las aguas de tipo cloruro de sodio y las aguas de tipo sulfato de calcio según esto podemos mencionar los intercambios iónicos de tipo normal ($\text{Ca} \rightarrow \text{Na}$) en el distrito de Los Olivos, debido a la alta cantidad de calcio y a la poca cantidad de sodio y los intercambios iónicos de tipo inverso ($\text{Na} \rightarrow \text{Ca}$) en el distrito de San Juan de Lurigancho, debido a la alta cantidad de sodio y la baja cantidad de calcio.

- En el valle del Rímac en donde las infiltraciones principales del río ocurren aguas arriba de Ate-Vitarte, los valores bajos de sulfatos encontrados corresponden a zonas de mayores flujos, según esto los mayores flujos de caudal de aguas se dan en la zona de Ate-Vitarte continúan en la parte alta del valle del Rímac, luego disminuyen en dirección NE a SW cruzando Surco, haciéndose más lentas en Miraflores y San Miguel hasta llegar a los bordes litorales.
- En el valle del Chillón en donde las infiltraciones principales del río ocurren aguas arriba de Carabayllo, la disminución de valores altos a valores bajos de sulfatos encontrados en las aguas indican que el flujo de agua subterránea que va desde el valle del Chillón hasta el valle del Rímac es lento, lo mismo que los flujos de agua subterránea hacia los bordes litorales.
- El tipo de agua que más predomina en el acuífero de Lima Metropolitana es el agua de tipo "sulfato de calcio de baja salinidad", cuyas concentraciones se distribuyen según los gradientes hidráulicos que presentan las aguas subterráneas.
- El agua natural de recarga presente en el valle del Rímac es de carácter "bicarbonato de calcio", en el valle del Chillón es de carácter "sulfato de calcio"; además entre las zonas Centro y Callao existe una importante recarga artificial en el acuífero procedente del sistema de distribución de agua potable y alcantarillado de Lima Metropolitana.
- Con respecto al estudio geoquímico de plomo en el acuífero de Lima Metropolitana podemos decir que un 69.35% de las muestras presentan niveles bajos de plomo (< 0.01 ppm.) comprendidos dentro del rango de presencia mínima aprobado por la Organización Panamericana de la Salud; un 8.06% presenta niveles marcados de plomo ($= 0.01$ ppm.) y un 22.58% presenta niveles altos de concentración de plomo (> 0.01 ppm.) comprendidos dentro del rango de presencia excesiva.

- Para evaluar las características que pueden hacer al agua mas corrosiva consideramos 3 parámetros principales: el valor promedio de pH el cual se encuentra entre 7.2 y 7.6, estos valores no podrían incrementar la solubilidad del plomo ya que indican aguas neutras, ligeramente potables; el contenido promedio de calcio el cual se encuentra entre 80 y 120 ppm., estos valores tampoco podrían incrementar la solubilidad del plomo ya que el rango máximo permisible de calcio en las aguas potables es de 250 ppm.; y por último la temperatura en el acuífero la cual varia entre 23°C y 26°C, luego este rango de temperatura tampoco podría variar la solubilidad del plomo.
- De lo mencionado anteriormente podemos decir que las características que presenta el agua subterránea en diversas partes del acuífero, se encuentran dentro de las condiciones normales, por lo que posiblemente la contaminación se produzca en el pozo debido a la corrosión de los filtros usados en las etapas de desarrollo y explotación.
- Son 14 los pozos contaminados y se encuentran ubicados en 9 distritos: Comas (2), Los Olivos (1), San Martín de Porres (1), San Miguel (2), Pachacamac (1), San Juan de Lurigancho (2), Ate-Vitarte (1), Surco (3) y Chorrillos (1).
- Considerando los resultados obtenidos en las distribuciones logarítmicas normales para el background (0.0115 ppm.) y threshold (0.0148 ppm.), tenemos que ninguno de los valores considerados excesivos pueden llegar a ser considerados como anomalías geoquímicas, por lo tanto podemos concluir mencionando que la contaminación en los pozos se encuentra dentro de los límites considerados aceptables.

CAPITULO VII

7. RECOMENDACIONES

- Realizar la reducción de los niveles de plomo para hacer las aguas menos corrosivas, añadiendo bicarbonato de calcio en los 14 pozos contaminados (a pesar que la contaminación esta dentro de los límites aceptables); la cantidad a añadir estará en función a igualar la cantidad de concentraciones de calcio que presentan los pozos no contaminados.
- Realizar muestreos sistemáticos mensuales para las áreas contaminadas y trimestrales para todas las demás; analizando el incremento o disminución de los valores de las concentraciones y determinando las causas que lo originan.
- Determinar los límites de contaminación en las aguas del acuífero en función a distribuciones logarítmicas normales según las zonas de estudio, en base a los datos reportados de los muestreos realizados.
- Determinar la perforación de pozos no solo en función a la demanda de abastecimiento de agua sino también a criterios tales como tipo hidroquímico de agua, gradiente hidráulico de la zona y recarga del sistema de distribución de agua potable.
- Realizar un nuevo estudio sobre incrustación de Fe en los pozos, añadiendo datos de concentraciones de Fe y Mn a los datos de Eh obtenidos; debido a que el verdadero potencial corrosivo de las aguas subterráneas se encuentra encubierto por la incrustación de fe en los filtros, bombas y columnas de los pozos en funcionamiento.
- Realizar un estudio adicional de contaminación por intrusión marina en los bordes litorales del acuífero.

CAPITULO VIII

8. ANEXOS.

8.1. BIBLIOGRAFIA.

AGUIRRE MORALES AUGUSTO.

"Las aguas subterráneas en el Perú", (pág. 41-65).
Boletín Sociedad Geológica del Perú NQ61; Lima, Perú, 1980.

ALLER LINDA; BENNETT TRUMAN; PETTY REBBECA; HACKETT GLEN.

"Drastic: a standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hidrogeologic settings", (pág. 25-27).
Environmental Protection Agency; Dublin, United States, 1987.

ALVAREZ GUERRERO C., GALLEGO ANDREU, VILLANUEVA CALDERON E..

"Aplicación del análisis químico e interpretación geoquímica a las aguas de la zona de Soria correspondientes a la hoja de Torrijo de la Cañada (Soria)", (pág. 20-31).
Boletín Geológico y Mínero Tomo XCIV-I; España, Ene.-Feb. 1983.

AQUINO PORTAL ROSA H..

"Métodos para análisis de aguas, suelos y residuos sólidos", (pág. 13,15,17,19,21,23,25,27,29,31,33,35,37,38,40).
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología; Lima, Perú, 1989.

BAEDECKER PHILIP A..

"Methods for geochemical analysis", (pág. 4,11,12).
Geological Survey Bulletin NQ1770; United States, 1987.

BARTLETT G.A., BOGATYREV O., DEMAYO A., DOUGLAS V..

"Water quality surveys", (pág. 145-147, 340-344).
UNESCO, Studies and reports in hidrology; United Kingdom, 1988.

BEATTIE A.D..

"Report on the health effects of lead contamination of domestic water", (pág. 1,2,4,6, 10-14, 17-20).
Environmental Protection Agency; Cincinnati, United States, 1987.

BINNIE & PARTNERS.

"Resources of water to the Great Lima", (pág. 44-46, 73-75).
Ministry for Overseas Development of the United Kingdom and Government of Peru, Final report; Lima & London, January 1971.

BINNIE & PARTNERS.

"Final study of the transfer of water from the upper catchment of the river Mantaro to Lima" (First Stage), Volume 3, Appendix B, Annexes 1B-2B, (pág. B1, B2, B4-B11, B20-B24).
Intermediate Report; Lima & London, 1980.

BINNIE & PARTNERS.

"Final study of the transfer of water from the upper catchment of the river Mantaro to Lima" (First Stage), Volume 2, Appendix B, Annexes 1B-2B, (pág. B1-B6, B10-20).
Final Report; Lima & London, 1981.

BINNIE & PARTNERS.

"Management of the aquifer resources of Metropolitan Lima", (pág. 6, 8, 9, 10-12, 59-64).
Final Report; Lima & London, January 1987.

BRASSINGTON RICK.

"Field Hidrogeology", (pág. 5, 7, 8, 11-28, 32-49, 50-60, 89-95).
Open University Press; New York, United States, 1990.

CASTAGNY G..

"Tratado práctico de las aguas subterráneas", (pág. 124-127).
Ediciones Omega S.A.; Barcelona, España, 1971.

CASTAGNY G..

"Prospección y explotación de aguas subterráneas" (pág. 65-71).
Ediciones Omega S.A.; Barcelona, España, 1975.

CENTTI GOYZUETA LIDIA; MERCADO PEREZ LUIS.

"Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas", (pág. HQ-1 - HQ-28).
Simposio de Hidrogeología organizado por la U.N.I.; Lima, Perú,
20-22 Octubre 1987.

COATES DONALD R., HIGGINS CHARLES G..

"Groundwater geomorphology, the role of sub-surface water in
earth-surface processes and landforms", (pág. 319-325).
The Geological Society of America Inc.; United States, 1990.

COOK J.M., EDMUNDS W.M., KINNIBURGH D.G., LLOYD B..

"Field techniques in groundwater quality investigations",
(pág. 1-5, 7-15, 18-25, 29-37, 46-49, 56-59, 128-129).
British Geological Survey, Hydrogeology Research Group,
Technical Report WD/89/56; Keyworth, Nottingham & England, 1989.

COOK J.M., MILES P.L..

"Methods for the chemical analysis of groundwater", (pág. 9-50).
Institute of Geological Sciences Report 80/5; United States, 1980

CHENG QUIMING, AGTERBERG F.P., BALLANTYNE S.B..

"The separation of geochemical anomalies from background by
fractional methods", (pág. 109-130).
Journal of Geochemical Exploration N°51; United States, Jul. 1994

CHILCA OLMO M., JIMENEZ ESPINOZA R., SOUZA A.J..

"Identification of geochemical anomalies using principal
component analysis and factorial kriging analysis" (pág. 245-252)
Journal of Geochemical Exploration N°6; United States, Feb. 1993.

DAVENPORT PETER H..

"Geochemical mapping", (pág. 156-163).
Journal of Geochemical Exploration N°49; United States, Nov. 1993

FREEDMAN Y.E., MAGARITZ MORDECKAI; LONG G.L.; RONEN D..

"Interaction of metals with mineral surfaces in a groundwater
environment", (pág. 111-121).
Chemical Geology N°116; United States, Sep. 1994.

FYFE W.S..

"Introducción a la geoquímica", (pág. 23, 35-41, 46).
Editorial Reverté; Barcelona, España, 1981.

GOVETT G.J.S., FLETCHER W.K..

"Handbook of exploration geochemistry" (pág. 25,26).
Elsevier Science Publishers; Amsterdam, Neatherlands, 1981.

GREANBERG ARNOLD E., CLESCERI LANVIE S., EATON ANDREW D..

"Standar methods for the examination of water and wastewater 18th edition", (Section 3111A, 3111B).
American Public Health Association; United States, 1992.

GUERRERA, A.A..

"Chemical contamination of aquifers in Long Island", (pág. 83-94)
American Water Well Association; Atlanta, United States, 1980.

KLIMENTOV P.P..

"Metodología de las investigaciones hidrogeológicas" (pág. 23-45)
Ediciones Mir; Moscu, 1982.

KONOPLYANTSEV A.A., INESON J., KOVALEVSKY V.S..

"Groundwater studies" (pág. 15.2.1-15.2.10, 15.3.1-15.3.10).
UNESCO, Studies and reports in hidrology; United Kingdom, 1983.

KRAUSKOPF KONRAD B..

"Introduction to geochemistry", (pág. 32, 63, 81).
Mc Graw Hill Inc.; New York, United States, 1967.

KURZL HANS.

"Interpretation of geochemical data in geochemical exploration",
(pág. 313-318, 320-322).
Journal of Geochemical Exploration N°30; United States, Nov. 1988

LLAMAS MANUEL, CUSTODIO EMILIO.

"Hidrología subterránea" (pág. 154, 155).
Ediciones Omega S.A.; Barcelona, España, 1976.

MACHARE JOSE, SEBRIER M..

"Observaciones acerca del cuaternario de la costa del Perú central" (pág.5-22).
Bulletin Institute French N°9(1-2); Lima, Perú, 1980.

MASON BRIAN.

"Principios de Geoquímica" (pág. 206-217, 305, 306).
Ediciones Omega S.A.; Barcelona, España 1960.

MENDOZA APOLOYA ATILIO.

Apuntes del curso Espectrometría (GE545).
Escuela de Geología de la U.N.I.; Lima, Perú, Abr.-Jul. 1990.

MENDOZA APOLOYA ATILIO.

Apuntes del curso Geoquímica General (GE282).
Escuela de Geología de la U.N.I.; Lima, Perú, Set.-Dic. 1990.

MENDOZA APOLOYA ATILIO.

Apuntes del curso Geoquímica Aplicada (GE283).
Escuela de Geología de la U.N.I.; Lima, Perú, Abr.-Jul. 1991.

ORTOLEVA PETER J..

"Geochemical self-organization", (pág. 6, 7, 8).
Oxford University Press Inc.; New York, United States, 1994.

PALACIOS MONCAYO O., CALDAS VIDAL J. Y VELA VELASQUEZ CH..
 "Geología de los cuadrangulos de Lima, Lurin, Chancay y Chosica, hojas 25-I, 25-J, 24-I y 24-J", INGEMMET, Boletín N243, Serie A, (pág. 1, 2, 5-10, 13-42).
 Instituto Geológico, Mínero y Metalúrgico; Lima, Perú, 1992.

RAMKAMA KALERVO, SAHAMA G..
 "Geoquímica", (pág. 678, 680, 682-685).
 Ediciones Aguilar S.A.; Madrid, España, 1954.

REMIERAS G..
 "Tratado de hidrologia aplicada", (pág. 45-47, 56).
 Editores Técnicos Asociados; Barcelona, España, 1974.

SIEGEL FREDERIC.
 "Applied Geochemistry", (pág. 104, 202-227).
 John Wiley & Sons Inc.; New York & London, 1974.

SINCLAIR, A.J..
 "Selection of threshold values in geochemical", (pág. 129-149).
 Journal of Geochemical Exploration N23; United States, Oct. 1974

SERRA J.A., SANCHO CIVERA J., MAQUIEIRA A..
 "Contribucion al estudio hidrogeológico de la provincia de Valencia composición química de aguas subterráneas" (pág. 32-48).
 Boletín Geológico y Mínero Tomo XCIV-I; España, Ene.-Feb. 1983.

SMALES A.A., WAGER L.R..
 "Methods in geochemistry" (pág. 9-10).
 Interscience Publishers Inc.; New York, United States, 1960.

TEVES RIVAS NESTOR.
 Apuntes del curso Sedimentología (GE163).
 Escuela de Geología de la U.N.I., Lima, Perú, Set.-Dic. 1989.

TEVES RIVAS NESTOR.
 Apuntes del curso Geología del Cuaternario (GE565).
 Escuela de Geología de la U.N.I., Lima, Perú, Abr.-Jul. 1990.

TEVES RIVAS NESTOR.
 Apuntes del curso Geología Marina (GE171).
 Escuela de Geología de la U.N.I., Lima, Perú, Set.-Dic. 1990.

TOOD DAVID KEITH.
 "Groundwater Hidrology", (pág. 14-36, 177-185, 195, 196).
 John Wiley & Sons Inc.; New York & London, 1959.

VENTURA NAPA, MIGUEL.
 "Hidrodinámica de las aguas subterráneas", (pág. H-1 - H-18).
 Simposio de Hidrogeología organizado por la U.N.I.; Lima, Perú,
 20-22 Octubre 1987.

VENTURA NAPA, MIGUEL.
 "Contaminación de los acuíferos en el Perú", (pag. 429-449).
 Seminario-Taller sobre rehabilitación de pozos organizado por
 SENAPA; Ica, Perú, Nov. 1989

8.2. ANEXO 2. COORDENADAS DE UBICACION DE LOS POZOS DE ESTUDIO:

Datos proporcionados por la Unidad de Control Operacional de la Gerencia de Aguas Subterráneas, La Atarjea, Febrero 1994.

ZONA	DISTRITO	POZO	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
NORTE	Comas	161	278310	8683450
NORTE	Comas	392	278420	8684340
NORTE	Comas	267	278785	8685090
NORTE	Comas	145	278525	8684220
NORTE	Comas	266	277775	8664760
NORTE	Comas	417	278150	8684420
NORTE	Comas	488	278310	8685320
NORTE	Comas	160	278140	8683670
NORTE	Comas	303	277870	8683540
NORTE	Comas	431	277740	8683270
NORTE	Comas	215	276340	8681150
NORTE	Comas	226	276620	8680400
NORTE	Comas	326	277020	8681070
NORTE	Comas	348	275140	8678980
NORTE	Comas	413	275035	8680305
NORTE	Comas	332	275420	8678560
NORTE	Comas	144	276620	8680740
NORTE	Comas	243	275340	8679665
NORTE	Los Olivos	407	274950	8674420
NORTE	Los Olivos	300	275300	8678030
NORTE	Los Olivos	252	274930	8677760
NORTE	Los Olivos	172	274210	8673780
NORTE	Los Olivos	257	274660	8674250
NORTE	Los Olivos	271	274700	8673900
NORTE	S.M. de Porres	130	276825	8669950
NORTE	S.M. de Porres	408	273600	8669560
NORTE	S.M. de Porres	94	273525	8670670
NORTE	S.M. de Porres	96	274120	8669430
NORTE	S.M. de Porres	99	274220	8670050
NORTE	S.M. de Porres	142	273615	8670080
NORTE	S.M. de Porres	162	276380	8670950
NORTE	S.M. de Porres	286	276355	8670270
NORTE	S.M. de Porres	34	277500	8668990
NORTE	S.M. de Porres	195	276350	8671810
NORTE	Puente Piedra	296	273825	8688220
NORTE	Puente Piedra	297	274570	8688060
NORTE	Puente Piedra	298	274720	8688110
NORTE	Puente Piedra	299	274470	8688290
SUR	Pachacamac	315	296510	8645510
SUR	Lurín	365	295480	8644980
CENTRO	Cercado	43	276860	8666280
CENTRO	Cercado	80	274600	8666310
CENTRO	Cercado	100	275160	8667170
CENTRO	Cercado	65	274260	8666690
CENTRO	Pueblo Libre	200	274440	8666010
CENTRO	Pueblo Libre	230	274410	8666100
CENTRO	San Miguel	121	272430	8664115
CENTRO	San Miguel	122	271825	8664210
CENTRO	San Miguel	123	272090	8665600
CENTRO	San Miguel	132	272570	8664550
CENTRO	San Miguel	428	271055	8664370
CENTRO	San Miguel	445	271825	8664250

ZONA	DISTRITO	POZO	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
ESTE	Ate	327	284000	8666610
ESTE	Ate	254	289430	8669565
ESTE	Ate	395	289000	8669590
ESTE	Ate	492	289910	8669820
ESTE	Ate	292	289300	8669250
ESTE	Ate	283	290165	8669480
ESTE	Ate	475	289200	8687440
ESTE	Ate	320	292395	8672860
ESTE	Ate	262	276200	8670960
ESTE	Ate	261	291410	8670390
ESTE	Santa Anita	176	285410	8667350
ESTE	Santa Anita	164	286200	8667795
ESTE	Santa Anita	426	285570	8666670
ESTE	Santa Anita	258	285820	8666880
ESTE	Santa Anita	495	285160	8667000
ESTE	El Agustino	218	285780	8667870
ESTE	La Molina	356	288460	8665750
ESTE	La Molina	349	289050	8664645
ESTE	La Molina	111	286220	8664900
ESTE	La Molina	182	285860	8664190
ESTE	La Molina	339	288080	8665110
ESTE	La Molina	410	289520	8664230
ESTE	La Molina	146	289430	8663790
ESTE	La Molina	479	289990	8664280
ESTE	S. J. Lurigancho	154	283440	8670395
ESTE	S. J. Lurigancho	155	282910	8677330
ESTE	S. J. Lurigancho	374	282970	8671220
ESTE	S. J. Lurigancho	213	281770	8672180
ESTE	S. J. Lurigancho	486	282090	8672220
ESTE	S. J. Lurigancho	405	281810	8672560
ESTE	S. J. Lurigancho	194	282055	8670900
ESTE	S. J. Lurigancho	491	282490	8671610
OESTE	Chorrillos	471	281600	8654960
OESTE	Chorrillos	387	281970	8653490
OESTE	Chorrillos	232	281185	8651460
OESTE	Chorrillos	233	282115	8651540
OESTE	Chorrillos	210	282685	8653530
OESTE	Chorrillos	411	282410	8653940
OESTE	Miraflores	174	281710	8658780
OESTE	Miraflores	77	281270	8658590
OESTE	Miraflores	175	281765	8659210
OESTE	Surco	443	281520	8659440
OESTE	Surco	375	283510	8656980
OESTE	Surco	17	281420	8656670
OESTE	Surco	499	281920	8656120
OESTE	Surco	129	283300	8657880
OESTE	Surco	600	283270	8658935
OESTE	Surco	114	282820	8658875
OESTE	Surco	115	282700	8657755
OESTE	Surco	441	283200	8658610
OESTE	Surco	167	283115	8657040
OESTE	San Isidro	409	280530	8662130
OESTE	San Isidro	10	278580	8660820
OESTE	Surquillo	318	279850	8661220
CALLAO	Bellavista	533	270560	8666030
CALLAO	Bellavista	511	271780	8669115
CALLAO	Bellavista	402	272390	8666750
CALLAO	Bellavista	513	272700	8666700
CALLAO	Bellavista	532	270960	8666340
CALLAO	Bellavista	505	269470	8665650
CALLAO	Callao	525	270180	8666420
CALLAO	Callao	507	269000	8665955
CALLAO	Callao	510	271700	8667100
CALLAO	Callao	547	270620	8666836
CALLAO	Callao	516	269480	8664920
CALLAO	Callao	542	269300	8666150
CALLAO	Callao	504	270000	8665350
CALLAO	Callao	503	268280	8667800
CALLAO	Callao	518	269700	8666630

8.3. ANEXO 3. TABLA DE DATOS DE LAS MEDICIONES DE CAMPO:

Responsable del muestreo: Bach. Carlos Agreda Minaya.

