

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA**

**UNAN - LEON**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**DEPARTAMENTO DE QUIMICA**



**CALIDAD FISICOQUIMICA DE LAS AGUAS DE POZOS  
PERFORADOS DE LA COMARCA CHACRASECA, LEÓN**

**TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE  
LICENCIADO EN QUIMICA**

**PRESENTADO POR:**

**Br. REYNA PATRICIA ESPINOZA GRANADOS.**

**Br. KATHIA NINNETH LOPEZ POZO.**

**Br. CARLOS ERNESTO TELLEZ CRESPIN.**

**TUTORES: M.Sc. MARIA AUXILIADORA RAMIREZ.**

**Dra. ADALILA MOLINA.**

**ASESORA: M.Sc. AMADA CARRASCO.**

**León, Abril 2007.**



## AGRADECIMIENTO

Ante todo queremos dar gracias a Dios por darnos salud y sabiduría para la culminación de nuestros estudios.

De manera especial agradecemos a nuestras tutoras: M.Sc Maria Auxiliadora Ramírez, Dra. Ada Lila Molina y nuestra asesora M.Sc Amada Carrasco por la orientación, dedicación y el apoyo que nos brindaron para llevar acabo la elaboración de nuestro trabajo monográfico.

También agradecemos con mucho amor a nuestros padres, quienes nos han ayudado en nuestros estudios dándonos animo y consejos para ser profesionales de bien y por ser ellos los que siempre nos fortalecieron nuestra mente para seguir adelante, guiándonos por el buen camino de la superación del conocimiento para el beneficio de nuestra formación profesional.

Al mismo tiempo agradecemos a los lideres comunales por las facilidades dadas para desarrollar este trabajo, al Laboratorio Químico S.A. (LAQUISA) por la colaboración que nos ofrecieron en la realización de algunos análisis, así también a la unidad de Centro de investigación Demográfico y Salud (CIDS), UNAN-LEÓN por la disposición obtenida en la elaboración de los mapas territoriales presentados en la monografía y a todas aquellas personas que directa o indirectamente nos asistieron con su ayuda.

**MUCHAS GRACIAS**



<b>Contenidos</b>	<b>Página</b>
<b>I- RESUMEN</b>	
<b>II- INTRODUCCION</b> .....	1
<b>III- OBJETIVOS</b> .....	2
<b>IV- MARCO TEORICO</b> .....	3
4.1- Agua .....	3
4.2- Agua Subterránea .....	3
4.3- Calidad Físico-Química del Agua .....	4
4.3.1- Temperatura .....	5
4.3.2- Conductividad .....	5
4.3.3- pH.....	5
4.3.4- Nitritos .....	5
4.3.5- Nitratos.....	5
4.3.6- Calcio .....	6
4.3.7- Magnesio .....	6
4.3.8- Sodio .....	6
4.3.9- Potasio .....	6
4.4- Metales Pesados .....	6
4.4.1- Cadmio .....	7
4.4.2- Arsénico .....	7
4.4.3- Silicio .....	8
4.5- Introducción a la Espectrofotometría de Absorción Atómica.....	9
4.6- Técnicas Espectrofotométricas Atómicas .....	11
4.7- Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama (FAAS).....	11
4.8- Fuentes de Radiación.....	12
4.9- Tipos de Nebulizadores.....	13
4.10- Mecheros y Tipos de Llama.....	14
4.11- Procesos de Atomización.....	15



4.12-	Modalidades de Llama .....	16
4.13-	Absorción Atómica y Emisión Atómica .....	18
4.14-	Generación de Hidruros .....	18
4.15-	Interferencias.....	19
4.16-	Curvas de Calibración.....	21
4.17-	Ley de la Espectrofotometría .....	22
4.18-	Ley de Lambert Beer.....	22
4.19-	Desviaciones de la Ley de Lamber Beer.....	23
4.20-	Límite de Detección.....	23
4.21-	Límite de Cuantificación.....	24
4.22-	Parámetros Físico-Químicos y Metales Pesados Considerados .....	24
	para la Aceptabilidad del Agua Potable	
4.23-	Análisis Factorial .....	25
4.23.1-	Matriz de Correlaciones.....	26
4.23.2-	Test de Esfericidad de Bartlett .....	26
4.23.3-	Medida de Adecuación de Kaiser-Meiser-Olkin .....	26
4.24-	Análisis de Cluster .....	27
4.24.1-	Algoritmos Jerárquicos .....	27
4.24.2-	Dendrograma .....	27
<b>V-</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	<b>28</b>
5.1-	Muestreo.....	28
5.2-	Conservación de las Muestras.....	28
5.3-	Zonas de Muestreo .....	29
5.4-	Lista de Pozos Perforados.....	30
5.4.1-	Mapa de Ubicación Geográfica de los Pozos Perforado de la Comarca Chacraseca.....	31
5.5-	Parámetros y Métodos a Utilizar.....	32
5.6-	Reactivos .....	32
5.7-	Materiales e Instrumentación.....	33



5.8-	Preparación de Soluciones .....	35
5.9-	Metodología .....	37
5.10-	Procedimiento .....	37
5.10.1-	Temperatura .....	37
5.10.2-	Conductividad .....	38
5.10.3-	pH.....	38
5.10.4-	Nitritos .....	39
5.10.5-	Nitratos.....	40
5.10.6-	Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica .....	41
5.10.6.1	Consideraciones Previas a la Espectrofotometría .....	41
5.10.6.2-	Procedimiento .....	42
5.10.6.3-	Calibración del Espectrofotómetro de Absorción Atómica-Analyst 700 .....	42
5.10.6.4-	Software AA WINLAB 32 .....	42
5.10.6.5-	Preparación de Estándares para la Curva de Calibración .....	43
5.10.6.6-	Calibración del Espectrofotómetro de Absorción Atómica-Varian.....	45
5.10.6.7-	Preparación de Estándares para la Curva de Calibración .....	47
5.10.6.8-	Determinación.....	48
<b>VI-</b>	<b>RESULTADOS Y ANALISIS</b> .....	<b>49</b>
6.1-	Curvas de Calibración.....	49
6.2-	Análisis Factorial .....	54
6.2.1-	Matriz de Correlaciones.....	54
6.2.2-	Test de Esfericidad de Bartlett.....	55
6.2.3-	Medida de Adecuación KMO .....	55
6.3-	Diagramas para la Comparación de los Parámetros.....	56
	Físicoquímicos con la Norma CAPRE.	
6.4-	Análisis de Cluster .....	68
6.5-	Mapa de Agrupación de los Pozos Perforados .....	70
<b>VII-</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>71</b>



VIII-	RECOMENDACIONES .....	73
IX-	BIBLIOGRAFIA .....	74
X-	ANEXOS.....	76



## I. RESUMEN

En el presente estudio se llevó a cabo la evaluación de la calidad del agua de pozos perforados en la comarca de Chacraseca utilizando como indicadores de calidad las normas CAPRE (Normas de Saneamiento de Agua Potable para Centroamérica, Panamá y República Dominicana).

A cada una de las muestras se le determinaron los parámetros tales como: Temperatura, Conductividad, pH, Nitritos, Nitratos, Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Cadmio, Sílice, Arsénico.

Basándose en intereses planteados por los pobladores de los 10 sectores donde existen pozos perforados, los 9 sectores seleccionados, por su buena calidad según el estudio “Calidad del Agua de Consumo en la Comarca de Chacraseca”, para la realización del presente trabajo fueron: Pedro Aráuz, Raúl Cabezas, La Concepción, Mojón Sur 1, Mojón Sur 2, Boca de Cántaro, La Bolsa, Las Brisas, Las Colinas.

En este estudio se ha realizado análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica. Con la técnica de llama aire-acetileno se determinó cadmio, calcio y magnesio, por emisión sodio y potasio, con llama óxido nitroso-acetileno se determinó silicio y por generación de hidruros se determinó arsénico.

Encontrando que el 100% de los 14 pozos presentan niveles de concentraciones de cadmio por encima de la Norma de Saneamiento de Agua Potable para Centroamérica, Panamá y República Dominicana (norma CAPRE).

También se realizó un análisis estadístico de los datos como es el Análisis Factorial comprobando que no es una técnica adecuada para este estudio, esto nos llevo a aplicar otra técnica multivariada llamada análisis de cluster la cual tiene como fin la agrupación de variables con indicadores semejantes, que en nuestro estudio agrupo pozos con parámetros que tienen similitudes entre sí por su calidad físicoquímica, donde se obtuvieron dos grupos como producto de la comparación de las variables.



## AGRADECIMIENTO

Ante todo queremos dar gracias a Dios por darnos salud y sabiduría para la culminación de nuestros estudios.

De manera especial agradecemos a nuestras tutoras: M.Sc Maria Auxiliadora Ramírez, Dra. Ada Lila Molina y nuestra asesora M.Sc Amada Carrasco por la orientación, dedicación y el apoyo que nos brindaron para llevar acabo la elaboración de nuestro trabajo monográfico.

También agradecemos con mucho amor a nuestros padres, quienes nos han ayudado en nuestros estudios dándonos animo y consejos para ser profesionales de bien y por ser ellos los que siempre nos fortalecieron nuestra mente para seguir adelante, guiándonos por el buen camino de la superación del conocimiento para el beneficio de nuestra formación profesional.

Al mismo tiempo agradecemos a los lideres comunales por las facilidades dadas para desarrollar este trabajo, al Laboratorio Químico S.A. (LAQUISA) por la colaboración que nos ofrecieron en la realización de algunos análisis, así también a la unidad de Centro de investigación Demográfico y Salud (CIDS), UNAN-LEÓN por la disposición obtenida en la elaboración de los mapas territoriales presentados en la monografía y a todas aquellas personas que directa o indirectamente nos asistieron con su ayuda.

**MUCHAS GRACIAS**





<b>Contenidos</b>	<b>Página</b>
<b>I- RESUMEN</b>	
<b>II- INTRODUCCION</b> .....	1
<b>III- OBJETIVOS</b> .....	2
<b>IV- MARCO TEORICO</b> .....	3
4.1- Agua .....	3
4.2- Agua Subterránea .....	3
4.3- Calidad Físico-Química del Agua .....	4
4.3.1- Temperatura .....	5
4.3.2- Conductividad .....	5
4.3.3- pH.....	5
4.3.4- Nitritos .....	5
4.3.5- Nitratos.....	5
4.3.6- Calcio .....	6
4.3.7- Magnesio .....	6
4.3.8- Sodio .....	6
4.3.9- Potasio .....	6
4.4- Metales Pesados .....	6
4.4.1- Cadmio .....	7
4.4.2- Arsénico .....	7
4.4.3- Silicio .....	8
4.5- Introducción a la Espectrofotometría de Absorción Atómica.....	9
4.6- Técnicas Espectrofotométricas Atómicas .....	11
4.7- Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama (FAAS).....	11
4.8- Fuentes de Radiación.....	12
4.9- Tipos de Nebulizadores.....	13
4.10- Mecheros y Tipos de Llama.....	14
4.11- Procesos de Atomización.....	15



4.12-	Modalidades de Llama .....	16
4.13-	Absorción Atómica y Emisión Atómica .....	18
4.14-	Generación de Hidruros .....	18
4.15-	Interferencias.....	19
4.16-	Curvas de Calibración.....	21
4.17-	Ley de la Espectrofotometría .....	22
4.18-	Ley de Lambert Beer.....	22
4.19-	Desviaciones de la Ley de Lamber Beer.....	23
4.20-	Límite de Detección.....	23
4.21-	Límite de Cuantificación.....	24
4.22-	Parámetros Físico-Químicos y Metales Pesados Considerados .....	24
	para la Aceptabilidad del Agua Potable	
4.23-	Análisis Factorial .....	25
4.23.1-	Matriz de Correlaciones.....	26
4.23.2-	Test de Esfericidad de Bartlett .....	26
4.23.3-	Medida de Adecuación de Kaiser-Meiser-Olkin .....	26
4.24-	Análisis de Cluster .....	27
4.24.1-	Algoritmos Jerárquicos .....	27
4.24.2-	Dendrograma .....	27
<b>V-</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	<b>28</b>
5.1-	Muestreo.....	28
5.2-	Conservación de las Muestras.....	28
5.3-	Zonas de Muestreo .....	29
5.4-	Lista de Pozos Perforados.....	30
5.4.1-	Mapa de Ubicación Geográfica de los Pozos Perforado de la Comarca Chacraseca.....	31
5.5-	Parámetros y Métodos a Utilizar.....	32
5.6-	Reactivos .....	32
5.7-	Materiales e Instrumentación.....	33



5.8-	Preparación de Soluciones .....	35
5.9-	Metodología .....	37
5.10-	Procedimiento .....	37
5.10.1-	Temperatura .....	37
5.10.2-	Conductividad .....	38
5.10.3-	pH.....	38
5.10.4-	Nitritos .....	39
5.10.5-	Nitratos.....	40
5.10.6-	Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica .....	41
5.10.6.1	Consideraciones Previas a la Espectrofotometría .....	41
5.10.6.2-	Procedimiento .....	42
5.10.6.3-	Calibración del Espectrofotómetro de Absorción Atómica-Analyst 700 .....	42
5.10.6.4-	Software AA WINLAB 32 .....	42
5.10.6.5-	Preparación de Estándares para la Curva de Calibración .....	43
5.10.6.6-	Calibración del Espectrofotómetro de Absorción Atómica-Varian.....	45
5.10.6.7-	Preparación de Estándares para la Curva de Calibración .....	47
5.10.6.8-	Determinación.....	48
<b>VI-</b>	<b>RESULTADOS Y ANALISIS</b> .....	<b>49</b>
6.1-	Curvas de Calibración.....	49
6.2-	Análisis Factorial .....	54
6.2.1-	Matriz de Correlaciones.....	54
6.2.2-	Test de Esfericidad de Bartlett.....	55
6.2.3-	Medida de Adecuación KMO .....	55
6.3-	Diagramas para la Comparación de los Parámetros.....	56
	Físicoquímicos con la Norma CAPRE.	
6.4-	Análisis de Cluster .....	68
6.5-	Mapa de Agrupación de los Pozos Perforados .....	70
<b>VII-</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>71</b>



VIII-	RECOMENDACIONES .....	73
IX-	BIBLIOGRAFIA .....	74
X-	ANEXOS.....	76



## I. RESUMEN

En el presente estudio se llevó a cabo la evaluación de la calidad del agua de pozos perforados en la comarca de Chacraseca utilizando como indicadores de calidad las normas CAPRE (Normas de Saneamiento de Agua Potable para Centroamérica, Panamá y República Dominicana).

A cada una de las muestras se le determinaron los parámetros tales como: Temperatura, Conductividad, pH, Nitritos, Nitratos, Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Cadmio, Sílice, Arsénico.

Basándose en intereses planteados por los pobladores de los 10 sectores donde existen pozos perforados, los 9 sectores seleccionados, por su buena calidad según el estudio “Calidad del Agua de Consumo en la Comarca de Chacraseca”, para la realización del presente trabajo fueron: Pedro Aráuz, Raúl Cabezas, La Concepción, Mojón Sur 1, Mojón Sur 2, Boca de Cántaro, La Bolsa, Las Brisas, Las Colinas.

En este estudio se ha realizado análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica. Con la técnica de llama aire-acetileno se determinó cadmio, calcio y magnesio, por emisión sodio y potasio, con llama óxido nitroso-acetileno se determinó silicio y por generación de hidruros se determinó arsénico.

Encontrando que el 100% de los 14 pozos presentan niveles de concentraciones de cadmio por encima de la Norma de Saneamiento de Agua Potable para Centroamérica, Panamá y República Dominicana (norma CAPRE).

También se realizó un análisis estadístico de los datos como es el Análisis Factorial comprobando que no es una técnica adecuada para este estudio, esto nos llevo a aplicar otra técnica multivariada llamada análisis de cluster la cual tiene como fin la agrupación de variables con indicadores semejantes, que en nuestro estudio agrupo pozos con parámetros que tienen similitudes entre sí por su calidad físicoquímica, donde se obtuvieron dos grupos como producto de la comparación de las variables.



## II- INTRODUCCIÓN

El agua que ocupa  $\frac{3}{4}$  partes de la tierra, es un recurso natural indispensable para la vida y para el ejercicio de la inmensa mayoría de las actividades económicas, es irremplazable, no renovable, irregular en su forma de presentarse, fácilmente vulnerable.

Debido a su naturaleza la podemos clasificar en: agua superficial (ríos, lagos, etc.) y agua subterránea. A la superficie bajo la tierra en donde todo el suelo y las rocas disponibles están llenos de agua se le denomina zona de saturación, y al agua que llena esos poros se le conoce como agua subterránea o freática. El agua subterránea tiende a ser dulce (de muy baja salinidad) y potable (puede ser bebida sin riesgo); sin embargo, en ocasiones las capas freáticas son demasiado ricas en sales disueltas como para ser consumidas. <sup>(1)</sup>

Basándonos en la recomendación del estudio “Calidad del Agua de Consumo en la Comarca de Chacraseca” de “realizar trabajo de distribución espacial de contaminantes considerados peligrosos”, presentado por la Lic. Lissethe Carrillo D. en el 2004, en el que se evaluó la calidad físico química y bacteriológica de 75 muestras de aguas de pozos excavados y perforados existentes en la comunidad, realizamos el siguiente trabajo para contribuir a la calidad del agua de consumo de esta comarca debido a inquietudes de los pobladores, tomando como muestra de los 18 pozos perforados 14 que presentan buena calidad según el estudio antes mencionado. Chacraseca es una comarca ubicada al sureste de la ciudad de León con un abastecimiento de agua proveniente de pozos perforados. Existen razones a considerar en los sectores seleccionados para el estudio tales como la ubicación geográfica (cerca cordillera volcánica) de dicha comarca, la actividad agrícola en décadas anteriores y los problemas de salud (insuficiencia renal).



### III- OBJETIVOS

#### Objetivo General

- ☀ Evaluar la Calidad del Agua de Pozos Perforados de la Comarca Chacraseca (León), relacionada principalmente con la presencia de residuos de los metales Cadmio, Silicio y Arsénico.

#### Objetivos Específicos:

- ☀ Determinar Parámetros Físico-Químicos de Muestras de Agua de Pozos Perforados de la Comarca Chacraseca.
- ☀ Determinar la Concentración de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K) en el agua de Pozos Perforados por Espectrofotometría de Absorción Atómica- Analyst 700.
- ☀ Determinar la Concentración de Cadmio (Cd), Arsénico (As) y Silicio (Si) en el agua de Pozos Perforados por Espectrofotometría de Absorción Atómica con el apoyo del Laboratorio Químico S.A. (LAQUISA).
- ☀ Comparar los Resultados de los parámetros Físico-Químicos y los Metales obtenidos con la Norma de Saneamiento de Agua Potable para Centroamérica, Panamá y Republica Dominicana (norma CAPRE).
- ☀ Emplear la Técnica Multivariada llamada Análisis de Cluster para Agrupar los Pozos con Valores Semejantes Obtenidos de los Parámetros Analizados.
- ☀ Presentar la Ubicación Geográfica y la Agrupación de los Pozos Perforados Obtenida del Análisis de Cluster a través de Mapas Territoriales.



## IV- MARCO TEÓRICO

### 4.1 AGUA

El agua es una sustancia muy abundante en nuestro planeta, la forma como más la conocemos es formando parte de océanos, mares, lagos y ríos también la encontramos en las nubes y en el interior de la tierra. El agua es un recurso esencial para la vida, la salud, los alimentos, el desarrollo económico y el medio ambiente sostenible. Tiene un gran número de aplicaciones y usos en la materia prima de cualquier producción industrial, agrícola y ganadera; además sirve de soporte para la vida acuática y almacén de sustento para la humanidad.

El agua potable no es una sustancia pura, sino una solución que contiene pequeñas cantidades de diversas sales como cloruro, bicarbonatos, sulfatos de sodio de calcio y de Magnesio etc. La falta de esas sustancias disueltas en un agua potable la haría indigesta y perdería algunos de sus valores alimenticios. En cambio un exceso de sustancias disueltas principalmente sales de Ca y Mg hacen que esta fuente de agua sea inapropiada para la alimentación, lavar las legumbres y lavar la ropa.

Los seres humanos requieren agua para sobrevivir, siendo esta pobre en sales y otras impurezas. Entre las impurezas también se cuentan otras sustancias químicas. Algunos solutos son aceptables y hasta deseables para un sabor apropiado. <sup>(2)</sup>

### 4.2 AGUA SUBTERRÁNEA

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





Lo más alto de la zona saturada es la capa o manto freático, es el nivel al cual el agua se mantiene en un pozo. El agua se mueve dentro de la zona saturada desde áreas donde la capa de agua es alta hacia áreas donde ésta es baja, por lo que el agua subterránea se forma en lagos, arroyos u océanos. Esta surge del subsuelo y forma el agua superficial, cuando esta agua se evapora a la atmósfera y se condensa, viene la precipitación completando el ciclo del agua.

El agua subterránea se acumula en capas de tierra, arena y rocas conocidas como acuíferos. La velocidad a la que el agua se mueve depende del tamaño de los espacios en las capas y de la conexión entre éstos. Los acuíferos consisten típicamente de gravilla, arena, arenilla y piedra caliza. Estos materiales son permeables porque tienen poros grandes que permiten que el agua fluya con mayor rapidez.

No existe agua que sea completamente pura. Aún el agua en la naturaleza contiene impurezas. A medida que el agua fluye por diferentes rutas, se acumula en cuerpos de agua y se infiltra en las capas del suelo, va disolviendo o absorbiendo los minerales o las sustancias que entran en contacto con ella. Algunas de estas sustancias no son dañinas a la salud, pero a ciertos niveles podrían afectar el sabor del agua y contaminarla.

