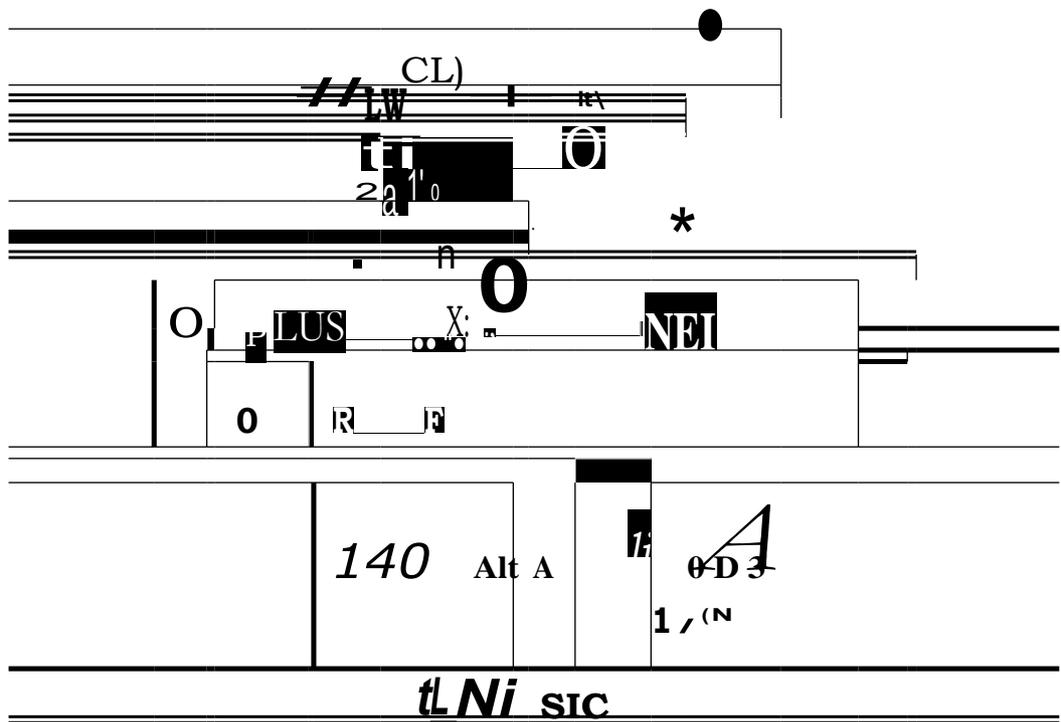


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

**-ANÁLISIS MULTIELEMENTAL POR REFLEXIÓN TOTAL
DE RAYOS X, DEL AGUA POTABLE PROVENIENTE DE LOS
POZOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**



QUIMICO

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPARTAMENTO DE FGA.
PROHIBIDO EL PRÉSTAMO EXTERNO
EN EL GRADO DE LICENCIADO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1993

)

~~UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA~~
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

**JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

DECANA LICDA. CLEMENCIA DEL PILAR GALYEZ DE AVILA

~~SECRETARIO~~ **LIC. JOSE FRANCISCO IKINTERROSO SALINAS**

VOCAL I LIC. JORGE RODOLFO PEREZ FOLGAR

~~VOCAL II~~ ~~LICDA. THELMA ESPERANZA ALVARADO DE GALLARDO~~

VOCAL III LIC. MIGUEL ORLANDO GARZA SAGASTUME

VOCAL IV BR. MARWIN ESTUARDO JIMENEZ BOJORQUEZ

VOCAL V BR. SERGIO ARTURO ALMEPIGOR CORZO

TESIS QUE DEDICO

A.

DIOS NUESTRO SEEM.

GUATEMALA

LA ONIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LA EACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS T EARMACLA

LA. ESCIELA DE QUIMICA

**LA DIRECCION GENERAL DE ENEMA NUCI TAR. MDILSTERIO DE ENERGIA T MINAS. DE
GUATEMALA.**

1. RISME.

En el presente trabajo de investigación se estudió el contenido de elementos traza existentes en el agua potable, proveniente del manto freático de la ciudad de Guatemala, por medio de la técnica de espectrometría Total de Rayos X sin la utilización de procedimientos de preconcentración de muestra. El propósito del presente estudio fue implementar un análisis multielemental de rutina que fuera directo, requerido y con alto grado de sensibilidad para este tipo de muestras. Así mismo, establecer el contenido del agua subterránea en la ciudad al contenido de elementos químicos según los parámetros establecidos por el Reglamento Guatemalteco de Normas, y compararla con el agua potable superficial que proviene de las plantas de tratamiento; según el estudio realizado por O. Pérez en 1991, utilizando la misma técnica y metodología. (5)

Para la experimentación se eligieron 19 puntos de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) para tener una muestra representativa de cada uno de los 4 tipos de acuíferos de donde se obtiene el agua subterránea que se distribuye a la ciudad de Guatemala. Las muestras obtenidas son analizadas por medio de la técnica de Espectrometría Total de Rayos X con fuente de ^{57}Co es un tubo de Coolidge con ánodo de molibdeno (Mo); en el cual se utiliza un filtro interno de Selenio (Se) en una concentración de 2 partes por mil y un volumen de aplicación de muestra de 15 microlitros. Es importante mencionar que el análisis se realiza sin procedimientos de preconcentración de muestras.

Se determinó que la técnica de análisis utilizada en el presente estudio es adecuada para realizar análisis multielementales de rutina en agua potable, cumpliendo con las características de ser directa y con alto grado de sensibilidad para cuantificar concentraciones menores a 1 parte por millón de los elementos que son detectados. Se estableció que de los 11 elementos que fueron cuantificados, solamente existe diferencia en la concentración de manganeso (Mn) y estroncio (Sr) entre los 4 acuíferos estudiados. Estableciendo que el tipo I (constituido por rocas ígneas) es el que posee la mayor concentración de estroncio.

Asi mismo, a excepciOn del Mn -cuerpo detectado: fueret de especificaciones en uno de los 19 puntos muestreados, la cantidad del agua potable proveniente del manantial (Hico del valle de la ciudad de Guatemala) cumple con los parámetros de calidad establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas. De igual manera se determina que a excepción del S total. Ca y Sr no existe diferencia significativa en el contenido de elementos químicos entre el agua subterránea (pozos) y el agua potable superficial (plantas de tratamiento).

enriquecimiento de los elementos contenidos en las muestras; esta comparación se ha realizado en un espectrómetro instrumental de absorción atómica (4) siendo el límite de detección reciente de los elementos de reflexión total de rayos X, la cual permite obtener límites de detección considerablemente menores que los que se logran con las técnicas de rayos X convencionales.

El presente trabajo de investigación es una continuación de un trabajo preliminar sobre métodos de control de calidad del agua potable proveniente de las plantas de tratamiento de la Empresa Municipal de Agua en cuanto a su contenido de Ca, Zn, Cu, Fe, Mn, Ni, As, Hg, Pb, Cl, S, K, Sr, Bi y Ti, (5). En el cual se utiliza la reflexión total de rayos X como técnica analítica. En el presente estudio se determina que en mayor parte de los elementos cuantificados cumplen con los requerimientos de calidad del agua potable que la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) (6) establece en lo que respecta a los límites máximos permisibles.

En el presente estudio se proyecta emitir el **agua** potable subterránea que se distribuye a la ciudad de Guatemala proveniente del manantial del valle de la ciudad, y también su calidad con el agua potable superficial que proviene de las plantas de tratamiento que operan en el municipio. Este análisis se circunscribe al contenido de elementos químicos, determinando la calidad del agua al determinar las concentraciones de los elementos encontrados con los que estipula

CtGIJAIOR. Con este objeto se muestrean un total de 19 poste, seleccionados convenientemente con el proposito de obtener una muestra representativa. tanto del voile de la eluded de Guatemala ezi como de los cuatro tipos de ecuiferos de donde se =tree cache. ague, los males eaten Masi:Ice:kg de is sigulante forma de acuerdo a la composicién geolOgica del lugs: donde se ubicen los paws: Acuifero tipo I: Basalt° y andesita fractured.: Acuifero tipo II: Callas. Acuifero tipo III: V olcimico, blend° y duro. Acuifero tipo IV: Volchatco, blendo y few.

~~Al iguel qua en is inestigacida anterior; is Monica enalitica a utilizar sere is de tenni& total de rens I. No se utilizertiningen tipo de- preconcentraden de is muestre. empleando Selenio como amender intern° pars is cuantifiaacien de los elementos encontredos.~~

3. ANTECEDENES

RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA

SITIO DE INTERES DE LA CIUDAD DE

DESCRIPCION

El valle de la Ciudad de Guatemala lo forma una depresión geológica de aproximadamente 40 Km de largo (norte - sur), por 2025 Km de ancho (este - oeste), en un área promedio total de 800 Km². En la vecindad del Valle existen volcanes con alturas mayores a 2,000 m. La elevación del centro del valle en la ciudad es de aproximadamente 1,500 metros sobre el nivel del mar.