ZONA	FECHA DE MUESTREO	POZO	SEC unhos/cm	TDS (g/l)	pH	Eh (mV)	D.O. (mg/l)	T. (°C)
Norte	24/03/94	392	1160	0.58	7.2	-620	3.01	25.0
Norte	24/03/94	488	1080	0.54	7.2	-210	2.04	24.6
Norte	24/03/94	431	1140	0.57	7.2	-230	3.01	24.6
Norte	28/03/94	267	1270	0.63	7.2	-200	2.59	24.9
Norte	28/03/94	266	1010	0.50	7.2	-220	2.53	25.0
Norte	28/03/94	145	1260	0.62	7.2	-220	2.88	25.3
Norte	29/03/94	161	1220	0.61	7.2	-200	2.91	24.5
Norte	29/03/94	160	1300	0.65	7.2	-220	3.04	24.5
Norte	29/03/94	303	1200	0.60	7.1	-200	3.23	24.5
Norte	11/04/94	417	1060	0.53	7.2	-210	2.48	24.5
Norte	11/04/94	144	1410	0.71	7.6	-280	0.84	25.6
Norte	11/04/94	326	1320	0.66	7.1	-220	1.58	24.9
Norte	12/04/94	243	1040	0.52	7.3	-60	1.63	25.5
Norte	12/04/94	130	840	0.42	7.4	-50	1.72	22.9
Norte	12/04/94	408	705	0.35	7.5	-70	0.74	24.5
Norte	13/04/94	296	2070	1.03	7.0	-640	1.43	24.8
Norte	13/04/94	297	1580	0.79	7.0	-280	2.08	24.5
Norte	13/04/94	34	840	0.42	6.8	-110	1.40	22.8
Norte	14/04/94	298	1280	0.64	7.2	-280	2.27	24.5
Norte	14/04/94	299	1310	0.65	7.2	-250	2.51	24.9
Norte	14/04/94	413	705	0.35	7.5	-60	0.78	24.8
Norte	20/04/94	300	1300	0.61	7.3	-160	2.35	26.0
Norte	20/04/94	407	1650	0.82	7.2	-160	0.92	24.9
Norte	20/04/94	142	680	0.34	7.6	-200	1.64	23.3
Norte	21/04/94	99	710	0.35	7.4	-240	3.25	23.8
Norte	21/04/94	94	860	0.43	7.4	-190	1.63	22.8
Norte	21/04/94	96	740	0.37	7.6	-640	1.73	24.1
Norte	06/06/94	257	1550	0.77	7.2	-230	3.59	25.8
Norte	06/06/94	271	1350	0.67	7.4	-260	2.50	25.9
Norte	07/06/94	195	1000	0.50	7.2	-200	5.96	24.5
Norte	07/06/94	162	950	0.47	6.6	-190	5.12	23.8
Norte	07/06/94	286	970	0.48	7.2	-180	7.12	23.7
Norte	08/06/94	348	1050	0.52	7.2	-380	2.76	25.0
Norte	08/06/94	332	1260	0.63	7.4	-520	8.67	25.1
Norte	08/06/94	172	1950	0.97	7.2	-220	3.12	25.9
Norte	21/06/94	226	1190	0.59	7.2	-200	5.54	26.0
Norte	21/06/94	215	1340	0.67	7.1	-190	3.37	24.5
Norte	21/06/94	252	1100	0.55	7.3	-60	1.46	24.5
Centro	27/04/94	123	870	0.43	7.4	-600	2.71	23.6
Centro	27/04/94	428	620	0.41	7.4	-520	2.34	23.5
Centro	27/04/94	445	570	0.28	7.6	-210	2.19	23.5
Centro	04/05/94	230	830	0.41	7.4	-150	1.72	22.8
Centro	04/05/94	200	860	0.43	7.3	-270	1.58	23.6
Centro	04/05/94	80	830	0.41	7.4	-180	1.91	22.8
Centro	11/05/94	43	880	0.44	7.4	-210	1.85	23.0
Centro	11/05/94	100	830	0.41	7.4	-270	4.16	23.7
Centro	11/05/94	65	780	0.39	7.4	-280	1.92	23.6
Centro	18/05/94	122	770	0.38	7.2	-620	2.63	24.1
Centro	18/05/94	132	830	0.41	7.4	-200	2.06	23.3
Centro	18/05/94	121	720	0.36	7.4	-220	2.20	23.5
Sur	19/05/94	315	900	0.45	7.0	-190	2.57	24.5
Sur	19/05/94	365	710	0.35	7.4	-180	0.27	24.7

ZONA	FECHA DE MUESTREO	POZO	SEC unhos/cm	TDS (g/l)	pH	Eh (mV)	D.O. (mg/l)	T (°C)
Este	14/03/94	327	930	0.46	7.2	-220	2.64	23.8
Este	14/03/94	475	950	0.47	7.2	-220	2.22	23.5
Este	15/03/94	349	1220	0.61	7.4	-670	2.38	25.1
Este	15/03/94	410	2140	1.07	7.6	-170	1.98	26.6
Este	15/03/94	111	890	0.44	6.8	-180	2.19	25.8
Este	05/05/94	495	620	0.31	7.6	-200	2.04	23.6
Este	05/05/94	258	780	0.39	7.3	-630	1.98	23.8
Este	12/05/94	254	830	0.41	7.2	-220	1.75	24.2
Este	12/05/94	292	720	0.36	7.3	-670	3.80	24.1
Este	12/05/94	262	750	0.37	7.2	-640	0.66	22.8
Este	16/05/94	491	710	0.35	7.4	-270	2.22	23.7
Este	16/05/94	194	680	0.34	7.3	-280	2.36	23.1
Este	16/05/94	405	710	0.35	7.4	-480	1.99	23.5
Este	17/05/94	154	810	0.40	7.4	-230	1.94	24.2
Este	17/05/94	155	740	0.37	7.4	-230	1.87	23.7
Este	17/05/94	374	850	0.42	7.3	-200	2.25	23.8
Este	13/06/94	176	700	0.35	7.1	-190	2.26	23.7
Este	13/06/94	218	680	0.34	7.3	-200	1.74	24.4
Este	13/06/94	283	850	0.42	7.2	-200	6.19	23.8
Este	14/06/94	182	870	0.44	7.3	-580	1.91	26.4
Este	14/06/94	339	950	0.47	7.2	-610	2.58	25.2
Este	14/06/94	479	1400	0.70	7.6	-250	6.40	25.9
Este	15/06/94	164	760	0.38	7.4	-220	1.94	23.5
Este	15/06/94	426	640	0.32	7.2	-190	5.52	23.4
Este	16/06/94	261	880	0.44	7.1	-550	0.95	23.5
Este	16/06/94	356	870	0.43	7.2	-170	8.14	24.7
Este	16/06/94	146	1080	0.54	7.5	-200	3.01	24.8
Este	20/06/94	486	1160	0.58	7.2	-200	2.31	24.6
Este	20/06/94	213	1070	0.53	7.2	-180	6.79	23.5
Este	22/06/94	395	710	0.35	7.3	-180	0.60	23.4
Este	22/06/94	492	760	0.38	6.9	-160	4.85	24.1
Este	22/06/94	320	1080	0.53	7.2	-180	6.50	23.1
Oeste	16/03/94	115	830	0.41	7.4	-690	2.38	23.2
Oeste	16/03/94	114	850	0.42	7.4	-190	2.41	26.9
Oeste	16/03/94	129	840	0.42	7.4	-200	2.22	23.9
Oeste	17/03/94	375	1790	0.89	7.2	-220	2.35	24.2
Oeste	17/03/94	167	830	0.41	7.4	-250	2.39	23.4
Oeste	17/03/94	409	780	0.39	7.4	-200	2.41	24.3
Oeste	21/03/94	10	820	0.41	7.4	-260	2.06	23.4
Oeste	21/03/94	174	830	0.41	7.4	-690	2.59	23.4
Oeste	21/03/94	175	800	0.40	7.4	-220	2.36	23.5
Oeste	22/03/94	499	780	0.38	7.4	-260	2.39	23.9
Oeste	22/03/94	17	860	0.43	7.4	-700	2.45	23.8
Oeste	22/03/94	443	780	0.39	7.4	-200	2.05	24.0
Oeste	23/03/94	210	1300	0.65	7.2	-700	2.39	24.7
Oeste	23/03/94	387	1130	0.56	7.2	-700	2.03	25.7
Oeste	23/03/94	77	750	0.37	7.4	-230	3.24	23.7
Oeste	04/04/94	411	850	0.42	7.3	-280	2.83	25.1
Oeste	04/04/94	233	1750	0.67	7.0	-220	0.90	24.4
Oeste	04/04/94	232	2300	1.15	7.0	-220	0.78	24.2
Oeste	06/04/94	600	820	0.41	7.4	-210	2.13	23.9
Oeste	06/04/94	471	1770	0.88	7.2	-630	0.98	25.0
Oeste	25/05/94	318	760	0.38	7.4	-240	2.60	23.2
Oeste	25/05/94	441	800	0.40	7.4	-190	1.91	23.7
Callao	05/04/94	525	620	0.31	7.5	-240	1.47	22.9
Callao	05/04/94	547	550	0.27	7.6	-180	0.96	23.7
Callao	05/04/94	402	690	0.34	7.5	-260	2.57	23.1
Callao	07/04/94	532	660	0.33	7.5	-240	1.84	22.9
Callao	07/04/94	533	760	0.38	7.4	-220	1.90	22.9
Callao	07/04/94	505	2230	1.11	7.0	-560	1.47	22.5
Callao	18/04/94	518	800	0.40	7.4	-260	1.17	23.8
Callao	18/04/94	503	670	0.33	7.6	-570	1.53	23.2
Callao	19/04/94	510	690	0.34	7.5	-210	2.03	22.9
Callao	19/04/94	511	710	0.35	7.6	-230	2.31	23.6
Callao	19/04/94	513	680	0.34	7.5	-270	2.21	22.8
Callao	28/04/94	504	690	0.34	7.6	-180	9.37	23.8
Callao	28/04/94	516	760	0.38	7.2	-240	3.24	24.0
Callao	26/05/94	507	1020	0.51	7.3	-610	1.77	22.3
Callao	26/05/94	542	810	0.40	7.4	-220	1.50	23.2

8.4. ANEXO 4. TABLA DE DATOS DE LOS ANALISIS DE LABORATORIO:

Responsable de los análisis: Quím. Cristina Toro Vilchez.

ZONA	FECHA DE ANALISIS	POZO	HCO ₃ ⁻² ppm	SO ₄ ⁻² ppm	Cl ⁻ ppm	NO ₃ ⁻ ppm	Ca ⁺² ppm	Mg ⁺² ppm	Na ⁺ ppm	K ⁺ ppm
Norte	25/03/94	392	243	296	60	20	174	21	42.0	6.4
Norte	25/03/94	488	222	288	38	25	148	31	29.3	6.8
Norte	25/03/94	431	235.5	281	47	34	136	50	34.3	6.1
Norte	29/03/94	267	241.6	320	53	49	161	41	46.7	8.0
Norte	29/03/94	266	203.7	260	38	42	137	38	28.9	6.6
Norte	29/03/94	145	262.3	323	47	46	179	21	45.7	6.4
Norte	30/03/94	161	256.2	310	47	42	153	42	39.9	7.2
Norte	30/03/94	160	264.7	320	61	56	178	26	50.1	6.6
Norte	30/03/94	303	261.1	299	47	33	156	40	39.2	7.8
Norte	12/04/94	417	223	283	38	25	133	47	31.5	6.9
Norte	12/04/94	144	294	310	52	60	223	26	12.0	9.6
Norte	12/04/94	326	267	325	58	46	169	39	45.0	1.1
Norte	13/04/94	243	229.4	312	44	33	170	21	40.0	3.3
Norte	13/04/94	130	180.6	128	43	60	112	11	28.9	3.6
Norte	13/04/94	408	154.9	102	62	32	94	19	21.1	2.9
Norte	14/04/94	296	208.6	754	62	25	320	51	65.3	5.7
Norte	14/04/94	297	226.9	473	58	41	252	27	41.3	2.5
Norte	14/04/94	34	212	145	47	32	119	17	27.0	2.8
Norte	15/04/94	298	198.9	359	62	51	191	32	33.9	2.6
Norte	15/04/94	299	186.7	374	58	55	191	35	34.3	2.4
Norte	15/04/94	413	186.7	230	104	21	162	28	24.0	2.8
Norte	21/04/94	300	195.2	367	55	38	171	31	40.0	9.2
Norte	21/04/94	407	305	378	99	60	256	34	14.0	7.2
Norte	21/04/94	142	154.9	99	38	39	86	18	20.7	3.1
Norte	22/04/94	99	170.8	117	53	46	99	18	24.7	2.9
Norte	22/04/94	94	186.7	133	67	61	119	22	34.5	3.6
Norte	22/04/94	96	147.6	120	62	46	99	18	21.7	2.9
Norte	07/06/94	257	231.8	370	113	43	238	37	35.4	3.1
Norte	07/06/94	271	186.7	341	77	30	194	31	36.6	4.1
Norte	08/06/94	195	283	246	90	67	146	25	20.0	2.6
Norte	08/06/94	162	157.4	171	71	46	150	14	62.0	2.1
Norte	08/06/94	286	184.2	167	78	58	128	17	33.5	4.4
Norte	09/06/94	348	212	278	39	22	151	29	37.7	2.3
Norte	09/06/94	332	220.8	339	54	31	184	30	41.5	2.3
Norte	09/06/94	172	248.8	564	107	86	292	51	60.0	4.2
Norte	22/06/94	226	239.1	339	49	33	166	30	44.3	2.5
Norte	22/06/94	215	198.9	339	44	30	173	27	34.4	2.4
Norte	22/06/94	252	220.8	276	49	28	158	22	34.6	2.3
Centro	28/04/94	123	196.4	140	62	63	101	32	32.0	4.6
Centro	28/04/94	428	158.6	63	35	16	58	22	24.8	2.5
Centro	28/04/94	445	150.1	77	38	19	65	16	28.1	3.4
Centro	05/05/94	230	206.2	141	50	45	78	20	25.9	4.3
Centro	05/05/94	200	194	127	62	48	115	22	35.0	3.4
Centro	05/05/94	80	195.2	140	53	52	101	30	25.7	3.8
Centro	12/05/94	43	170.8	171	43	27	112	17	26.0	3.2
Centro	12/05/94	100	178.1	148	50	73	112	16	40.0	2.6
Centro	12/05/94	65	180.6	142	48	48	104	14	41.7	3.6
Centro	19/05/94	122	194	105	58	48	94	24	38.0	3.6
Centro	19/05/94	132	183	121	60	57	112	19	28.8	3.4
Centro	19/05/94	121	178.1	100	58	34	76	30	28.9	3.7
Sur	20/05/94	315	178.1	119	110	27	92	28	51.7	4.4
Sur	20/05/94	365	176.9	66	87	8	58	24	24.3	1.9

ZONA	FECHA DE ANALISIS	POZO	HCO ₃ ⁻² PPM	SO ₄ ⁻² PPM	Cl ⁻ PPM	NO ₃ ⁻ PPM	Ca ⁺² PPM	Mg ⁺² PPM	Na ⁺ PPM	K ⁺ PPM
Este	15/03/94	327	250.1	164	47	42	137	24	25.8	4.9
Este	15/03/94	475	250.1	159	47	45	130	35	25.9	4.8
Este	16/03/94	349	169.6	219	160	42	140	30	51.0	6.2
Este	16/03/94	410	124.4	394	354	55	162	49	75.0	8.7
Este	16/03/94	111	214.7	160	47	27	108	26	17.0	3.5
Este	06/05/94	495	152.5	130	36	15	68	19	28.5	3.3
Este	06/05/94	258	184.2	175	43	33	104	16	23.9	3.6
Este	13/05/94	254	194	185	43	30	115	16	23.7	2.1
Este	13/05/94	292	170.8	148	43	30	101	14	27.1	3.3
Este	13/05/94	262	178.1	174	41	15	104	15	22.4	3.2
Este	17/05/94	491	170.8	126	43	15	90	19	35.7	3.7
Este	17/05/94	194	157.4	127	29	18	86	16	27.9	2.9
Este	17/05/94	405	170.8	137	34	18	97	14	19.6	2.2
Este	18/05/94	154	195.2	137	48	18	112	19	21.3	3.6
Este	18/05/94	155	178.1	137	43	23	104	19	28.2	3.4
Este	18/05/94	374	209.8	163	48	19	115	22	32.2	4.0
Este	14/06/94	176	168.4	129	118	21	76	32	23.7	2.8
Este	14/06/94	218	176.9	113	48	18	93	16	25.8	2.7
Este	14/06/94	283	209.8	114	62	35	119	8	46.0	2.9
Este	15/06/94	182	208.6	137	67	29	143	8	22.9	3.0
Este	15/06/94	339	222	166	77	34	153	8	23.1	3.5
Este	15/06/94	479	114.7	317	187	26	135	25	119.0	6.9
Este	16/06/94	164	179.3	134	58	25	101	22	23.1	3.0
Este	16/06/94	426	147.6	100	62	16	80	19	24.8	2.5
Este	17/06/94	261	203.7	175	50	17	133	13	18.0	3.1
Este	17/06/94	356	205	156	58	32	128	15	26.1	3.0
Este	17/06/94	146	117.1	179	178	22	126	18	22.2	5.5
Este	21/06/94	486	173.2	178	144	46	144	32	51.3	3.4
Este	21/06/94	213	180.6	191	117	70	132	32	37.5	3.8
Este	23/06/94	395	173.2	109	67	17	93	17	35.1	2.6
Este	23/06/94	492	184.2	93	67	26	97	14	29.2	2.8
Este	23/06/94	320	214.7	172	91	36	148	26	35.7	6.3
Oeste	17/03/94	115	203.7	166	47	22	115	22	27.0	3.4
Oeste	17/03/94	114	207.4	157	57	25	108	22	30.5	4.6
Oeste	17/03/94	129	223	145	52	23	112	24	26.0	3.6
Oeste	18/03/94	375	222	235	311	44	241	46	36.0	3.7
Oeste	18/03/94	167	220.8	166	47	24	115	24	27.0	3.5
Oeste	18/03/94	409	186.7	156	38	27	104	23	27.0	3.0
Oeste	22/03/94	10	198.9	152	43	28	112	24	21.6	3.0
Oeste	22/03/94	174	192.8	146	52	27	115	16	32.2	4.2
Oeste	22/03/94	175	195.2	140	47	24	112	19	25.5	4.3
Oeste	23/03/94	499	196.4	130	52	22	101	22	28.2	3.9
Oeste	23/03/94	17	203.7	172	47	31	122	19	25.7	3.9
Oeste	23/03/94	443	200.1	124	47	23	104	22	24.8	3.5
Oeste	24/03/94	210	248	257	90	44	173	46	40.1	7.0
Oeste	24/03/94	387	241.6	265	61	31	158	35	39.9	5.7
Oeste	24/03/94	77	196.4	143	42	24	108	24	23.8	4.0
Oeste	05/04/94	411	206.2	162	47	25	101	32	35.0	4.5
Oeste	05/04/94	233	307.4	214	226	98	220	43	73.9	11.0
Oeste	05/04/94	232	290.4	263	349	136	256	65	122.0	10.2
Oeste	07/04/94	600	209.8	146	52	24	104	32	29.2	4.5
Oeste	07/04/94	471	255	287	245	43	263	32	67.0	5.8
Oeste	26/04/94	318	200.1	146	42	28	108	22	23.3	4.6
Oeste	26/04/94	441	211.1	151	47	21	112	16	29.0	3.7
Callao	06/04/94	525	150.1	92	43	17	58	32	23.4	2.7
Callao	06/04/94	547	118.3	92	43	12	43	32	21.3	2.8
Callao	06/04/94	402	157.4	102	48	33	72	32	13.1	2.7
Callao	08/04/94	532	148.8	113	48	23	58	38	26.6	2.2
Callao	08/04/94	533	167.1	108	74	25	83	30	28.7	2.9
Callao	08/04/94	505	200.1	251	835	17	396	95	118.0	19.9
Callao	19/04/94	518	206.2	119	72	21	94	31	32.6	4.0
Callao	19/04/94	503	122	89	77	20	68	30	26.0	3.2
Callao	20/04/94	510	159.8	116	53	26	72	31	24.1	2.5
Callao	20/04/94	511	157.4	102	58	33	76	30	22.1	1.6
Callao	20/04/94	513	162.3	113	48	30	68	30	26.0	2.8
Callao	29/04/94	504	128.1	105	72	20	92	16	22.2	2.7
Callao	29/04/94	516	181.8	129	62	16	94	22	22.5	2.9
Callao	27/05/94	507	170.8	99	163	28	133	22	31.2	4.1
Callao	27/05/94	542	178.1	115	91	23	76	43	36.2	3.2

8.5. ANEXO 5. TABLA DE DATOS DE LOS ANALISIS ESPECTROMETRICOS.

Responsable de los análisis: Quím. Cristina Toro Vilchez.