Algunos contaminantes se originan de la erosión natural de las formaciones rocosas. Otros contaminantes provienen de descargas de fábricas, productos agrícolas, o químicos utilizados por las personas en sus hogares y patios. Los contaminantes también pueden provenir de tanques de almacenamiento de agua, pozos sépticos, lugares con desperdicios peligrosos y vertederos.<sup>(3)</sup>

### **4.3 CALIDAD FISICO-QUIMICA DE LAS AGUAS<sup>(4)</sup>**

La calidad del agua depende de diversos factores físico-químicos, bacteriológicos y además del contenido de sustancias tóxicas.



Algunos parámetros que influyen en la aceptabilidad de las aguas cuando la concentración pasa los límites permisibles son:

**4.3.1 Temperatura:** Parámetro físico-químico de mucha importancia ya que de ella dependen muchas reacciones químicas. La población bacteriológica se ve favorecida a temperaturas superiores a 30 °C.

**4.3.2 Conductividad:** La conductividad de una muestra de agua, es la medida de la capacidad para conducir una corriente eléctrica, esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, es también un indicador de la totalidad de sólidos disueltos en el agua.

**4.3.3 pH:** El pH es una propiedad que mide la acidez o alcalinidad del agua, no una impureza o contaminante. Tanto el agua pura como el agua contaminada tiene un pH, por lo tanto el pH es un indicador de pureza. El pH es una expresión usual para medir la concentración del ion hidrógeno y se define como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrogeno, y se expresa así;

$$\text{pH} = -\log_{10} (\text{H}^+)$$

**4.3.4 Nitritos:** Son componentes no deseables en la composición de la aguas para consumo público. Su presencia puede ser debida a una oxidación incompleta del amoníaco o la reducción de nitratos existentes en el agua. La reducción de nitratos a nitritos puede ser sospechosa de contaminación fecal.

**4.3.5 Nitratos:** Proviene fundamentalmente de la nitrificación del nitrógeno orgánico o de la disolución de las sales del sodio de los terrenos sobre los que pasa el agua. También pueden proceder de contaminación orgánica (aguas residuales) o de la contaminación agrícola (abonos). Estos pueden ser peligrosos para los lactantes siempre que su concentración en el agua pase los 45 mg/L, pues al reducirse a nitrito puede provocar una metahemoglobinemia.



**4.3.6 Calcio:** Es el quinto elemento en orden de abundancia. En los suministros de agua, proviene del su paso a través o por encima de depósitos de caliza, dolimita, yeso y pizarras yesiféricas. El contenido de calcio puede variar entre cero y varios centenares de mg/L, dependiendo del origen y tratamiento del agua.

**4.3.7 Magnesio:** Ocupa el octavo lugar entre los elementos más abundantes y es un componente común de las aguas naturales. La concentración de este puede variar de cero a varios cientos de mg/L, dependiendo del origen y tratamiento del agua.

**4.3.8 Sodio:** Ocupa el sexto lugar entre los elementos más abundantes y se encuentra en la mayoría de las aguas naturales. El contenido de sodio puede variar entre menos de 1 mg/L y más 500 mg/L.

**4.3.9 Potasio:** Ocupa el séptimo lugar entre los elementos más abundantes, aunque su concentración, en la mayor parte de las aguas potables, rara vez alcanza los 20 mg/L.

#### **4.4 METALES PESADOS**

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre. No pueden ser degradados o destruidos. En un grado pequeño se incorporan en nuestro cuerpo vía alimento, consumo de agua y el aire. Algunos metales pesados (cobre, selenio, cinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento.

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente.<sup>(5)</sup>



#### 4.4.1 Cadmio:

El cadmio es un metal blanco plateado, dúctil y maleable. Se puede cortar fácilmente con un cuchillo, en algunos aspectos es similar al zinc.

El cadmio es una sustancia natural en la corteza terrestre relativamente poco abundante. Generalmente se encuentra como material combinado con otras sustancias tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio), o azufre (sulfato de cadmio o sulfuro de cadmio).

En el ambiente se adhiere fuertemente a partículas en la tierra, parte del cadmio se disuelve en el agua, no se degrada pero puede cambiar de forma, las plantas y animales pueden incorporarlo a su organismo, permanece en el organismo por largo tiempo y puede bioacumularse.

La aplicación de ciertos fertilizantes o de excremento de animales en el suelo destinado al cultivo de alimentos puede aumentar su nivel de cadmio lo cual, a su vez, causa un aumento en el nivel de cadmio de los productos. El cadmio no se encuentra en cantidades preocupantes en el agua; la fuente más importante de descarga de cadmio al medio ambiente es la quema de combustibles fósiles (como carbón o petróleo) o la incineración de la basura doméstica común.

Cabe mencionar, los riesgos que causa el cadmio a la salud de personas que han estado expuestas a un exceso de cadmio en su dieta presentan daños en los riñones. Esta enfermedad renal normalmente no es mortal, pero puede ocasionar la formación de cálculos y sus efectos en el sistema óseo se manifiestan a través de dolor y debilidad. Además causa hipertensión y efectos carcinógenos. <sup>(6)</sup>

#### 4.4.2 Arsénico:

El arsénico es un metal frágil, de color gris de acero. El arsénico se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza. Es el 20avo elemento en abundancia de la corteza terrestre y se encuentra en forma nativa y, principalmente, en forma de sulfuro en una gran variedad de minerales que contienen cobre, plomo, hierro, níquel, cobalto y otros metales. Es uno de los 22 elementos conocidos que se compone de un solo nucleido (cuerpo simple cuyos átomos tienen idéntico número de protones y de neutrones) estables. Se conocen otros 17 nucleidos radiactivos de arsénico.



El arsénico se encuentra en aguas naturales a las que llega en forma de arsénico inorgánico o arsenioso, fundamentalmente como causa de reacciones químicas ácidas y oxidantes que provocan el desgaste de las rocas superficiales y volcánicas. Es necesario saber que la principal vía de dispersión del arsénico en el ambiente es el agua; por lo tanto su movilidad en el ambiente es debida tanto a procesos naturales como a las actividades humanas. La mayor parte de los problemas ambientales del arsénico son el resultado de la movilización por causas naturales (actividad volcánica, reacciones de degradación por la acción de la atmósfera y actividad biológica); pero otros factores promovidos por la actividad humana, como la combustión de combustibles fósiles y la actividad minera. También el arsénico se encuentra en los peces crustáceos generalmente en forma de arsenobetaina menos toxica que el arsénico orgánico ( $As^{+5}$ ).

Cabe mencionar que aunque el arsénico puede encontrarse en aguas superficiales, las aguas subterráneas son la principal fuente de arsénico en agua. El arsénico en aguas subterráneas se encuentra de 25% a 50% en forma trivalente ( $As^{+3}$ ) que es el arsénico inorgánico, siendo este el más tóxico. <sup>(7)</sup>

#### **4.4.3 Silicio:**

En un metaloide de color azul grisáceo y brillo metálico, es el elemento electropositivo más abundante de la corteza terrestre, constituye el 27.72% de la corteza sólida de la tierra. En forma cristalina es muy duro y poco soluble, es un elemento relativamente inerte y resiste la acción de la mayoría de los ácidos, reacciona con los halógenos.

Forma varias series de hidruros, diversos halogenuros (algunos de los cuales contienen enlaces silicio-silicio) y muchas series de compuestos que contienen oxígeno. El silicio se encuentra en muchas formas de dióxidos y en innumerables variaciones de los silicatos naturales.



El silicio no se encuentra en estado nativo; arena, cuarzo, amatista, ágata, pedernal, ópalo y jaspe son algunas de los minerales en los que aparece el óxido, mientras que formando silicatos se encuentra, entre otros, en el granito, feldespato, arcilla, mica.

No se conocen casos de toxicidad por ingesta de silicio con la excepción de formación de cálculos renales. <sup>(8)</sup>

El instituto nacional de salud ocupacional de EUA analiza los daños renales que causan algunas sustancias y en el caso del silicio en la salud, dice textualmente: “el silicio cuando es ingerido en cualquiera de sus formas, tales como cuarzo cristalino, tierras silíceas amorfas o geles de silicio coloidal es química y biológicamente inerte”. <sup>(9)</sup>

## **4.5 INTRODUCCIÓN A LA ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

Los metales se pueden determinar de forma satisfactoria utilizando métodos de absorción atómica, de plasma de acoplamiento inductivo o colorimetría. Aunque estos últimos son de menor precisión y sensibilidad.

La absorción atómica de llama se aplica en casos de concentraciones moderadas en sistemas de matrices simples o complejas.

Las técnicas espectrofotométricas se basan en la medida de la radiación electromagnética que interacciona con la materia o que emana la misma.

La espectrofotometría atómica se basa en la absorción o la emisión selectiva de radiación luminosa a una longitud de onda específica por parte de los átomos en estado gaseoso de los elementos a analizar. Se promueven los electrones entre niveles electrónicos determinados ya que los átomos no tienen subniveles rotacionales o vibracionales. Por tanto radiación absorbida o emitida no presentará un intervalo amplio de longitudes de onda (bandas) sino que se obtienen líneas infinitesimales en cuanto a grosor (hay un aumento de selectividad). Abarca una zona muy amplia del espectro, desde los rayos X



hasta el visible. Cuando la interacción se produce con los electrones más internos, la radiación tiene que ser muy energética (rayos X). Por el contrario si interacciona con los electrones más externos, la radiación es poco energética (UV o visible).

Los instrumentos basados en técnicas atómicas deben incluir algún dispositivo que permita pasar el analito del estado en el que se encuentre en la muestra al estado atómico, es decir, que atomice el analito. La atomización de la muestra se logra colocándola en condiciones lo suficientemente energéticas, siendo la llama y el horno de grafito los dispositivos más ampliamente utilizados con este fin. Los elementos no metálicos presentan inconvenientes para su determinación mediante estas técnicas ya que se atomizan y llegan a ionizarse a temperaturas muy bajas. Cada uno de los diferentes elementos metálicos tiene un conjunto de niveles energéticos a los cuales se puede excitar estando como átomo en fase gaseosa.

El desarrollo de nuevos métodos de detección permite tratar las muestras con mayor cantidad de energía logrando, además, algunas ventajas como es el caso de la reducción del tamaño de muestra necesario para el análisis, la gran difusión de esta técnica es consecuencia de los factores siguientes:

☞ El amplio intervalo de longitudes de ondas o de frecuencia de energía radiante y sus diferentes modos de interacción con la materia.

☞ La existencia en el mercado de instrumentos de medida más precisos.

☞ La ventaja inherente: generalmente, el análisis es muy rápido una vez que se ha establecido en método, a no ser que se requiera un tratamiento previo para eliminar interferencias. El método es por tanto, muy cómodo para medidas repetidas para un mismo constituyente.

Además, el método es en general, aplicable a la determinación exactas de cantidades de constituyentes mucho menores que con los métodos gravimétricos o volumétricos; es por tanto muy adecuado para el análisis de trazas.<sup>(10)</sup>



## 4.6 TÉCNICAS ESPECTROFOTOMETRICAS ATÓMICAS

Los diferentes tipos de técnicas atómicas se pueden clasificar considerando la forma de interacción de la energía usada para la atomización (Tabla N° 1).

Tabla N° 1: Técnicas Atómicas

TIPO DE ENERGIA USADA PARA LA ATOMIZACION (Y LA EXITACION)	INTERACCION MATERIA-ENERGIA	TECNICA
Llama	Absorción	Espectrofotometría Absorción Atómica
	Emisión	Fotometría de Llama Fluorescencia Atómica
Térmica, eléctrica, láser, microondas, plasma, etc.	Emisión	Fluorescencia Atómica Espectroscopia de Emisión
	Absorción	Espectroscopia Absorción Atómica sin Llama

## 4.7 ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON LLAMA

Como se ha comentado anteriormente, en esta variante se usa la llama para atomizar la muestra. Las partes principales de las que consta un espectrofotómetro de absorción atómica con llama son las siguientes:

- ☞ Fuente de radicación
- ☞ Nebulizador (sistema de introducción de la muestra)
- ☞ Mechero
- ☞ Monocromador (normalmente una red de difracción)





- ✍ Detector (tubo fotomultiplicador)
- ✍ Sistema de recogida de datos (ordenador)

Los tres últimos componentes son comunes a cualquier tipo de espectrofotómetro por lo que se comentaran los primeros ya que son los que diferencian a esta técnica del resto de las técnicas espectroscópicas.

## 4.8 FUENTES DE RADIACIÓN

La muestra atomizada se irradia con una fuente que proporcione las mismas líneas que el analito cuya concentración se quiere determinar; es decir, se usan lámparas del mismo analito a cuantificar. Así se consigue hacer más selectiva la técnica ya que si se usara la lámpara de wolframio (W) o de xenón (Xe) habría muchos compuestos que también absorberían esa radiación.

Las lámparas que se suelen utilizar son de dos tipos:

✍ Lámparas de Cátodo Hueco: El cátodo es propio del elemento que se requiere determinar. Tiene forma de copa y la ventana (de cuarzo o de vidrio) es transparente a la radiación que se emite. Cuando la lámpara se calienta, los átomos del elemento que forman el cátodo se excitan y emiten radiación al pasar al estado fundamental. Esa radiación es la que llega a la muestra atomizada. Cada lámpara tiene una corriente característica para un rendimiento óptimo. Tiene un tiempo de vida limitado ya que, conforme la lámpara se usa, el cátodo se va gastando.

Hay lámparas denominadas “multielemento” que nos sirven para cuantificar varios elementos, aunque presentan el inconveniente de un tiempo de vida más corto.

✍ Lámparas de descarga sin electrodos: Son menos utilizadas. Constan de un receptáculo con el elemento que esta en forma atómica, como halo genuro o también una combinación de ambos, todo ello rodeado por una bobina de radiofrecuencia que es la que produce un aumento de temperatura, y por



tanto el calentamiento y excitación del elemento que forma la lámpara. Cuando el elemento excitado se desactiva, emite la radiación que llega a la muestra.

En general la intensidad de la fuente de radiación no es un parámetro de influencia en las técnicas de absorción ya que lo que se mide es una relación de intensidades:  $A = \log I_0/I$ .

#### 4.9 TIPOS DE NEBULIZADORES

La nebulización es la dispersión de la muestra en finas gotas de diámetro pequeño. La solución es aspirada a través de un tubo capilar, a la salida del cual se forman las gotas. El transporte de la disolución se realiza mediante los nebulizadores, que pueden ser varios tipos:

- ✍ Neumáticos.- La disolución es aspirada a través de un capilar por el efecto Venturi. Son los sistemas de introducción de la muestra más aptos pues son mecánicamente estables, resistentes a la corrosión, difíciles de bloquear y fáciles de limpiar. También tienen inconvenientes como un ineficaz transporte de la muestra, se producen atascos cuando las disoluciones presentan altos contenidos de sólidos y el tamaño de las gotas producidas es muy amplio. Hay de varios tipos: de flujo cruzado, de contra flujo, M.A.K, etc.
  
- ✍ Ultrasónicos.- Se producen cuando un chorro de gas a alta velocidad genera la inestabilidad superficial de un líquido produciendo un aerosol desde la superficie de dicho líquido. La corriente es generada con un transductor piezoeléctrico. La ventaja que presentan son que la cantidad y densidad del aerosol son independientes de los flujos de gases, las gotas son más pequeñas y regulables por lo que se obtiene mejor sensibilidad y se disminuye el efecto de la matriz. Existen dos tipos de nebulizadores ultrasónicos según se produzca la nebulización a través de todo el líquido (nebulizador ultrasónico de cristal vertical) o gota a gota (nebulizador ultrasónico acoplado a un líquido).



☞ Nebulizador Babington.- Consta de una superficie esférica con una serie de agujeros alrededor de una circunferencia. El gas sale de dentro de la esfera y el líquido fluye por fuera de la esfera y pasa sobre la corriente de gas, siendo entonces nebulizado. Se reducen los problemas de depósito que tienen los nebulizadores neumáticos.

☞ Nebulizador de ranura en V.- Se hace pasar la corriente líquida por debajo de la ranura en V, con un pequeño agujero en su centro para que salga el flujo del gas. Es de vidrio, metal o teflón.

#### **4.10 MECHEROS Y TIPOS DE LLAMA**

En esta parte del equipo es donde se forma la llama. Fundamentalmente hay de dos tipos:

☞ De consumo total o flujo turbulento: La muestra se aspira por efecto Venturi de los gases que van por tubos concéntricos al tubo por donde pasa la muestra. Aunque es un sistema muy simple y tiene gran sensibilidad, presenta un inconveniente y es que forman gotas muy heterogéneas en tamaño y las más grandes no llegan a ser evaporadas, aumentando las interferencias químicas. Además, si la muestra es viscosa el capilar se puede obturar.

☞ De flujo laminar o de cámara de mezcla: Este tipo de mechero cuenta con una cámara donde se mezcla la muestra, el oxidante y el combustible. Las gotas muy grandes chocan con unas barreras y quedan retenidas, así las gotas que llegan al mechero son homogéneas y la llama es más suave. Las gotas grandes se eliminan a través de un sistema de drenaje el cual utiliza una trampa líquida para prevenir que los gases de combustión escapen. La desventaja que presentan es que al perderse las gotas grandes la sensibilidad es menor.

La llama debe alcanzar la temperatura adecuada para atomizar al analito, además de proporcionar un ambiente gaseoso adecuado. El ruido de fondo procedente de la llama no debe interferir en la determinación y se deben controlar sus características. En una llama se distinguen tres zonas:



↳ Zona Interna: En ella no se alcanza el equilibrio térmico (hay una combustión parcial) y no tiene interés. Además se produce emisión luminosa.

↳ Zona Caliente: Se alcanza el equilibrio térmico y es donde se producen los fenómenos más reproducibles. Es la zona que se aprovecha desde el punto de vista analítico.

↳ Zona Fría: Se produce una combustión parcial de compuestos que no se han descompuesto en las otras zonas. Como no se alcanza el equilibrio térmico por estar en contacto con el ambiente, no se usa.

Las llamas pueden ser de varios tipos dependiendo de los gases que las produzcan y de la temperatura (de la zona intermedia) que alcancen. Las condiciones óptimas de una llama son que alcance altas temperaturas pero que no produzca ionización de los átomos, que sea óptimamente transparente, es decir, que no absorba radiación de la fuente de luz y que no emita radiación. Las más usadas son las de aire-acetileno y óxido nitroso-acetileno. La llama de aire-acetileno se usa para determinar elementos con potencial de ionización bajo o fácilmente ionizables, como cobre, plomo, potasio, sodio, hierro, etc. La desventaja que presenta este tipo de llama es que se necesita un exceso de agente oxidante y, por tanto, aquellos elementos que produzcan óxidos estables, no van a poder ser analizados. En estos casos, y también para elementos de baja volatilidad o que formen compuestos refractarios y que no se descomponen en la llama aire-acetileno, como aluminio, silicio y wolframio, se debe emplear la llama óxido nitroso-acetileno.

Las interferencias químicas disminuyen al aumentar la temperatura de la llama, pero también se incrementan los fenómenos de ionización más fácilmente, por lo que habría que añadir suspensores de ionización.

#### 4.11 PROCESO DE ATOMIZACIÓN

Las etapas de que consta el proceso de atomización de la muestra cuando se usa la llama son las siguientes:

1. Nebulización: La muestra se convierte en aerosol.



2. Evaporación del disolvente: El disolvente se evapora en la llama y el aerosol pasa a estado sólido (las gotas grandes se condensan y se eliminan).
3. Volatilización: El aerosol sólido se convierte en gas.
4. Disociación: Las moléculas se disocian y se obtiene el analito en estado gaseoso.

En las etapas 3 y 4 se producen fenómenos indeseables como excitación y emisión, equilibrios de disociación, ionización, asociaciones con otros elementos formando óxidos, hidruros etc.

Todos estos fenómenos producen errores en la medida ya que, por ejemplo, los átomos ionizados no absorberán la radiación selectiva y por tanto provocarán un error por defecto; los óxidos o los hidruros van a dar lugar a bandas moleculares, los átomos que se han excitado al desactivarse emiten radiación y parte de la misma llega al detector, produciendo un error por defecto (radiación que no han absorbido los átomos), etc. Por tanto, estas reacciones paralelas deben evitarse o minimizarse.<sup>(10)</sup>

## 4.12 MODALIDADES DE LLAMA

La emisión es el fenómeno, inverso a la absorción, en donde el átomo, ión o molécula pasa de su estado basal al excitado (Fig. 1) por medio de energía diferente a la radiante, como arcos eléctricos, flamas, etc. y vuelve a su estado basal (Fig. 2) o a un nivel menor de energía emitiendo fotones de energías características.

La intensidad de la radiación emitida depende del número de especies capaces de emitir fotones

Fig. 1

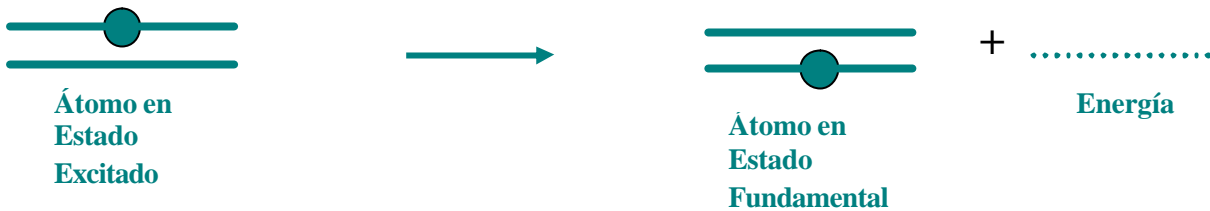
Emisión Atómica

Excitado





**Descomposición:**



**Fig. 2**

**Absorción Atómica:**



Los átomos en “estado fundamental” absorben baja energía a una longitud de onda específica por el cual entran al “estado excitado”. Como el número de átomos en el paso de luz incrementa, el alcance de luz absorbida también incrementa.