La divisoria de aguas continentales atraviesa la ciudad, dirección noreste-sureste, dividiendo el Valle en dos cuencas: norte y sur. La cuenca norte está drenada por profundas quebradas hacia el río Motegua y de allí al Mar de las Antillas, constituyendo aproximadamente el 25% del total de la cuenca. La cuenca sur, por los afluentes del río Villalobos hacia el lago de Amatitlán y de allí, por el río Michatoya, afluente del río María Linda que desemboca en el Océano Pacífico.

Las precipitaciones medias anuales sobre el Valle y sus áreas adyacentes fluctúan entre los 900 y 1,200 mm. Un gran número de pequeñas fuentes se encuentran en las margenes de la cuenca sur, principalmente en las faldas de la región montañosa limitrofe. El nacimiento de **era** miles importante de la ciudad, Ojo de Agua, se encuentra en el centro de la cuenca sur; su descarga media es de 300 L/s (litros/segundo), con oscilaciones entre 244 y 516 L/s. (litros/segundo) (7)

LOS ACUIFEROS DEL VALLE DE GUATEMALA :

Los salmón explotados en el Valle de Guatemala por los diferentes *pewes* de EMPAGUA son esencialmente de cuatro tipos, los cuales se describirán por orden de importancia con respecto a:

- a. La productividad del acuífero (referente a permeabilidad, transmisividad.)
- b. El caudal específico de los *pewes*.

Los tipos de acuíferos son:

Canalón I: Constituido por basaltos y andesitas (antiguos colados), que constituyen el substrato de otros terrenos volcánicos. Estos raras son fracturadas y pueden proporcionar recursos importantes **ya que** drenan otros acuíferos con permeabilidad menos elevada pero con volumen de embalse subterráneo muy importante. Ellos constituyen los acuíferos más importantes del área de Ojo de Agua y Clemente.

Acuífero Unánimo: Este conformado por rasas cantos cretácicas fracturadas, y muy a menudo karstificadas especialmente en la zona norte de la Capital de Guatemala. La extensión horizontal y vertical. La estructura del embalse subterráneo de las calizas es más compleja así también como la importancia de los recursos disponibles.

Senador JAL: Este formado por terrenos volcánicos blandos y finos (cenizas, pómez, lobos, productos de alteración, materiales rotos, eluviones, depósitos lacustres).

Asafgaspar: Este acuífero es constituido por terrenos volcánicos duros (lajas, conglomerados, rocas cementadas).

Estos constituyen el manto superficial del Valle de Guatemala. Estos terrenos tienen características hidrodinámicas muy diferentes de un punto a otro debido a una extrema variabilidad vertical y lateral de lases, de granulometría y de cementación. **Lee** partes en servicio se dividen en 4 categorías en relación con el tipo y profundidad de los 4 acuíferos aceptados en el Valle de **Guatemala**. Estas categorías son:

Wajgatika 1: El acuífero explotado está constituido por basaltos y andesitas fracturadas en donde se drena una parte importante del flujo subterráneo de la parte sur del Valle. Ubicado en el área denominada Ojo de Agua - Diamante. En **este** acuífero se encuentran los pozos más ventajosos porque poseen las mejores características hidrodinámicas en todo el Valle. Los caudales unitarios son muy altos (caudal específico muy importante). Los niveles piezométricos están cerca del suelo y todos los pozos pueden bombearse durante 24 horas/día.

Catagagisifsa : Este sistema está constituido por Cense' fracturadas y karnificadas de esta zona. none del Valle. Las calizas constituyen probablemente varios embalses= subterráneos, conectados o separados, así como drenes por debajo de los acuíferos volcánicos que tienen una permeabilidad de 10 a 100 veces mayor que la de las calizas. Este acuífero es de buena calidad y los caudales específicos son elevados. Los recursos potenciales parecen ser importantes tomando en cuenta el espesor de las fracturas.

Además desde el punto de vista estratégico es importante porque el área none del Valle es una zona de demandas de agua muy fuerte. El inconveniente es que el nivel del agua es muy bajo (entre 150 y 210 *mu*) bajo terreno natural, por lo que el bombeo necesita instalaciones adecuadas. Este "culler" es muy interesante porque los pozos pueden producir caudales muy elevados sin bombeo importante.

Qatiggria No. 3 y : Este acuífero está constituido por terrenos volcánicos blandos y sedimentarios de origen volcánico, es muy heterogéneo y sus características hidrodinámicas varían mucho de un punto a otro. Los pozos ubicados en este acuífero están distribuidos en toda la Ciudad de Guatemala y varios abastecen directamente a la Red de Distribución. La mayoría de los pozos están aislados y no se sabe todavía si corresponden a puntos singulares del "culler" geotécnico con una permeabilidad interesante o si existe alrededor de estos pozos una zona de cierta extensión con buenas características hidrodinámicas. Este acuífero se subdivide en:

- Acuífero captado en terreno volcánico blando y fino (categoría 3)
- Acuífero captado en terreno volcánico blando y duro (categoría No.4)(8).

MUSS y DIRECCION DE LOS YOPAIrSzILAAMMAMIA:

.Sistema de thijn: La profundidad del nivel de las aguas subterráneas varía desde 50 a 100 m. La dirección del flujo y su drenaje están determinados por sus estructuras geológicas. Las delimitaciones del Valle y sus líneas divisorias de aguas continentales. Las aguas subterráneas escurren de las margenes y zona central del Valle hacia las salidas del drenaje del acuífero.

Se observa que parte de los niveles representan horizontes perchados y otros, el horizonte regional de las capas piroclásticas y el nivel freático de las capas

andesíticas. Existen las posibilidades de un desvío de las líneas divisorias de aguas subterráneas, lo que por lo visto fue delineado originalmente paralelamente a las líneas divisorias de las aguas continentales. Sin embargo, en teoría no está suficientemente basada en datos de niveles. (7).

Bajo esta forma, el límite entre la cuenca del norte y la del sur podría sufrir cambios en ciertos lugares de la divisoria de aguas continentales. Sin embargo, pueden existir cambios de orden hasta llegar a una disminución significativa del área de la cuenca no dando importancia primordial a la cuenca subterránea que drena hacia el sur con dirección al lago de Amatitlán. Como la mayor parte de los datos de niveles se refieren a medidas hechas en el relleno piroclástico y eluvial, por el momento no se pueden dar indicaciones sobre esta división en dos subcuencas, en relación al eje andesítico. Sin embargo, se considera que es muy acertado aceptar la suposición de que el acuífero profundo andesítico drena hacia el sur, pues en dirección norte existe un impedimento montañoso metamórfico hercínico. El sistema de bloques andesíticos inclinados que existen en los márgenes del Valle, favorece el flujo de las aguas subterráneas hacia el graben y tiene su salida principal en la región Ojo de Agua. No obstante, hay posibilidades de la existencia de otras salidas en los declives.

Entradas y salidas: El acuífero en el área del valle de Guatemala es alimentado por la filtración de lluvias que caen directamente sobre los afloramientos de las formaciones geológicas. Parte de los flujos subterráneos cerca de la superficie provienen de la infiltración de las aguas de lluvia y pequeñas fuentes, y del flujo hacia el relleno piroclástico o directamente hacia las estructuras basálticas profundas. Todo ello de acuerdo con la posición de las estructuras y sistemas de fallas y lineas.

Las aguas subterráneas corren en el Valle, principalmente en dirección sur hacia la salida del drenaje o al lago de Amatitlán. También pueden salir pequeñas corrientes en el lado norte del Valle hacia la cuenca del río Las Veapas. La región de la fuente de Ojo de Agua sirve de salida al drenaje del acuífero andesítico. Por el momento no se puede responder a la pregunta si existen otras salidas en el Sur, tanto bajo el lago de Amatitlán como al sur de la base del río Idichatoya. Para comprobarlo sería necesario realizar estudios complementarios. (7).

METODOS DE RATOS T:

PIA CIPIOS FUNDAMENTALES:

Existen diferentes tipos de técnicas espectroscópicas basadas en los rayos X, que ~~on is emisen, absorciOn y difraccien de rayos X, las cuales tienen muchos usos~~ para el análisis cualitativo y cuantitativo. Cuando un elemento absorbe radiación de longitudes de onda corta altamente energéticas o cuando es bombardeado con electrones suficientemente energéticos para poder extraer un electrón de las capas más internas (K y L) del elemento, tras un breve período de tiempo dicho elemento vuelve de su estado excitado al inicial mediante una serie de transiciones electrónicas hacia el orbital vecante lo que se caracteriza por la emisión de rayos X de longitudes de onda propias para el elemento que fue excitado, conocidas como líneas espectrales. Este fenómeno es el de fluorescencia de rayos X.