ZONA	FECHA DE RECEPCION	FECHA DE ANALISIS	POZO	CONCENTRACION DE PLOMO EN ppm (µg/l)
Norte	04/05/94	08/05/94	286	0.0054
Norte	04/05/94	08/05/94	215	0.0072
Norte	04/05/94	08/05/94	172	0.0055
Norte	04/05/94	08/05/94	195	0.0088
Norte	04/05/94	08/05/94	252	0.0077
Norte	05/05/94	08/05/94	145	0.0078
Norte	05/05/94	08/05/94	488	0.0036
Norte	05/05/94	08/05/94	326	0.0079
Norte	05/05/94	08/05/94	298	0.0047
Norte	05/05/94	08/05/94	299	0.0079
Norte	11/05/94	15/05/94	162	0.0095
Norte	11/05/94	15/05/94	267	0.0041
Norte	11/05/94	15/05/94	408	0.0059
Norte	11/05/94	15/05/94	161	0.0104
Norte	11/05/94	15/05/94	348	0.0102
Norte	12/05/94	15/05/94	271	0.0107
Norte	12/05/94	15/05/94	413	0.0110
Norte	12/05/94	15/05/94	332	0.0113
Norte	12/05/94	15/05/94	130	0.0124
Centro	19/05/94	22/05/94	65	0.0067
Centro	19/05/94	22/05/94	132	0.0057
Centro	19/05/94	22/05/94	100	0.0083
Centro	19/05/94	22/05/94	200	0.0031
Centro	19/05/94	22/05/94	122	0.0121
Centro	19/05/94	22/05/94	445	0.0116
Sur	18/05/94	22/05/94	365	0.0046
Sur	18/05/94	22/05/94	315	0.0124
Este	02/06/94	05/06/94	182	0.0048
Este	02/06/94	05/06/94	356	0.0093
Este	02/06/94	05/06/94	213	0.0094
Este	02/06/94	05/06/94	492	0.0077
Este	02/06/94	05/06/94	320	0.0070
Este	07/06/94	12/06/94	395	0.0075
Este	07/06/94	12/06/94	426	0.0050
Este	07/06/94	12/06/94	339	0.0088
Este	07/06/94	12/06/94	258	0.0072
Este	07/06/94	12/06/94	349	0.0049
Este	08/06/94	12/06/94	327	0.0093
Este	08/06/94	12/06/94	491	0.0124
Este	08/06/94	12/06/94	194	0.0111
Este	08/06/94	12/06/94	262	0.0125
Este	08/06/94	12/06/94	486	0.0121
Este	08/06/94	12/06/94	495	0.0092
Oeste	15/06/94	19/06/94	114	0.0072
Oeste	15/06/94	19/06/94	77	0.0089
Oeste	15/06/94	19/06/94	232	0.0026
Oeste	15/06/94	19/06/94	233	0.0035
Oeste	15/06/94	19/06/94	174	0.0027
Oeste	16/06/94	19/06/94	409	0.0053
Oeste	16/06/94	19/06/94	375	0.0026
Oeste	16/06/94	19/06/94	387	0.0104
Oeste	16/06/94	19/06/94	17	0.0120
Oeste	16/06/94	19/06/94	443	0.0132
Oeste	16/06/94	19/06/94	499	0.0132
Callao	22/06/94	26/06/94	504	0.0038
Callao	22/06/94	26/06/94	516	0.0072
Callao	22/06/94	26/06/94	510	0.0066
Callao	22/06/94	26/06/94	513	0.0075
Callao	23/06/94	26/06/94	525	0.0027
Callao	23/06/94	26/06/94	532	0.0093
Callao	23/06/94	26/06/94	505	0.0100
Callao	23/06/94	26/06/94	507	0.0102

8.6 ANEXO 6. PLANOS Y SECCIONES:**Responsable de la edición de planos y secciones:****Bach. Carlos Agreda Minaya.**

CODIGO DEL PLANO	DESCRIPCION DEL PLANO
P-01	Plano de ubicación de los ríos, límites del área de agua subterránea en los valles y geología en Lima Metropolitana.
P-02	Plano de distribución zonal para el estudio de las aguas subterráneas en el acuífero de Lima Metropolitana.
P-03	Plano de ubicación de los pozos de observación piezométrica existentes para el acuífero de Lima Metropolitana.
P-04	Plano de ubicación de las muestras hidroquímicas recolectadas para el estudio geoquímico del acuífero de Lima Metropolitana.
P-05	Plano de distribución de los tipos hidroquímicos de agua subterránea presentes en el acuífero de Lima Metropolitana.
P-06	Plano de distribución de las concentraciones de sulfatos presentes en el acuífero de Lima Metropolitana.
P-07	Plano de distribución de las concentraciones de cloruros presentes en el acuífero de Lima Metropolitana.
P-08	Plano de distribución de las concentraciones de nitratos presentes en el acuífero de Lima Metropolitana.
P-09	Plano de ubicación de las muestras hidroquímicas recolectadas para el estudio geoquímico del plomo en el acuífero de Lima Metropolitana.
P-10	Plano de distribución de las concentraciones de plomo presentes en el acuífero de Lima Metropolitana.

CODIGO DE LA SECCION	DESCRIPCION DE LA SECCION
S-01	Cambios geoquímicos en las concentraciones de Eh, oxígeno disuelto, nitratos y sulfatos a lo largo de la dirección de flujo de las aguas subterráneas en las secciones longitudinales AA' y BB'.
S-02	Cambios geoquímicos en las concentraciones de Eh, oxígeno disuelto, nitratos y sulfatos a lo largo de la dirección de flujo de las aguas subterráneas en las secciones longitudinales CC' y DD'.
S-03	Cambios geoquímicos en las concentraciones de pH, bicarbonatos, calcio y magnesio a lo largo de la dirección de flujo de las aguas subterráneas en las secciones longitudinales AA' y BB'.
S-04	Cambios geoquímicos en las concentraciones de pH, bicarbonatos, calcio y magnesio a lo largo de la dirección de flujo de las aguas subterráneas en las secciones longitudinales CC' y DD'.

NOTA: ver los planos mencionados arriba mencionados en el sobre adjunto al final del informe.

264,000E 268,000E 272,000E 276,000E 280,000E 284,000E 288,000E 292,000E 296,000E

8'696,000N

77°07'30"W

77°00'00"W

76°52'30"W

8'692,000N

8'688,000N

11°52'30"S

8'684,000N

8'680,000N

8'676,000N

8'672,000N

12°00'00"S

8'668,000N

8'664,000N

8'660,000N

12°07'30"S

8'656,000N

8'652,000N

8'648,000N

8'644,000N



FUENTE NEGRA

RIO CHILLOM

RIO RIMAC

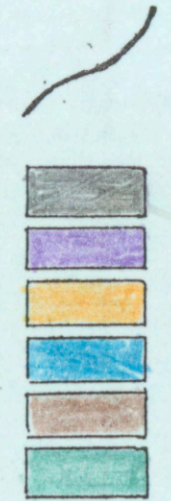
LIMA

MAGDALENA

LEYENDA

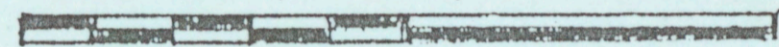
Curvas de nivel de concentración de plomo expresados en ppm (mg/l).

- Concentraciones Mayores de 0.0140 ppm.
- Desde 0.0120 ppm. hasta 0.0140 ppm.
- Desde 0.0100 ppm. hasta 0.0120 ppm.
- Desde 0.0080 ppm. hasta 0.0100 ppm.
- Desde 0.0060 ppm. hasta 0.0080 ppm.
- Concentraciones Menores de 0.0060 ppm.



Límite del acuífero.

0 1 2 3 4 5 10Km



"GEOQUIMICA DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA"

PLANO DE DISTRIBUCION DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO PRESENTES EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA

Dibujado por:
Bach. Carlos Agreda Minaya

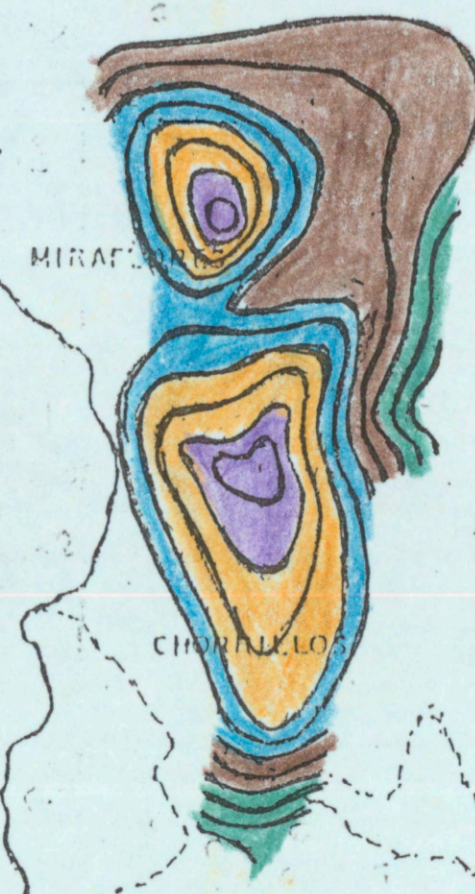
Fecha:
Diciembre 1994

PLANO:

Aprobado por:
Lic. Atilio Mendoza Apolaya

Escala:
1 / 100,000

P-10



264,000 E 268,000 E 272,000 E 276,000 E 280,000 E 284,000 E 288,000 E 292,000 E 296,000 E

8'696,000 N

8'692,000 N

8'688,000 N

8'684,000 N

8'680,000 N

8'676,000 N

8'672,000 N

8'668,000 N

8'664,000 N

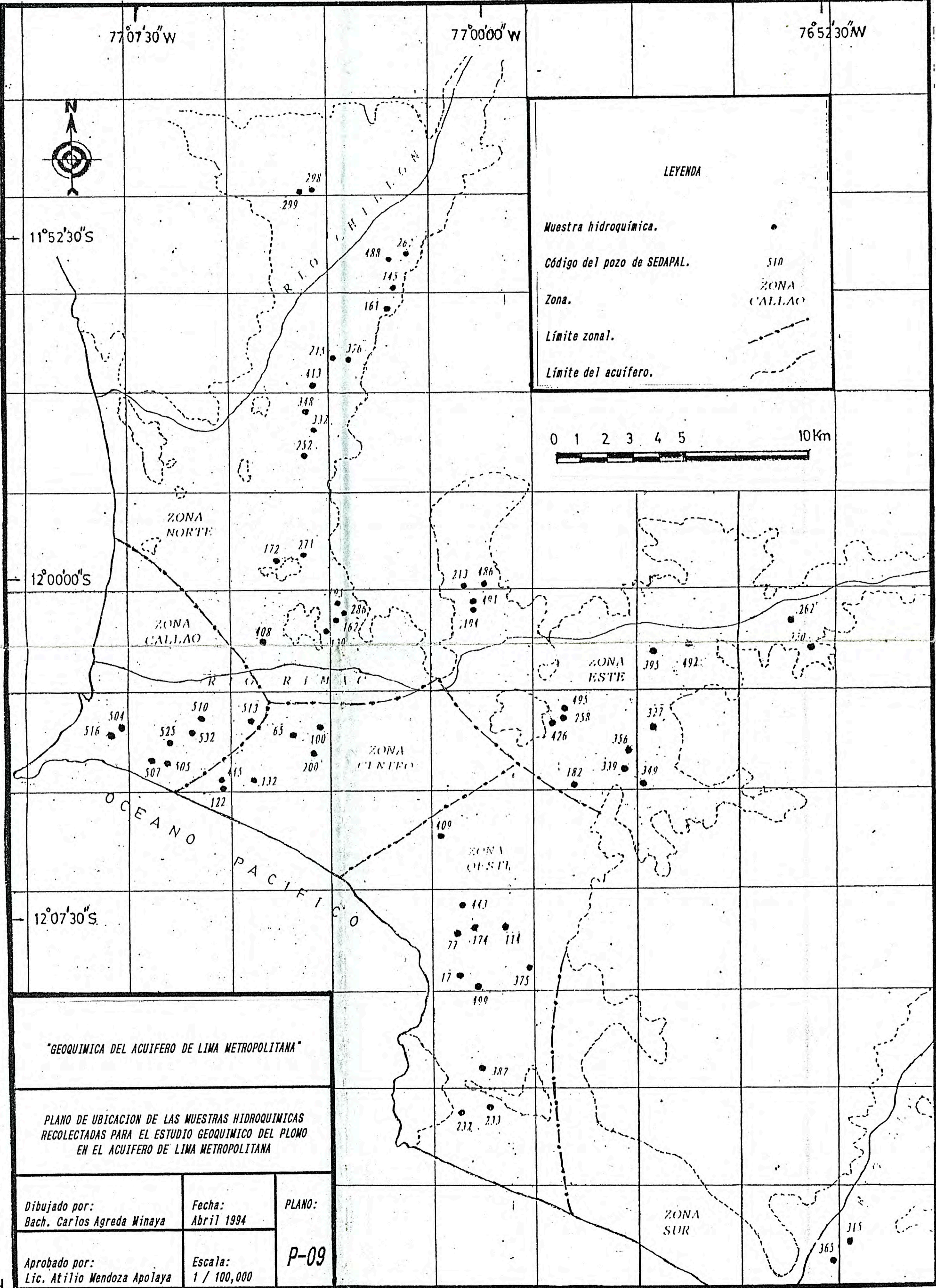
8'660,000 N

8'656,000 N

8'652,000 N

8'648,000 N

8'644,000 N



"GEOQUIMICA DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA"

PLANO DE UBICACION DE LAS MUESTRAS HIDROQUIMICAS RECOLECTADAS PARA EL ESTUDIO GEOQUIMICO DEL PLOMO EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA

Dibujado por: Bach. Carlos Agreda Minaya	Fecha: Abril 1994	PLANO: P-09
Aprobado por: Lic. Atilio Mendoza Apolaya	Escala: 1 / 100,000	

264,000E 268,000E 272,000E 276,000E 280,000E 284,000E 288,000E 292,000E 296,000E

77°07'30"W 77°00'0"W 76°52'30"W

8'692,000N

8'688,000N

8'684,000N

8'680,000N

8'676,000N

8'672,000N

8'668,000N

8'664,000N

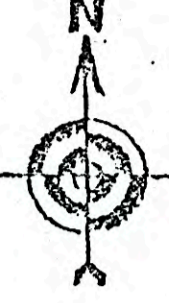
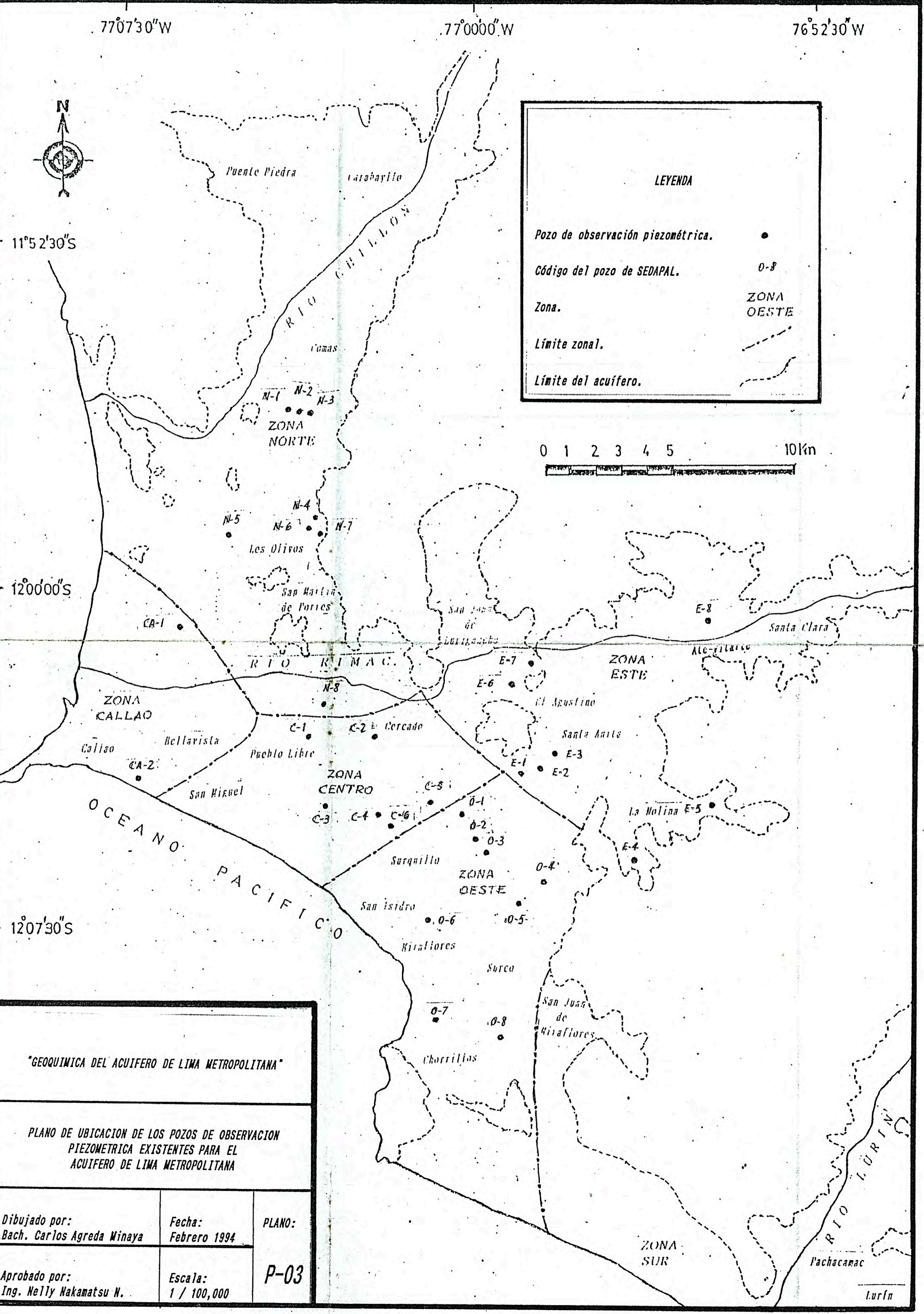
8'660,000N

8'656,000N

8'652,000N

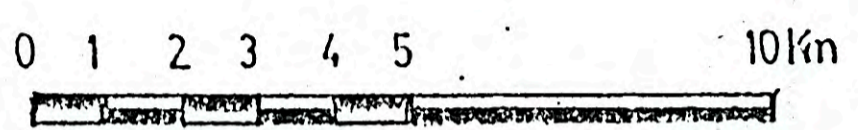
8'648,000N

8'644,000N



LEYENDA

- Pozo de observación piezométrica. ●
- Código del pozo de SEDAPAL. O-8
- Zona. ZONA OESTE
- Límite zonal. - - - - -
- Límite del acuífero. - - - - -



"GEOQUIMICA DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA"

PLANO DE UBICACION DE LOS POZOS DE OBSERVACION PIEZOMETRICA EXISTENTES PARA EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA

Dibujado por: Bach. Carlos Agreda Minaya	Fecha: Febrero 1994	PLANO: P-03
Aprobado por: Ing. Nelly Nakamatsu N.	Escala: 1 / 100,000	

264,000E 268,000E 272,000E 276,000E 280,000E 284,000E 288,000E 292,000E 296,000E

77°07'30"W 77°00'00"W 76°52'30"W

8'692,000N

8'688,000N

8'684,000N

8'680,000N

8'676,000N

8'672,000N

8'668,000N

8'664,000N

8'660,000N

8'656,000N

8'652,000N

8'648,000N

8'644,000N



11°52'30"S

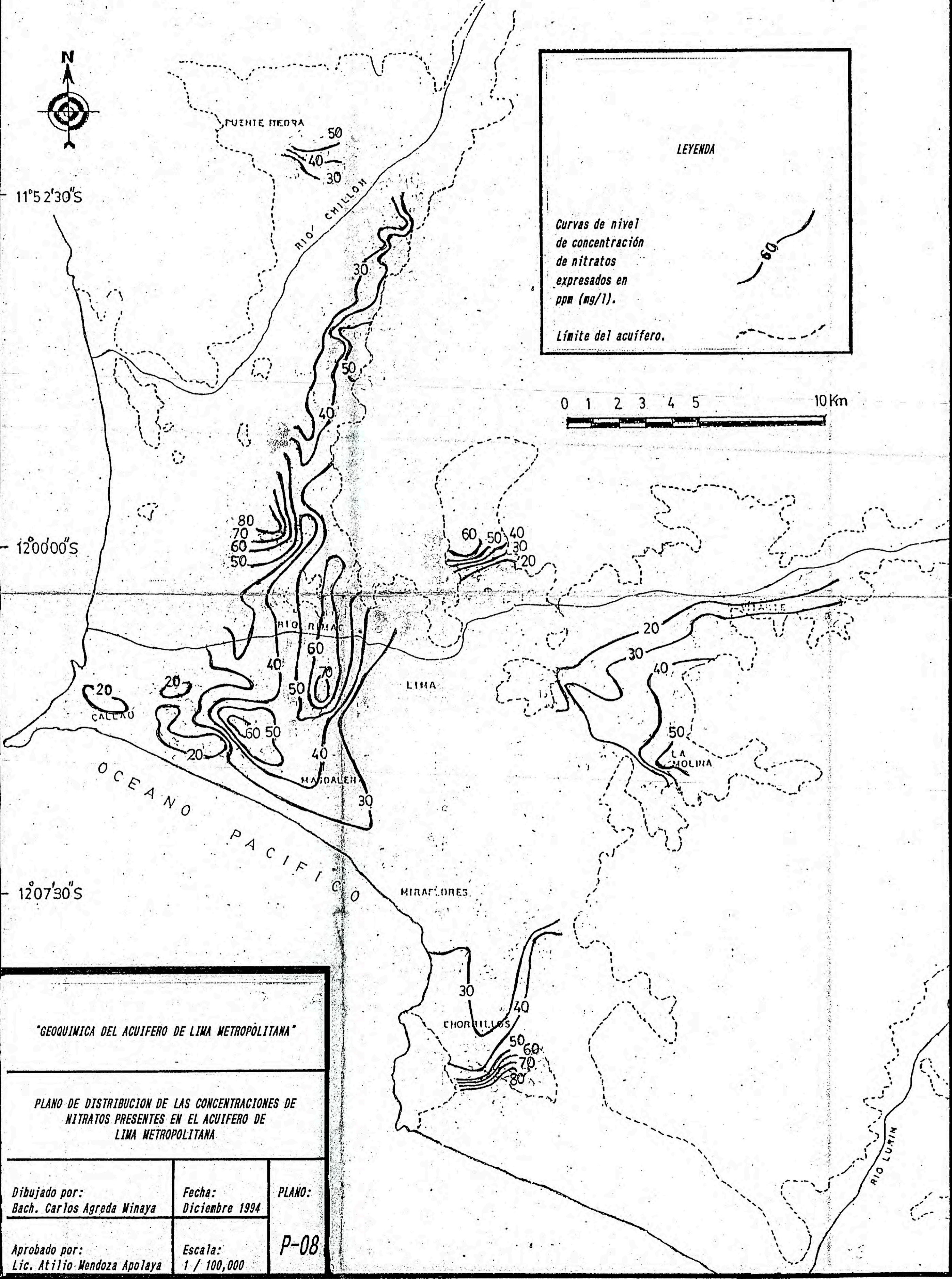
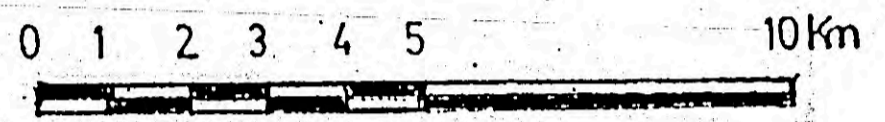
12°00'00"S

12°07'30"S

LEYENDA

Curvas de nivel de concentración de nitratos expresados en ppm (mg/l).