Se hace una determinación cuantitativa del alcance del analito midiendo la cantidad de luz absorbida. El uso de fuentes especiales de luz y la selección cuidadosa de la longitud de onda permite la determinación específica de elementos individuales. <sup>(10)</sup>



### 4.13 ABSORCIÓN ATÓMICA Y EMISIÓN ATÓMICA

En absorción atómica, la única función de la llama es convertir la muestra aerosol en vapor atómico que puede absorber luz de la fuente primaria lámpara de cátodo hueco o la lámpara de descarga sin electrodo.

Es por eso que algunas diferencias básicas entre absorción y emisión atómica se discuten a continuación. Usando emisión atómica, la llama se utiliza para dos objetivos: esta convierte la muestra aerosol, en vapor atómico y entonces térmicamente eleva a los átomos a un estado excitado. Cuando estos átomos retornan al estado fundamental, ellos emiten luz que se detecta por el instrumento. La intensidad de la luz emitida es relativa a la concentración de un elemento de interés.

### 4.14 GENERACIÓN DE HIDRUROS (GH)

Algunos metales como Arsénico (As), Antimonio (Sb), Cadmio (Cd), Bismuto (Bi), Estaño (Sn), etc. forman hidruros volátiles y esta propiedad se aprovecha para separarlos de la matriz de la muestra y concentrarlos, aumentando la selectividad y la sensibilidad de la determinación; es en esta etapa que se usa el generador de hidruros. Para esta técnica se usa el borohidruro sódico ( $\text{NaBH}_4$ ) esto permite que la reacción sea completa y rápida cuando se trata de la especie inorgánica Arsénico III (As III), que en medio ácido (HCl) produce hidrógeno atómico que actúa sobre el ión metálico dando lugar al hidruro volátil que se arrastra mediante un gas inerte al espectrofotómetro de absorción atómica, la reacción general es la siguiente:



La técnica de la espectroscopia de absorción atómica con generación de hidruro (GH – AAS), consta de tres etapas fundamentales siendo estas:

1<sup>o</sup> – La generación y volatilización del hidruro.



2<sup>0</sup> – La transferencia del hidruro hacia el espectrofotómetro de absorción atómica.

3<sup>0</sup> – La atomización del hidruro en el espectrofotómetro de absorción atómica.

El vapor del hidruro se hace entrar mediante una corriente de gas inerte en un tubo de cuarzo a 900 °C, calentado en este caso por una llama. La temperatura es suficiente para atomizar el vapor que absorbe la luz de la lámpara que pasa por el eje del tubo.

La ventaja de esta técnica es que separamos el elemento, a analizar, de la matriz, por lo que los problemas de fondos son menores. Es además una técnica fácil de automatizar.

Los principales inconvenientes de la técnica son:

1<sup>0</sup> – La eficacia de la reducción depende del estado de oxidación del elemento; normalmente los estados de valencia más altos dan peor respuesta, por lo que hay que proceder a una reducción previa.

2<sup>0</sup> – La presencia de algunos metales fácilmente reducibles, tales como cobalto (Co), cobre (Cu), níquel (Ni) y metales nobles, pueden disminuir la formación de hidruro causando interferencia. Parece que el borohidruro reduce estos iones a metal libre en forma de precipitado coloidal, cuya superficie cataliza la descomposición del hidruro. Como la mayoría de metales se disuelven en ácido fuerte, este problema se reduce usando una mayor acidez (HCl 5M) y trabajando por adición.

3<sup>0</sup> – La sensibilidad depende de la concentración de ácido, aumentando al disminuir la acidez. <sup>(10)</sup>

#### 4.15 INTERFERENCIAS

Como se ha comentado hay muchas interferencias que se deben tener en cuenta y tratar de eliminar o minimizar para conseguir la máxima selectividad y sensibilidad posibles. Hay varios tipos de interferencia:





☞ **Espectrales:** Son debidas a la proximidad de las líneas y hay elementos que no se pueden medir por separado por esta causa:

**Tabla N° 2:** Pares de electrones cuyos espectros se interfieren mutuamente en espectrofotometría de absorción atómica.

NUMERO	ELEMENTOS Y LINEAS			
1	Cu	3247.540 A°	Eu	3247.540 A°
2	Si	2506.899 A°	V	2506.905 A°
3	Fe	2719.025 A°	Pt	2719.038 A°
4	Al	3082.155 A°	V	3082.111 A°
5	Hg	2536.52 A°	Co	2536.49 A°
6	Mn	4033.073 A°	Ga	4032.882 A°

Por ejemplo el Fe absorción a 2719.025 A° y el Pt a 2719.038 A°. Se suele hacer una separación previa de elementos o se consideran atrás líneas de absorción propias del elemento, aunque sean de menor intensidad. También se puede dar el caso de que los átomos se exciten y emitan radiación desde ese estado excitado y esa emisión se contabilizará como radiación no absorbida por los átomos.

☞ **Físicas:** Son debidas a las características de la llama (señal que se observa cuando el elemento a analizar este ausente de la llama) y a las características de la muestra (densidad, tensión, superficial, viscosidad, etc.). Para minimizarlas se deben preparar los patrones de la forma más parecida posible a la matriz de la muestra.

☞ **Químicas:** Hay de varios tipos:

☞ Formación de óxidos, hidróxidos o hidruros por el analito. La concentración de átomos libres disminuyen y disminuye su señal en el espectro.

☞ Posibilidad de formación de sales refractarias entre el analito y algunos aniones de la muestra (sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ), silicatos, etc.). La concentración de átomos libres también disminuye y se producen además interferencias moleculares. Un ejemplo de este tipo de interferencias es la producida por los



iones fosfatos y sulfatos en la determinación del calcio debido a la formación de pirofosfato de calcio o sulfato de calcio en la muestra y que no se disocian por completo en la llama. Para evitar este problema se añaden a la muestra agentes “liberadores”, como lantano o estroncio, que unen a los iones que producen la interferencia, desplazando al calcio, que será atomizado.

☞ **Absorción molecular.** Las moléculas que se encuentran en la llama absorben radiación que se contabilizará como si hubiera sido absorbida por los átomos, provocando un error por exceso. En general las interferencias químicas disminuyen al aumentar la temperatura de la llama.

☞ **Por ionización del analito:** Este tipo de interferencia se produce en la determinación de elementos que son fácilmente ionizables como son los alcalinos, los alcalinos térreos o los lantánidos, cuando se usan llamas que alcanzan altas temperaturas. Es la más fácil de eliminar y se hace añadiendo un “supresor de ionización”, que es una especie que se ioniza fácilmente y deja una alta densidad de electrones que retrograda la ionización del analito, como compuestos de cesio o de lantano.

☞ **Debidas a la dispersión:** La radiación procedente de la fuente de radiación puede ser dispersada por partículas sólidas o líquidas que están en la llama. Esa radiación no llega al detector y se considera como absorbida por los átomos, dando lugar a un error por exceso.

#### 4.16 CURVA DE CALIBRACIÓN

Se trata de un método relativo o comparativo donde se establecen curvas de calibración que representen la relación señal-concentración del analito a cuantificar.

**Calibración Directa:** Se prepara un número de disoluciones que no sea menor de tres que contenga el elemento a determinar, abarcando el intervalo de concentración del elemento recomendado, por el fabricante del equipo. Todo reactivo empleado en la preparación de disolución muestra se debe agregar a las disoluciones estándar en la misma concentración. Una vez que se optimizan las variables instrumentales (posición de la lámpara, flujo de los gases, etc.) se mide cada solución estándar por lo menos tres veces. La curva de calibración se construye representando el promedio de cada grupo de



tres lecturas de la concentración. La relación entre la señal instrumental y la concentración del analito debe ser lineal. La concentración del elemento en la muestra debe encontrarse en el intervalo lineal de la curva de calibrado. Ya que esto nos permite obtener precisión y confianza en los resultados. <sup>(11)</sup>

#### **4.17 LEYES DE LA ESPECTROFOTOMETRÍA**

Cuando un haz de energía monocromática incide sobre una capa homogénea de una sustancia transparente, parte de la energía es absorbida y el resto transmitida, aunque en realidad una pequeña parte es reflejada. Si la energía radiante incidente tiene longitudes de onda en la región visible del espectro y el medio a través del cual tiene que pasar absorbe selectivamente ciertas longitudes de ondas, el color observado corresponderá a las longitudes de onda de la energía transmitida.

#### **4.18 LEY DE LAMBERT-BEER**

La ecuación fundamental para aplicar la espectrofotometría en química analítica se denomina Ley de Lambert-Beer o simplemente Ley de Beer. Esta ley establece que la absorbancia es proporcional a la concentración de la especie absorbente.

La ecuación es:  $A = abc$

En donde:  $A$  = es la absorbancia.

$a$  = es la absortividad.

$b$  = es la longitud del recorrido óptico.

$c$  = es la concentración de la muestra.

Otra forma de determinar la absorbancia es el logaritmo en base 10 del inverso de la transmitancia ( $T$ ), en el que el disolvente puro es el material de referencia, esto es:  $A = \log_{10} 1/T = -\log_{10} T$



#### 4.19 DESVIACIONES DE LA LEY DE LAMBERT-BEER

Las desviaciones con respecto a la Ley de Beer se clasifican en tres categorías: Reales, Instrumentales y Químicas.

☞ **Reales:** Se originan en cambios del índice de refracción del sistema analítico. A concentraciones de  $10^{-3}$  ppm o menores, el índice de refracción es constante, pero a concentraciones altas el índice de refracción puede variar considerablemente.

☞ **Instrumentales:** Aparecen cuando la absorbancia se mide con un fotómetro de filtro en el que la radiación incidente está incluida en una banda amplia de longitudes de onda sobre todo si el centro de la banda no coincide con la longitud de onda para la que se mide con máximo de absorbancia.

☞ **Químicas:** Causadas por desplazamientos de un equilibrio químico o físico en el que participa la especie absorbente, efectos de pH, hidrólisis, etc. <sup>(12)</sup>

#### 4.20 LIMITE DE DETECCIÓN

Limite de detección se define como la concentración del elemento que produce una señal analítica igual al doble de la desviación estándar de la señal de fondo. (Para la atomización en llama, se obtiene midiendo la variación de la señal cuando se pulveriza el blanco dentro de la llama.). Los límites de detección varían ampliamente con variables como: la espectral, la sensibilidad del detector y el tipo de procesamiento de señal.

Se observa límites de detección que van de aproximadamente  $3 \cdot 10^{-4}$  ppm a 20 ppm para los diferentes elementos metálicos, cuando se utiliza la absorción atómica con atomización en llama. La atomización sin llama aumenta a menudo este límite por un factor de 10 a 1000 ppm. <sup>(12)</sup>



#### 4.21 LIMITE DE CUANTIFICACIÓN

Es la concentración del componente que produce una señal suficientemente mayor que la del blanco. Es la concentración típica que produce una señal diez veces la desviación estándar de la señal del blanco. **El límite de cuantificación práctico (LCP)** es definido como el nivel inferior registrable de los límites especificados a lo largo de las operaciones rutinarias de un laboratorio.

El **LCP** equivale aproximadamente a cinco veces el límite de detección del método y representa un límite de detección práctico alcanzable de forma rutinaria con una certeza relativamente elevada de que los valores comunicados son fiables. <sup>(12)</sup>

#### 4.22 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y METALES PESADOS CONSIDERADOS PARA LA ACEPTABILIDAD DEL AGUA POTABLE

**Tabla N° 3:** Valores Recomendados por las Normas de Saneamiento de Agua Potable para Centroamérica, Panamá y República Dominicana (norma CAPRE). <sup>(13)</sup>

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO*	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE*
Temperatura	°C	18 -30	-
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5	-
Conductividad	µS/cm	400	-
Sodio	mg/L	25	200
Magnesio	mg/L	30	50
Calcio	mg/L	100	-
Potasio	mg/L	-	10
Cadmio	mg/L	0.05	-
Arsénico	mg/L	0.1	-
Nitritos	mg/L NO <sub>2</sub>	-	1
Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub>	25	50

(\*). Para algunos parámetros la norma reporta valor recomendado y valor máximo admisible.



## 4.23 ANÁLISIS FACTORIAL

El principal propósito es describir la variación de muchas variables en términos de unas pocas variables aleatorias inobservables que llamaremos factores comunes, de forma que todas las covarianzas o correlaciones son explicadas por dichos factores y cualquier porción de la varianza inexplicadas por dichos factores comunes se asigna a términos de errores residuales que llamaremos factores únicos o específicos.

De esta forma el análisis factorial divide la matriz de varianzas y covarianzas o de la correlación en dos partes: La primera parte es generada por los factores comunes y la segunda parte que es una matriz diagonal, es generada por los factores únicos.

El análisis factorial puede ser exploratorio o confirmatorio. El análisis exploratorio se caracteriza por que no se conoce a priori el número de factores y es en la explicación empírica donde se determina este número, en el análisis de tipo confirmatorio los factores están fijados a priori, utilizándose contrastaciones empírica para su corroboración.

El análisis factorial sirve como ninguna estadística, a la causa del logro de la parsimonia científica, también puede verse como una técnica de clasificación de variables en subconjuntos, tales que en cada subconjunto las variables altamente correlacionadas entre sí y variables pertenecientes a conjuntos disjuntos están relativamente incorrelacionadas.<sup>(1)</sup>



#### **4.23.1 MATRIZ DE CORRELACIONES**

Si las correlaciones entre las variables son pequeñas, es poco probable que ellas compartan factores comunes. Por lo que se hace necesario examinar el determinante de la matriz de correlaciones. Un determinante muy bajo significa que hay variables con intercorrelaciones muy altas, esto indica que los datos pueden ser adecuados para realizar un análisis factorial.

Nos permite ver el grado de relación entre un par de variables y el grado de significancia que debe ser cercano a cero.

El valor determinante muy cercano a cero nos indica que las variables están linealmente relacionadas.<sup>(1)</sup>

#### **4.23.2 TEST DE ESFERICIDAD DE BARTLETT**

Si el valor del estadístico es grande y el nivel de significación asociado (P) es pequeño ( $<0.01$ ), será poco probable que la matriz de correlación sea una identidad. En el caso de que el nivel de significación sea grande ( $>0.25$ ) no se puede rechazar la hipótesis nula de que la matriz de correlación sea una identidad, y por tanto habría que reconsiderar el uso del modelo factorial. El estadístico de dicho test viene dado por:

El “P” valor del contraste nos dice que no es significativa la hipótesis nula de variables iniciales intercorrelacionadas, por lo tanto tiene sentido aplicar el análisis factorial.<sup>(1)</sup>

#### **4.23.3 MEDIDA DE ADECUACION DE KAYSER-MEYER-OLKIN (KMO)**

Valores pequeños de KMO indican que un análisis factorial de las variables puede no ser una buena idea, ya que las correlaciones entre parejas de variables no pueden ser explicadas por otras variables. Se tiene que si  $KMO = 0.5$  la idea es aceptable y si  $KMO < 0.5$  es inaceptable.<sup>(1)</sup>



## 4.24 ANÁLISIS DE CLUSTER

El análisis de cluster es una técnica multivariada no explicada, en la que se intentan reducir las dimensiones necesarias para interpretar un conjunto de datos. Típicamente el objetivo fundamental consiste en identificar grupos de individuos sin que a priori se conozca el criterio de agrupamiento alguno.

### 4.24.1 ALGORITMOS JERÁRQUICOS

Dada una matriz de distancias o de similitudes se desea clasificar los elementos de una jerarquía. Los algoritmos existentes funcionan de manera que los elementos son sucesivamente asignados a los grupos. Los algoritmos son de dos tipos:

- 1-De aglomeración. Parten de los elementos individuales y los van agregando en grupos.
- 2-De división. Parten de los elementos y lo van dividiendo sucesivamente hasta llegar a los elementos individuales.

### 4.24.2 DENDROGRAMA

El dendrograma, o árbol jerárquico, es una representación gráfica del resultado del proceso de agrupamiento en forma de árbol, el cual se construye de la siguiente manera:

- 1-En la parte inferior del gráfico se disponen los elementos iniciales.
- 2-Las uniones entre elementos se indican por tres líneas rectas. Dos dirigidas a los elementos que se unen, y que son perpendiculares al eje de los elementos, y una paralela a este eje, que se sitúa al nivel que se unen.





3-El proceso se repite hasta que todos los elementos están conectados por líneas rectas.

Si cortamos el dendrograma a un nivel de distancia dado, obtenemos una clasificación del número de grupos existentes a ese nivel y los elementos que los forman.<sup>(14)</sup>

## V- PARTE EXPERIMENTAL

### 5.1 MUESTREO

A partir del primer estudio realizado: “Calidad del Agua de consumo en la comarca de Chacraseca” realizada en el 2004 donde se tomaron 75 muestras de pozos excavados y perforados, de los que se seleccionaron un total de 14 pozos perforados debido a la buena calidad físico-química y bacteriológica obtenida en estudio antes mencionado que presentaron con respecto a los excavados. El muestreo de los 14 pozos perforados distribuidos en 9 sectores de la comarca se llevo a cabo con la ayuda de los líderes comunales. La identificación de las muestras contiene la siguiente información:

Nombre del Sector

Fecha y Hora del Muestreo

Temperatura In Situ

El material que se utilizó fue de vidrio o plástico, excepto para sílice que se utilizó plástico, el material se lavó con HNO<sub>3</sub> 1+1 y abundante agua desionizada. La muestra tomada, se pasa por un filtro depositándola en el envase preparado, lavando tres veces y acidulando la muestra con HNO<sub>3</sub> 1+1 hasta pH 2.

### 5.2 CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestra aciduladas (con 3ml HNO<sub>3</sub> 1+1/L) y filtradas se trasladan al laboratorio y se conservaron a 4°C. En estas condiciones las muestra se mantiene estables por un periodo de hasta seis meses.



### 5.3 ZONAS DE MUESTREO

**Tabla N° 4:** Esta tabla muestra el número de sectores muestreados, fecha de muestreo, los pozos perforados muestreados y los pozos en desuso.

N° de Sectores	Nombre del Sector	Fecha de Muestreo	Total de Pozos Perforados	Total de Pozos en Desuso
1	Pedro Aráuz	21 de julio, 2005	3	1
2	Raúl Cabezas	21 de julio, 2005	4	-
3	Las Colinas	21 de julio, 2005	1	-
4	La Concepción	21 de julio, 2005	1	1
5	La Bolsa	24 de agosto, 2005	1	-
6	Las Brisas	24 de agosto, 2005	1	-
7	Boca de Cántaro	24 de agosto, 2005	1	1
8	Mojón Sur 1	24 de agosto, 2005	1	-
9	Mojón Sur 2	24 de agosto, 2005	1	-
Total			14	4



**5.4 Tabla N° 5:** Lista de Pozos Perforados Muestreados de la Comarca Chacraseca.

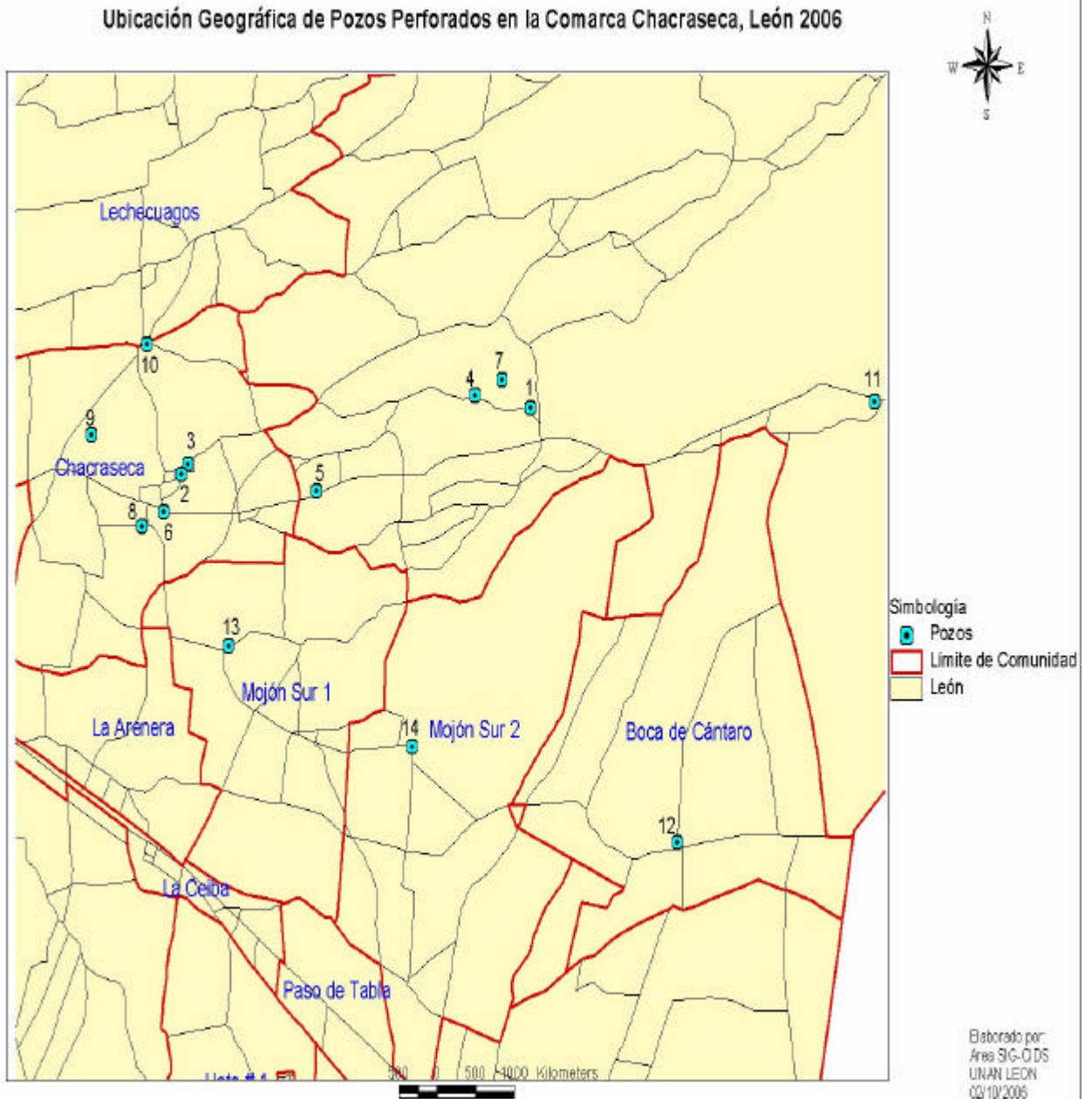
No*	Nombre del Pozo	Sector
1	Instituto Alberto Berrios	Pedro Aráuz
2	Casa de Paz	Raúl Cabezas
3	Modesto Castillo	Las Colinas
4	Centro de Salud	Pedro Aráuz
5	Colegio	La Concepción
6	CIPRES	Raúl Cabezas
7	Juan Silva	Pedro Aráuz
8	José Erasmo Sevilla	Raúl Cabezas
9	Matilde Pérez	Raúl Cabezas
10	Pedro Luis Delgado	La Bolsa
11	Roberto Aráuz	Las Brisas
12	Colegio	Boca de Cántaro
13	Colegio José Dolores Estrada	Mojón Sur 1
14	Colegio Sagrado Corazón de Jesús	Mojón Sur 2

(\*) Número para referirse a cada pozo



### 5.4.1- MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS POZOS PERFORADOS

Ubicación Geográfica de Pozos Perforados en la Comarca Chacraseca, León 2006





## 5.5 PARÁMETROS A ANALIZAR Y MÉTODOS

**Tabla N° 6:** Esta tabla muestra cada uno de los parámetros a analizar con su respectivo método y referencia.

Parámetros	Métodos de Análisis	Referencia (a)
Temperatura	Lectura en grados Celsius (°C)	2550B
Conductividad	Método Conductimétrico	2510B
pH	Método potenciométrico	4500-H –B
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Espectrofotometría: Método UV Selectivo	4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	Espectrofotometría: Método Zambelli	4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B
Calcio (Ca)	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500Ca-B
Potasio (K)	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-K-B
Sodio (Na)	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Na-B
Magnesio (Mg)	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Mg-B
Cadmio (Cd)	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Cd-B
Silicio (Si)	Espectrofotometría de Absorción Atómica	4500-Si-B
Arsénico (As)	Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generador de Hidruros.	3114-As-A

(a) APHA-AWWA-WPCF. Díaz de Santos. Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales. 17 Edición. Ediciones Díaz de Santo, S.A. Madrid, España. 1992.