Generalmente, los grupos de líneas espectrales de utilidad analítica se conocen como líneas r que tienen longitudes de onda más cortas (más energéticas) y las líneas L de longitud de onda más largas respecto de las primeras. Cada elemento produce una serie de líneas espectrales propias a su naturaleza y serie esencialmente independientes de la combinación química en todos los elementos, excepto, en los de peso atómico más bajo. Así las líneas K_{α} para un elemento dada, es la misma, tanto si se es un metal puro, como si se trata de un óxido o sulfuro. Por lo que la identificación de elementos en los espectros de líneas por medio de fluorescencia de rayos X se realiza comparando las energías asociadas a cada línea espectral con las correspondientes energías ya establecidas para cada elemento. Y la intensidad de cada una de las líneas espectrales está asociada con la cantidad del elemento en la muestra que se analiza.

Para fines analíticos, los rayos X se obtienen por medio **de:** 1) bombardeo de un blanco metálico con un haz de electrones de altas energías 2) por exposición de una sustancia a un haz primario de rayos X, con objeto de generar un haz secundario ~~de rayos X fluorescentes y 3) por el empleo de una fuente radiactiva cuyo proceso de desintegración produce~~ la emisión de rayos X.

Existen 3 tipos de fuentes en los instrumentos de rayos X, que son los tubos de Coolidge, los radioisótopos y las fuentes fluorescentes secundarias. La más utilizada para fines analíticos es el tubo de Coolidge, que consiste en un tubo al vacío

en el que hay un "Sudo de filament" de tungsten y un Onodo masivo construido de tungsten, cobre, molibdeno, cocrmo, plats. niquel, cobalt°, sodio o hierro. Se wan diferentes circuitos pars calenter el filament° de tungsteno (catodo) y &cetera: los electrones haste el blanco metalico (finodo) pie productra los rayos X de utitidad astatine& con una energia propia a Is del metal que se emplee como anode.

Los aparatos utilizados en is fluorescencia de rayos X esuin cis: Mead 3s como dispersivos en longitud de orida y dispersivos en energia, segUn sea el meted° utilizad° pare resolver los espectros de linens que se produzcan. Pero Ultunamente ~~existe is tendencia a utilizar los sistemas dispel .ivos en energia debido a su simplicidad, felts de componentes mecanicos mOviles en los sistemas de excitation y cletecciOn de los espectrofotOmetros. Ademes is ausencia de colimadores y un• difractor de cristal, asi como it mayor proximidad entre el detector y la muestra tienen como consecuencia que is energia que liege al detector sea 100 vecw mayor o aim mss respecto de los sistemas dispersivos en longitud de ends~~

Estes caracteristicas permiten el use de fuentes mat &biles, como materiales radiactivos o tubes de Coolidge de bajo poder cuyo costo es menor y que producen generalmente menor deho a la muestra per efecto de is radiacidn. (9).

ESPECTROMETRIA DE RATOS I POR REPLETION TOTAL

El analisis por fluorescencia de rayos X, es ampliamente usado pars is identificaci& y cuantificeicitt de elementos en una gran variedad de muestras de diferente naturelesa. Las carecteristicas propias de este mato& son. is simplicidad en la instrumentation, rapid= de medicien, y el alto grade de automatization que se puede 'ogres +Moaners:.

En cuantificacien de elementos tram, sin embargo, le sensibilidad del matins por fluorescencia de rayos X conventional es generalmente insuficiente cuando se desea medir concentraciones en el orden de let panes per bittern (ppb).(10).

En 1971 Yoneda y Honuchi, fueron los primeros en reporter un metodo especial pars incrementar la efectividad de la relacion sepal-ruido; y luego fue estudiacb par Aiginger y Vobretuschek. El matodo consiste en lograr Is reducciOn de is

radiación dispersiva de fondo y así aumentar la sensibilidad y alcanzar mejores límites de detección en el análisis por fluorescencia de rayos X. Estos autores han utilizado el efecto en el que el rayo X incide sobre un disco de cuarzo con un ángulo muy pequeño, suficientemente pequeño para que sea totalmente reflejado.

A este nuevo método de análisis se le llama método total de rayos X. Este método espectroscópico (R.T.R.X.) es una versión modificada de la técnica convencional de fluorescencia de rayos X (E.F.X.) dispersiva en energía con un aumento sustancial en los límites de detección.

Así, si una muestra delgada es depositada sobre la superficie pulida de un reflector de cuarzo y excitada por la radiación incidente producida por un tubo de rayos X en un ángulo de unos pocos minutos de arco, la radiación dispersiva coherente y Compton causada por el sustrato es completamente eliminada debido a que la radiación excitante no penetra en la muestra, reflector de emisores. La radiación fluorescente por otro lado se duplica en intensidad debido a la excitación de la muestra por la radiación incidente y reflejada (10).

CONCEPTOS BÁSICOS:

LÍMITES DE DETECCIÓN Y FONDO ESPECTRAL

Como un resultado de consideraciones estadísticas los límites mínimos de detección (LMD) para las técnicas de fluorescencia de rayos X EPX y P. I. R. se determinan por las expresiones

$$LMD = \frac{3 \times \text{ruido espectral}}{\text{área del pico}} \times \text{concentración}$$

Esta ecuación expresa claramente que existe una relación directa y proporcional entre el ruido espectral y los límites de detección (LMD). Por lo tanto, a mayor fondo espectral el valor del límite mínimo de detección es mayor y, por lo tanto, es indeseable para los propósitos analíticos cuantitativos. En las técnicas anteriormente mencionadas

En las técnicas de fluorescencia-P. I. de rayos X, el fondo espectral es causado por las interacciones de la radiación con la materia espectralmente por la dispersión:

elásticas e inelástica de los fotones primarios que inciden sobre la muestra y el soporte que contiene a la muestra. El fondo espectral especialmente en la región de baja energía es debido a la dispersión Compton, causada por fotones de frenamiento o Bremsstrahlung de baja energía sobre el mismo cristal detector. También impurezas en el soporte de muestra y contaminantes en las minas contribuyen a aumentar el fondo espectral. (11,12)

La técnica de fluorescencia de rayos X que utiliza una reflexión total del rayo primario que incide sobre la muestra, logra que este tenga una interacción virtualmente muy pequeña con el reflector portador de la misma; así se logra una reducción de la radiación dispersa y como consecuencia de esto se logra un incremento en la relación Pico de interés / fondo espectral, lográndose así mejorar los límites de detección (LMD) a niveles más bajos, del orden de los picogramos. Comparado con otras variantes de la fluorescencia de rayos X (F 21), el método de la reflexión total de rayos X tiene un poder de detección mejorado en dos o tres órdenes de magnitud. (13,14).

REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN:

Cuando un rayo X colimado incide sobre la superficie plana lisa y perfectamente pulida de un reflector pueden ocurrir tres tipos de fenómenos, dependiendo del ángulo del rayo incidente:

a) Cuando el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo crítico, provoca que el rayo incidente penetre en el reflector, siendo refractado.

b) Cuando el ángulo de incidencia es igual que el ángulo crítico, de lugar a que el rayo incidente se propague a lo largo, sobre la superficie del reflector.

c) Cuando el ángulo de incidencia es menor que el ángulo crítico, ocurre la reflexión total del rayo incidente. En este caso el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. La intensidad del rayo reflejado debería ser igual a la del ángulo incidente. En realidad esto no ocurre, ya que el rayo se reduce su intensidad debido a pérdidas de absorción, que están relacionados con una ligera penetración del rayo incidente en el medio, así como en el caso de la reflexión total.

El reflector sirve como soporte de la muestra, la cual es depositada sobre el centro de este; es preferible que la muestra sea colocada como una película muy fina para disminuir el fondo espectral. Así el reflector tiene un propósito, el de servir como portador de muestra y como reflector del rayo primario de rayos X. Es importante advertir que de toda el área del reflector que no está cubierta de muestra, pero que sustrae la penetración del rayo incidente producirá radiación de fondo, debida a procesos de dispersión, y líneas fluorescentes provenientes de impurezas. En el área rodeada por la muestra, tanto el ánodo como el reflector (por efecto de refracción) producirán fondo espectral.