Límite del acuífero.



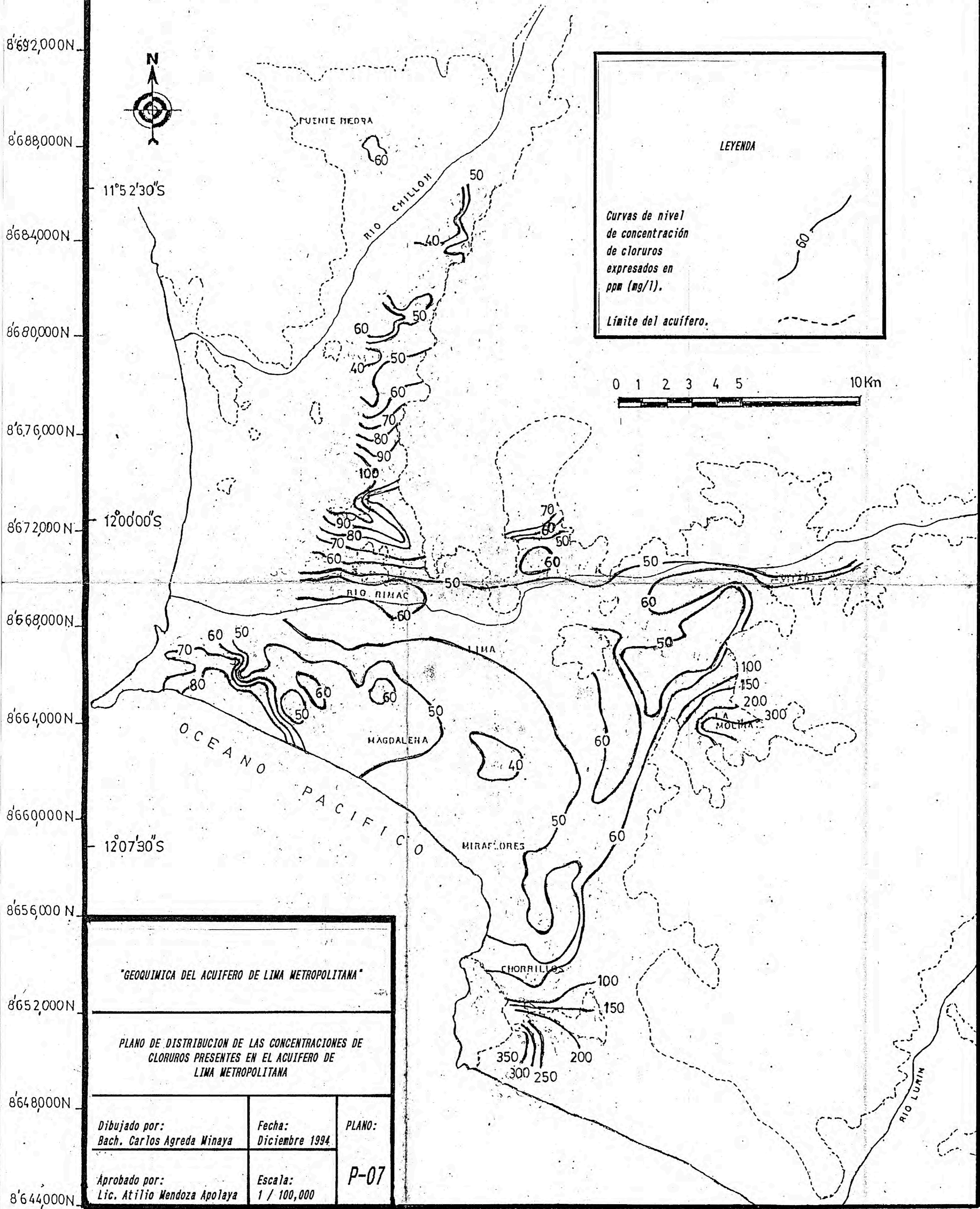
"GEOQUÍMICA DEL ACUÍFERO DE LIMA METROPOLITANA"

PLANO DE DISTRIBUCION DE LAS CONCENTRACIONES DE NITRATOS PRESENTES EN EL ACUÍFERO DE LIMA METROPOLITANA

Dibujado por: Bach. Carlos Agreda Winaya	Fecha: Diciembre 1994	PLANO: P-08
Aprobado por: Lic. Atilio Mendoza Apolaya	Escala: 1 / 100,000	

264,000E 268,000E 272,000E 276,000E 280,000E 284,000E 288,000E 292,000E 296,000E

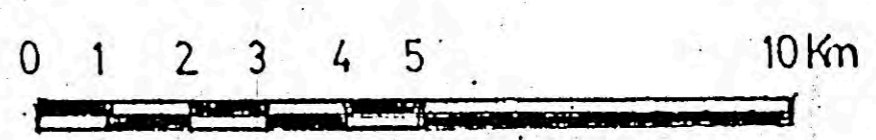
8'696,000N 77°07'30"W 77°00'00"W 76°52'30"W



LEYENDA

Curvas de nivel de concentración de cloruros expresados en ppm (mg/l).

Límite del acuífero.



"GEOQUIMICA DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA"

PLANO DE DISTRIBUCION DE LAS CONCENTRACIONES DE CLORUROS PRESENTES EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA

Dibujado por: Bach. Carlos Agreda Minaya	Fecha: Diciembre 1994.	PLANO: P-07
Aprobado por: Lic. Atilio Mendoza Apolaya	Escala: 1 / 100,000	

264,000E 268,000E 272,000E 276,000E 280,000E 284,000E 288,000E 292,000E 296,000E

8'696,000N 77°07'30"W 77°00'00"W 76°52'30"W

8'692,000N

8'688,000N

8'684,000N

8'680,000N

8'676,000N

8'672,000N

8'668,000N

8'664,000N

8'660,000N

8'656,000N

8'652,000N

8'648,000N

8'644,000N



11°52'30"S

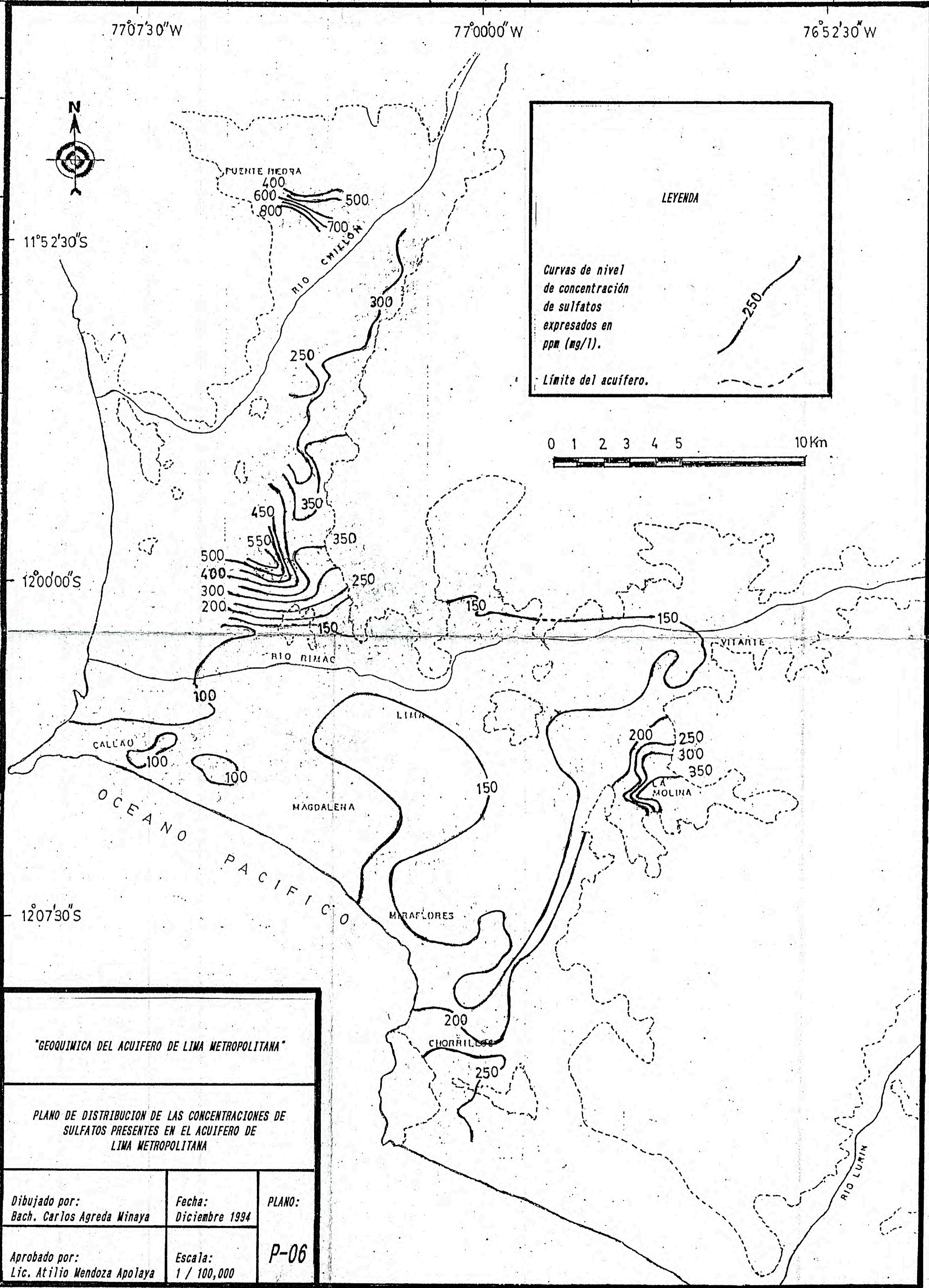
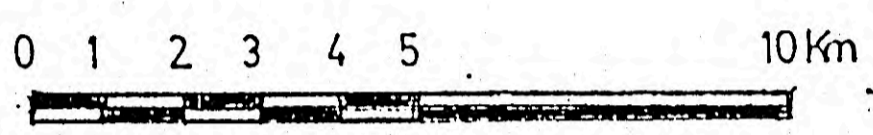
12°00'00"S

12°07'30"S

LEYENDA

Curvas de nivel de concentración de sulfatos expresados en ppm (mg/l).

Límite del acuífero.



"GEOQUIMICA DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA"

PLANO DE DISTRIBUCION DE LAS CONCENTRACIONES DE SULFATOS PRESENTES EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA

Dibujado por: Bach. Carlos Agreda Minaya	Fecha: Diciembre 1994	PLANO: P-06
Aprobado por: Lic. Atilio Mendoza Apolaya	Escala: 1 / 100,000	





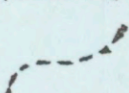
264,000 E 268,000 E 272,000 E 276,000 E 280,000 E 284,000 E 288,000 E 292,000 E 296,000 E

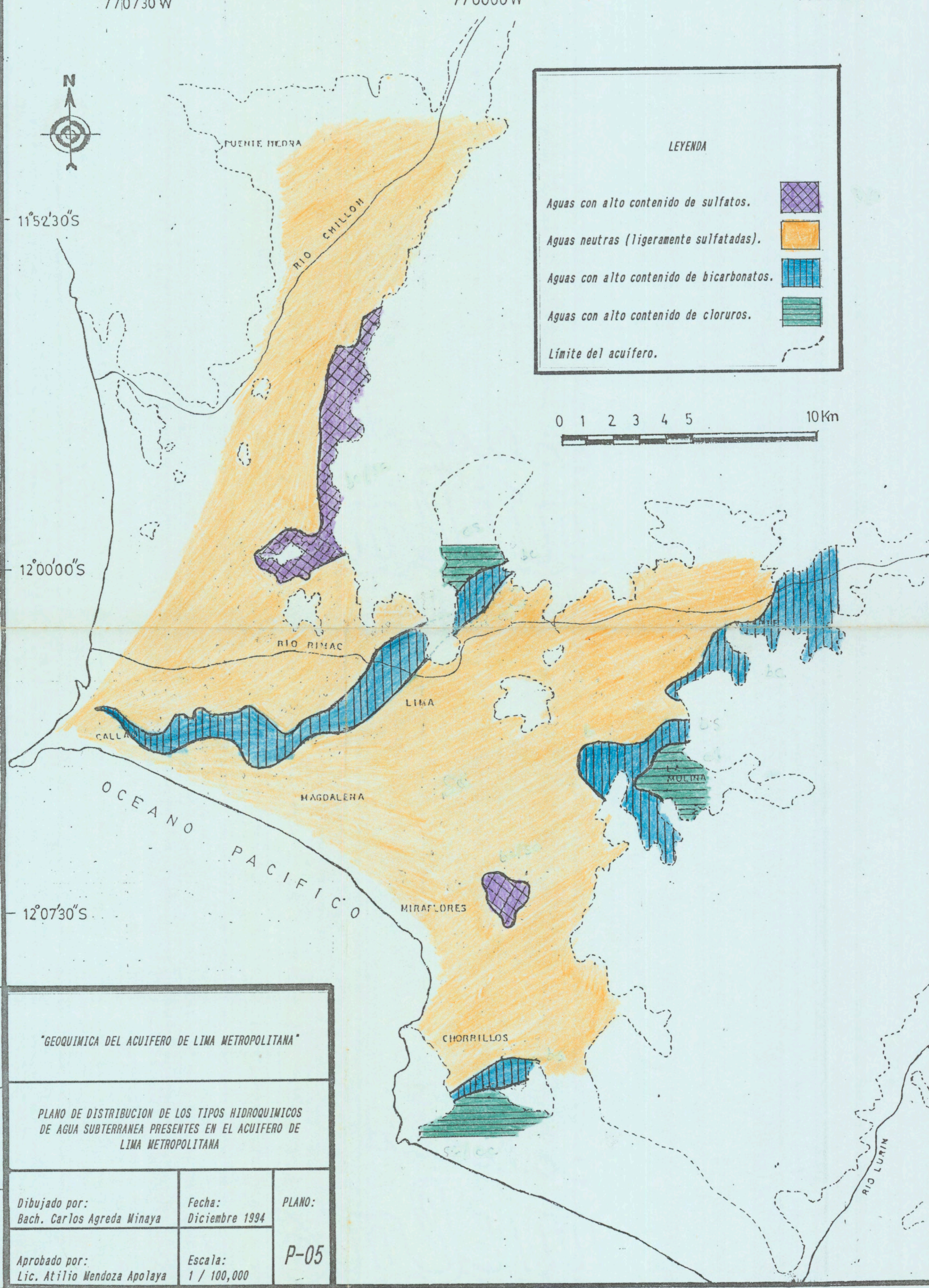
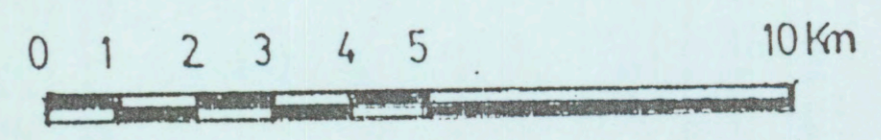
8696,000 N
8692,000 N
8688,000 N
8684,000 N
8680,000 N
8676,000 N
8672,000 N
8668,000 N
8664,000 N
8660,000 N
8656,000 N
8652,000 N
8648,000 N
8644,000 N

77°07'30" W 77°00'00" W 76°52'30" W



LEYENDA

- Aguas con alto contenido de sulfatos. 
- Aguas neutras (ligeramente sulfatadas). 
- Aguas con alto contenido de bicarbonatos. 
- Aguas con alto contenido de cloruros. 
- Límite del acuífero. 



"GEOQUIMICA DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA"

PLANO DE DISTRIBUCION DE LOS TIPOS HIDROQUIMICOS DE AGUA SUBTERRANEA PRESENTES EN EL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA

Dibujado por: Bach. Carlos Agreda Minaya	Fecha: Diciembre 1994	PLANO: P-05
Aprobado por: Lic. Atilio Mendoza Apolaya	Escala: 1 / 100,000	

264,000 E 268,000 E 272,000 E 276,000 E 280,000 E 284,000 E 288,000 E 292,000 E 296,000 E

8692,000 N

8692,000 N

8688,000 N

8684,000 N

8680,000 N

8676,000 N

8672,000 N

8668,000 N

8664,000 N

8660,000 N

8656,000 N

8652,000 N

8648,000 N

8644,000 N

77°07'30" W

77°00'00" W

76°52'30" W



11°52'30" S

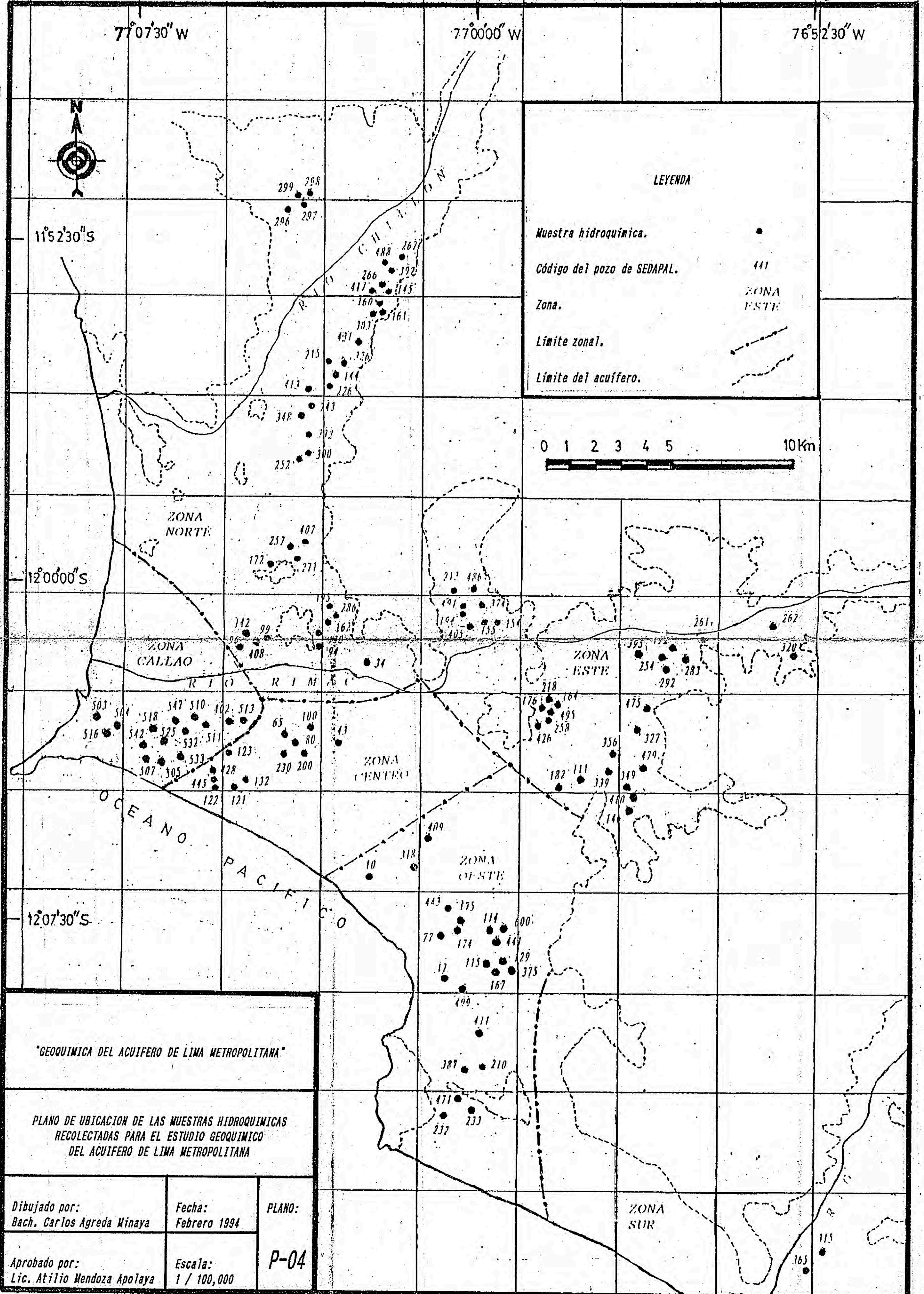
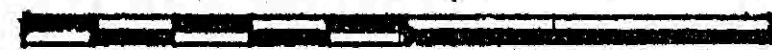
12°00'00" S