## 5.6 REACTIVOS

- ☞ Ftalato Ácido de Potasio KH<sub>5</sub>C<sub>8</sub>O<sub>4</sub> (FISHER)
- ☞ Hidróxido de Sodio NaOH (FISHER)
- ☞ Fosfato de Potasio KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (FISHER)
- ☞ Ácido Bórico H<sub>3</sub>BO<sub>4</sub> (FISHER)
- ☞ Cloruro de Potasio KCl (FISHER)



- ☞ Ácido Nítrico Concentrado-Trazas de Metales (FISHER)
- ☞ Solución de Ácido Nítrico 10% (FISHER)
- ☞ Solución de Ácido Nítrico 1% (FISHER)
- ☞ Solución Patrón de Cobre 4 ppm (FISHER)
- ☞ Ácido Clorhídrico Concentrado (EM)
- ☞ Nitrato de Potasio Anhidrido (FISHER)
- ☞ Amoniaco Concentrado (FISHER)
- ☞ Fenol (MERCK)
- ☞ Ácido Sulfanílico (FISHER)
- ☞ Cloruro de Amonio (FISHER)
- ☞ Estándar de Conductividad (CRISON)
- ☞ Estándar Patrón de Sílice (MERK)
- ☞ Estándar Patrón de Cadmio (MERK)
- ☞ Estándar Patrón de Arsénico (MERK)
- ☞ Estándar Patrón de Magnesio (FISHER)
- ☞ Estándar Patrón de Calcio (FISHER)
- ☞ Estándar Patrón de Sodio (FISHER)
- ☞ Estándar Patrón de Potasio (FISHER)
- ☞ Agua Destilada
- ☞ Agua Desionizada

## 5.7 MATERIALES E INSTRUMENTACIÓN

- ☞ Balones de 10 ml
- ☞ Balones de 25 ml
- ☞ Balones de 50 ml
- ☞ Balones de 100ml



- ✍ Balones de 1000 ml
- ✍ Beakers de 100 ml
- ✍ Goteros
- ✍ Espátulas
- ✍ Estufa
- ✍ Embudos
- ✍ Filtro de membrana de 0.45 $\mu$ m de diámetro de poro, papel para pesar y parafilm.
- ✍ Erlenmeyer de 50 ml.
- ✍ Recipientes de contención (para absorción atómica).
- ✍ Frascos para reactivos.
- ✍ Frascos de vidrio (borosilicato) y plásticos (polietileno) para conservación
- ✍ Termómetro graduado de 0-100 °C
- ✍ Conductímetro (GLP 32-Crison)
- ✍ pH-metro (pH-metro 440-Corning)
- ✍ Micropipeta de 100-1000  $\mu$ l (Nichipet Ex)
- ✍ Micropipeta de 2-10 ml (Sibata)
- ✍ Balanza Analítica (Sartorius serie N° 10801084)
- ✍ Campana Extractora de Gases (OR-ST1200- Burdinola)
- ✍ Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Analys 700-Perkin Elmer) Método Automático
  - Lámpara de Calcio-HCL (Perkin Elmer) \*Multielemento
  - Lámpara de Magnesio - HCL (Perkin Elmer) \*Multielemento
  - Lámpara de Sodio- HCL (Perkin Elmer) \*Multielemento
  - Lámpara de Potasio - HCL (Perkin Elmer) \*Monoelemento
  - Lámpara de Cobre- HCL (Perkin Elmer) \*Multielemento
- ✍ Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Varian) Método Manual
  - Generador de Hidruro (VARIAN)
  - Celda de Cuarzo



Lámpara de Cadmio- HCL (FISHER) \*Monoelemento

Lámpara de Silicio- HCL (BUCK SCIENTIFIC) \*Monoelemento

Lámpara de Arsénico- HCL (BUCK SCIENTIFIC) \*Monoelemento

Espectrofotómetro Visible (HACH)

Espectrofotómetro Ultra Violeta Visible ( Lambda 15-Perkin Elmer)

## 5.8 PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

### Tampón pH 4.2

Pesar 1.02g de ftalato ácido de potasio ( $\text{KH}_2\text{C}_8\text{O}_4$ ) disolver en 50 ml de agua desionizada, a esta disolución agregar 3.70 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N y diluir a 100ml con agua desionizada.

### Tampón pH 7.0

Pesar 0.68g de Fosfato ácido de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), disolver en 50 ml de agua desionizada, agregar 29.63 ml de NaOH 0.1N y diluir a 100 ml con agua desionizada.

### Tampón pH 10.0

Pesar 0.31g de ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) disolver en 50 ml de agua desionizada, agregar 43.90 ml de NaOH 0.1N y diluir a 100 ml con agua desionizada.

### Estándar de Conductividad 1408.23 $\mu\text{s/cm}$ .

Pesar 0.148 g de cloruro de potasio (KCl) y diluir en 200 ml de agua desionizada.

### Estándar de Conductividad 140.823 $\mu\text{s/cm}$ .

Tomar una alícuota de 10 ml del estándar de conductividad de 1408.32  $\mu\text{s/cm}$  y diluirlo en 100 ml.





**Ácido Nítrico 1%.**

En un balón de 1000ml se agregan 14.7ml de  $\text{HNO}_3$  al 68% (trazas de metal) y se diluyen con agua desionizada hasta aforar.

**Ácido Nítrico 10%.**

En un balón de 1000ml se agregan 147ml de  $\text{HNO}_3$  al 68% (trazas de metales) y se diluyen con agua desionizada hasta aforar.

**Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 65% para análisis (p.a).**

En un balón de 100ml se agregan 95.6 ml de  $\text{HNO}_3$  al 68% y se diluyen con agua desionizada hasta aforar.

**Estándar de Cobre (Cu) 4ppm.**

A partir de una solución hija de 100ppm de Cu, tomar 2 ml y diluir en ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 1% hasta 50 ml.

**Reactivo de Zambelli.**

Diluir 206 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl), con 500 ml de agua desionizada. Añadir 5g de ácido sulfanílico ( $\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) y 7.5g de fenol ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ), calentando suavemente hasta disolución. Dejar enfriar y agregar 135g de cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Cuando esté todo disuelto completar hasta un litro con agua desionizada.

**Solución Patrón de Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) 100 mg/L.**

Pesar 0.1630 g de nitrato de potasio anhidro ( $\text{KNO}_3$ ), secado en estufa a 100 °C durante dos horas, disolver en unos 600 ml de agua desionizada y enrasar a un litro en un matraz aforado con agua desionizada



### **Solución de Ácido Clorhídrico (HCl) 1N.**

Tomar 8.6 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl), añadirlo a 60 ml de agua desionizada y enrasar a 100 ml en un matraz aforado con agua desionizada.

### **Ácido clorhídrico (HCl) 37% para análisis (p.a).**

En un balón de 100ml se agregan 37ml de HCl concentrado y se diluyen con agua desionizada hasta aforar.

### **Solución Patrón de Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) 250mg/L.**

Pesar 0.375g de nitrito sodico ( $\text{NaNO}_2$ ) secado en la estufa a 100 °C durante dos horas, disolver en unos 600 ml de agua desionizada y enrasa a un litro en un matraz aforado con agua desionizada.

### **Solución de borohidruro de sodio ( $\text{NaBH}_4$ ) e hidróxido de sodio (NaOH).**

Se pesan por separado 0.2gr de  $\text{NaBH}_4$  y 0.5gr de NaOH, luego se agregan uno a uno hacia un balón de 100ml, y se diluyen con agua desionizada hasta aforar.

## **5.9 METODOLOGÍA**

### **5.10 PROCEDIMIENTO**

#### **5.10.1 Temperatura. Termometría**

Tomar agua en un beaker de 150 ml e introducir un termómetro a una profundidad de 2 cm permaneciendo así hasta que la temperatura se mantenga constante. La medida es realizada “in situ”.

La temperatura se refleja directamente en los grados marcados en el termómetro.



### 5.10.2 Conductividad eléctrica. Método Conductimétrico.

La conductividad específica del agua es la aptitud de esta para transmitir la corriente. La conductividad depende de la actividad de los iones disueltos y de la temperatura a la que se realiza la medida. Para medir la conductividad se hace uso de un puente de Wheatstone y una célula de conductividad apropiada, comparando a la misma temperatura la resistencia eléctrica de la muestra y de una solución estándar de cloruro de potasio.

#### Procedimiento.

##### a) Calibración del Conductímetro.

Verificar la constante de la célula de conductividad, siguiendo las instrucciones de manejo del instrumento. En el caso de que su valor sea desconocido o se desee comprobar el perfecto estado de funcionamiento, su determinación se realiza a partir de una solución estándar de KCl 0.01M.

##### b) Medida de la conductividad.

Verter en un vaso de precipitación de 100 ml un volumen adecuado de solución problema introducir en ella la célula de conductividad y la sonda de temperatura, esperar un par de minutos y proceder a la lectura hasta que el valor aparezca en la pantalla permanezca constante. La conductividad eléctrica se expresa en dS/m ó  $\mu$ s/cm.

### 5.10.3 pH. Método Instrumental.

La determinación del pH se basa en la medida de la diferencia de potenciales existente entre un electrodo de vidrio y el electrodo de referencia calomelanos ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2(\text{sat})$ ,  $\text{KCl}(x\text{F}/\text{Hg})$ ) sumergidos en una misma solución. Esta diferencia de potenciales es función lineal de los iones hidrógenos presentes en la disolución a una temperatura dada.



### **Procedimiento.**

- a) Calibración del pH-metro.

Colocar en recipientes adecuados volúmenes de soluciones tampón pH 7 y pH 4

Introducir, en primer lugar, el electrodo de vidrio combinado y la sonda de temperatura en la solución tampón pH 7. Esperar un par de minutos antes de verificar en el aparato su concentración.

A continuación, lavar bien el electrodo y la sonda de temperatura y una vez secos introducirlos en la solución tampón pH 4 y proceder como en el caso anterior.

- b) Medida del pH.

Verter en un vaso de precipitado de 100 ml un volumen adecuado de la solución problema. Introducir en ella el electrodo de vidrio combinado y la sonda de temperatura, esperar un par de minutos y proceder a la lectura.

### **5.10.4 Nitritos. Método de Zambelli.**

Este método se basa en la reacción de los iones nitrito de una muestra de agua con el ácido sulfanílico en medio ácido clorhídrico y en presencia de ion amoniacado y de fenol, formándose un complejo de color amarillo medible a 434 nm. La intensidad de color amarillo es proporcional a la concentración del ion nitrito de la muestra.

### **Procedimiento.**

- a) Preparación de la Curva de Calibrado.

Para preparar una curva de calibrado en el rango de 0.05 - 0.5 mg/l de nitrito, introducir en matraces aforados de 50 ml volúmenes de 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 ml de la solución de 2.5 mg/l de nitrito, completar con agua destilada hasta el enrase y homogenizar.

Transferir a tubos de 60 ml las soluciones patrones anteriormente preparados, añadir 2 ml de reactivo Zambelli, mezclar bien y esperar 10 minutos. A continuación, añadir 2 ml de amoniacado puro y homogenizar.



b) Preparación de la Muestra.

Tomar 50 ml de la muestra a analizar, introducirla en un tubo de 60 ml y proceder exactamente que en la preparación de la curva de calibrado.

c) Determinación.

Medir la absorbancia a 435 nm de cada uno de los patrones de la curva de calibrado y de muestra frente al blanco, en el intervalo de tiempo comprendido entre 5 y 60 minutos desde adición de amoníaco. El contenido de nitrito en la muestra de agua expresada en mg/l, se obtiene por la lectura directa en el espectrofotómetro una vez introducidos los datos de la curva de calibrado.

### 5.10.5 Nitratos. Método espectrofotométrico UV- Selectivo.

El ion nitrato presente en una muestra de agua se determina espectrofotométricamente, mediante la absorción de radiación UV a 220 nm. La presencia de materia orgánica disuelta puede interferir, debiéndose realizar una segunda medida a 275 nm para corregir el valor de nitrato. La acidificación con el ácido clorhídrico impide las interferencias debido a concentraciones de hidróxido o carbonato hasta 1000 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ .

#### Procedimiento.

a) Preparación de la Curva de Calibrado.

Introducir 2, 4, 5, 10, 20, 30, 40 ml de la solución patrón de 100 mg/l de nitrato en 6 matraces aforados de 50 ml completar con agua destilada hasta el enrase. Añadir 1 ml de HCl 1N y homogeneizar perfectamente el contenido.

b) Preparación de la Muestra.

Tomar 50 ml de la muestra y añadir 1 ml de la solución de HCl 1N y homogenizar utilizando un agitador magnético.



c) Determinación.

Medir la absorbancia a 220 y 275 nm frente al blanco. Restar la lectura a 275nm multiplicada por dos la lectura a 220 nm, para obtener la lectura debida al ion nitrato. El contenido en nitrato se obtiene por comparación con la recta patrón obtenido.

## **5.10.6 DETERMINACIÓN DE METALES POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

### **5.10.6.1 CONSIDERACIONES PREVIAS A LA ESPECTROFOTOMETRÍA**

Se debe utilizar agua desionizada para preparar todas las disoluciones y para lavar el material que se utilice

Todo el material y el laboratorio en sí deben mantenerse extremadamente limpio.

El material a utilizar se deja como mínimo 24 horas en HNO<sub>3</sub> 10% (v/v) y luego debe ser enjuagado varias veces con agua desionizada

Los elementos se pueden adsorber en las paredes de los recipientes que los contengan y por ello es necesario acidificar las muestras. Las bajas temperaturas realizan la cinética de adsorción así como la descomposición de las especies, por lo que se recomienda guardar las muestras y los estándares en el frigorífico.

Se debe evitar en lo posible el uso de material innecesario ya que se puede introducir una fuente de error importante.

Los reactivos y los filtros empleados deben contener el menor número de posibles trazas metálicas.

Como mínimo, se deben realizar el análisis de muestra por duplicado.

Cuando se utilizan HF o HClO<sub>4</sub> en el tratamiento previo de la muestra se deben tomar precauciones especiales ya que se pueden producir reacciones violentas.

Cuando se utiliza HCl para descomponer la muestra, se pueden formar cloruros volátiles de los elementos a determinar y por eso se suele utilizar en los sistemas de digestión de muestra cerrados.



Se deben utilizar recipientes plásticos y no de vidrio. <sup>(1)</sup>

#### **5.10.6.2 Procedimiento.**

#### **5.10.6.3 CALIBRACIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA (ANALYST 700- PERKIN ELMER).**

##### **Calibración Automática.**

Se calibra el quemador para llama en posición vertical y horizontal, la vertical se calibra automáticamente, el mejor modo de determinar la posición vertical es con la llama apagada. Para determinar la posición horizontal se hace con la llama encendida y aspirando un estándar de cobre (Cu) de 4ppm a una longitud de onda de 324.8 nm (teóricamente lee 0.2 unidades de abs), se enciende la lámpara de Cu y la llama (deje que la llama se caliente un tiempo aproximado de 20 minutos), aspire la solución de cobre hasta que el equipo indique que la posición este alineada <sup>(15)</sup>.

#### **5.10.6.4 SOFTWARE AA WINLAB 32**

El equipo de absorción atómica Perkin-Elmer (Analyst 700) es un conjunto del sistema instrumental que está controlado por el software para absorción atómica Winlab. Dicho software está basado en los conceptos actuales que rigen el diseño de la interfase gráfica de usuario, tipo Windows, a través de ventanas, con manipulación directa de botones en pantalla, iconos y comandos de menú con ayuda del puntero de un ratón. Aunque el software está diseñado para el análisis de rutina por absorción atómica de una variada gama de tipos de muestras, posee muchas características que también resultan de interés para el usuario. <sup>(15)</sup>



**Tabla N° 7:** Condiciones Recomendadas por el Software Winlab 32 del Equipo de Absorción Atómica Analyst 700-Perkin Elmer. <sup>(16)</sup>

Metal	Potasio (K)	Sodio (Na)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)
Técnica	AA-emisión	AA-emisión	AA-llama	AA-llama
Combustible	Aire-acetileno	Aire-acetileno	Aire-acetileno	Aire-acetileno
Longitud de Onda	409.4nm	330.2nm	422.7nm	285.2nm
Rango Lineal	2-20ppm	10-40ppm	1-5ppm	0.25-2ppm
Lámpara	Sin Lámpara	Sin Lámpara	Con Lámpara	Con Lámpara
Intensidad	Sin Lámpara	Sin Lámpara	69	72
Corriente (mA)	Sin Lámpara	Sin Lámpara	12	25
Setting	3 seg.	3 seg.	5 seg.	5seg.
Delay Time	5 seg.	5 seg.	1 seg.	1 seg.

\*Setting: Tiempo en segundos empleados en integrar la señal o buscar un pico.

\*Delay Time: Tiempo necesario que la muestra y el estándar recorre el capilar hasta llegar al nebulizador.

### 5.11.6.5 PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN.

**Tabla N° 8.** Curva de Calibración de Potasio (K) en un rango lineal de 2-20ppm.

N° de Estándares	B	2 mg/l	10 mg/l	20 mg/l
Solución Patrón de 1000ppm (mg/l) de Potasio (K) (ml)	0	0.1	0.25	0.50
Agua Desionizada (ml)	50.0	49.9	24.75	24.5





**Tabla N° 9. Curva de Calibración de Sodio (Na) en un rango lineal de 10-40 ppm.**

N° de Estándares	B	10 mg/l	20 mg/l	30 mg/l	40 mg/l
Solución Patrón de 1000ppm (mg/l) de Sodio (Na). (ml)	0	0.25	0.50	0.75	1.0
Agua Desionizada (ml).	25.0	24.75	24.50	24.25	24.0

**Tabla N° 10. Curva de Calibración de Calcio (Ca) en un rango lineal de 1-5 ppm.**

N° de Estándares	B	1 mg/l	2 mg/l	3 mg/l	4 mg/l	5 mg/l
*Solución Hija Patrón de Calcio (Ca) de 200 ppm (mg/l) (ml)	0	0.125	0.250	0.325	0.500	0.625
Agua Desionizada (ml).	25.0	24.875	24.750	24.675	24.500	24.375

**Tabla N° 11. Curva de Calibración de Magnesio (Mg) en un rango lineal de 0.25-2ppm.**

N° de Estándares	B	0.25 mg/l	0.5 mg/l	1 mg/l	1.5 mg/l	2 mg/l
*Solución Hija de Magnesio (Mg) de 50ppm (mg/l) (ml)	0	0.125	0.250	0.500	0.750	1.000
Agua Desionizada (ml)	25	24.875	24.750	24.500	24.250	24.000



### 5.10.6.6 CALIBRACIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA (VARIAN).

#### Calibración Manual.

-Prepare una solución de Cu 5ppm.