El ángulo crítico de la reflexión total depende de los datos, del material del que está constituido el reflector (número atómico, **Z**; peso atómico, **A**; densidad, ρ) y de la longitud de onda del rayo incidente. 1. Esta dependencia puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$\theta_c = 5.4 \times 10^{-10} \sqrt{\rho Z^2 / A^2}$$

Esta ecuación define que existe un valor de λ_c para un ángulo crítico definido geométricamente. Así la dependencia de la longitud de onda λ respecto del ángulo crítico puede ser utilizada para modificar la distribución espectral del rayo reflejado; de este modo la reflexión total del rayo λ puede funcionar como un filtro que elimina algunas energías del rayo incidente, o bien actúa como un dispositivo que permite reflejar energías bajas de este. (ver figura)

·
cis

La radiación primaria incidente posee una distribución espectral que está comprendida entre A_{min} que es el límite de alta energía, hasta $X \cdot \lambda_{crit}$. Para un ángulo crítico de incidencia determinado, está asociada una longitud de onda A_1 o una energía E_1 que es limitante. La parte del espectro de alta energía ($A > A_1$) es reflejada y absorbida por el material reflector, mientras que la parte del espectro de baja energía ($A < A_1$) es totalmente reflejada. Este concepto es el que se utiliza en la nueva versión de reflexión múltiple en la técnica de reflexión total de rayos X: R.T.R.X.. (11,12).

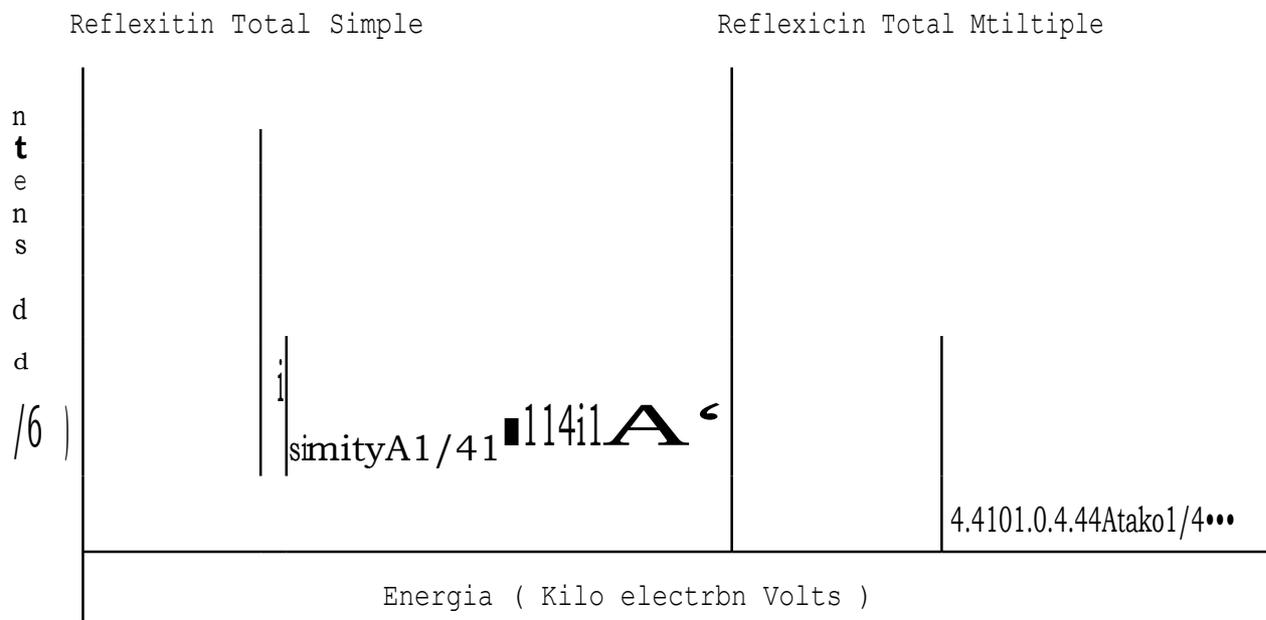
**ESPECTROMETRIA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X CON DISPERSIÓN EN
MEDIA CON REFLEXIÓN TOTAL MÚLTIPLE DEL RAYO INCIDENTE.**

Desde la construcción del primer prototipo de espectrometro para fluorescencia de rayos X con reflexión total por H. Schvenke y J. Knoth (10), numerosos perfeccionamientos esenciales han sido introducidos con el objeto de mejorar: la sensibilidad de los análisis, el consumo de voltaje del tubo de rayos X, y la aplicación de la reflexión total múltiple del rayo X incidente. Con respecto a este último perfeccionamiento, H. Aiginger y P. Vobreschek proponen un diseño donde el rayo es reflejado una vez, previo a su interacción con el segundo reflector que contiene la muestra. (11,12); H. Schvenke y J. Knoth proponen un diseño donde el rayo es reflejado dos veces previa a su interacción con el tercer reflector que contiene la muestra. (10).

Este modificación consiste en un preciso y alineado arreglo de dos o tres reflectores, uno de los cuales actúa también como el portador de la muestra. El rayo incidente que proviene de un tubo de rayos X, se refleja una o dos veces respectivamente y sigue un camino en zig-zag antes de interactuar con el reflector que contiene a la muestra. La cual es colocada como una película fina en la parte central del reflector. (10) La muestra se excita por el rayo incidente y emite su radiación característica que es detectada por un detector de Si (Li), el cual está colocado justo enfrente del reflector que contiene a la muestra.

Este arreglo proporciona ventajas físicas y geométricas adicionales, como son: un gran ángulo de dispersión y un mínimo de fotones de dispersión de Compton. Para fotones de bajas energías se observa un fenómeno de dispersión mínimo a un ángulo de 90 grados entre el rayo incidente y la posición del detector, que es el que está dado para este tipo de sistema. (11,12). En resumen el sistema de reflexión

multiple, incluyendo el reflector que se usa como soporte de la muestra opera como un intro que deja pasar la energía incidente. Los fotones de la energía que provienen del tubo de rayos X (10). La figura siguiente, ilustra la distribución espectral de la radiación primaria utilizando el sistema de reflexión total simple y el de reflexión total múltiple.



Notes: (n_i/a) = cuentas por Segundo.

Cuando se utiliza tubo de rayos X con ánodo de molibdeno, esta fuente de excitación. La capacidad de detección es limitada para los elementos comprendidos entre el berilio y el niobio (P: nitrógeno atómico • 15; Zr: número atómico • 40) y entre el tungsteno y el uranio (Me; Mercurio atómico • 57; U: uranio, atómico • 92). Elementos con números atómicos menores de 13; el carbono, nitrógeno y oxígeno, no pueden ser determinados por este método. Como de 20 elementos pueden ser determinados simultáneamente. Para aquellos que poseen número atómico menor al del molibdeno, la medición se realizará con radiación tipo X; y para los elementos con número atómico mayor que el del molibdeno, la medición se realizará con radiación tipo L. Cuando se utilicen reflectores de carbono (5102) como soporte de muestra, todos los espectros mostrarán una pica de silicio, por lo tanto no es posible cuantificar el silicio en la muestra. Por otro lado, los picos del molibdeno provenientes de la radiación primaria incidente, así como el pico correspondiente al nitrógeno (número atómico 14) debido a la presencia de oxígeno presente en el aire, están presentes en todos los espectros y no son posibles de evitar. (15)

REQUISITOS PARA LA MUESTRA

1. Puede ser lento de forma cristalina como amorfa
2. Debe ser extremadamente pura.
3. Debe poseer tanto resistencia mecánica como química
4. Debe mostrar buena facilidad para el lavado y pulido.
5. Sus líneas fluorescentes características deben estar fuera de el rango de energía de interés.
6. Debe poseer alto grado de tensión reflectiva.
7. Debe de tener un precio razonable.

PREPARACION DE LA MUESTRA

Preferiblemente, el material de muestra debería estar disponible en forma de una solución acuosa u orgánica, o bien una emulsión, donde la idea básica es que el disolvente sea fácilmente evaporable. Para muestras sólidas, es preferible la preparación por medio de una digestión con ácido nítrico. Independientemente de la naturaleza de la matriz de la muestra una solución estándar de una sal de un metal debe ser adicionada a este, siendo este el estándar interno que servirá para la cuantificación. (12,16).

El disolvente sirve para mantener la muestra con el estándar interno. La muestra es pipeteada sobre el reflector de cuarzo en volúmenes entre 1 y 300 microlitros. Para soluciones acuosas, la superficie del reflector de cuarzo que contendrá la muestra es tratada con una solución hidrotérmica ej: solución de silicio., con el objeto de reducir el área que ocupa la solución de muestra y poder así pipetear volúmenes mayores de 100 microlitros. La aplicación se realiza en el centro del reflector, luego se seca para dejar una película muy fina la cual debe tener un espesor máximo entre 5 y 8 mm, dependiendo de tipo de espectrómetro a utilizar (12,16).