12°07'30" S

LEYENDA

- Muestra hidroquímica. ●
- Código del pozo de SEDAPAL. 441
- Zona. ZONA ESTE
- Límite zonal. - - - - -
- Límite del acuífero. - - - - -

0 1 2 3 4 5 10km



"GEOQUIMICA DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA"

PLANO DE UBICACION DE LAS MUESTRAS HIDROQUIMICAS
RECOLECTADAS PARA EL ESTUDIO GEOQUIMICO
DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA

Dibujado por:
Bach. Carlos Agreda Winaya

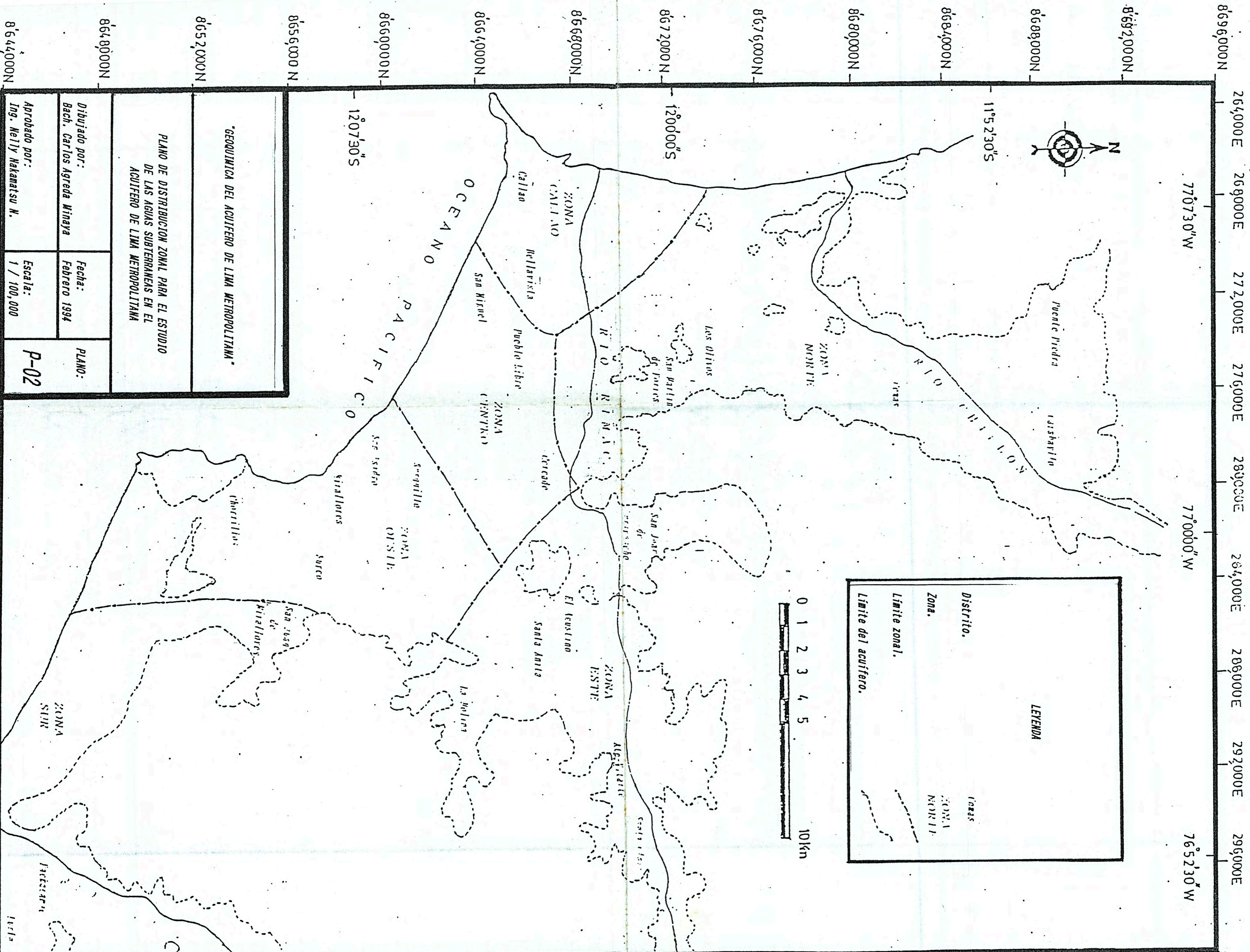
Fecha:
Febrero 1994

PLANO:

Aprobado por:
Lic. Atilio Mendoza Apolaya

Escala:
1 / 100,000

P-04



LEYENDA

- Districto.
- Zona.
- Límite zonal.
- Límite del acuífero.
- Canales
- ZONA NOROCCIDENTAL

"GEOQUÍMICA DEL ACUÍFERO DE LIMA METROPOLITANA"

PLANO DE DISTRIBUCION ZONAL PARA EL ESTUDIO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN EL ACUÍFERO DE LIMA METROPOLITANA

Dibujado por: Bach. Carlos Agreda Minaya	Fecha: Febrero 1994	PLANO: P-02
Aprobado por: Ing. Neilly Nakamatsu N.	Escala: 1 / 100,000	

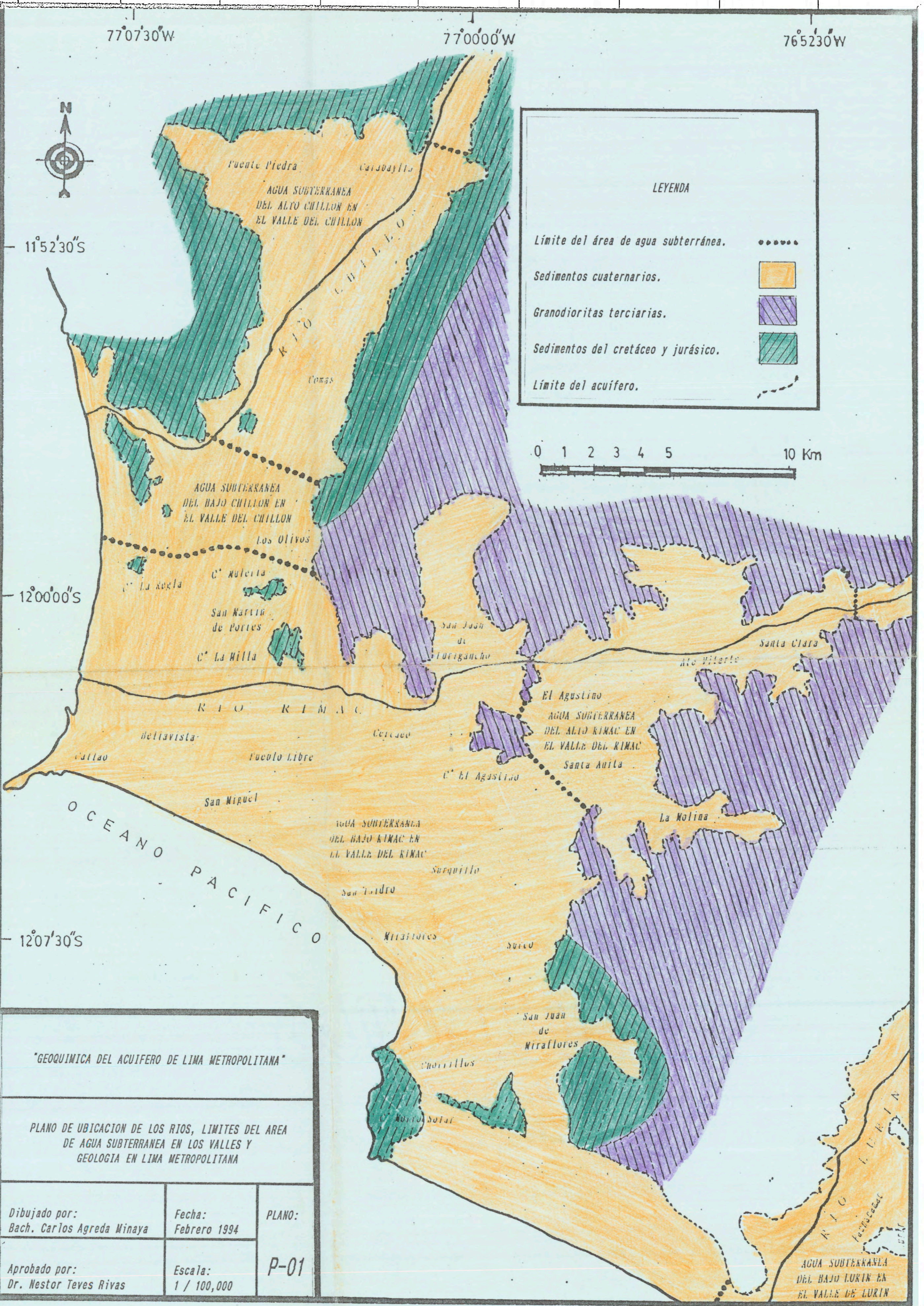
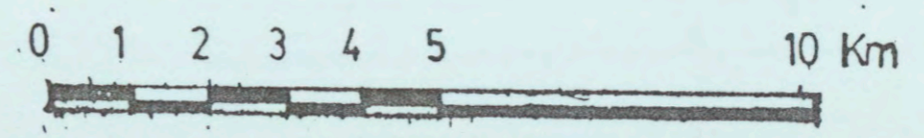
264000E 268000E 272000E 276000E 280000E 284000E 288000E 292000E 296000E

8696000N 770730W 770000W 765230W



LEYENDA

- Límite del área de agua subterránea.
- Sedimentos cuaternarios.
- Granodioritas terciarias.
- Sedimentos del cretáceo y jurásico.
- Límite del acuífero.



"GEOQUINICA DEL ACUIFERO DE LIMA METROPOLITANA"

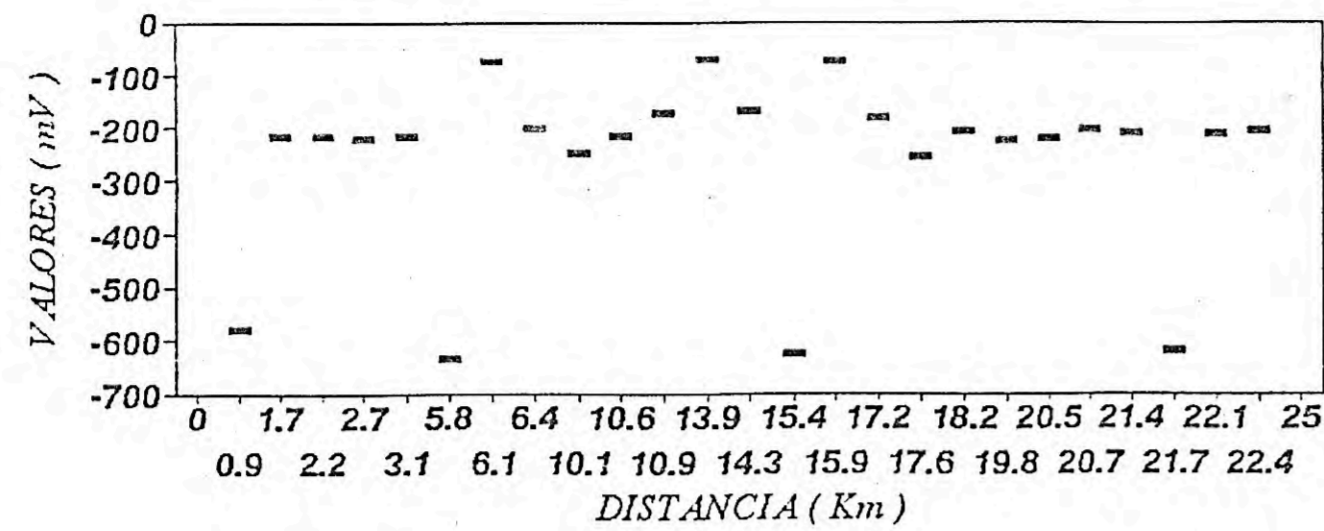
PLANO DE UBICACION DE LOS RIOS, LIMITES DEL AREA DE AGUA SUBTERRANEA EN LOS VALLES Y GEOLOGIA EN LIMA METROPOLITANA

Dibujado por: Bach. Carlos Agreda Minaya	Fecha: Febrero 1994	PLANO:
Aprobado por: Dr. Nestor Teves Rivas	Escala: 1 / 100,000	P-01

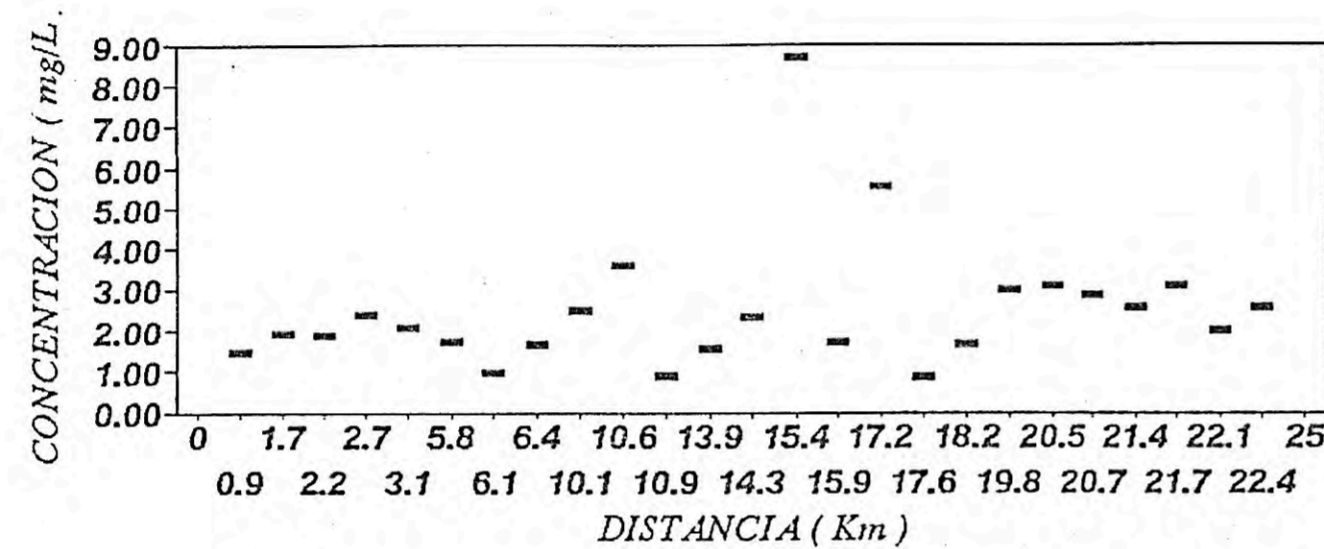
AGUA SUBTERRANEA DEL BAJO LURIN EN EL VALLE DE LURIN

SECCION LONGITUDINAL AA'

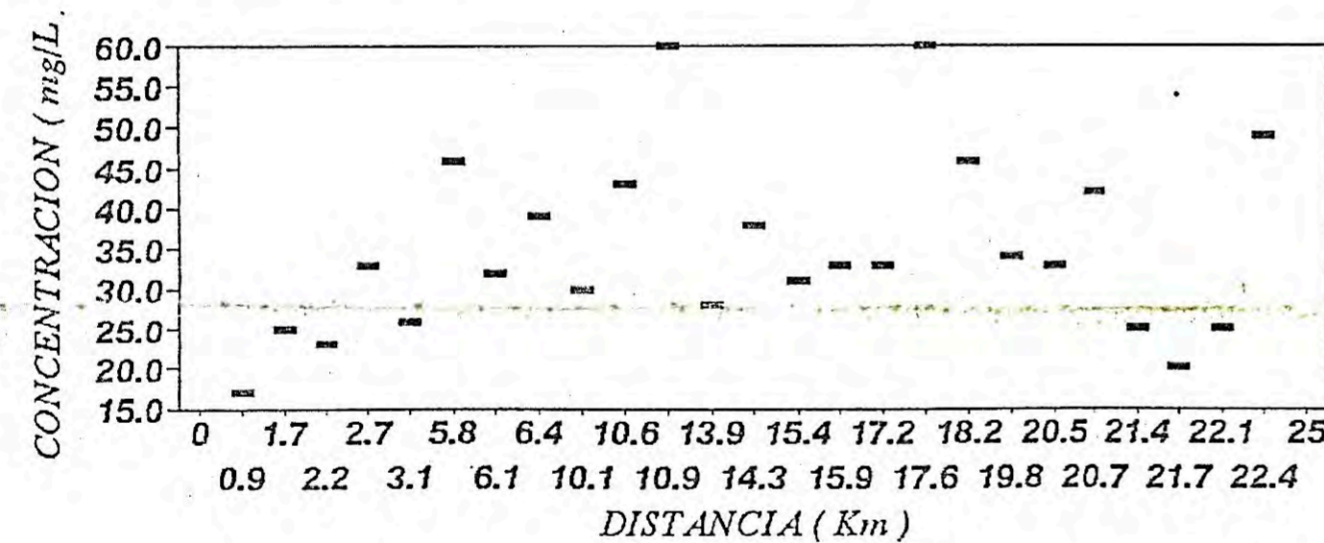
Eh



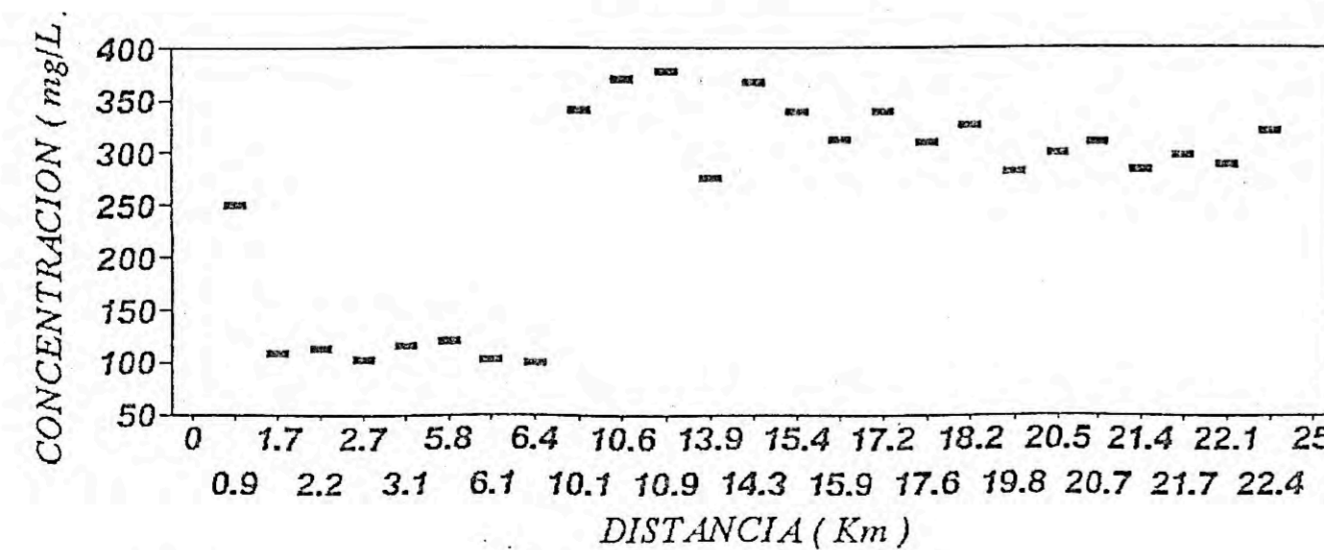
OXIGENO DISUELTO O₂



NITRATOS NO₃

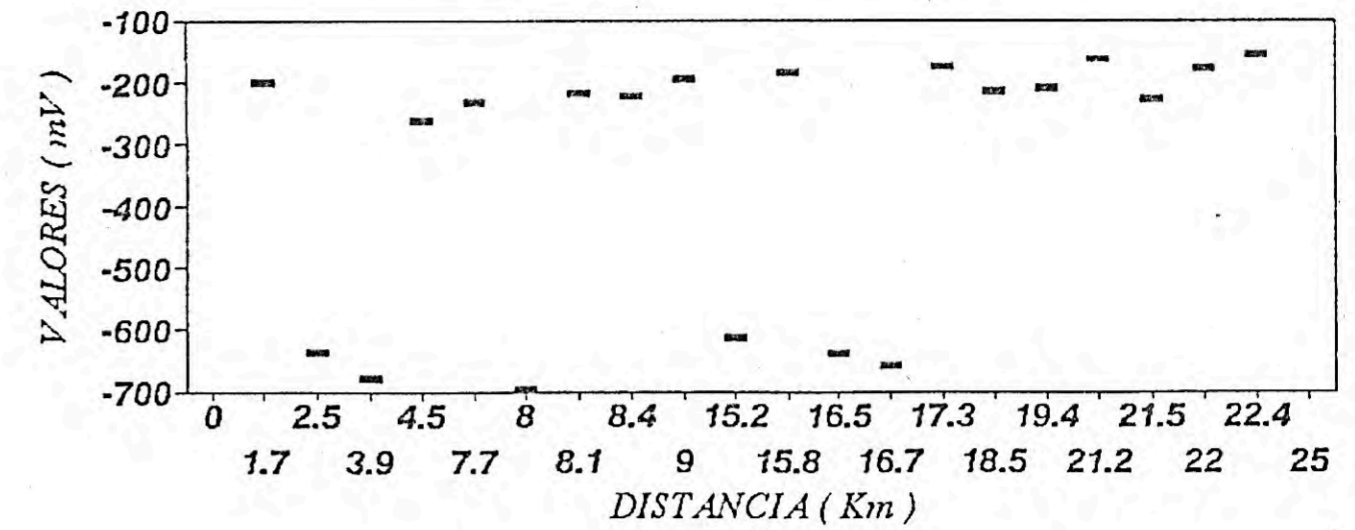


SULFATOS SO₄

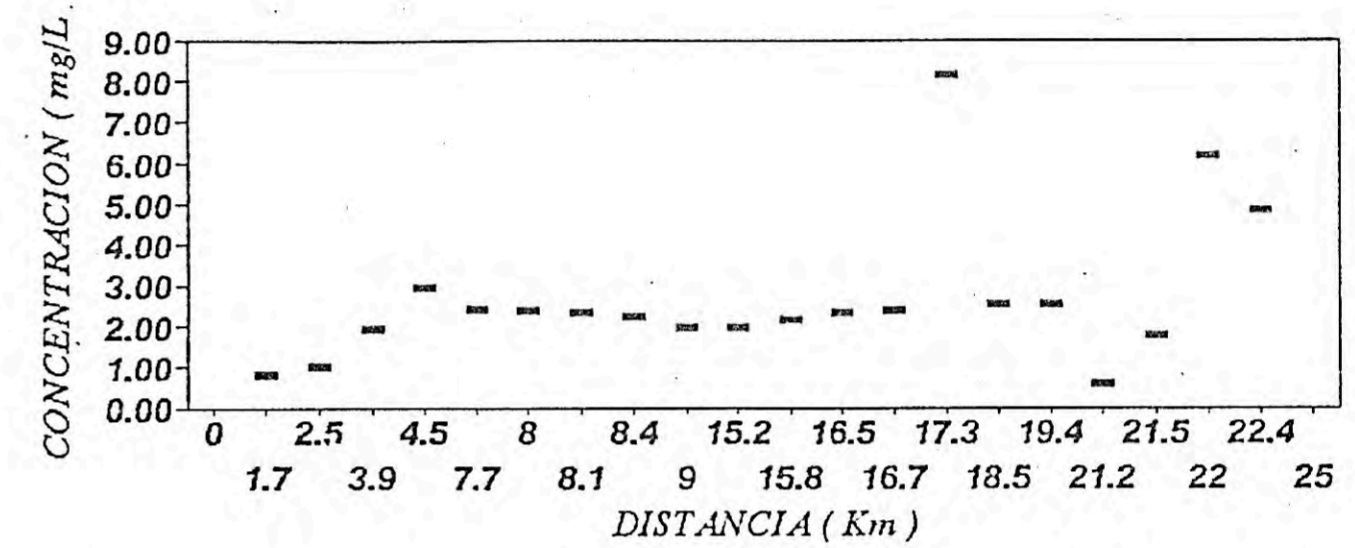


SECCION LONGITUDINAL BB'