-Ajuste el equipo para la determinación de Cu. Use el modo absorbancia y un factor de expansión de la escala de 1x.

Longitud de Onda de 324.8 nm

Ancho de banda espectral de 0.5 nm

Corriente de lámpara de 4mA

-Alinee la lámpara y optimice la posición del quemador, las condiciones de la llama y a la posición del lecho usando la solución de Cu de 5ppm.

-Ponga el nebulizador ajustable en máxima razón de aspiración totalmente girado a factor del reloj.

Aspire agua destilada de un cilindro graduado 10ml durante 60 segundos, mida la razón de aspiración.

Esta debe de ser mayor que 8ml por minuto. Ponga en cero el equipo cuando esté aspirando todavía agua desionizada.

-Aspire la solución de Cu 5ppm. Use el control de aspiración para reducir la razón de aspiración hasta que la señal analítica se reduzca a un valor de absorbancia de 0.5.

-Aspire agua desionizada. de un cilindro graduado de 10ml durante 60 segundos y mida la razón de aspiración menor que 7ml por minuto.



## PREPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE METALES.

Tabla N° 12: Condiciones Recomendadas por el Equipo de Absorción Atómica-Varian

Metal	Cadmio (Cd)	Silicio (Si)	Arsénico (As)
Técnica	AA-llama	AA-llama	AA-llama
Longitud de Onda	228nm	251.6nm	192.7nm
Rango Lineal	0.05-2ppm	3-50ppm	2-20ppb
Slit	0.5nm	0.2nm	0.7nm
Velocidad de Flujo.	5ml/min	5ml/min	6ml/min
Flujo de Aire	35ml/min	35ml/min	3.0 unidades (de presión)
Flujo de Acetileno.	1.5ml/min	1.5ml/min	1.5 unidades (de presión)
Tipo de lámpara	Cátodo hueco	Cátodo hueco	Cátodo hueco
Corriente de la lámpara	4mA	40mA	10mA
Tipo de celda	-	-	Celda de cuarzo
Setting	3seg.	3seg.	3seg.

Tabla N° 13: Condiciones Recomendadas por el equipo Varian con Generador de Hidruro para Análisis de Arsénico.

Metal	Arsénico (As)
Técnica	Generación de hidruro
Agente reductor	NaBH <sub>4</sub> (0.6% con razón de flujo de 1ml/min)
Solución ácida	HCl (5N con razón reflujo de 1ml/min)
Gas de arrastre	N <sub>2</sub> (con 46.6 psi. de presión)



### 5.10.6.7 PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES PARA LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN.

Tabla N° 14. Curva de Calibración de Cadmio (Cd) en un rango lineal 0.05-2ppm.

N° de Estándares	B	0.05 mg/l	0.10 mg/l	0.20 mg/l	0.30 mg/l	0.50 mg/l	1.00 mg/l	2.00 mg/l
Solución Hija de Cadmio (Cd) de 5ppm(mg/l) (ml)	0.00	1.00	2.00	4.00	6.00	10.00	20.00	40.00
Acido Nítrico al 1% (ml)	100.00	99.00	98.00	96.00	94.00	90.00	80.00	60.00

Tabla N°15. Curva de Calibración de Silicio (Si) en un rango lineal 3-50ppm.

No de Estándares	B	3 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	20 mg/l	30 mg/l	50 mg/l
Solución Hija de Silicio (Si) de 100ppm (mg/l) (ml)	0.00	3.00	5	10	20.00	30.00	50.00
Agua Desionizada (ml).	100.00	97.00	95.00	90.00	80.00	70.00	50.00

Tabla N° 16. Curva de Calibración de Arsénico (As) en un rango lineal 2-20ppb.

No de Estándares	B	2µg/l	5 µg/l	8µg/l	10µg/l	15µg/l	20 µg/l
Solución Hija de Arsénico (As) de 100ppb (µg/l) (ml)	0.00	2.00	5.00	8.00	10.00	15.00	20.00
Agua Desionizada (ml).	100.00	98.00	95.00	92.00	90.00	85.00	80.00



### **5.10.6.8 DETERMINACIÓN.**

#### **Análisis de Ca, Na, K, Mg por absorción atómica (Analyst 700-Perkin Elmer)**

Después de Calibrar el equipo con el procedimiento antes mencionado y las condiciones recomendadas para cada metal. Se hace pasar el blanco y cada uno de los estándares para leer la curva de calibración y luego cada una de las muestras por triplicado. Las concentraciones de los metales presentes en las muestras las da el equipo de manera automática después de realizadas las curvas de calibración.

#### **Análisis de Cd, Si, As por absorción atómica (Varian)**

Se calibró el equipo con el procedimiento antes mencionado, se hace pasar el blanco, se leyeron los estándares de la curva de calibración y luego las muestras por duplicado. Con las absorbancias obtenidas en cada muestra se calcularon las concentraciones de los metales mediante la curva de calibración respectiva para cada metal.



## VI- RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 6.1- CURVAS DE CALIBRACIÓN

Fig. 3

Curva de Calibración para Nitrato (Método Espectrofotométrico UV- Selectivo)

Espectrofotómetro UV-Visible Perkin Elmer

$\lambda = 220 \text{ nm}$ ;  $\lambda = 275 \text{ nm}$

$$Y = 0,052X + 0,068$$

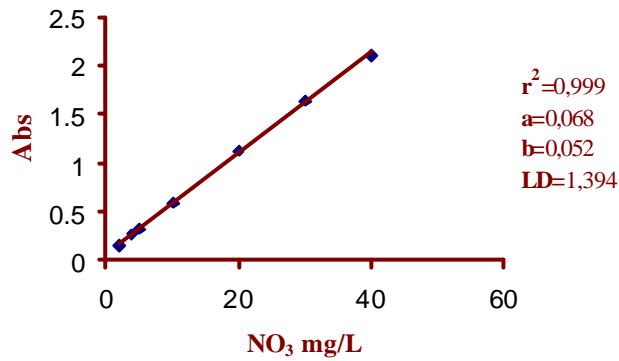


Fig. 4

Curva de Calibración para Nitrito (Método de Zambelli)

$\lambda = 435 \text{ nm}$

$$Y = 1,068X + 0,001$$

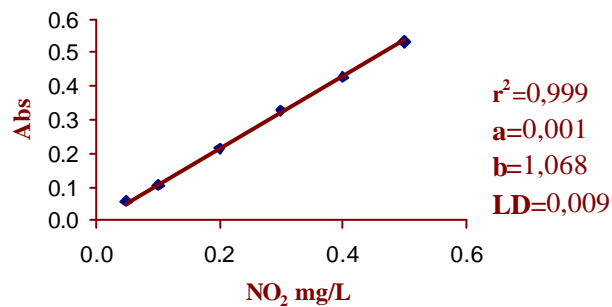




Fig. 5

Curva de Calibración para Potasio (Espectrofotometría de Absorción Atómica)  
Espectrofotómetro de Absorción Atómica Analyst 700 Perkin Elmer  $\lambda = 409.4 \text{ nm}$   
 $Y = 109,18X + 44,65$

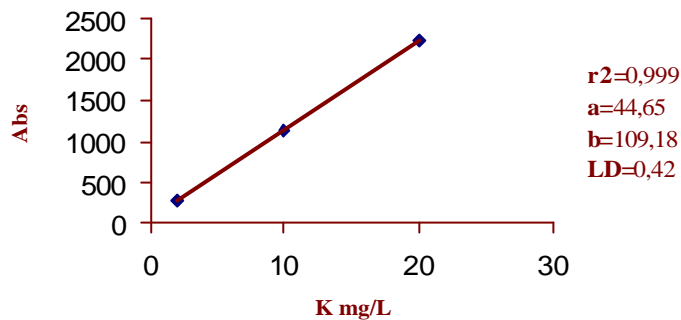
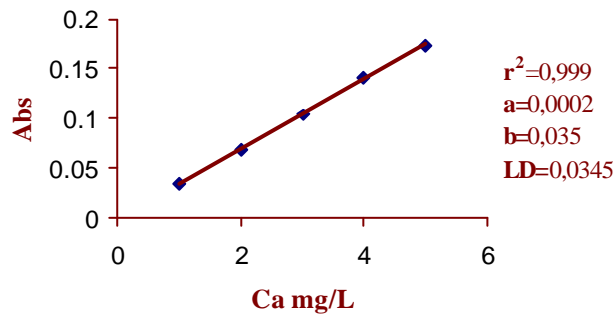


Fig. 6

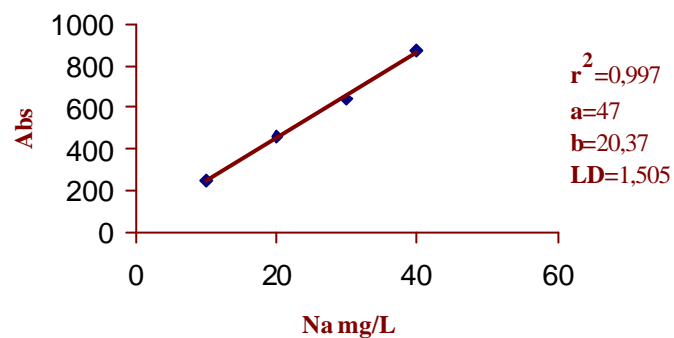
Curva de Calibración para Calcio (Espectrofotometría de Absorción Atómica)  
Espectrofotómetro de Absorción Atómica Analyst 700 Perkin Elmer  $\lambda = 330.2 \text{ nm}$   
 $Y = 0,035X + 0,0002$





**Fig. 7**

Curva de Calibración para Sodio (Espectrofotometría de Absorción Atómica)  
Espectrofotómetro de Absorción Atómica Analyst 700 Perkin Elmer  $\lambda = 422.7 \text{ nm}$   
 $Y = 20,37X + 47$



**Fig. 8**

Curva de Calibración para Magnesio (Espectrofotometría de Absorción Atómica)  
Espectrofotómetro de Absorción Atómica Analyst 700 Perkin Elmer  $\lambda = 285.2 \text{ nm}$

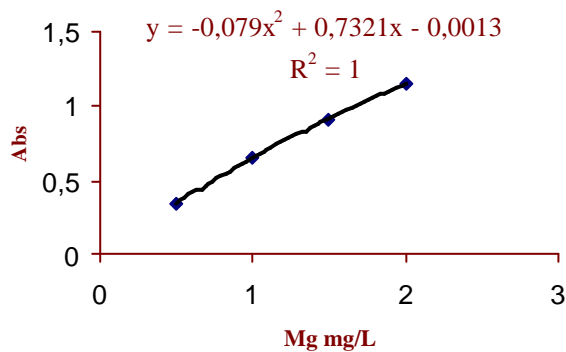






Fig. 9

Curva de Calibración para Cadmio (Espectrofotometría de Absorción Atómica)  
Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian  $\lambda = 228 \text{ nm}$

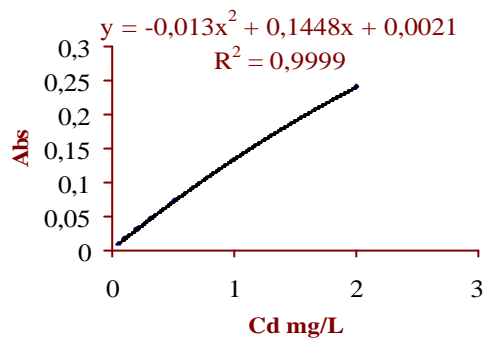
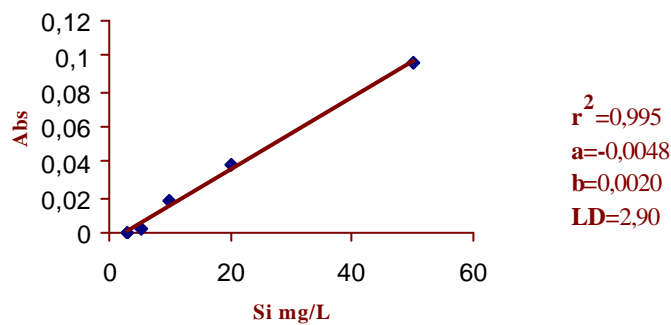


Fig. 10

Curva de Calibración para Silicio (Espectrofotometría de Absorción Atómica)  
Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian  $\lambda = 251.6 \text{ nm}$

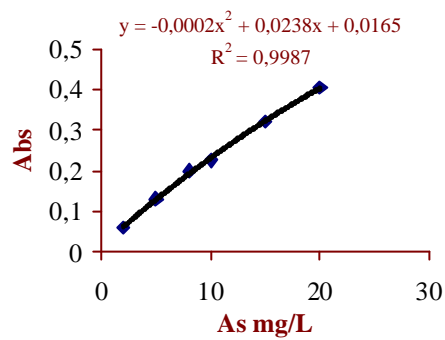
$Y = 0,0020X + 0,0048$





**Fig. 11**

**Curva de Calibración para Arsénico (Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generador de Hidruros) Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian  $\lambda = 192.7 \text{ nm}$**



Los valores de las concentraciones y absorbancia para cada recta de calibración representada en las figuras (3 – 11) se encuentran en anexos. (Ver tablas de la 17 – 25).



## 6.2 ANÁLISIS FACTORIAL

Agrupar variables semejantes entre sí con factores en común, luego de haber ingresado los parámetros con sus respectivos resultados (ver en anexos tabla N° 26) en una base de datos de SPSS. Las variables se agruparon en 5 componentes obteniendo una varianza total explicada del 80.737% (ver en anexos tabla N° 27), esto igualmente se puede observar en el gráfico de sedimentación (ver en anexos gráfico N° 1) en el cual vemos que por encima de 1 se reflejan las 5 componentes formadas, no pudiendo explicar el programa estas 5 componentes las características del agua, ya que para poder definir que el análisis factorial es adecuado debe cumplir con los siguientes indicadores del grado de asociación entre las variables.

### 6.2.1 MATRIZ DE CORRELACIONES

La matriz de correlaciones está formada por datos de comparación entre las mismas variables y cada una de las variables dividida por una diagonal que corresponde a la comparación de la misma variable (por ejemplo: temperatura-temperatura y pH-temperatura, Ver anexo tabla 28)

Los valores de correlaciones obtenidos entre las variables son menores del valor según la referencia (0,50). Esto nos indica que el 88.757% de las variables no comparten factores comunes y el 11.243% de las variables comparten factores comunes. El valor determinante obtenido (Determinante =0.00) indica que las variables están linealmente correlacionadas; es decir no se relacionan con otras variables que puedan explicar semejanzas con otros parámetros incluidos en el análisis, por tanto el análisis factorial no es el adecuado para este estudio.



### **6.2.2 TEST DE ESFERICIDAD DE BARTLETT**

La hipótesis nula establece que existe correlación entre las variables (si  $p > 0.25$ ).

Después de introducir los parámetros con sus respectivos resultados en una base de datos de SPSS obtuvimos un  $p = 0.00$  rechazamos la hipótesis nula y comprobamos que las variables no están intercorrelacionadas. Ver anexos (Tabla N<sup>o</sup> 29).

### **6.2.3 MEDIDA DE ADECUACIÓN DE KAISER-MEYER-OLKIN (KMO)**

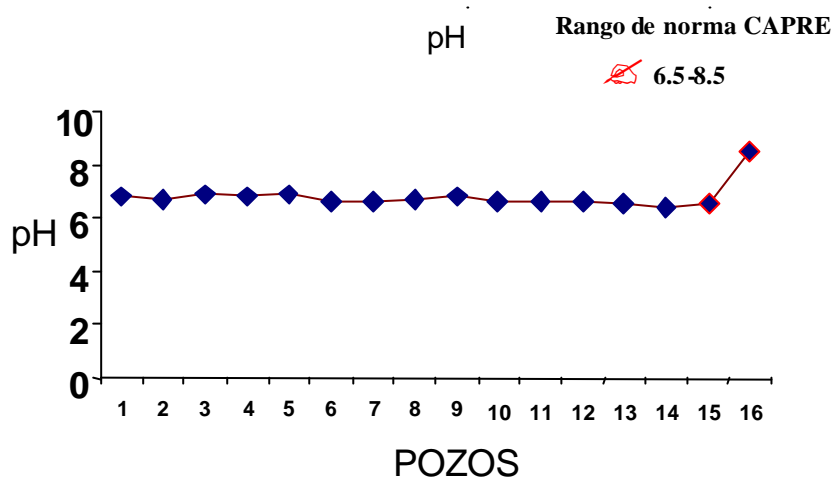
Se tiene que si  $KMO = 0.5$  es aceptable y si  $KMO < 0.5$  es inaceptable.

El KMO obtenido = 0.088, por tanto es inaceptable ya que las correlaciones entre parejas no pueden ser explicadas por otras variables. Ver anexos (Tabla N<sup>o</sup> 29).



### 6.3 DIAGRAMAS DE COMPARACIÓN DE LOS PARAMETROS FISICOQUIMICOS CON LA NORMA CAPRE.

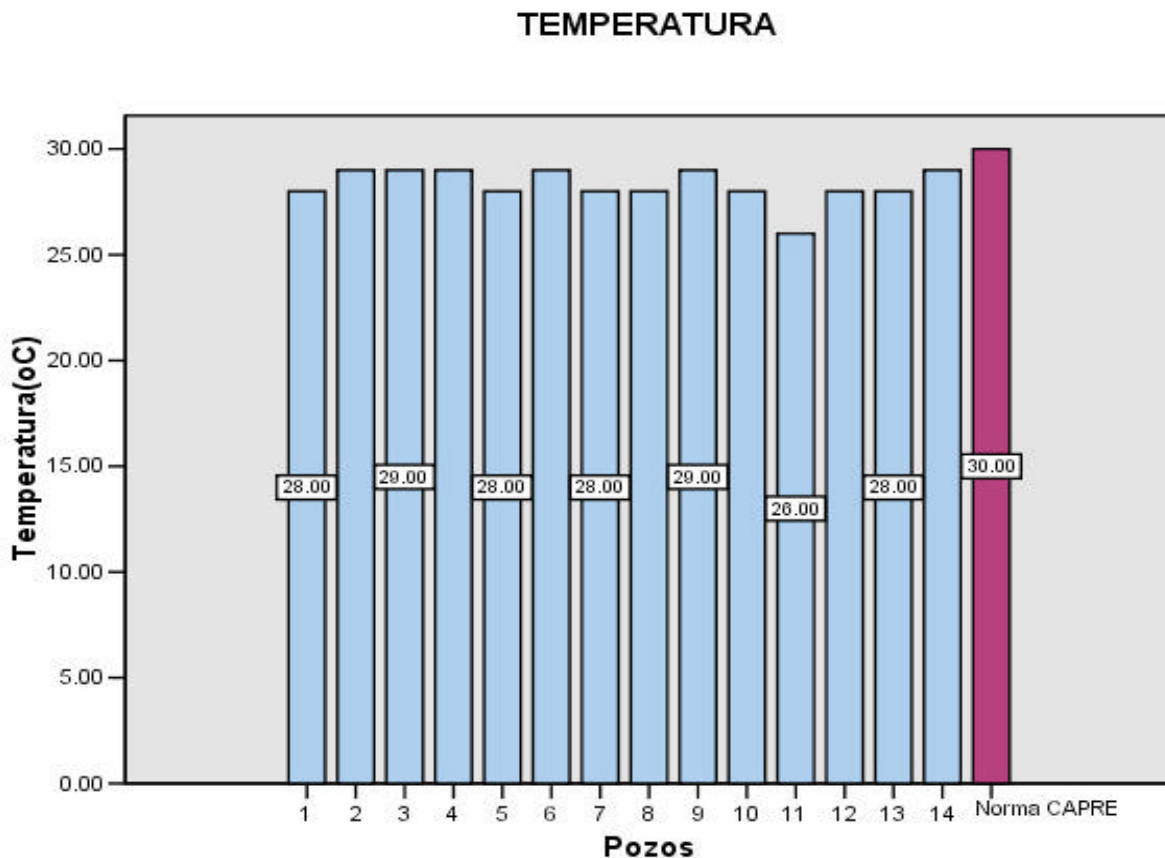
Diagrama 1: Comparación de los valores de pH con la norma CAPRE.



En el presente gráfico se hace una comparación del pH de cada pozo con respecto a la norma CAPRE en cual encontramos que: 13 pozos tienen valores menores de 7, por lo tanto estos se encuentran dentro del rango establecido por la norma (6.5 – 8.5), el pozo 14 está fuera del rango de la norma ya que tiene un pH de 6.38. Ver en anexos (Tabla N° 30).