La sobresaliente sensibilidad de los T.R.I. implementados sin restricciones, de una técnica de película fina con estandarización interna, la cual elimina la necesidad de estándares externos dependiendo de la matriz de la muestra. El único requerimiento es que dicho estándar interno esté homogéneamente distribuido en el material de muestra. (12). Debido a esto, una función de calibración estable es una condición inherente de este método. La

curia de calibratien es determined& per repetides mediciones de solutions enender multielementales. Una vez cuidadosamente establecida (normalmente en la fase de to instalaciOn del equipo), dicha calibraciOn no debent ser altered. o modificada., except°, per supuesto si el herdvere es ve.riado 0 one parte sensitive del software es cambia*. Este calibration es valide: independiente de Is natural* de is matrix de la muestra del rengo de concentration y pare cuedquier element° utilized° como este/War intern. (16).

ANALISIS CUMITATIVO DE MUISTRAS

Los aperatos de fluorescencia de rayos I modernos pueden utilizarse pare el analisis cuantitativo de materieles complejos con um precision que equivele o excede a la de los métodos quimicos cliisicas por via hismede a la de otros-instrumentos. Sin embargo, pare que is precision de estos anitlisis elcance ese nivel, es necesario disponer de patrottes * calibraciOn que se eproximen considerablemente a las muestras en composition (mimics y física, y de metodos adecuados pare resolver o crater los efectos que provienen de la propia matriz de is musstra.(9)

Efectos de la matrix: Es importante comprender que los rayos I producidos en el proceso de fluorescencia se generan no solo en los &tomes * is sucerflcie de la muestra. sino tambien en los &toms ;tuxedos muy abajo * ells. Azi, 'ma parte del hes incidents y el hes fluorescence resultante atraviesen un considerable espesor de mueStra dentin del cual puede hater absorcien y dispersiOn tent° de uno comp del otro. El grado con que uno u otro **hex** es atenuado depende del tteficierite de ebsorciOn de masa del medio, el cual, a su vex, es determined° no solo per el coeficiente de absorciOn * mesa del element° excited°, sine tambien por los coeficientes de los demis elementos de is muestra Asi, atmque is intensided nets de wit lines que liege el detector en un anelists de &mitten de rayos I depende de is concentreciOn del element° que produce Is lines, nimblest depende de los coeficientes de concentration y absorcien de la matriz.(9)

Los efectos de Is absurdest par la matrix pueden hazer que los resultados ..alculados sean altos o beeps. Un segundo efecto * la melds, llamado efecto de refonamiento puede der tambien resultados mayores que los esperados. Estos efectos pueden hetes que la intentided de una lines enalitica depend& no solo de is concentraciOn del elemento pie interests sino, tambien en manor grado, de las

concentration's de los distintos elementos que constituyen la matrix de is muestra. Se han elaborado varias técnicas para compensar estos efectos . (9)

Calibración con estándares: Aquí se relaciona entre la intensidad de la línea analítica y la concentración se determine empíricamente con un conjunto de patrones que se aproximen estrechamente a las muestras en su composición general. Se supone entonces que los efectos de absorción y reforzamiento son idénticos en las muestras y patrones, y se empleen datos empíricos para convertir los datos de emisión en concentraciones. Sin duda, el grado de compensación que se obtiene de este modo depende de la semejanza entre la muestra y los patrones . (9)

Uso de patrones internos: En este procedimiento se introduce un elemento a concentración conocida y fija dentro de los patrones de calibración como de las muestras; el elemento añadido no deberá estar contenido en la muestra original. La relación de la intensidad de línea del elemento que se determine a la intensidad de línea del patrón interno, sirve de parámetro analítico. Aquí se supone que los efectos de absorción y reforzamiento son iguales para los dos límites y que el uso de razones de intensidad compensa estos efectos.(9)

Selección de la muestra y los patrones: En este caso la muestra y los patrones se diluyen con una sustancia que absorbe débilmente los rayos X, dentro de los límites está el agua, disolventes orgánicos que contienen solo carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, almidón, carbonato de litio, alúmina, y ácido bórico o vidrio de Doren. Empleando un estándar de diluyente, el efecto de la matrix se vuelve esencialmente constante para los patrones y las muestras, y se obtiene una compensación adecuada(4)

En la técnica de R.T.R.X., la cuantificación de los elementos se realiza en función del elemento que se utilice como estándar interno, que contiene la muestra que es analizada. Esto está expresado por la siguiente ecuación:

$$C_i = \frac{I_i \cdot C_{si}}{I_{si} \cdot I_{se}}$$

Dendt

Ci les Is concentration del elemento en estudio.

Cei es la concentration de el estender interno.

li : la intensidad de el elemento en estudio.

lei is intensidad de el este:irides intern.

K (i/sj): es la constante de sensibilidad relative del elemento en estudio respecto del estender interno.

RECOLECCION T ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS.

A continuaciOn se den a conocer una serie de investigaciones realizades pare prevents la contamination durente el muestreo y el almacernamiento .

A. Knoche] y A. Prange (14), quienes hicieron estudios en la determinaciOn de elementos trine en ague de mar utilizando R I R.X., dean Samson que les meiores conditions de trabrno eren, utilizar botelles purificades de polietileno y que los muestreadores trabejieran con guentes del mismo material Les muestras son tornades a 30 cm. bajo la superficie. Las muestras fueron transferides a les botelles mencionades, y acidifiendes a pH menor de dos, luego de cerrar ernes, se empacaron en balsas de polietileno numerades y luego se guerderon a baja temperature.

La manes de purificer its botches de polietileno es: lavendo con acetone pare remover grass o residuos gresos. Luego de enjuagues con egua pure, las botelles fueron tratadas con unos mililitros de HC1 concentrado (Suprepur Merck) y egitando. Luego se laven muchas veces con ague pin Seguidemente se hate una dilueicin (150) con HC1 concentrado (Suprepur); este soluciOn se introduce en cede una de les botelles, dejendolas por unos dies a 60 ° C. , las botelles son lavadas con ague pure y guarded's en bolses de polietileno Los frescos pare realize: losmuestreos fueron puestos en remojo con detergente (REIS, Roth) y tratados con HNO3 diluido y dejedos varios dies antes de sir lavados con ague pure , pete luego ser utilizados.

R. Peneyappan y col. (17), determineron que cuando se actdifica el ague con HNO3 a pH 2 no gerantiza qua centidades del orden de microgramos permenecerem en soluciOn durente el elmecernamiento o sea que, son adsorbidos per las paredes del recipiente qua los contiene.

R.P. Stosset y A. Prange (13) reportan que tales muestras son tratadas con filtro concentrado (Suprapur) a pH cercano a 1.7 y guardadas en botellas de polietileno que son empacadas en balsas de este material y guardadas a baja temperatura. La purificación de todos los componentes que tienen contacto con las muestras es: primeramente lavados en un baño de detergente, lavado con agua ultrapura; luego se dejan en HNO₃ 0.1 N (Suprapur) por una semana. Luego se lavan perfectamente con agua ultrapura. Las botellas de polietileno también son lavadas siguiendo este tratamiento, pero se desinfectan con una solución diluida de RHO, hasta el momento de ser usadas.

APLICACIONES EXPERIMENTALES

La técnica de RI.R I. es bien establecida como un método analítico para la determinación de sistemas de multielementos. Esta técnica tiene la ventaja de ser más sencilla. Utilizar poca cantidad de muestra, alta sensibilidad en la cuantificación de elementos, utilizar procedimientos sencillos de preparación de muestras, no hay interferencia entre líneas espectrales de elementos. Utilizar Wender interno para la cuantificación de los elementos en estudio.

Esta técnica proporciona alta exactitud y precisión, pero tiene una serie de limitaciones en los límites bajos de detección, para análisis multielemental de elementos presentes en muestras de aguas naturales. Para solucionar estas limitaciones algunos métodos de preconcentración o enriquecimiento de los elementos disueltos son desarrollados. En estas técnicas se involucran manipulaciones químicas y/o físicas de la muestra. Pero en todos los casos, la técnica debe ser rápida y simple, tratando de no contener la muestra.