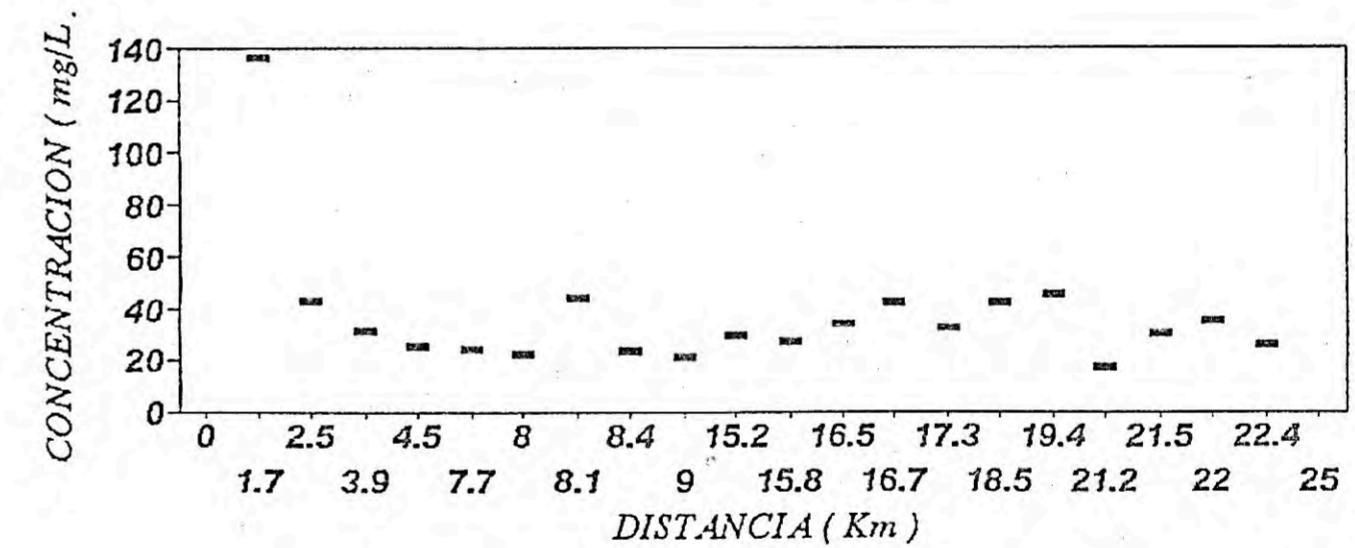
Eh



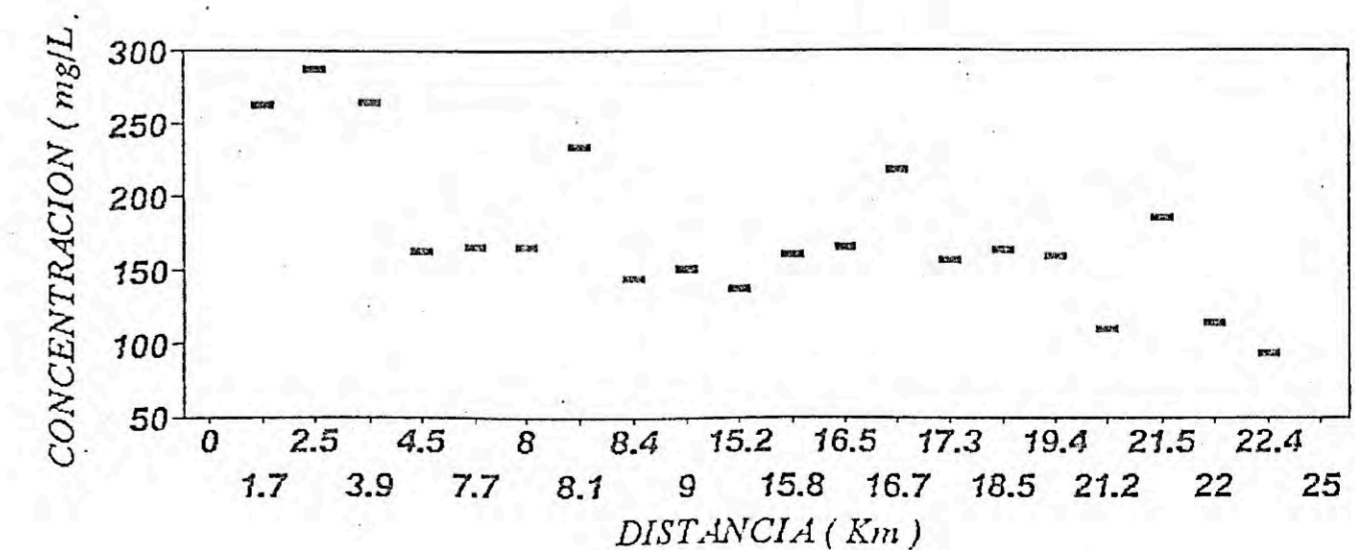
OXIGENO DISUELTO O₂



NITRATOS NO₃



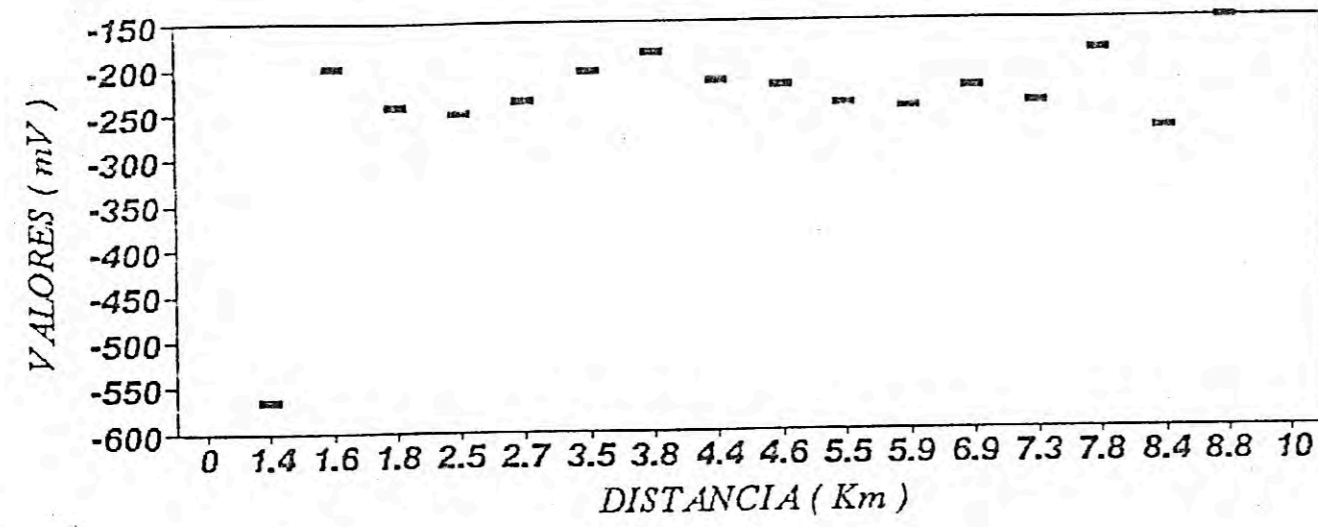
SULFATOS SO₄



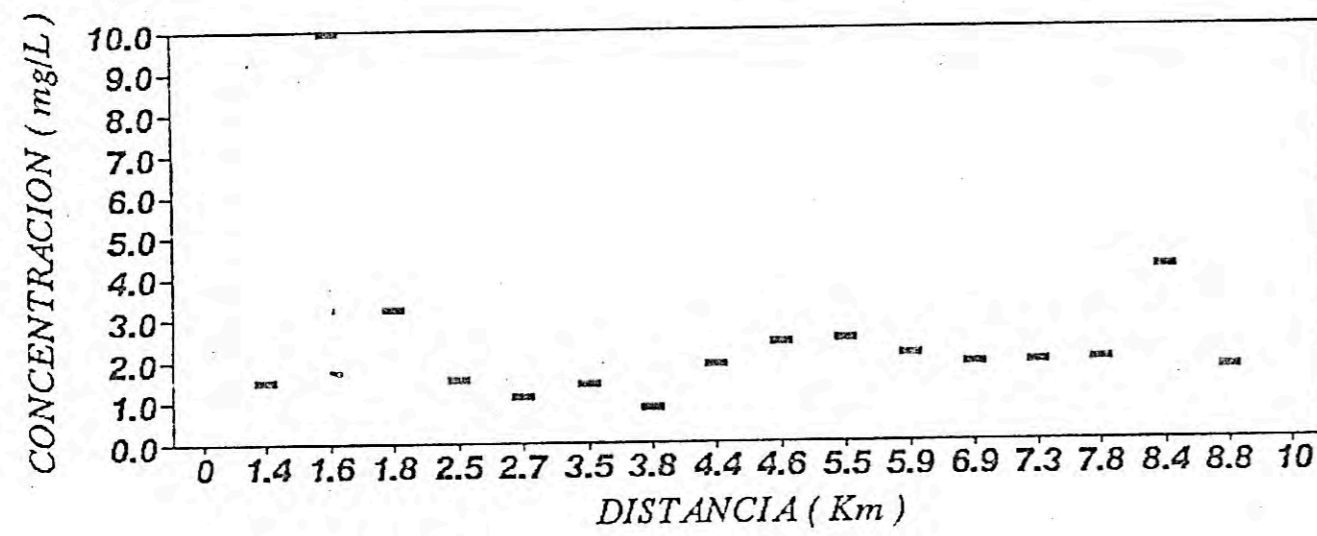
S-01 CAMBIOS GEOQUIMICOS EN LAS CONCENTRACIONES DE EH, OXIGENO DISUELTO, NITRATOS Y SULFATOS A LO LARGO DE LA DIRECCION DE FLUJO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LAS SECCIONES LONGITUDINALES AA' Y BB'.

SECCION LONGITUDINAL CC'

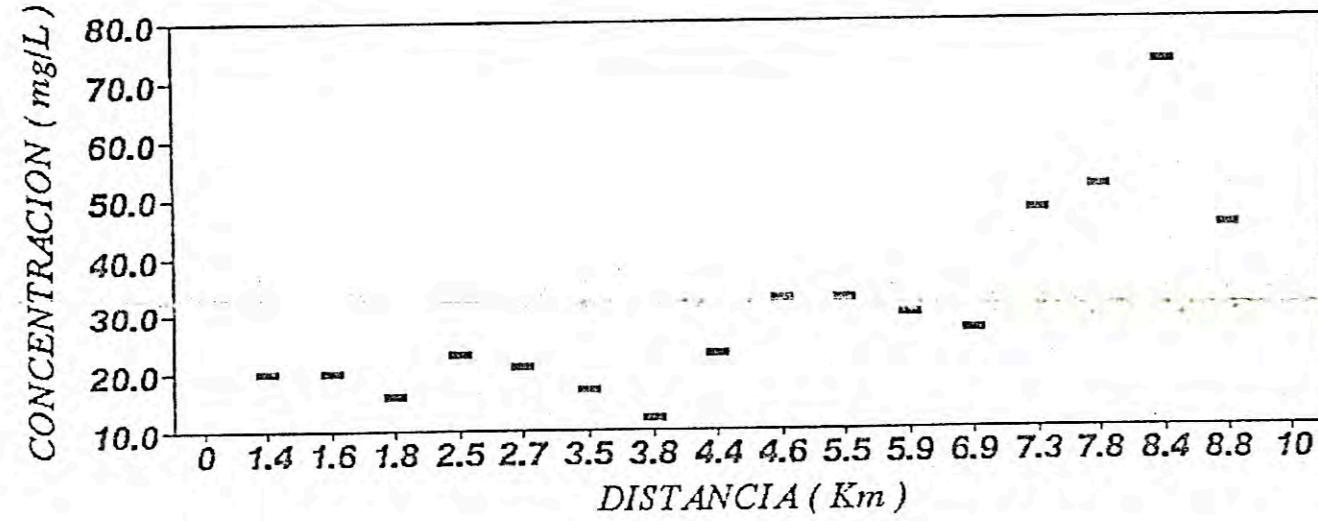
Eh



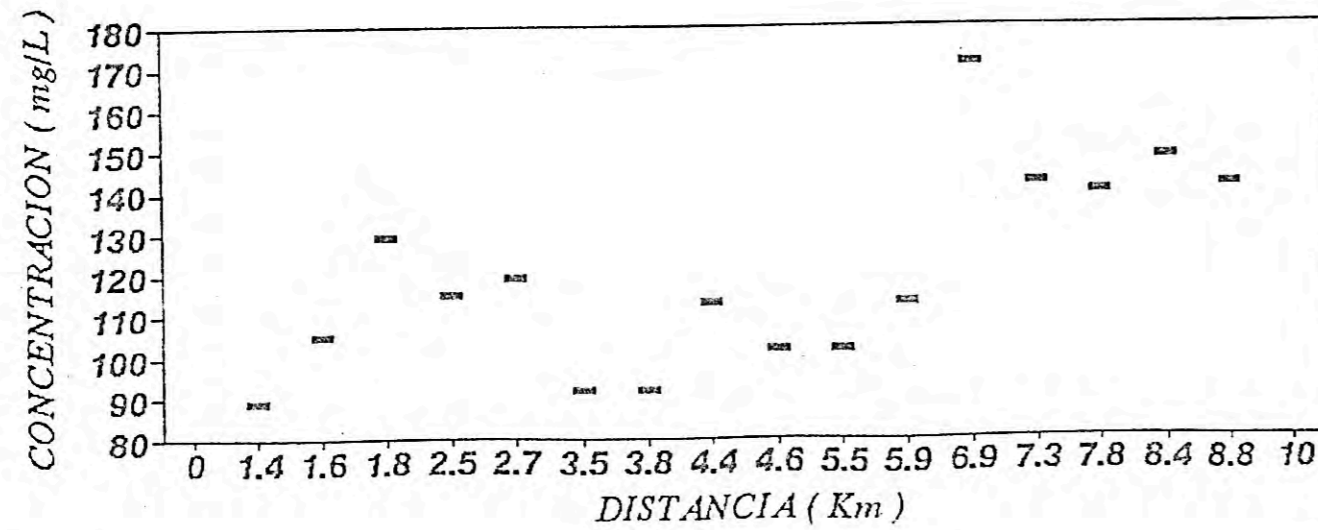
OXIGENO DISUELTO O2



NITRATOS NO3

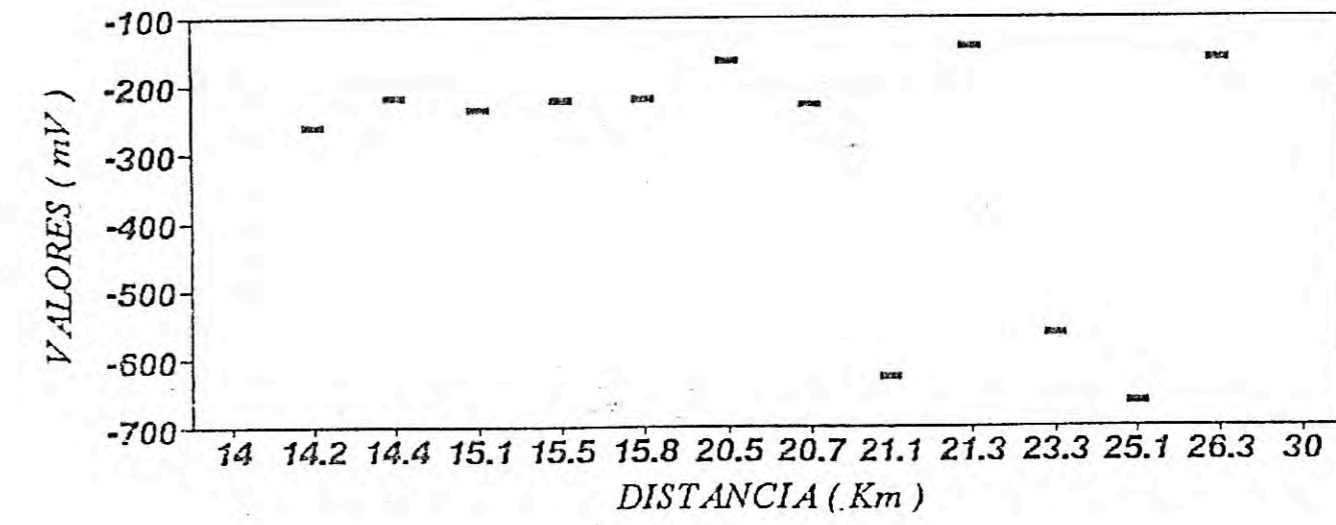


SULFATOS SO4

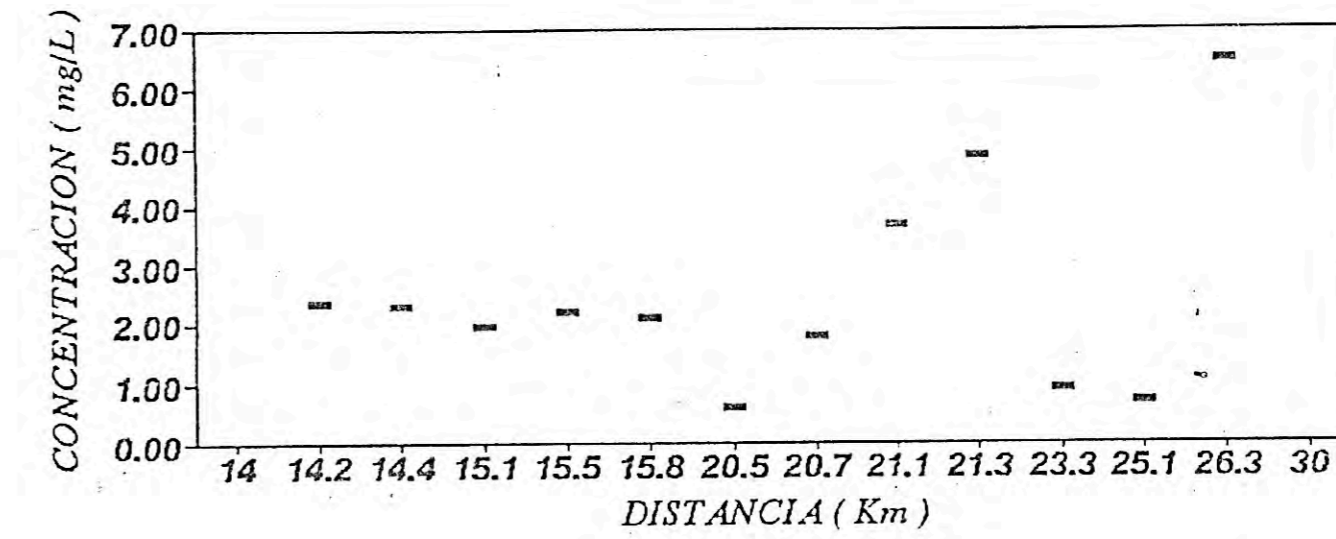


SECCION LONGITUDINAL DD'