**Diagrama 2:** Comparación de los valores de temperatura con la norma CAPRE.

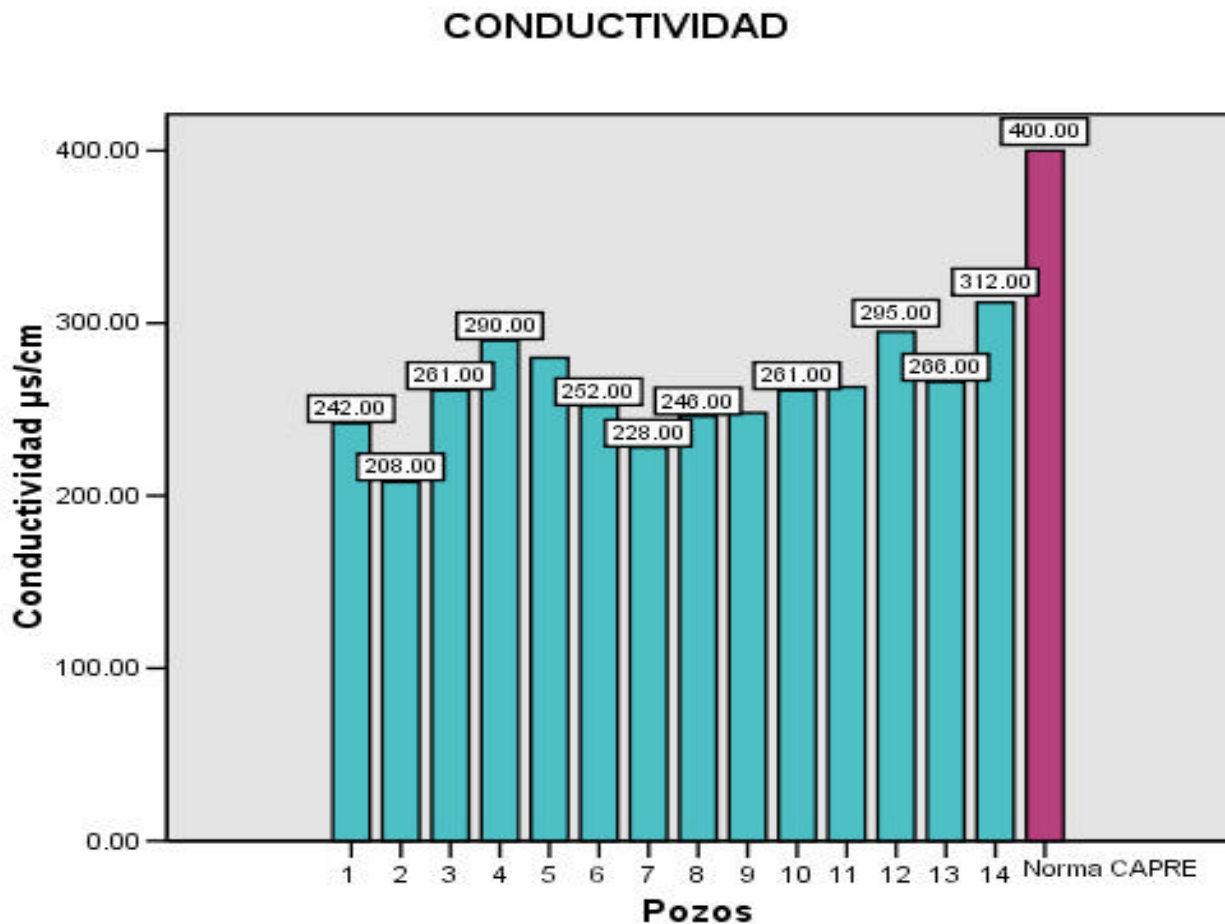


En el presente diagrama se hace una comparación de la Temperatura obtenida de los 14 pozos muestreados con respecto a la Norma CAPRE en cual encontramos que:

El 100 % de los pozos están dentro del rango establecido por la norma ( $18 - 30^{\circ}\text{C}$ ) obteniendo valores entre  $26$  y  $29^{\circ}\text{C}$ . Ver anexos (Tabla N<sup>o</sup> 30)



Diagrama 3: Comparación de los valores de conductividad con la norma CAPRE.

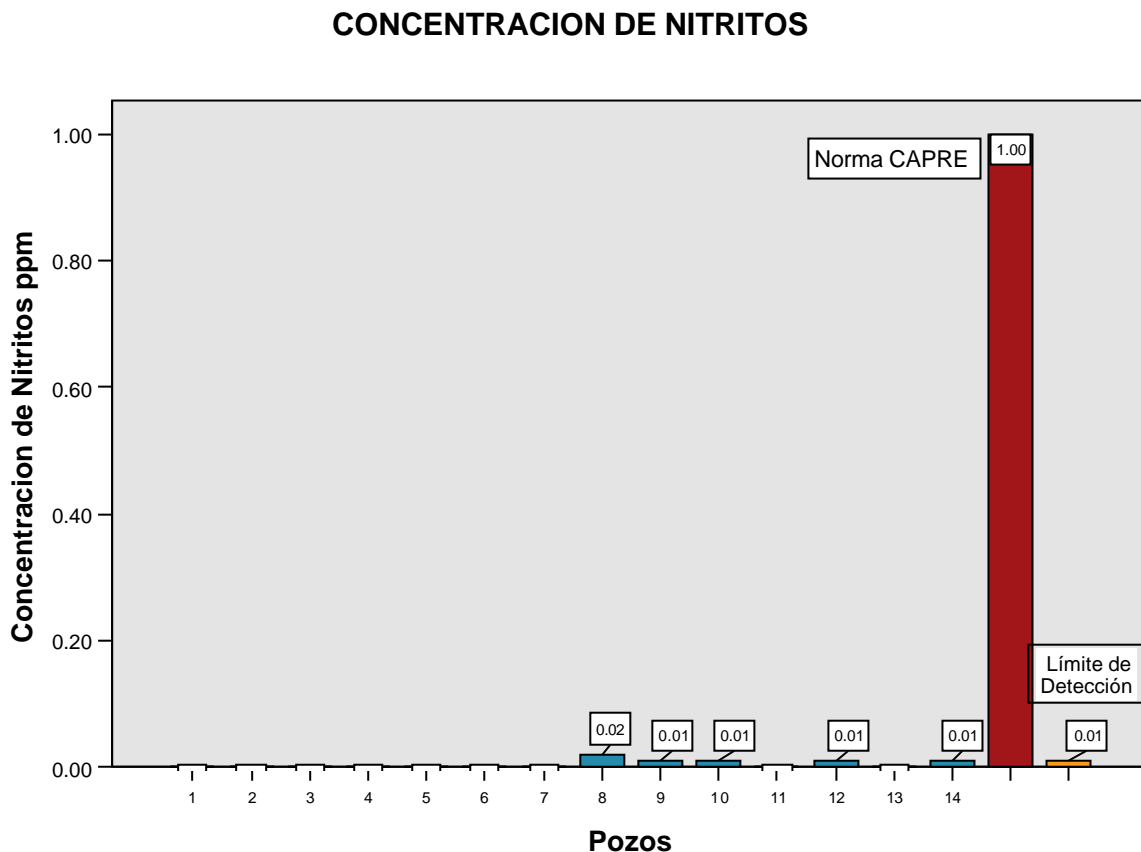


En el presente diagrama se hace una comparación de la Conductividad obtenida de los 14 pozos muestreados con respecto a la Norma CAPRE en cual encontramos que:

El 100 % de los pozos están por debajo de la norma (400 µs/cm) obteniendo valores entre 228 – 312 µs/cm. Ver anexos (Tabla N° 30).



**Diagrama 4:** Comparación de las concentraciones de nitritos la norma CAPRE.



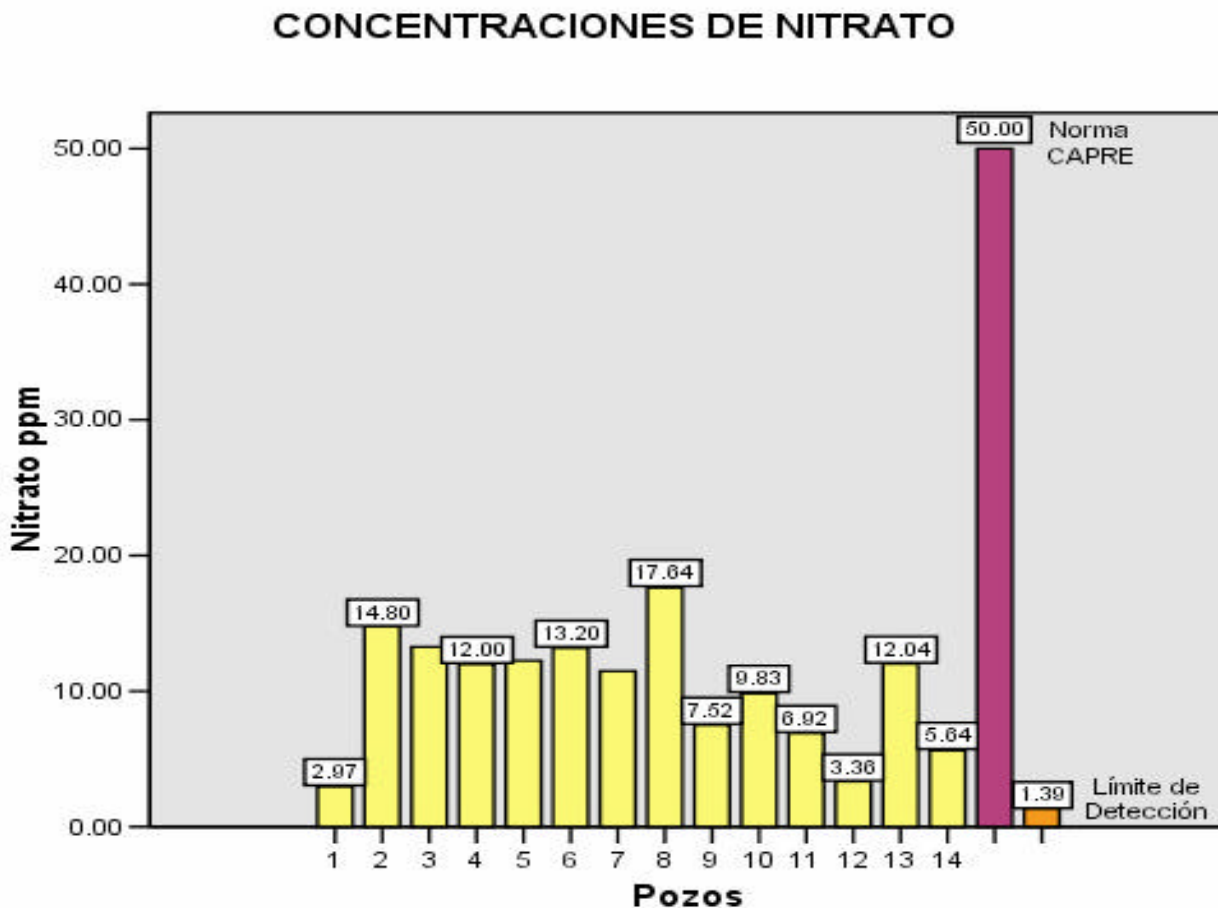
En el presente diagrama se hace una comparación de la concentración de Nitritos obtenida de los 14 pozos muestreados con respecto a la Norma CAPRE en cual encontramos que:

El 100% de los pozos se encuentran por debajo de los niveles de concentración de la norma (1 mg/L); el 64.3 % de los pozos tiene concentraciones menores que límite de detección (LD= 0.01mg/L). Obteniendo valores <0.01 – 0.02 mg/L. Ver anexos (Tabla N° 31).





**Diagrama 5:** Comparación de las concentraciones de nitratos a la norma CAPRE.

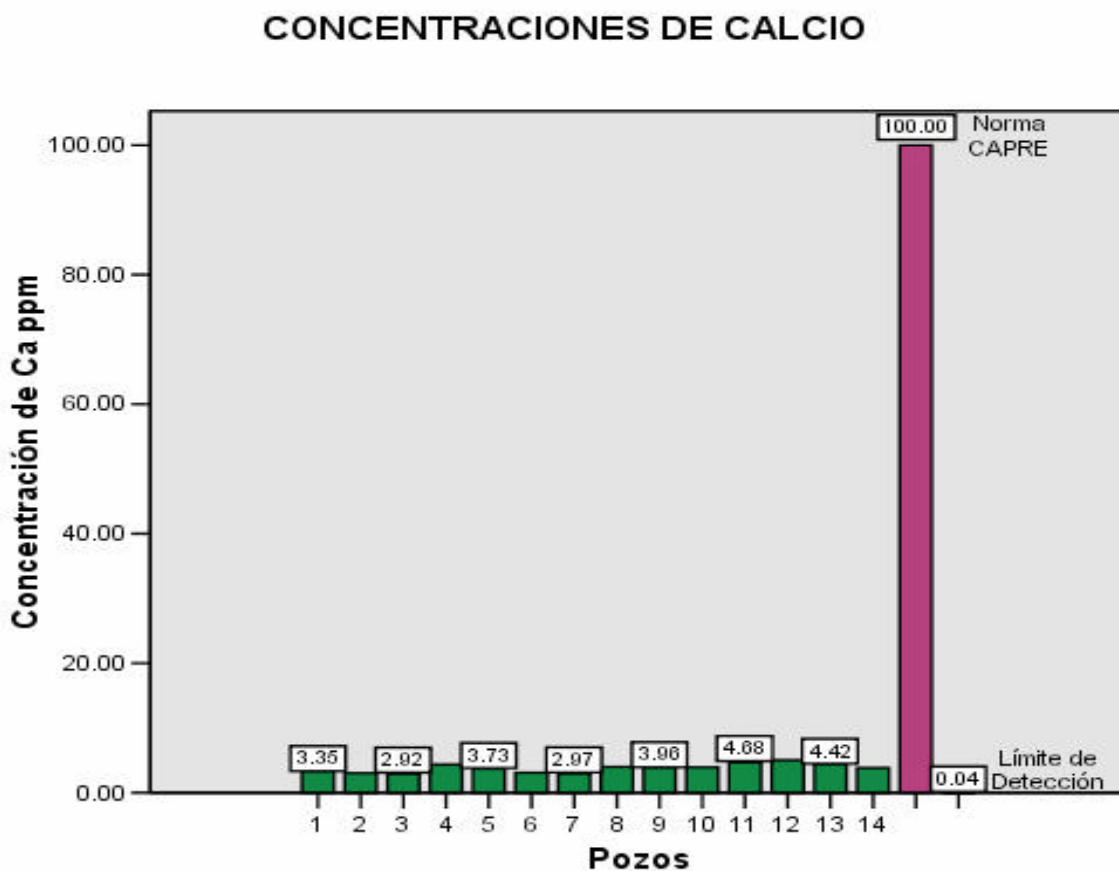


En el presente diagrama se hace una comparación de la concentración de Nitratos obtenida de los 14 pozos muestreados con respecto a la Norma CAPRE en cual encontramos que:

El 100 % de los pozos están por debajo de los niveles de concentración de la norma (50 mg/L) obteniendo valores entre 2.97 – 17.64 mg/L. Ver anexos (Tabla N° 31).



**Diagrama 6:** Comparación de las concentraciones de calcio con la norma CAPRE

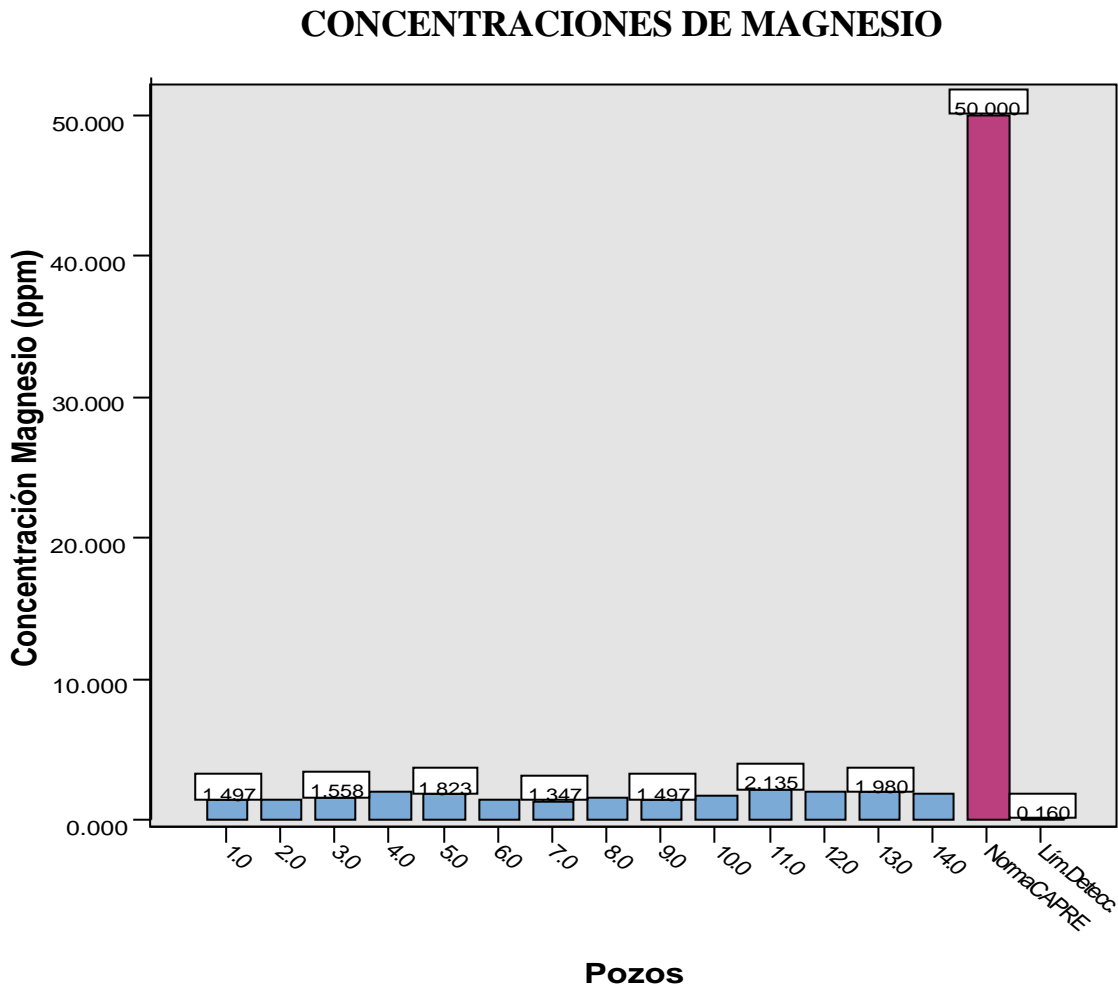


En el presente diagrama se hace una comparación de la concentración de Calcio obtenida de los 14 pozos muestreados con respecto a la Norma CAPRE en cual encontramos que:

El 100 % de los pozos se encuentran por debajo de los niveles de concentración de la norma. Ver anexos (Tabla N° 31).



Diagrama 7: Comparación de las concentraciones de magnesio con la norma CAPRE.

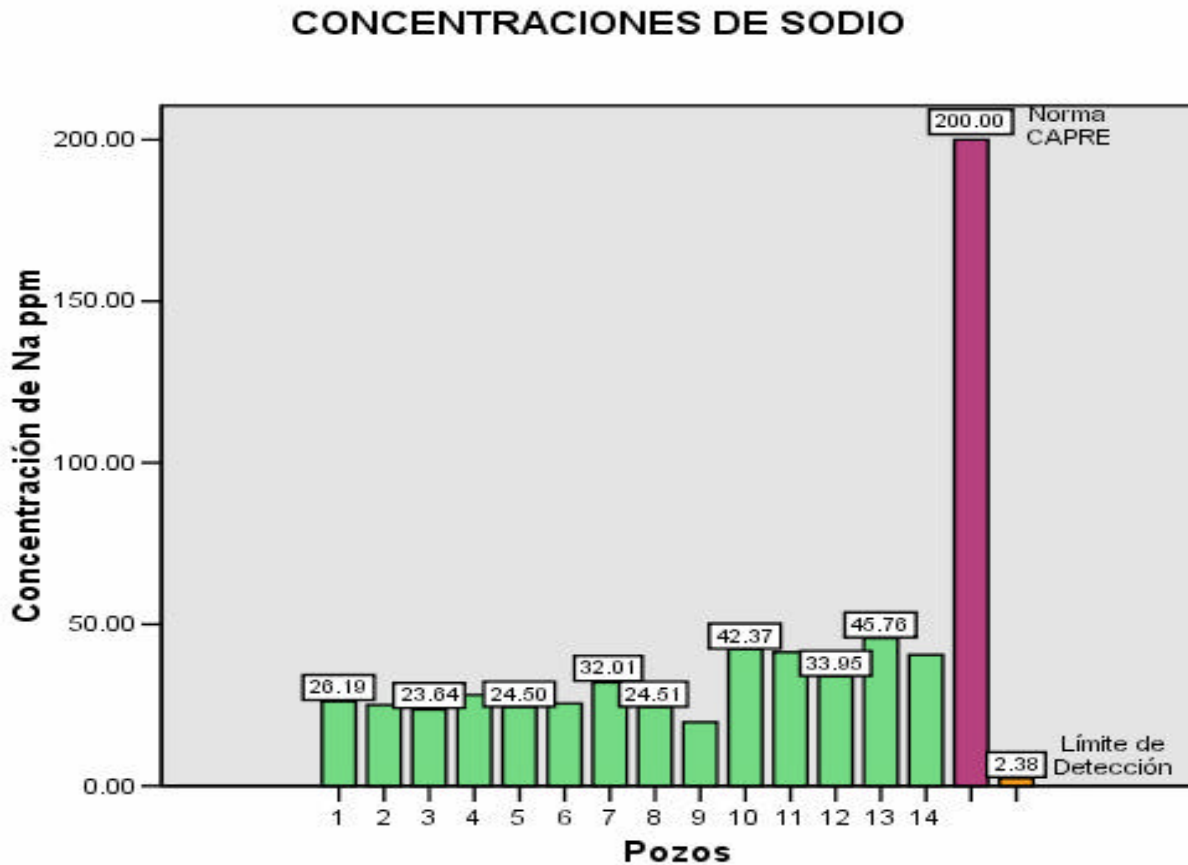


En el presente diagrama se hace una comparación de la concentración de Magnesio obtenida de los 14 pozos muestreados con respecto a la Norma CAPRE en cual encontramos que:

El 100 % de los pozos se encuentran por debajo de los niveles de concentración de la norma. Ver anexos (Tabla N° 31).