Se han reportado estudios sobre análisis de aguas de río y aguas de lluvia en donde las mediciones se realizan sin ningún procedimiento de enriquecimiento o preconcentración de muestras. El procedimiento consiste en preparar una solución con 50 ppb de Co como estándar interno, luego se toman 50 microfilms de este, los cuales son depositados sobre el reflector periódico, y son secados por aplicación de vacío. partir de analizadores posteriores. (18,13)

Para mejorar el poder de detección, pueden ser utilizados procedimientos de preconcentración o enriquecimiento de muestras. El procedimiento consiste en

tomar 10 ml de muestra los cuales son liofilizados, y el residuo es tratado con 0.3 ml HNO_3 conc. a una temperatura de 80°C . Luego se diluye con 0.6 ml de agua ultra pura Siempre utilizando Co (cobalto) como estándar interno. La muestra es aplicada sobre el reflector portador en cantidades de 25 a 50 microlitros. (18,13) alcanzando de esta manera mejores límites de detección.

Un grupo de investigadores realizó un estudio para cuantificar metales pesados en agua de mar. en el rango entre nanogramos y picogramos. Para esto se desarrolló un procedimiento que se adecua a los niveles del análisis, el cual está basado en A.I.R.I. y técnica de preconcentración de cromatografía en fase reversa. El procedimiento consiste en utilizar de 50 a 100 ml de muestra la cual se acidifica a pH de 4.5, utilizando HNO_3 Suprapur y un buffer de acetato. La separación de los elementos traza de los que los contiene se logra a través de su complejamiento con una solución metélica al 4% de dibenzilditiocarbamato de sodio (NeDBDTC), Una columna de fase reversa es preparada con unos mililitros de una solución ultrapura de metanol acuoso., luego los complejos metálicos son adsorbidos por la columna. Esta se deja secar, y luego los complejos son eluidos con 2 a 3 ml de una mezcla de $\text{CHCl}_3/\text{CH}_3\text{OH}$ en una proporción de (70:30). La solución que resulta es depositada sobre el reflector portador, luego evaporada al vacío para ser analizada posteriormente utilizando un tiempo de colección de 1000 segundos y el tubo de rayos X bajo las siguientes condiciones : 59 kV, y 33 mA. (18,13).

H. Schwenke y J. Knoth., (10), utilizar el método de preconcentración, consiste en tomar alícuotas de muestra de 50 ml. con la cual se preparan soluciones a 100 ppb de Co como estándar interno y se ajusta el pH entre 4 y 5. Estos alícuotes se concentran en un factor de 5 o 10 por medio de liofilización. Luego se toman alícuotes de 50 microlitros de cada muestra, los cuales son depositados sobre el reflector portador, el cual es anteriormente siliconado. Sobre la alícuota anterior es adicionado un volumen de 5 microlitros de una solución de amonio-pirrolidina-ditiocarbamato. (APDC) al 1%. Esto se hace con el objeto de evitar la evaporación de metales volátiles como el mercurio, y arsénico durante la evaporación del disolvente al momento de secar la muestra. Una vez seca esta, las sustancias que sean solubles en agua son disueltas adicionando 100 microlitros de agua bidestilada. Los quelatos metálicos, insolubles en agua, permanecen sobre la superficie del reflector portador. y la muestra está lista para ser analizada por R.T.P.X.

i JUSTIFICACIONES

~~7 i El agua potable que se utiliza en la ciudad de Guatemala proviene de fuentes superficiales es potabilizada a través de 5 plantas de tratamiento, distribuidas subterráneas se localizan en el centro (mitad) del yacimiento de la ciudad, y es captado de 4 tipos de acuíferos los cuales están clasificados dependiendo de la composición geológica del material de donde se capta el agua para su explotación.~~

~~4.2 Concientes de que el agua proveniente de estas dos fuentes naturales, puede estar sujeta a contaminación por elementos químicos, los cuales forman tal papel importante en los procesos biológicos que pueden resultar perjudiciales para la de las fuentes naturales de agua, y actualmente con mayor razón debido al crecimiento industrial progresivo en la ciudad capital, así como también es importante el desarrollo de programas de control de calidad del agua potable que se suministra a la ciudad de Guatemala.~~

~~4.3 Para poder ejercer este control de calidad es necesario realizar estudios de contaminación ambiental de las fuentes de agua potable. Para ello es necesario hacer uso de una técnica de análisis de rutina para muestras acuosas que cumpla con las características de ser multi-elemental, directa, simple, rápida, que no produzca interferencias espectrales entre elementos y alto grado de sensibilidad para determinar concentraciones menores a 1 ppm de los elementos que se encuentran en las fuentes de agua de estudio.~~

OBJETIVOS

GENERAL

Retener un análisis multielemental en el agua potable que se distribuye en la ciudad capital de Guatemala, proveniente del manantial freático del Vane de la ciudad.

ESPECIFICOS

1. Aplicar un método de análisis multielemental de rutina que cumpla con las características de ser directo, rápido y con alto grado de sensibilidad, para analizar muestras de agua potable, utilizando la técnica de espectrometría de fluorescencia total de rayos X.
- 7.2.2 Establecer si el agua subterránea que se distribuye a la ciudad Capital de Guatemala cumple con las características químicas de calidad respecto al contenido y concentración de elementos químicos que establece la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) para el agua potable.
- 5.2.3. Determinar si existe diferencia significativa entre las concentraciones de cada uno de los elementos encontrados en las aguas provenientes de los cuatro acuíferos de donde se extrae el agua potable que se distribuye en la ciudad de Guatemala. Si existe tal diferencia, establecer como se distribuyen los valores de concentración para cada elemento dentro de dichos acuíferos.
- " Determinar si existe una diferencia significativa entre las concentraciones de los elementos cuantificados en el agua potable superficial proveniente de plantas de tratamiento y en el agua potable proveniente de pozos.

6 HIPOTESIS

- 6.1 Es posible reenter anedisis multielementel de rutina en agua potable, por medio de la técnica de Reflexión Total de Rayos X utilizando como fuente de excitación un tubo de rayos X con ^{90}Mo (nolibdeno), sin utilizar técnicas de preconcentración de la muestra.
- 6.2 El valor de las concentraciones de cada uno de los elementos cuantificados en el agua proveniente de los 4 tipos de acuíferos: Tipo I (beseltos y andesitas fracturadas), Tipo II (cetzes), Tipo III (volcánico blendo y duro) y Tipo IV (volcánico blendo y firme), no sobrepasa los límites máximos permisibles, establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR).
- 6.3 ~~No existe una diferencia significativa en los valores de concentración para cada uno de los elementos cuantificados en los cuatro tipos de acuíferos estudiados.~~
- 6.4 Existe una diferencia significativa entre los valores de concentración de los elementos cuantificados en agua subterránea (pozos) con los cuantificados en agua superficial (plantas de tratamiento).

8 MATER [ALES T METODOS

UNIVERSO DE TRABAJO:

- *Muestras at agua potable, obtenidas de 19 perm, de Is Empresa Municipal de Agua. EMPAGUA.
- * Solution acuosa estender de Se^{02} (dioxide at selenio), que contiene 1003 ppm at Se.

MEDIOS:

RECURSOS HUMANOS:

- * P. Agr. Oscar R. Perez Estrada, estudiante de la carrera at Lic. en Quimica
- * Lic. Rony Estuerdo Ayala Jimenez, esesor del trabajo de **investigatiOn**.

RECURSOS FISICOS:

- 19 poems, que representen los cuatro tipos de acuíferos del vane de la Ciudad de Guatemala.
- * Laboratorio Anelitico Nuclear; Section Industrial.Direccien General de **Inertia** Nuclear.
- * Instituto de InvestigaciOnes Quimicas y Biologicas.
- * Biblioteca de **baDireccien General de** Energia Nuclear.
- * Biblioteca Central de la Universidad de Sem Carlos de Guatemala.
- * Biblioteca de Is Universidel del Valle de Guatemala

RECURSOS MATERIALES :

EQUIPO PARA DEFLEXION TOTAL DE RAINS I:

- * Generador de alto voltaic; **Philips. PV1729**.
- * Regulador de Temperature. **ruhler-[lover**.
- * Tube de Rayos X. con anode de Mo.
- * Porte musstres.
- * Detector semiconductor de Si(Li) **Canberra**. ,en beim Dever * Nitrogeno liquid°.

- * Fuente de alto voltaje. **Orme. 402.**
- * AmpUric:ardor de renal, **Canberra . 2020.**
- * Bomba de vacío (compresor). **Millipore.**
- * Deshumecedor. **Whirlpool. ABA-012.**

EQUIP° PARA ANALIZAR ESPECTROS:

- * Analizador multicanal **Canberra. Serie 35 plus.**
- Computadora Canberrn-Packard.
- * Monitor **Sastron SC-431V.**
- * Impresora **Epson RI-130 FR plus.**
- * Programa **Aril V4.00 IBM-PC**

EQUIPO PARA TRATAMIENTO ESTADISTICO:

- * Programa **SAS Ver. 6.02.**
- * Computadora **Confident PC-AT.**
- Impresora **Panasonic.**

ELWIN) PARA PREPARAR MUESTRAS:

CRISTALERIA:

- * 7 balones aforadas de 100 ml _____
- * 3 beakers de 600 ml _____
- * 2 beaker de 250 ml.
- * 2 probetas de 50 ml _____
- * 2 pipetas de 1 ml _____
- * 2 agitadores de vidrio.
- * 20 reflectores de cuarzo.