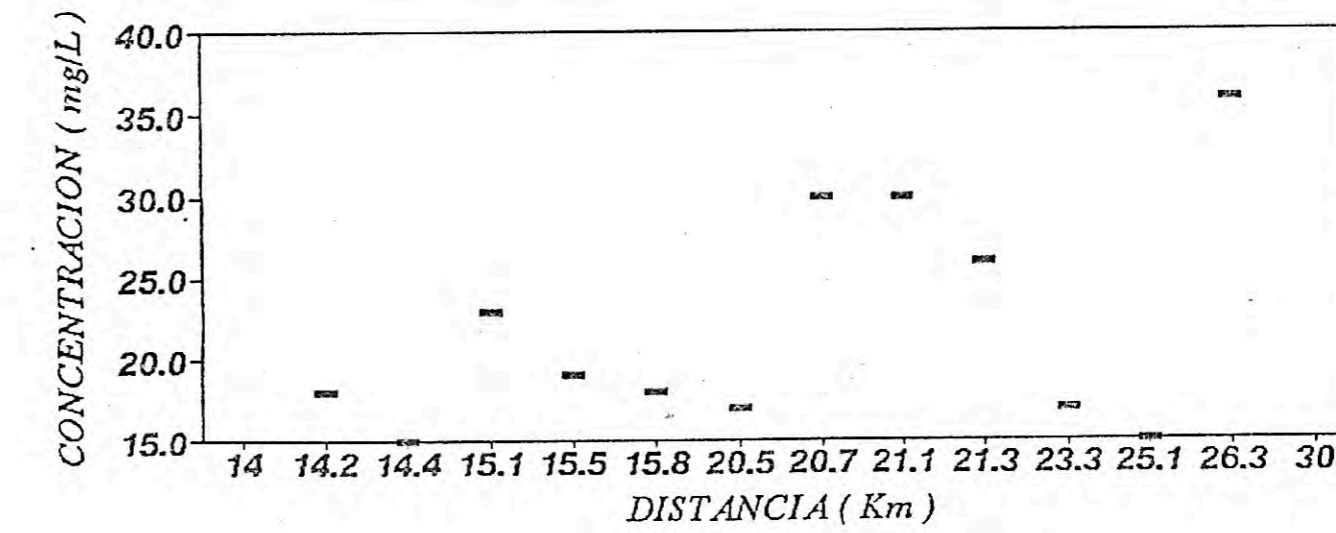
Eh



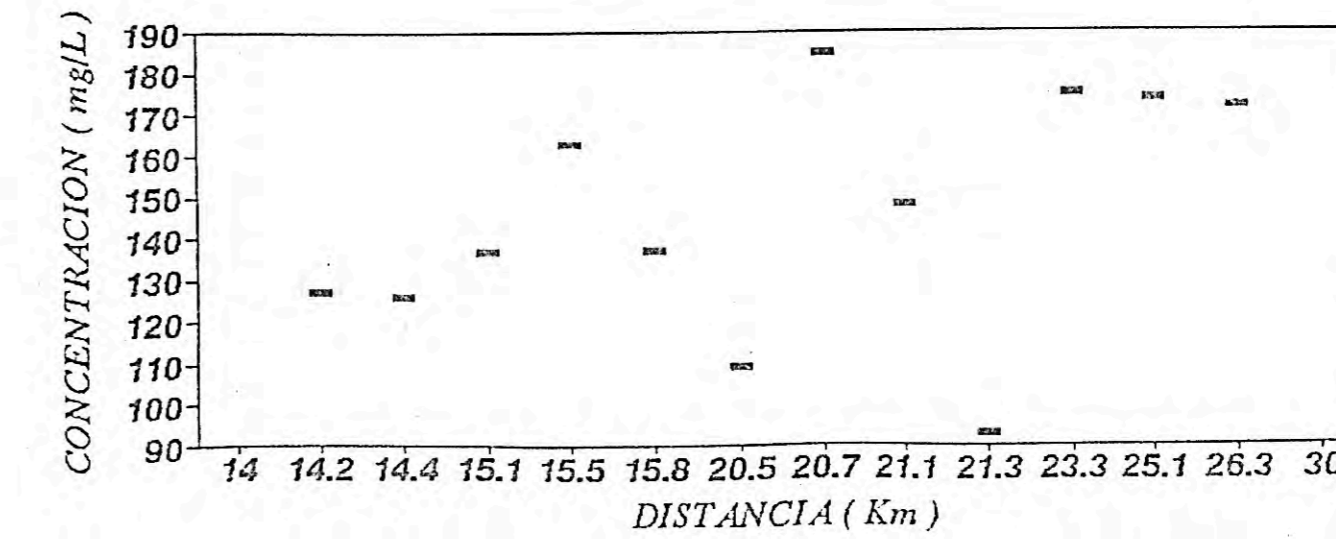
OXIGENO DISUELTO O2



NITRATOS NO3



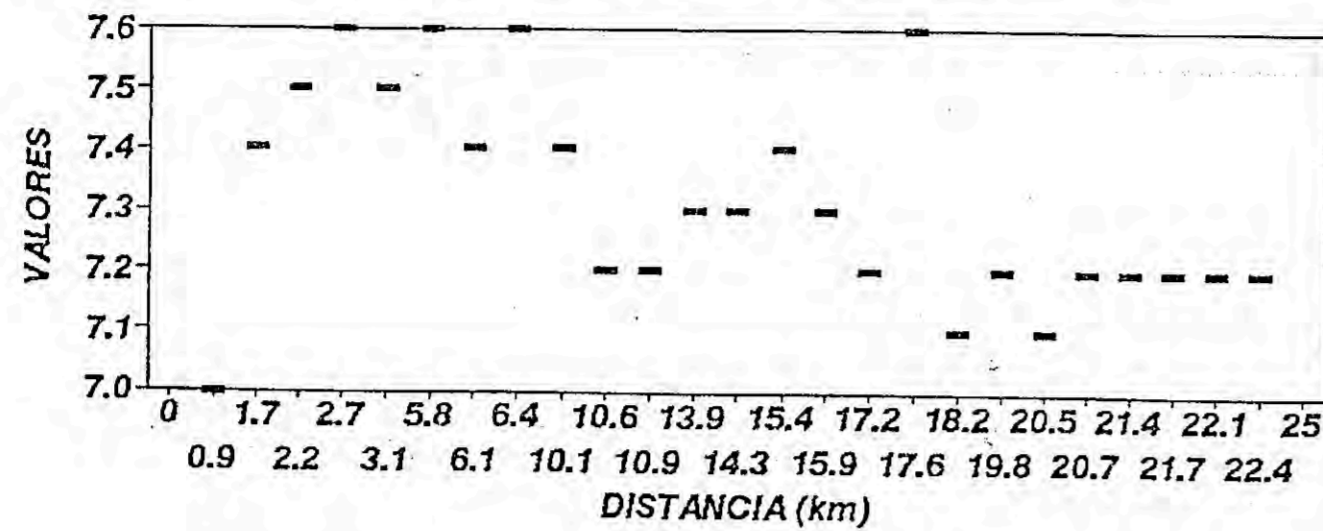
SULFATOS SO4



S-02 CAMBIOS GEOQUIMICOS EN LAS CONCENTRACIONES DE EH, OXIGENO DISUELTO, NITRATOS Y SULFATOS A LO LARGO DE LA DIRECCION DE FLUJO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LAS SECCIONES LONGITUDINALES CC' Y DD'.

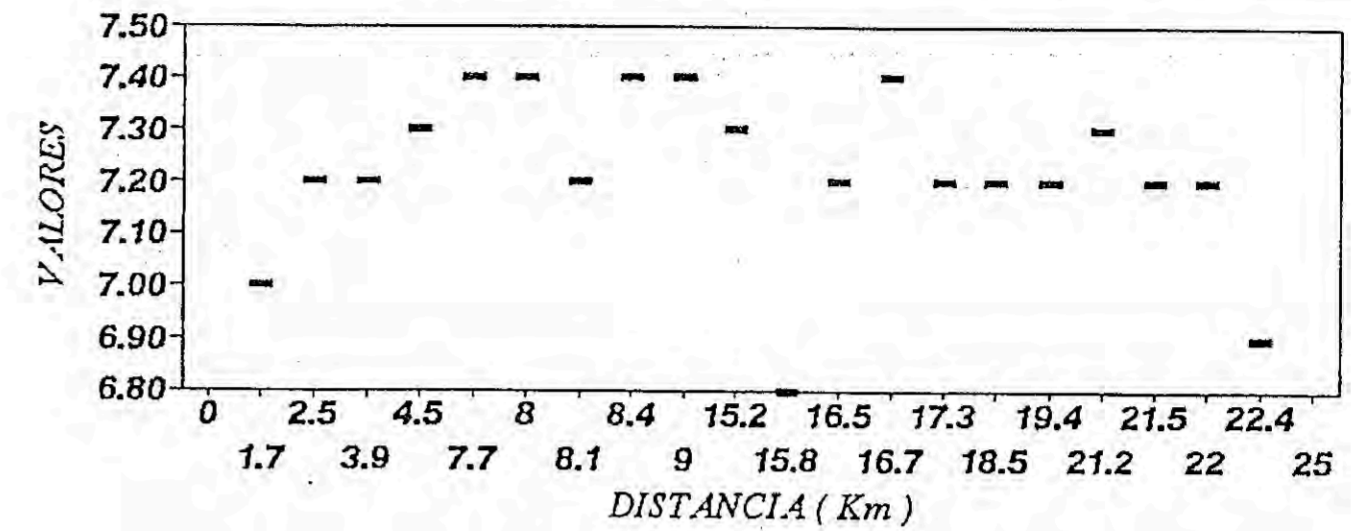
SECCION LONGITUDINAL AA'

pH

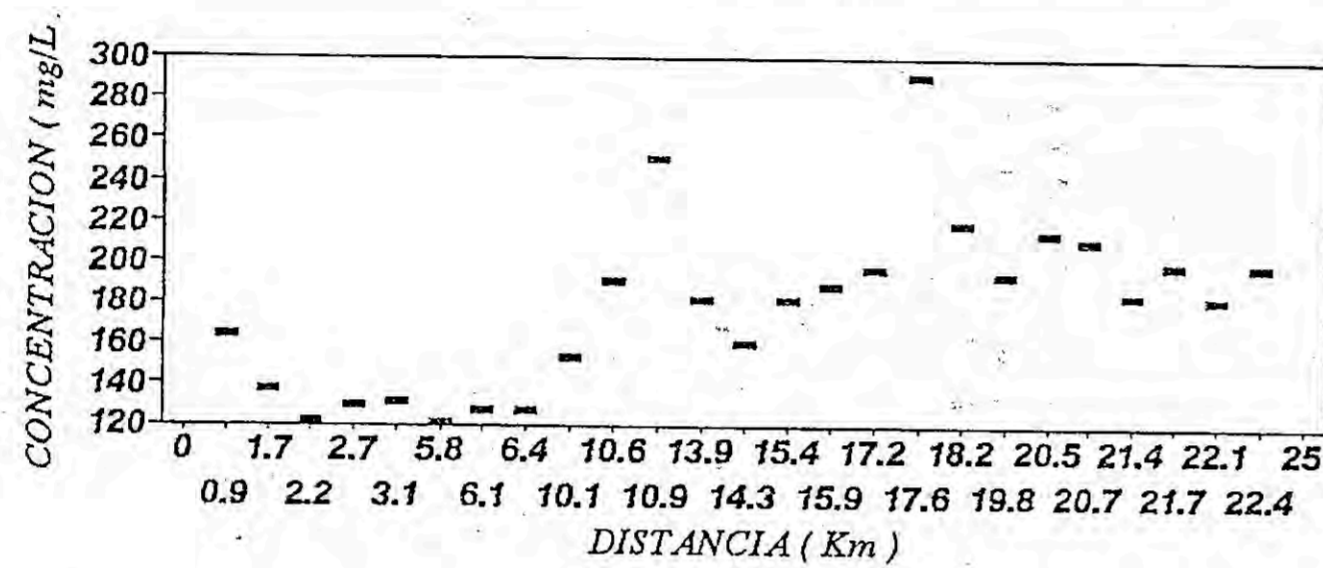


SECCION LONGITUDINAL BB'