**Diagrama 8:** Comparación de las concentraciones de sodio con la norma CAPRE.

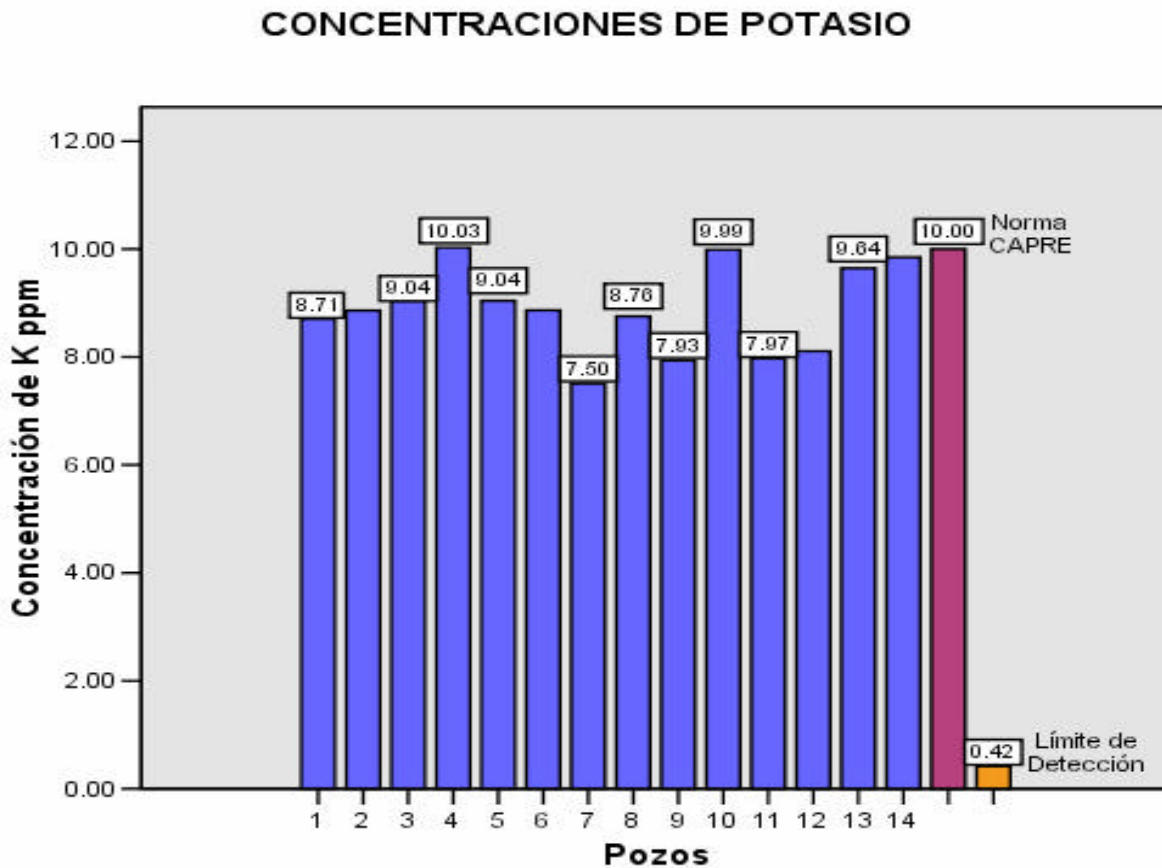


En el presente diagrama se hace una comparación de la concentración de Sodio obtenida de los 14 pozos muestreados con respecto a la Norma CAPRE en cual encontramos que:

El 100 % de los pozos se encuentran por debajo de los niveles de concentración de la norma. Ver anexos (Tabla N° 31).



**Diagrama 9:** Comparación de las concentraciones de potasio con la norma CAPRE.



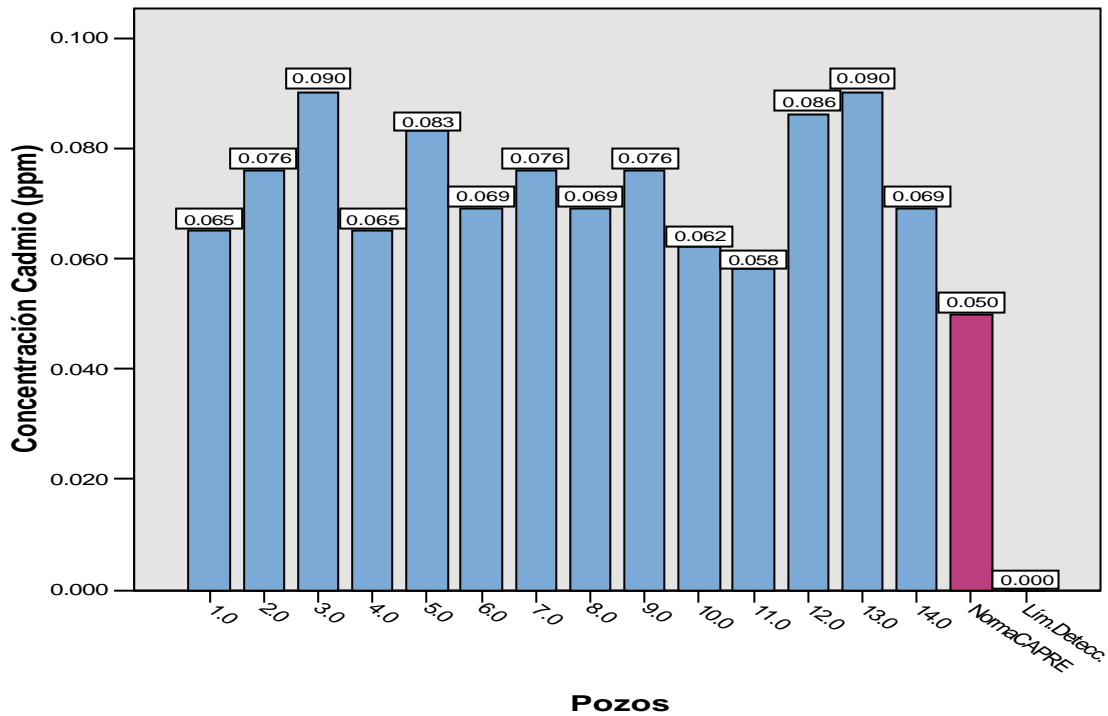
En el presente diagrama se hace una comparación de la concentración de Potasio obtenida de los 14 pozos muestreados con respecto a la Norma CAPRE en cual encontramos que:

El 92.86 % de los pozos se encuentran por debajo de los niveles de concentración de la norma (10 mg/L), el 7.14 % de los pozos está por encima de la norma. Ver anexos (Tabla N° 31).



Diagrama 10: Comparación de las concentraciones de cadmio con la norma CAPRE.

### CONCENTRACIONES DE CADMIO



En el presente diagrama se hace una comparación de la concentración de Cadmio obtenida de los 14 pozos muestreados con respecto a la Norma CAPRE en cual encontramos que:

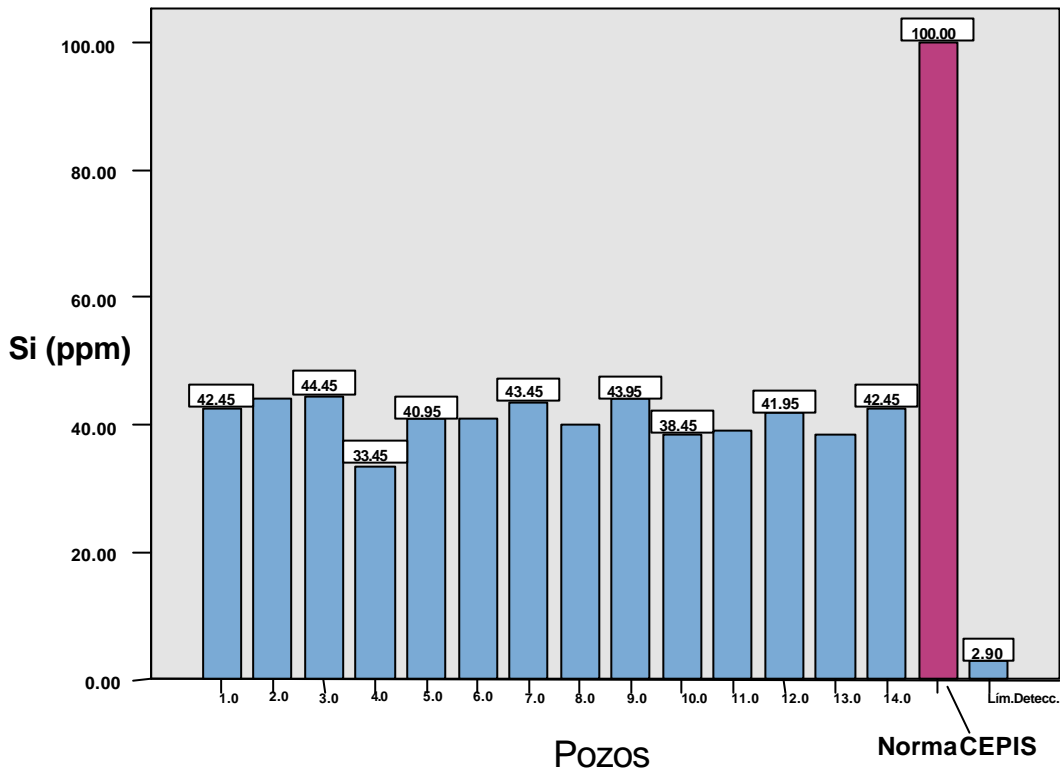
El 100 % de los pozos se encuentran por encima de los niveles de concentración de la norma CAPRE.

Ver anexos (Tabla N° 32).



Diagrama 11: Comparación de las concentraciones de silicio con el CEPIS.

### CONCENTRACIONES DE SILICIO



En el presente diagrama se hace una comparación de la concentración de Silicio obtenida de los 14 pozos muestreados con respecto al CEPIS (centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias ambientales), ya que la norma CAPRE no contempla silicio en los parámetros fisicoquímicos tomándose como referencia el organismo antes mencionado, en cual encontramos que:

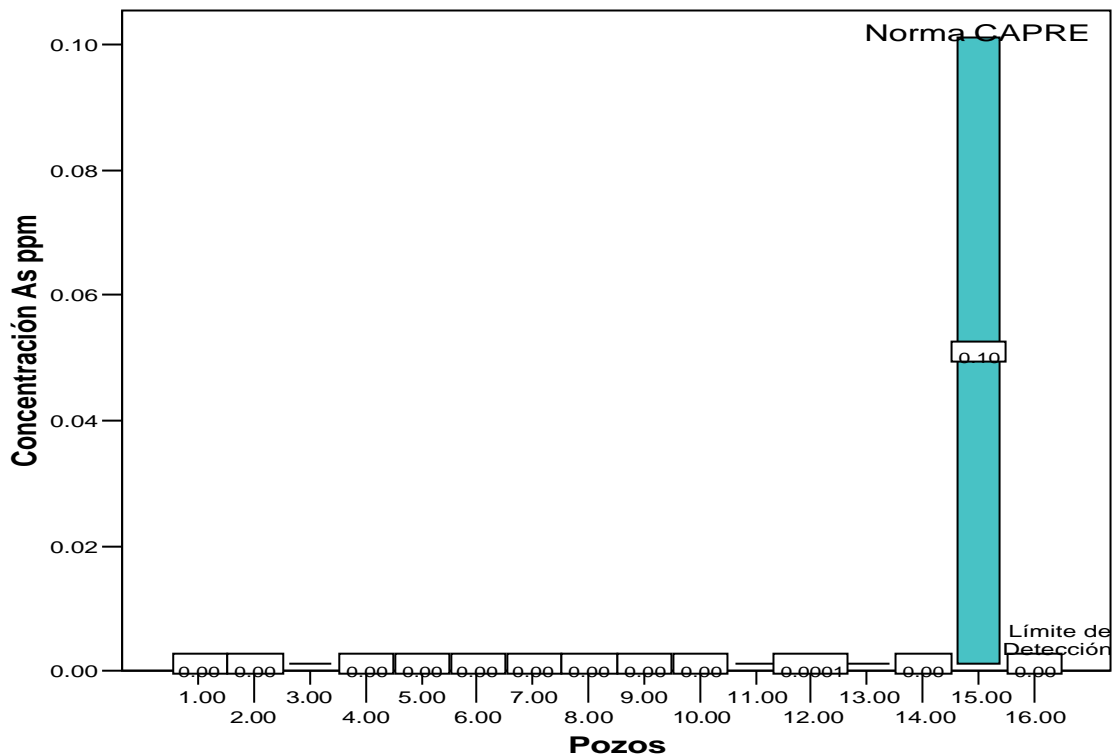
Las concentraciones de silicio se encuentran por debajo del valor del CEPIS (100 mg/L). Los contenidos naturales en aguas crudas están en el rango de 1 a 30 mg/L, aunque también se pueden encontrar concentraciones tan altas como 100 mg/L.

El 100 % de los pozos se encuentran por debajo de los niveles de concentración del CEPIS. Ver anexos (Tabla N° 32).



Diagrama 12: Comparación de las concentraciones de arsénico con la norma CAPRE.

### CONCENTRACIONES DE ARSENICO



En el presente diagrama se hace una comparación de la concentración de Arsénico obtenida de los 14 pozos muestreados con respecto a la Norma CAPRE en cual encontramos que:

El 100 % de los pozos se encuentran por debajo de los niveles de concentración de la norma.

De los cuales 92.9% tienen concentraciones menores que el límite de detección (LD= 0.000159 mg/L).

Ver anexos (Tabla N° 32).





## 6.4 ANÁLISIS DE CLUSTER

En una base de datos de SPSS se introdujeron las variables con sus respectivos resultados para conocer las semejanzas que existen entre ellas, para esto se aplicó el análisis de cluster, en el cual se formaron diez fases:

Así, en la primera fase se agruparon los pozos número 10, 11 y 13 debido a sus semejanzas en concentraciones de Nitritos y Silicio.

En la segunda fase se agruparon los pozos número 1 y 9 presentando similitudes pH, Conductividad y concentraciones de Magnesio.

En la tercera fase se agruparon los pozos número 6 y 8 con semejanzas en concentraciones de Potasio, Cadmio y Arsénico.

En la cuarta fase se agruparon los pozos número 1 y 3 debido a sus semejanzas en concentraciones de Nitritos y Nitratos.

En la quinta fase se agruparon los pozos número 4 y 5 debido a sus semejanzas en pH, Nitritos, Nitratos y las concentraciones de Arsénico.

En la sexta fase se agruparon los pozos número 4 y 12 debido a semejanzas en Conductividad.

En la séptima fase se agruparon los pozos número 2 y 7 debido a sus semejanzas en pH y concentraciones de Nitritos, Silicio, Cadmio y Arsénico.

En la octava fase se agruparon los pozos número 11 y 9 debido a sus semejanzas en concentraciones de Nitritos.



En la novena fase se agruparon los pozos número 5 y 14 debido a sus semejanzas en concentraciones de Magnesio.

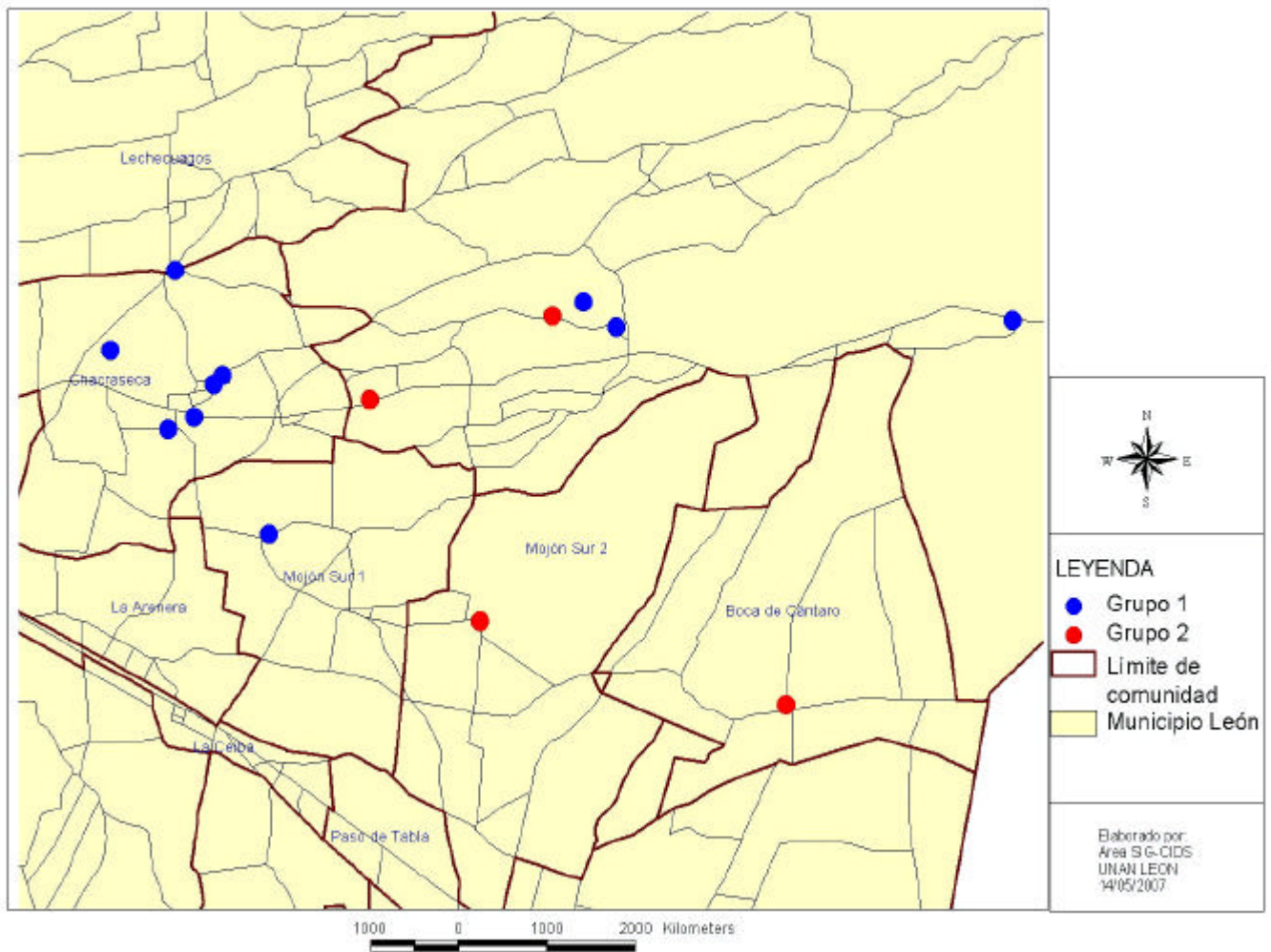
En la décima fase se agruparon los pozos número 13 y 2 debido a sus semejanzas en Temperatura y concentraciones de Magnesio.

De estas diez fases se forman dos grandes fases en la que la fase número 1 consta de los pozos número 10, 11, 13, 1, 9, 6, 8, 3, 2 y 7 debido a sus semejanzas en pH y concentraciones de Nitratos, Nitritos, Magnesio, Arsénico, Silicio y Cadmio; la fase número 2 consta de los pozos número 4, 5, 12 y 14 debido a sus semejanzas en pH y concentraciones de Nitratos, Nitritos, Magnesio, Arsénico y Cadmio. Además de observarse en el dendrograma (ver en anexos gráfico N<sup>o</sup> 2) la agrupación de los pozos también la podemos observar en el mapa mostrado (página N<sup>o</sup> 70), en el que podemos ver que existe una tendencia de agrupación de acuerdo a la ubicación geográfica de los pozos en dicha comunidad.



## 6.5- MAPA DE AGRUPACIÓN DE LOS POZOS PERFORADOS

Distribución geográfica y agrupación de Pozos Perforados  
Comarca Chacraseca , León 2006





## VII- CONCLUSIONES

En la evaluación de la calidad del agua de la Comarca Chacraseca se analizaron 14 pozos perforados de los 9 sectores en el que:

✍ En la determinación de los parámetros físicoquímicos como: Temperatura, pH, Conductividad, Nitritos, Nitratos los 14 pozos perforados se encuentran dentro de los niveles permisibles de la norma CAPRE.

✍ Las concentraciones de Calcio, Magnesio y Sodio de los 14 pozos perforados se encuentran dentro de los niveles permisibles de la norma CAPRE.

✍ En el caso del Potasio el 92.86% de los pozos, su concentración se encuentran debajo de la norma CAPRE y el 7.14% su concentración esta levemente arriba de dicha norma.

✍ Las concentraciones de Arsénico para los 14 pozos perforados se encuentran dentro de los niveles permisibles de la norma CAPRE.

✍ Para Cadmio se encontraron concentraciones de 0.058 a 0.090ppm determinadas por espectrometría de absorción atómica de llama, que comparadas con la norma (0.05ppm) éstas se encuentran por encima del límite permisible. Sin embargo es necesario realizar otras mediciones de este elemento utilizando una técnica de mayor sensibilidad con el fin de ratificar si la utilización del método fue la aplicable para este caso. Es importante conocer que la literatura nos dice que la presencia de cadmio en el agua de consumo con concentraciones que sobrepasen la norma puede producir enfermedades renales, hepáticas y pulmonares.

✍ Se encontraron concentraciones de silicio en un intervalo de 33.45 – 44.45ppm, este parámetro no esta contemplado en la norma regional utilizada en este estudio; por tanto se tomo como



referencia el valor (100ppm) del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) tomando como referencia este valor se puede decir que las concentraciones de silicio encontrada no sobrepasan el valor establecido.