EQUIPO:

- Bombe de vacío **Canberra. sodelo 7400-01.**
- * Desecadora plástica, con have pare. vacío. **Bel-art**
- * Horno convencional. **Blue It model° S117-11TA-1** tango 40° - 200 °C.
- * Micropipeta **Gilson. (1 - 20 ;IL).**

* hitc-roptpeta **Gilson** (1 - 100 4).

• Puntos plásticos para micropipetas

MATERIALES:

* 1 pipeta de 200 ml.

• 5 ceds de Petri plásticos.

• 10 pliegos de papel limpio lentes **Spectrofilm**. ultrafino **p&p rayon X**.

* bolsos de polietileno de 20 x 7.5 cms.

* 60 botellas plásticas. **torten** de 50 ml

MATERIALES PARA RECOLECCION DE MUESTRAS:

* 60 botellas plásticas de 500 ml

* 60 bolsas plásticas de 20.5 x 30 cms.

REACTIVOS:

* HNO₃ 65% **Merckn**. grado analítico.

* Solución de Ertren al 3%.

* Solución siliconizante.

* Solución Winder de SeO₂ de 1.000 +/- 0.002 g. **Tltrisol, Merck@**

• Agua desionizada.

EQUIPO Y MATERIAL AUXILIAR:

• **Campana de extracción de gases, Labeonco.**

• **Detector Geiger-M011er.**

* Bolsa de protección de plomo.

• **Destilador Corning MP-4S.**

MÉTODOS:

El procedimiento experimental que se desarrolla en el presente trabajo de investigación este, integrado por varias técnicas o métodos, algunos propuestos y otros, utilizados (incluyendo pequeñas variaciones) por investigadores en el campo de la. **Renexien Total de Payos X.**, otros, fueron implementados directamente para

| pues se le añaden pequeñas modificaciones

" Prepare: una solución de Extran al 3%, utilizando agua desionizada para la dilución.

~~- Preparar una solución de HNO₃ 0.1N, utilizando agua desionizada para la dilución.~~

~~1 Lavar primer^o con agua desionizada.~~

~~1 Dejar en remojo con Estrin S 3% durante 24 horas.~~

• Lavar con agua desionizada hasta que ya no existen restos de Extran en el material.

~~1 Osier en remojo con HNO₃ 0.1 N durante 7 días.~~

* Lavar con agua desmineralizada.

RECOLECCION DE MUESTRAS

* El volumen de las muestras es de 500 ml.

• Para la recolección se utilizan botellas plásticas de 500 ml.

~~* La muestra se toma directamente del polvo antes que el agua sea clorada y entra a la red de distribución.~~

~~* También de tomar las muestras las botellas perfectamente rotuladas se introducen en bolsas plásticas de 20.5 x 30 cms para evitar cualquier contaminación.~~

PREPARACION DE MUESTRAS:

PATRON INTERNO

El elemento que se utilizará para este fin es el Se. Para lo cual se prepara una solución de este elemento a una concentración de 1000 ppm, utilizando una solución Titrisol Merck de SeO₂ de 1.000 +/- 0.002 g. Esta se diluye hasta 1 litro

~~on egos desiontzada, guardendola en un recipiente plastic° bien cerrado y
;e rotula.~~

PREPARAR SOUK IONES CON EL PATRON INTERIM :

~~* Preparar son coda una de les muestrs one soluciOn que contenga 2 ppm del
patron intern°~~

~~w Medir 200 pl de la solution de Sea 1000 ppm; diluir a 100 ml, utilizando ague de
cede una de las muestrs pars hacer is dilution.~~

~~**Guarder** Is nueva solution en botches plastic:es de 50 ml, rotular
adecuadamente.~~

REFLECTORES :

~~Los reflectores que serviran coma portadores de muestra deben ester bien
limptos.~~

~~• **Laver** con egua desionizada.~~

~~* Introducir cede reflector en bolsites pic:slices de 20 x 7.5 cras. Agreger extras
el 3%, suficiente pare cubrir el reflector; egitar fuertemente, dejarlos
reposer en esta solution durent 24 bores.~~

~~• **Laver** con ague de ionizada, hasta que queden **limptos** extran~~

~~* Agreger one soluciOn de FINO3 0.1 N., suficiente pare cubrir el reflector.
Agitar **fuertemente, dejar reposer en esta soluciOn** dwante 24 bores~~

~~* Laver con abundente ague desionizada.~~

~~• Para seat los reflectores se colocen sobre papel absorbente, de forma que
descensen sobre su espesor, pare que el ague se elimine was nipidamente,
edemas **se nit& la** conteminacion de les superficies pulides del reflector.~~

~~* Limpiar perfectamente les superficies pulides de los reflectores con papel
limpialentes. Durent todo el proceso es neceserio eviter toter las cares
pulides de los reflectores con los dedos.~~

~~• Aplicer en la pane central de is superficie de cede reflector entre 5 a 10 pL
de unet solution siliconizente (silicOnisopropanol en relaciOn 1:1). Es
neceserto que Is cantidad aplicada se expands sobre is superficie del
reflector menteniendo este en forma horizontal.~~

- * Colocar los reflectores en recipientes resistentes al calor, e introducirlos en un horno eléctrico de temperatura variable durante 20 minutos a una temperatura de 80°C.
- Enfriar y trasladar a cajas de Petri plásticas. Con esto los reflectores estarán listos para aplicarles las muestras.

APLICACION DE MUESTRAS

- * Agitar la solución de muestra que contiene el patrón interno.
- * Identificar el reflector con la muestra que se analiza lo cual se hace con lápiz en el borde del reflector.
- Medir 15 μ l de la muestra y depositarlos en el centro del reflector
- * Los reflectores con las muestras se trasladan en cajas de Petri plásticas a una desecadora conectada a una bomba de vacío.
- Aplicar vacío durante 10 - 15 min., para eliminar el agua de la aplicación; con lo cual los elementos contenidos en las muestras quedan adheridos sobre la superficie del reflector, listos para su análisis.

PREPARACION DEL EQUIPO PARA EL ANALISIS POR R.T.R.L

- * Polarizar el detector de Si (Li) a -800 voltios.
- Conectar el Analizador Multicanal, con el detector de Si(Li) y con la computadora.
- Activar el deshumecedor del sistema de R.T.R.L - detector de Si (Li).
- * Activar el enfriador del sistema de generación de alto voltaje.
- * Encender el generador de alto voltaje, seleccionando las siguientes condiciones: Kilovoltaje= 40 // Miliamperaje= 20.
- Realizado esto, se esperan de 20 - 30 minutos para estabilizar el sistema.
- * Abrir la ventana No.4, que es un dispositivo electromecánico que permite el paso del rayo X primario, proveniente del tubo de rayos X, al sistema de reflexión total.
- Determinar si hay fugas de rayos X en el sistema. utilizando un detector C:iger- Willer

eq>roximadamente, tiempo con el que se pueden visualizar las sefiedes de interel pare la celibrecifin, que son.

Ka (Tutees K elfa) de Se Energies 11 2 KeV.(kiloelectrdn volts)

Kes (lines: K alfa) de /do Energ,im,17.4 IeV.(lciloelectrOn volts)

Ks (linens K elfa) de Si Energies- 1 .74 KeV.(kiloelectrOn volts)

- * Se calibres con dos sefieles o energies, cads una asociada a un canal determined: len el analizador multicanal, con lo cued Ste automMicemente se programa pare proporcionar a cads meal que eperezca en un canal cualquiera del analizador multicemel, la energia en KeV.(kiloelectrOn volts) que le corresponds, de acuerdo a Is identidad del element's que proportion dicha what
- * Se calibren les 2 memories con les que se trabeia en el anon:actor multicanal, la cuedes son: 1/1 , 1/2.

La calibracidn es velida mientras se tenga el tubs de raves I funcionando. Per to Lento cads yea que se comienza a trabeder con iSste, es neceserio repetir el proceso de caLibración.

MEDICION

- * Colocar el reflector portador de la muestra en el dispositivo portador de muestres de el sistema de R.T.R I.
- Programer el enedizador multicanal, pare opera: con un tiempo de coleccidn de 1000 seg. Active: e sistema It coleccisin It forma provisional, mientras se edusta el mejor angulo de reflexien total pare el rays I primerio.