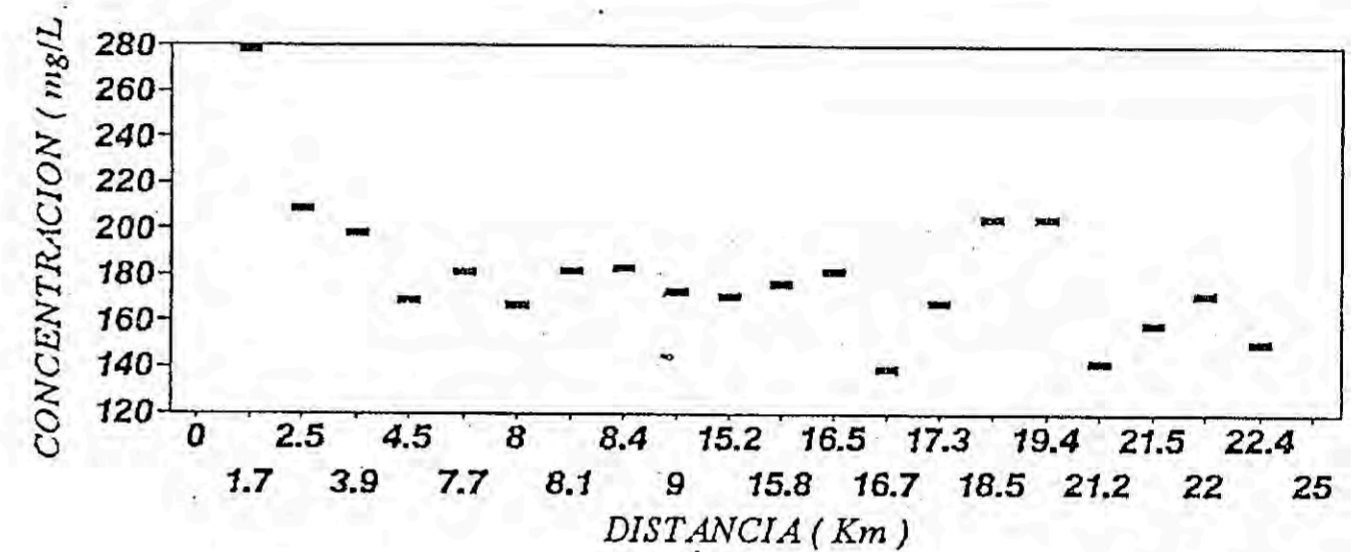
pH



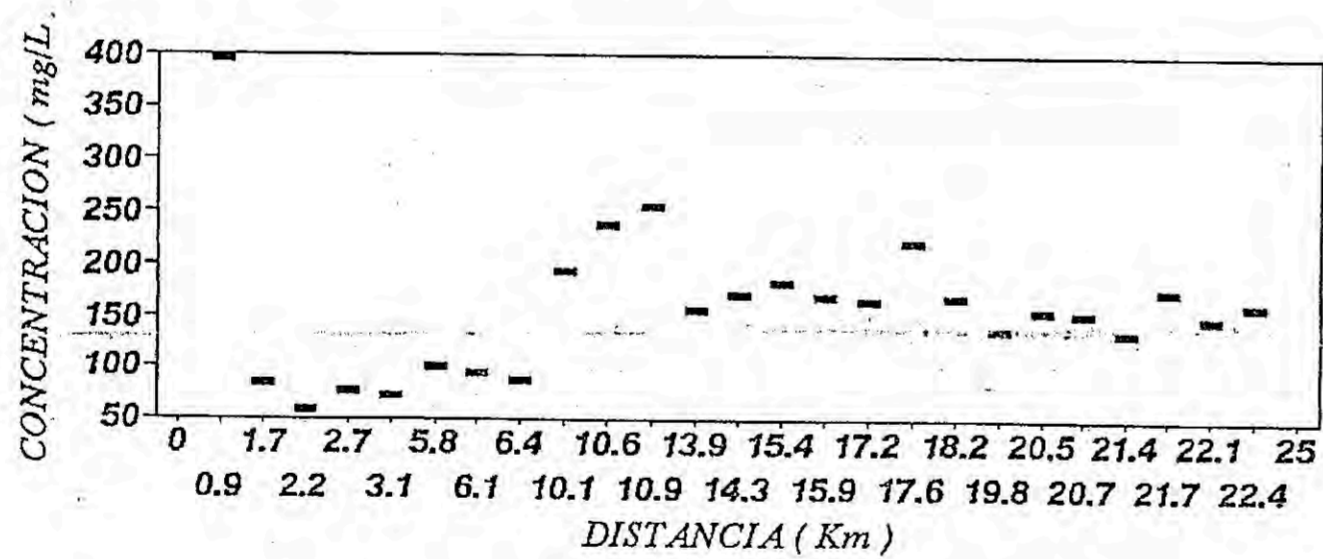
BICARBONATOS
HCO3



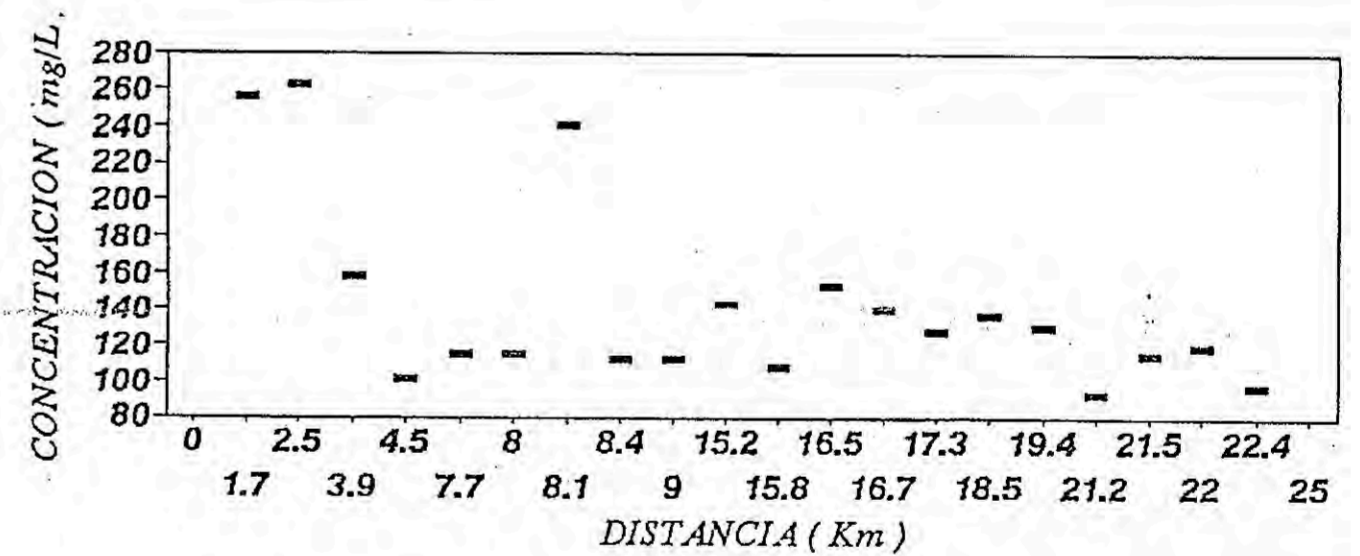
BICARBONATOS
HCO3



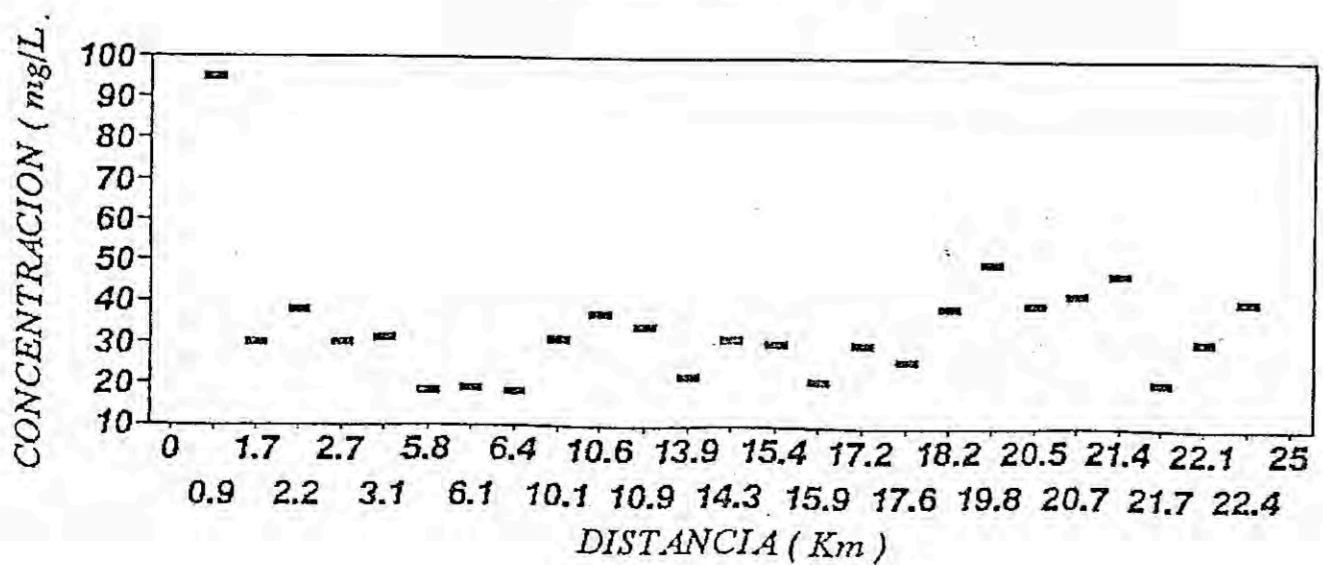
CALCIO
Ca



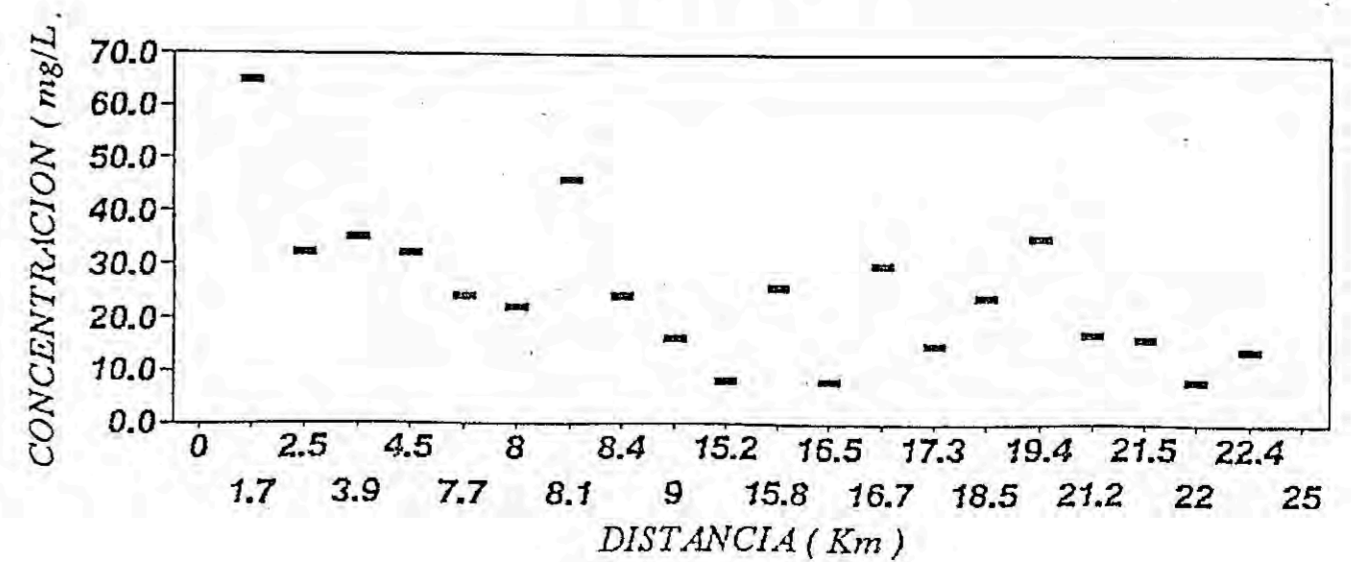
CALCIO
Ca



MAGNESIO
Mg



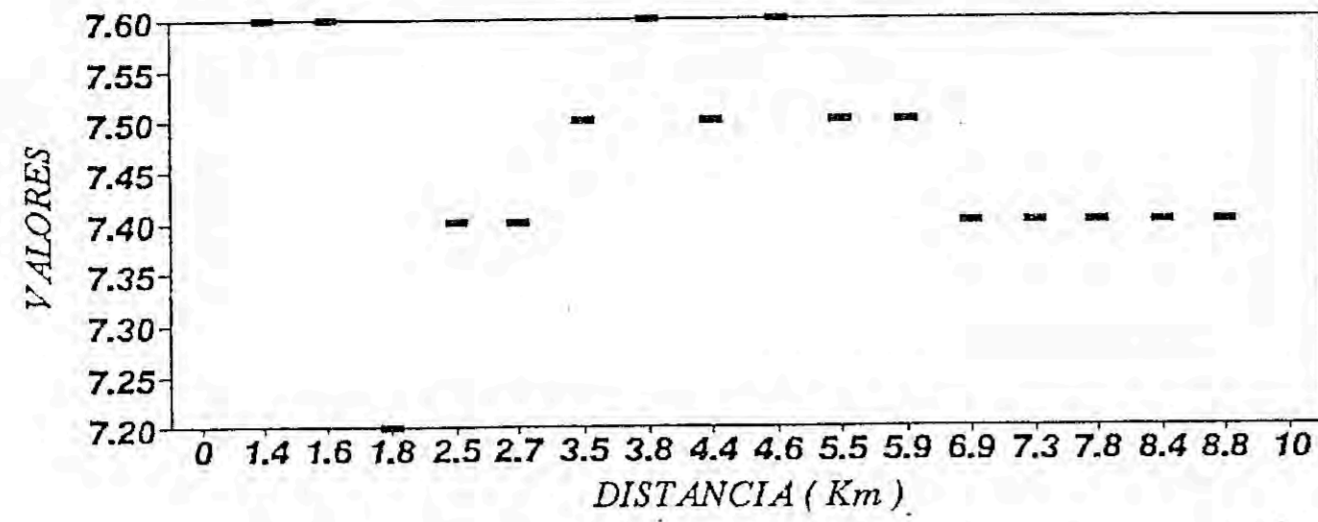
MAGNESIO
Mg



S-03 CAMBIOS GEOQUIMICOS EN LAS CONCENTRACIONES DE pH, BICARBONATOS, CALCIO Y MAGNESIO A LO LARGO DE LA DIRECCION DE FLUJO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LAS SECCIONES LONGITUDINALES AA' Y BB'.

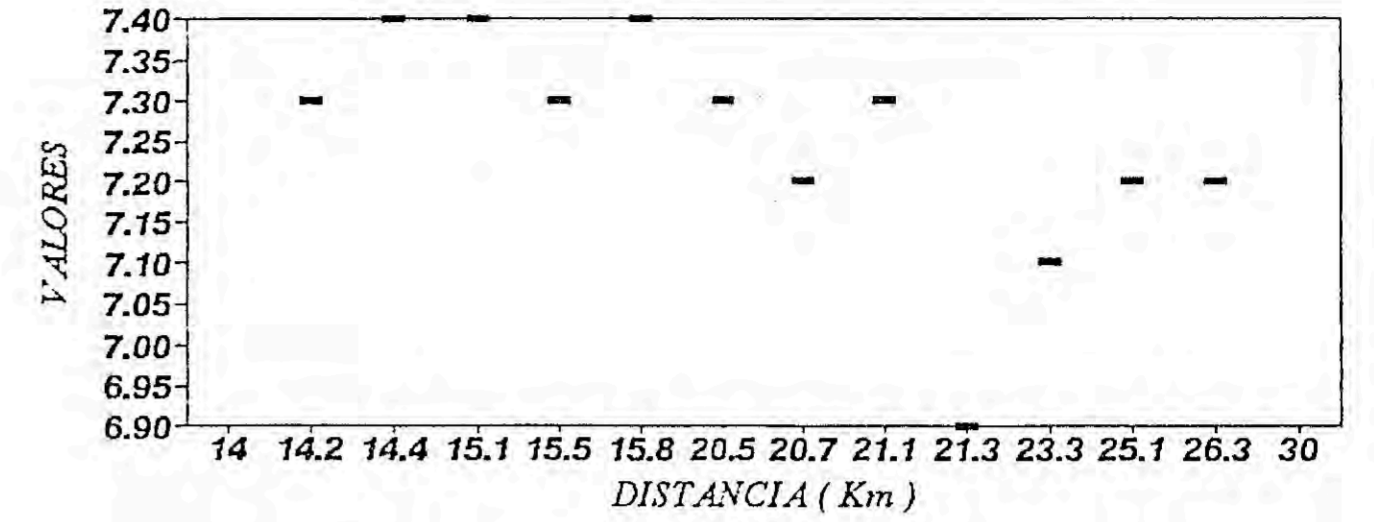
SECCION LONGITUDINAL CC'

pH

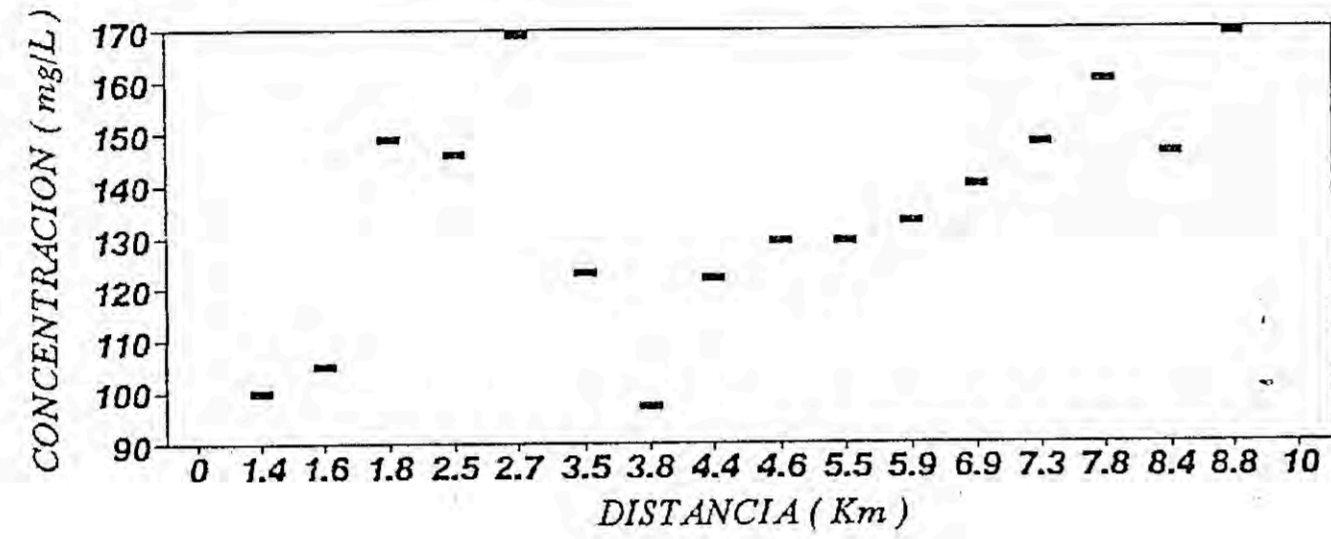


SECCION LONGITUDINAL DD'

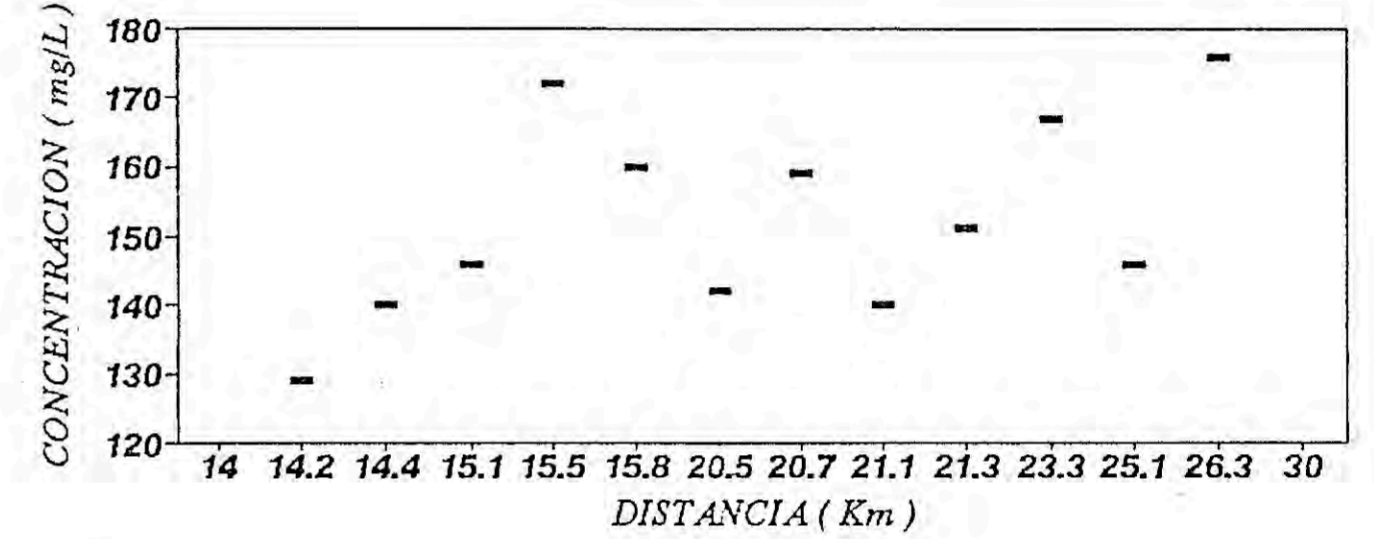
pH



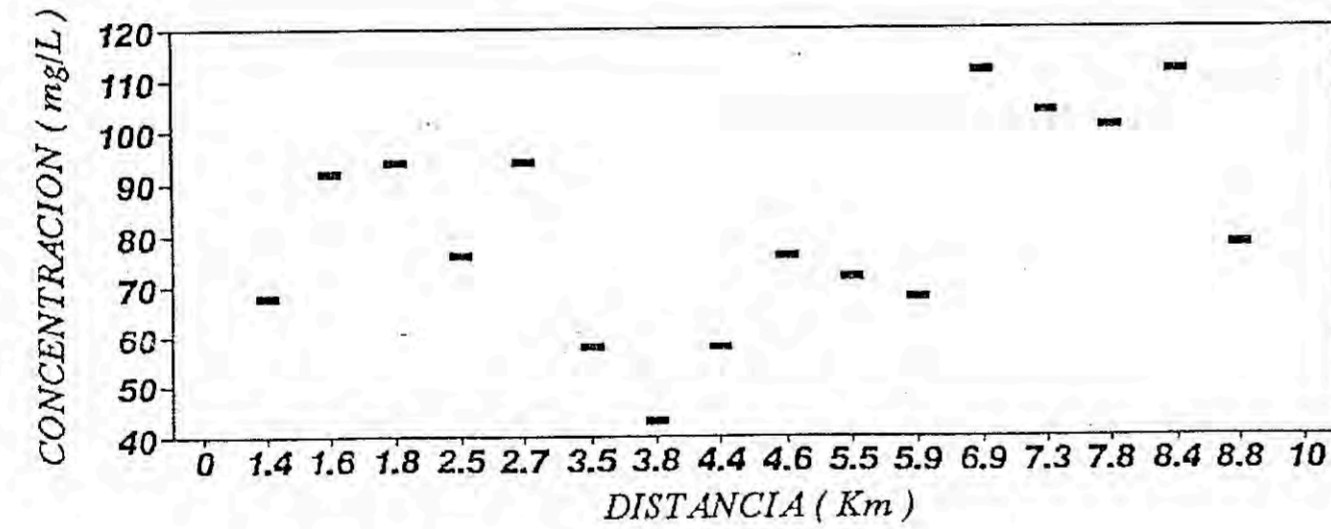
BICARBONATOS
HCO₃



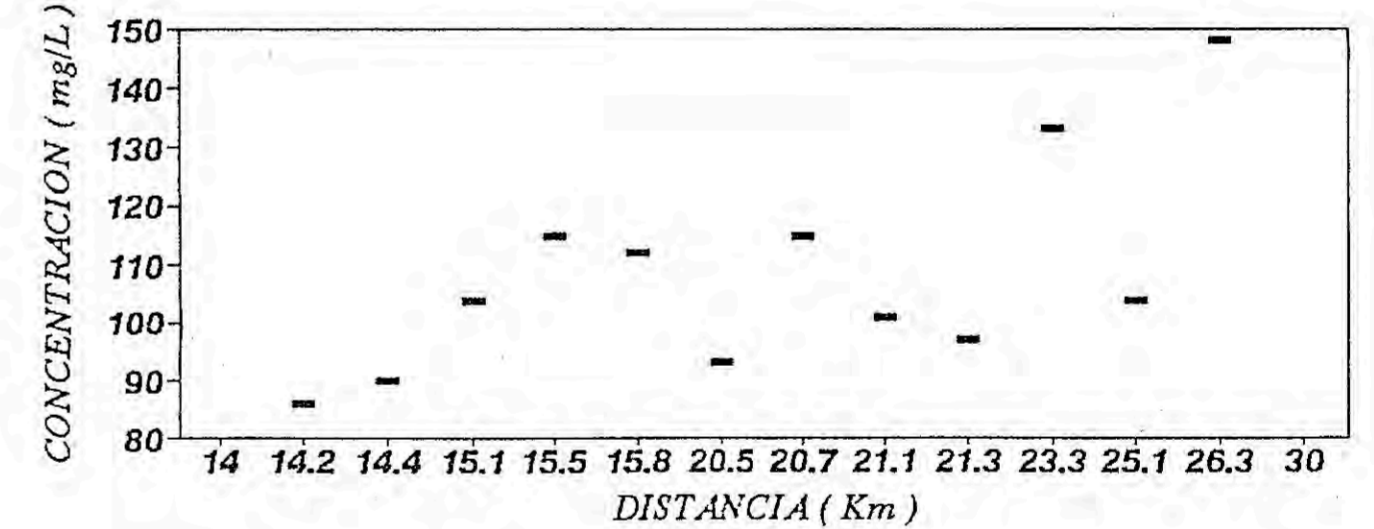
BICARBONATOS
HCO₃



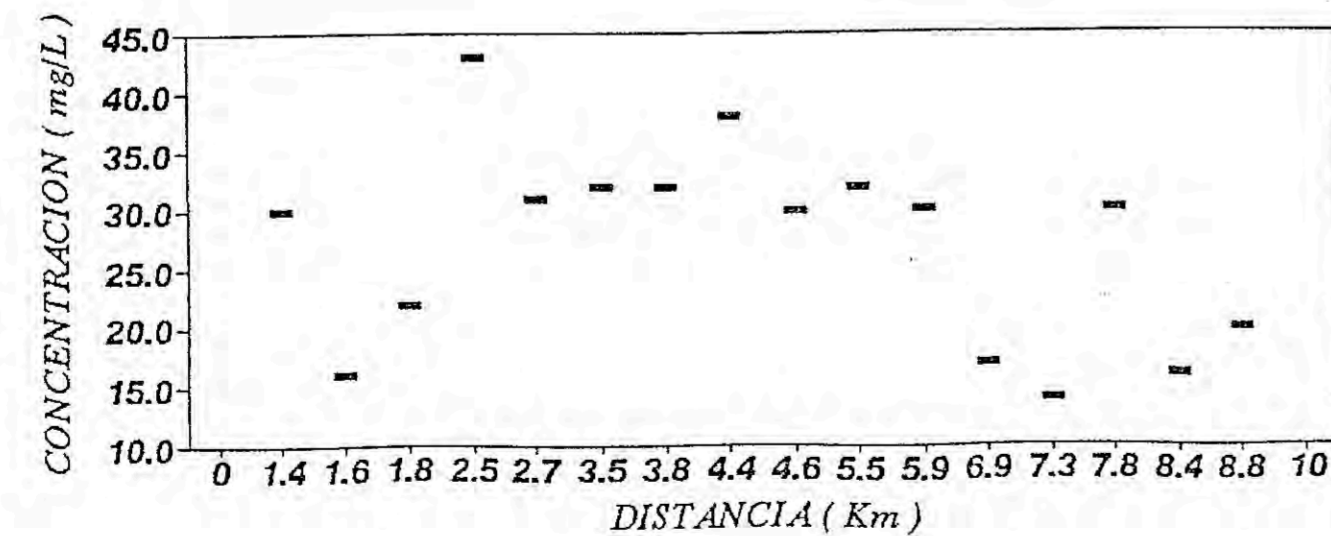
CALCIO
Ca



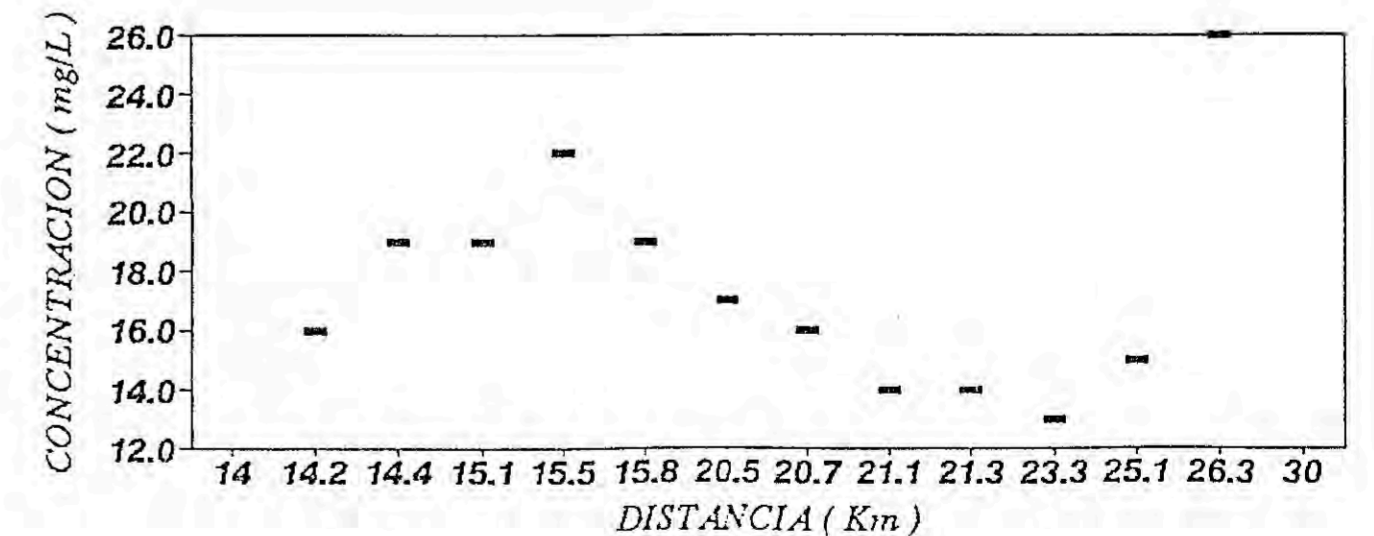
CALCIO
Ca



MAGNESIO
Mg



MAGNESIO
Mg



S-04 CAMBIOS GEOQUIMICOS EN LAS CONCENTRACIONES DE pH, BICARBONATOS, CALCIO Y MAGNESIO A LO LARGO DE LA DIRECCION DE FLUJO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LAS SECCIONES LONGITUDINALES CC' Y DD'.