☞ Para conocer la similitud que existe entre las variables se aplicó el análisis de cluster de manera que la información encontrada nos dio a conocer que pozos tienen características con parámetros fisicoquímicos afines según los datos obtenidos en dicho análisis, la información brindada nos dice que se forman dos fases, la primera formada por los pozos número 10, 11, 13, 1, 9, 6, 8, 3, 2 y 7 agrupadas debido a sus semejanzas en los valores de pH y concentraciones de Nitratos, Nitritos, Magnesio, Arsénico, Silicio y Cadmio; y la fase dos formada por los pozos número 4, 5, 12 y 14 agrupadas debido a sus semejanzas en los valores de pH y concentraciones de Nitratos, Nitritos, Magnesio, Arsénico y Cadmio.

☞ Con la ayuda de un GPS se realizaron mapas territoriales para georeferenciar y presentar la ubicación geográfica de los pozos perforados de la Comarca Chacraseca y representar la tendencia de agrupación de los mismos obtenida en el análisis de cluster.



## VIII- RECOMENDACIONES

- ☞ Dar seguimiento para realizar estudios específicos acerca de la presencia de cadmio en el agua subterránea de los pozos perforados de la Comunidad de Chacraseca, para Identificar su origen.
  
- ☞ Complementar este estudio realizando análisis de plaguicidas debido a las actividades agrícolas que se desarrollan en esta comunidad.
  
- ☞ Que exista vigilancia de parte de las autoridades correspondiente durante la construcción de pozos perforados para prevenir el uso de agua contaminada.



## IX- BIBLIOGRAFÍA

1. Carrillo D. Lissethe. “Calidad del Agua de Consumo en la Comarca de Chacraseca.” UNAN-LEON. 2004-2005.
2. J. Rodier.” Análisis de las Aguas. Aguas Naturales, Aguas Residuales, Aguas de Mar. Editorial Omega S.A. Barcelona. 1989.
3. <http://es.wikipedia.org/wiki/agua>
4. APHA – AWWA – WPCF. Díaz de Santos. “Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales”. Decimoséptima Edición. 1992.
5. [http://es.wikipedia.org/wiki/metal\\_pesado](http://es.wikipedia.org/wiki/metal_pesado)
6. <http://es.wikipedia.org/wiki/cadmio>
7. <http://es.wikipedia.org/wiki/As%c3%A9nico>
8. <http://es.wikipedia.org/wiki/silicio>
9. [http://www.BVSA-faq preguntas y respuestas frecuentes, Calidad del agua\[CEPIS\].htm](http://www.BVSA-faq_preguntas_y_respuestas_frecuentes_Calidad_del_agua[CEPIS].htm)
10. Programa Integral de Equipamiento Tecnológico de las Universidades miembros del CNU incluyendo Instalación, Mantenimiento y Capacitación. Curso de Espectrofotometría de Absorción Atómica. Marzo 2004.
11. Skoog Douglas A. West Donald M. Análisis Instrumental. Segunda Edición. McGraw Hill. México. 1990.
12. Moreno Chevez Noelia A. Ramírez C. María Auxiliadora. Validación del Método Azul de Indofenol Aplicado a la Determinación de Nitrógeno Amoniacal en Aguas. UNAN-LEÓN. 1999.
13. Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua potable y saneamiento de Centroamérica, Panamá y republica dominicana. “normas de calidad del agua para consumo humano”. Primera Edición. Septiembre, 1983. Revisada en marzo de 1994.
14. Peña, Daniel. Análisis de Datos Multivariantes. Universidad Carlos III de Madrid. Editorial McGraw Hill. 1990
15. Perkin Elmer. AA Winlab. Volumen I. Referencia 0993 – 6190. Febrero 1996. Revisión A-Versión 2.0.



### Otras Bibliografías Consultadas:

16. Perkin Elmer Instruments. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry. Singapore. 2000
17. <http://es.wikipedia.org/wiki/agua-suterranea%c3A1nea>
18. [http://www. Cepis.ops-oms.org](http://www.Cepis.ops-oms.org)
19. <http://es.wikipedia.org/wiki/sodio>
20. <http://es.wikipedia.org/wiki/magnesio>
21. <http://es.wikipedia.org/wiki/calcio>
22. <http://es.wikipedia.org/wiki/potasio>
23. [http://www.atssdr.cdc.gov/es/general/es\\_groundwater\\_fs.htm#que.](http://www.atssdr.cdc.gov/es/general/es_groundwater_fs.htm#que)
24. [http://www.medioambienteonline.com/site/root/resources/case\\_stady/2076.html](http://www.medioambienteonline.com/site/root/resources/case_stady/2076.html)





# X. ANEXOS



## VALORES DE CONCENTRACIONES Y ABSORBANCIAS DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

**TABLA N° 17**

### **NITRATOS**

(Espectrofotómetro UV-Vis Perkin Elmer)

Conc (ppm)	Abs
2	0,162
4	0,261
5	0,318
10	0,598
20	1,132
30	1,643
40	2,106

**TABLA N° 18**

### **NITRITOS**

(Espectrofotómetro UV-Vis. HACH)

Conc (ppm)	Abs
0.05	0.055
0.1	0.105
0.2	0.215
0.3	0.327
0.4	0.428
0.5	0.533

**TABLA N° 19**

### **POTASIO**

(Espectrofotómetro de Absorción Atómica-Analyst 700)

Conc (ppm)	Abs
2	270
10	1124
20	2234

**TABLA N° 20**

### **SODIO**

(Espectrofotómetro de Absorción Atómica-Analyst 700)

Conc (ppm)	Abs
1	0,035
2	0,070
3	0,104
4	0,140
5	0,174



### TABLA N<sup>o</sup> 21

#### MAGNESIO

(Espectrofotómetro de Absorción Atómica-Analyst 700)

Conc(ppm)	Abs
0,5	0,345
1.0	0,652
1,5	0,919
2.0	1,147

### TABLA N<sup>o</sup> 22

#### CALCIO

(Espectrofotómetro de Absorción Atómica-Analyst 700)

Conc(ppm)	Abs
10	254
20	459
30	639
40	873

### TABLA N<sup>o</sup> 23

#### CADMIO

(Espectrofotómetro de Absorción Atómica-Varian)

Conc(ppm)	Abs
0,05	0,0090
0,10	0,0155
0,20	0,0310
0,30	0,0455
0,50	0,0720
1.00	0,1330
2.00	0,2400

### TABLA N<sup>o</sup> 24

#### SILICIO

(Espectrofotómetro de Absorción Atómica-Varian)

Conc(ppm)	Abs
3	0,0001
5	0,0020
10	0,0190
20	0,0380
30	0,0470
50	0,0960



**TABLA N° 25**

**ARSÉNICO**

(Espectrofotómetro de Absorción Atómica-Analyst 700)

Conc (ppb)	Abs
2	0,061
5	0,132
8	0,200
10	0.226
15	0,323
20	0.405



TABLA Nº26

Estadísticos descriptivos

	Media	Desviación típica	N del análisis
TEMPERATURA(oC)	28.3571	.92878	14
PH	6.6779	.15695	14
CONDUCTIVIDAD	260.8571	27.34637	14
CONCENTRACION DE CALCIO	3.8056	.66925	14
CONCENTRACION DE MAGNESIO	1.6292	.21721	14
CONCENTRACION DE SODIO	30.9571	8.40710	14
CONCENTRACION DE POTASIO	8.8789	.80240	14
CONCENTRACION DE CADMIO	.0661	.00970	14
CONCENTRACION DE PLOMO	-.0720	.04039	14
CONCENTRACION DE SILICE	40.0829	3.16671	14
CONCENTRACION DE ARSENICO	-136.175	710.5115781	14
nitrate	10.2079	4.34363	14
nitrite	.0043	.00646	14



**TABLA N<sup>o</sup> 27**

**Varianza total explicada**

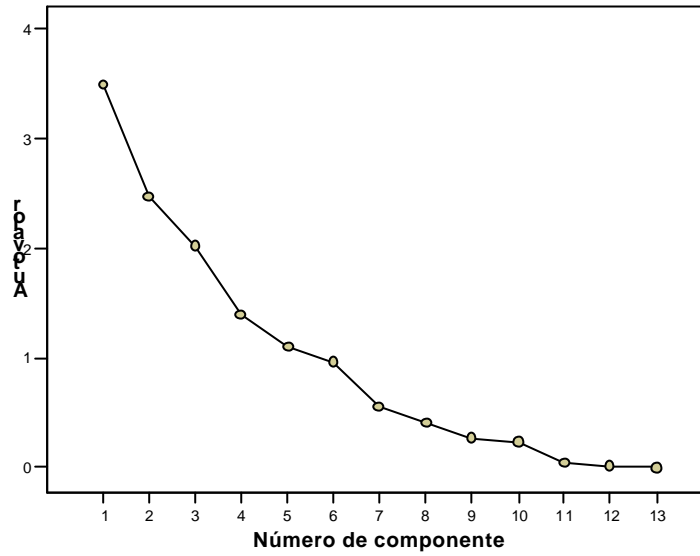
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3.498	26.906	26.906	3.498	26.906	26.906
2	2.476	19.048	45.954	2.476	19.048	45.954
3	2.020	15.537	61.491	2.020	15.537	61.491
4	1.396	10.739	72.229	1.396	10.739	72.229
5	1.106	8.508	80.737	1.106	8.508	80.737
6	.969	7.454	88.191			
7	.557	4.287	92.479			
8	.410	3.155	95.634			
9	.272	2.089	97.722			
10	.236	1.819	99.541			
11	.040	.308	99.849			
12	.020	.151	100.000			
13	.000	.000	100.000			

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.



## GRAFICO N° 1

Gráfico de sedimentación





**TABLA Nº 28: MATRIZ DE CORRELACIÓN**

Matriz de correlaciones <sup>a</sup>

	TEMPERATURA(°C)	PH	CONDUCTIVIDAD	CONCENTRACION DE CALCIO	CONCENTRACION DE MAGNESIO	CONCENTRACION DE SODIO	CONCENTRACION DE POTASIO	CONCENTRACION DE CADMIO	CONCENTRACION DE PLOMO	CONCENTRACION DE SILICE	CONCENTRACION DE ARSENICO	nitrato	nitrito	
Correlación	TEMPERATURA(°C)	1.000	.069	-.022	-.506	.282	-.486	.320	.327	.192	.214	-.115	.281	-.018
	PH	.069	1.000	-.180	-.214	-.038	-.710	-.112	.079	.272	.038	-.197	.122	-.225
	CONDUCTIVIDAD	-.022	-.180	1.000	.597	.682	.383	.440	.013	.304	-.364	.173	-.404	.187
	CONCENTRACION DE CALCIO	-.506	-.214	.597	1.000	.392	.488	.064	-.067	.061	-.552	.234	-.391	.337
	CONCENTRACION DE MAGNESIO	.282	-.038	.682	.392	1.000	.209	.649	.463	.307	-.358	.045	-.111	.183
	CONCENTRACION DE SODIO	-.486	-.710	.383	.488	.209	1.000	.309	-.123	-.187	-.340	.309	-.299	-.001
	CONCENTRACION DE POTASIO	.320	-.112	.440	.064	.649	.309	1.000	-.020	.395	-.520	-.099	.192	.017
	CONCENTRACION DE CADMIO	.327	.079	.013	-.067	.463	-.123	-.020	1.000	.080	.321	.252	.135	-.133
	CONCENTRACION DE PLOMO	.192	.272	.304	.061	.307	-.187	.395	.080	1.000	.029	.079	-.204	-.054
	CONCENTRACION DE SILICE	.214	.038	-.364	-.552	-.358	-.340	-.520	.321	.029	1.000	.464	-.198	-.062
	CONCENTRACION DE ARSENICO	-.115	-.197	.173	.234	.045	.309	-.099	.252	.079	.464	1.000	-.547	.083
	nitrato	.281	.122	-.404	-.391	-.111	-.299	.192	.135	-.204	-.198	-.547	1.000	.010
	nitrito	-.018	-.225	.187	.337	.183	-.001	.017	-.133	-.054	-.062	.083	.010	1.000
Sig. (Unilateral)	TEMPERATURA(°C)		.407	.470	.032	.164	.039	.132	.127	.256	.232	.347	.165	.475
	PH		.407	.269	.231	.449	.002	.351	.394	.173	.448	.250	.339	.219
	CONDUCTIVIDAD		.470	.269	.012	.004	.088	.058	.483	.146	.483	.100	.076	.262
	CONCENTRACION DE CALCIO		.032	.231	.012	.083	.038	.414	.410	.417	.020	.210	.084	.119
	CONCENTRACION DE MAGNESIO		.164	.449	.004	.083	.236	.006	.048	.143	.104	.439	.353	.265
	CONCENTRACION DE SODIO		.039	.002	.088	.038	.236	.142	.338	.262	.117	.142	.150	.499
	CONCENTRACION DE POTASIO		.132	.351	.058	.414	.006	.142	.472	.081	.028	.368	.256	.477
	CONCENTRACION DE CADMIO		.127	.394	.483	.410	.048	.338	.472	.392	.131	.193	.322	.325
	CONCENTRACION DE PLOMO		.256	.173	.146	.417	.143	.262	.081	.392	.461	.394	.242	.428
	CONCENTRACION DE SILICE		.232	.448	.100	.020	.104	.117	.028	.131	.461	.047	.249	.417
	CONCENTRACION DE ARSENICO		.347	.250	.277	.210	.439	.142	.368	.193	.394	.047	.022	.389
	nitrato		.165	.339	.076	.084	.353	.150	.256	.322	.242	.249	.022	.486
	nitrito		.475	.219	.262	.119	.265	.499	.477	.428	.417	.389	.486	

<sup>a</sup>. Determinante = .000





**TABLA N<sup>o</sup> 29**

**KMO y prueba de Bartlett**

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		.088
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	156.750
	gl	78
	Sig.	.000



**TABLA Nº 30: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EN LAS MUESTRAS**

Muestra	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (µs/cm)
1	28	6.82	242
2	29	6.65	208
3	29	6.89	261
4	29	6.84	290
5	28	6.90	280
6	29	6.56	252
7	28	6.62	228
8	28	6.66	246
9	29	6.84	248
10	28	6.63	261
11	26	6.60	263
12	28	6.60	295
13	28	6.50	266
14	29	6.38	312

**Nota:** Estos son valores medios de 3 replicas de lecturas realizadas.



**TABLA N° 31: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS CON SUS INTERVALOS DE CONFIANZA.** (Estos valores se calcularon aplicando las ecuaciones que se encuentra en la última página de este trabajo. Ver formulario).

MUESTRA	NITRITOS mg/L	NITRATOS mg/L	CALCIO mg/L	MAGNESIO mg/L	SODIO mg/L	POTASIO mg/L
1	<LD	2.970 ± 0.712	3.353 ± 0.007	1.497 ± 0.064	26.19 ± 3.388	8.707 ± 0.529
2	<LD	14.80 ± 0.438	3.017 ± 0.035	1.425 ± 0.039	25.03 ± 2.083	8.861 ± 1.047
3	<LD	13.16 ± 0.451	2.921 ± 0.810	1.558 ± 0.013	23.64 ± 1.094	9.039 ± 0.807
4	<LD	12.00 ± 0.470	4.356 ± 0.022	2.007 ± 0.031	28.16 ± 2.426	10.03 ± 0.497
5	<LD	12.25 ± 0.470	3.726 ± 0.023	1.853*	27.69 ± 20.42	9.043 ± 0.479
6	<LD	13.20 ± 0.453	3.102 ± 0.007	1.450 ± 0.025	25.56 ± 0.976	8.867 ± 0.827
7	<LD	11.48 ± 0.481	2.972 ± 0.017	1.347 ± 0.012	32.01 ± 0.953	7.505 ± 0.603
8	0.02 ± 0.0067	17.64 ± 0.442	3.392 ± 0.017	1.559*	24.51 ± 3.227	8.755 ± 0.290
9	0.01 ± 0.00032	7.520 ± 0.489	3.956 ± 0.299	1.495 ± 0.038	19.74 ± 0.695	7.934 ± 0.097
10	0.01 ± 0.00032	9.830 ± 0.463	3.918 ± 0.092	1.737	42.37 ± 5.945	9.989 ± 0.852
11	<LD	6.960 ± 0.622	4.677 ± 0.048	2.135 ± 0.048	41.40 ± 2.602	7.974 ± 0.710
12	0.01 ± 0.00032	3.360 ± 0.804	5.035 ± 0.033	1.986 ± 0.061	33.95 ± 0.725	8.109 ± 0.546
13	<LD	12.04 ± 0.416	4.415 ± 0.116	1.980 ± 0.015	45.76 ± 3.118	9.644 ± 0.397
14	0.01 ± 0.00032	5.640 ± 0.682	3.837 ± 0.003	1.819*	40.59 ± 3.599	9.847 ± 0.137

(\*) La absorbancia para estas concentraciones son iguales por lo tanto la desviación estándar es cero.

LD=0.01mg/L.



**TABLA N<sup>o</sup> 32: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE METALES PESADOS CON SUS INTERVALOS DE CONFIANZA.** (Estos valores se calcularon aplicando las ecuaciones que se encuentra en la última página de este trabajo. Ver formulario).

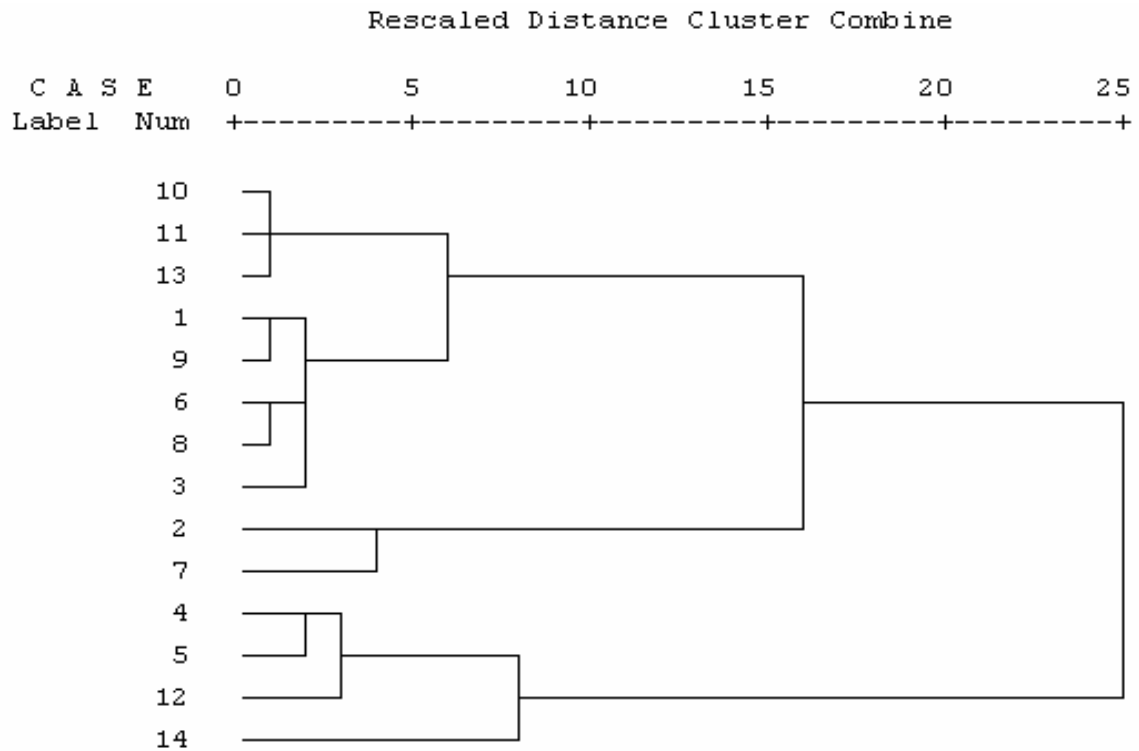
MUESTRA	CADMIO mg/L	SILICIO mg/L	ARSÉNICO µg/L
1	0.065 ± 0.049	42.45*	< LD
2	0.076*	43.95*	< LD
3	0.090*	44.45*	< LD
4	0.065 ± 0.005	33.45*	< LD
5	0.083*	40.95*	< LD
6	0.069*	40.95*	< LD
7	0.076*	43.45*	< LD
8	0.069*	39.95*	< LD
9	0.076*	43.95*	< LD
10	0.062*	38.45*	< LD
11	0.058 ± 0.044	38.95*	0.133 ± 0.036
12	0.086 ± 0.045	41.95*	< LD
13	0.090*	38.45*	< LD
14	0.069*	42.45*	< LD

(\*) La absorbancia para estas concentraciones son iguales por lo tanto la desviación estándar es cero.

LD= 0.159 µg/L.



## GRÁFICO N<sup>o</sup>2 DENDROGRAMA





**FOTO 1: ESPECTROFOMETRO DE ABSORCION ATOMICA ANALYST 700**





**FOTO 2: ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA VARIAN  
CON GENERADOR DE HIDRUROS**





## FORMULARIO

La concentración para los elementos con curvas o rectas lineales se encontró con la siguiente ecuación

$$C = \frac{A - a}{b}$$

donde **A**: es la absorbancia

**a**: es el intercepto

**b**: es la pendiente

**c**: es la concentración

Para encontrar la concentración de los elementos donde sus curvas o rectas no son lineales se utilizó la ecuación:

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} ; \text{ donde } c: \text{ es la absorbancia observada en el equipo.}$$

El límite de detección se encontró por esta fórmula:

$$LD = a + 3 (S_{x/y}) ; \text{ donde } S_{x/y}: \text{ es la desviación estándar.}$$

El Intervalo de Confianza para cada una de las muestras se determinó con la ecuación siguiente:

$$C_m \pm t_{0,95} S / \sqrt{n} ; \text{ donde } n: \text{ es el número de replicas por cada muestra.}$$