- * Muestre la posición del reflector que sirve como portador de la muestra para lograr el mayor ángulo de reflexión total del rayo X primario que incidirá sobre dicho reflector, lo cual se logra, extendiendo las intensidades de las líneas $K\alpha$ y $K\beta$ del litio tales que $I_{K\alpha}$ es mayor o igual a $I_{K\beta}$.
- * Active el sistema de colección definitiva para la muestra que se analizará.
- Grabar el espectro obtenido, en el disco duro de la computadora en el directorio Axil. SPE.
- * Analice el espectro obtenido, utilizando el programa Axil. Versión 4.00 e imprima el reporte con los resultados obtenidos por dicho programa.

CALCULO DE CONCENTRACION

- Determinar si las áreas reportadas por el programa Axil para los elementos encontrados son significativas para ser tomadas en cuenta. Para ello se determina si el valor del área es mayor de tres veces la desviación estándar de este.
- Calcular el valor de la concentración en ppm, utilizando la siguiente fórmula:

$$C_i = \frac{I_i \cdot C_{Se}}{I_{Se} \cdot K_i}$$

Donde:

I_i - intensidad (**area**) del elemento en estudio i .

I_{Se} - intensidad (área) del patrón interno, en este caso es Se.

C_j - concentración en ppm del elemento en estudio i .

C_{Se} = concentración del patrón interno (Se) que en el presente trabajo es de 10 ppm.

$K_{Se,i}$ es una constante de sensibilidad relativa del elemento i

respecto al patrón interno (Se). Este valor se calcula realizando análisis multielementales de concentración conocida, utilizando la siguiente fórmula:

intensidad (area) del elemento i * concentracion de Se.
 Ki/Se -----
 intensidad (Area) de Se * concentration del element:, i.

* En este trabajo de investigation los valores de Ki/Se para los elementos: Ce, Ti, V, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, Hg, Pb, Bi, Se; son los calculados por Perez, F.(19). Para los elementos S, Cl, IC., los valores de Ki /Se fueron calculados por Perez, O.(5).anexos table. No.6

LIMITES MINIMOS DE DETECCION .

El limite minimo de detection es la minima cantidad de un elemento dado, que es posible cuantificar con seguridad. Si las concentraciones obtenidas para un elemento son menores que estos limites, dichas concentraciones no son confiables para ser tomadas en cuenta en el proceso de cuantificación.

Se determinen los limites minimos de detection para cada uno de los elementos cuantificados. utilizando la siguiente formula

$$LMIX = \frac{3.4 \cdot I_{th}}{A_i \cdot C_i}$$

LMDi limite minimo de detection para el elemento i.
 I fondo espectral de i.
 AL Area de i.
 Ci concentration de i en ppm.

Para poder reenter estos calculos, se utilizan los siguientes valores proporcionados por el analizador multielemental:

- Integral = Area + Fondo espectral.
- Area.

~~Con lo cual se puede determinar el valor del fondo espectral ; el valor de is~~
concentraciOn se calcula tel y como se explic6 anteriormente. Estos limites se
calculen utilizar,* los valores de dos reflectores portadores de distinta muestra.

DISKS° DE LA INVESTIGACION :

En este trabajo de investigaciOn se estudiereM cuatro tipos be acuífet•os, cada uno
de los cuales **este** constouido per un roimero proporcional de subunit*: de
muestreo (pozos), siendo un total de diecinueve. Estos se muestreeren tres veces,
una **Nei** cada 15 **dies, tomando utzemuestrapor pozo** per periodo de muestreo. Serest
un toted de 57 muestres cede una de les cued= sere mediae* por dublicado.

TRATAMIENTO ESTADISTICO :

a.) Cgaparar is calidad del agua waakHLProveniente del **"mato greatly: del valle de la Ciudad de Guatemala."**

§ Calcular el promedio y to de: Macke Wander de is concentraciOn en ppm de
los element% clantificados, pert Its dos repeticiones de cada una de Its 57
feUestral

- Cosaperer dichos promedios, con los valores * concentraciOn maxima
pennisible de los elementos, repomados por is ComisiOn Guatemalteca de
Normes. COGUANONA20).

b) Con el °bleb, de establecer si exist* diferencia significativa **en is conantracidn de cada uno de los elementos entre los** **cuatro Woe de acuíferos involucrados en el *studio.**

Realizes un Analisis de Varian= (ANDEVA) en Bloques at Azar con
submuestreo, **pars** coda uno de los Mementos cuentificados. El modelo
estadistico a empleer es:

$$Y_{ijk} = \mu + P_t + \alpha_j + \beta_{it} + \epsilon_{ijk}$$

i . i - b : Mow :3 bloques que representen cada die **de muestreo.**

t - 1 - t iratamientos : i tratamientos, que representen cada uno de los
acuiferos &studied*

$k \cdot I - n$: número de submuestras (ikons) por unidad experimental (acuífero), es importante aclarar que el valor de k varía y para cada uno de los acuíferos a estudiar..

El nivel de significancia estadístico se trabajará con un nivel de significancia de 4,0.05.

Prueba de bizeitekr:

do • no existe diferencia significativa entre el elemento estudiado, entre tratamientos.

13a a si existe diferencia significativa entre el elemento estudiado, entre tratamientos.(2122)

Tip° de *culler°	Definición	11 ptpssas
1. I	Basalto y andesita I:tourist	4
2. II	Cali=	3
3. III	Volcanico/ Blend° y duro	9
4. IV	Volcanico/ Blendo y fino	3

Posta do & Weida: Si F calculada es mayor que F tabulada, se acepta la hipótesis que si existe diferencia significativa entre el elemento estudiado entre tratamientos.(21)

Realizar una Prueba de Tuckey, con el objeto de:

- Determinar entre cuales tratamientos (acuíferos) existe diferencia significativa.
- Establecer una distribución decreciente de las concentraciones promedio para cada elemento entre tratamientos (acuíferos).

El comparador de Tuckey está definido por:

$lip \cdot q(n, gl \text{ error. IX}) * Sa \quad dOlek:$

U error	Kilmer° de metas a comparar
$\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \frac{1}{n_3} + \frac{1}{n_4}$	

n : número de medias a comparar.

$2s$: error Mandel' 6 desviación estándar de las medias a comparar.

gl : grados de libertad.

cc : nivel de significancia utilizado.

factor de anapensación de medias

CM : cuadrado medio.

Regla de decisión : Si la diferencia de los valores promedio de la concentración

del elemento entre los tratamientos (acuíferos) es mayor que el comparador de Suckey (V_p) se rechaza la hipótesis nula y se concluye que si existe diferencia significativa de concentración para el elemento entre los 2 tratamientos comparados.(23).

+ Realized* una prueba de diferencia mínima significativa (DMS) en aquellos Muestras en donde el análisis de varianza indique que existe diferencia mínima significativa en sus concentraciones entre bloques (días de muestreo).

$$DMS = t_{(1-\alpha)}(n) \sqrt{V(Y_i - Y_j)}$$

$$DMS = t_{(1-\alpha)}(n) \sqrt{Y_i - Y_j}$$

$\alpha = 0.05$ (nivel de significancia)

τ - grados de libertad asociados a la varianza estimada.

Si el valor absoluto de la diferencia entre dos medias de bloques (días de muestreo) cualesquiera, excede el valor de DMS, los efectos entre los dos bloques son significativamente diferentes.(24)

C) Comparar la calidad del agua subterránea (pozos) con la del agua superficial(plantas de tratamiento).

Realizar una prueba de hipótesis de diferencia entre las medias de dos poblaciones. Como se trata de un muestreo a partir de poblaciones con distribución normal y con varianzas desconocidas. Es necesario realizar una prueba de hipótesis de varianzas para determinar si las varianzas entre dichas poblaciones son iguales o distintas. Lo cual es el sumo interés, puesto que de lo

anterior depende el tratamiento estadístico a utilizar en la prueba de hipótesis entre medias poblacionales.

Prueba de Hipótesis de Varianzas:

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ y $H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

El estadístico de prueba es: $F = S_1^2 / S_2^2$

S_1^2 : varianza de la primera población. (elementos cuantitativos en aguas subterráneas, pozos)

S_2^2 : varianza de la segunda población. (elementos cuantitativos en aguas superficiales, plantas de tratamiento)

S_1^2 : varianza muestral de la primera población.

S_2^2 : varianza muestral de la segunda población.

El estadístico de prueba sigue una distribución F bilateral. Asumiendo la convención de colocar la varianza mayor en el numerador. El valor de F tabulado se obtiene para $\alpha/2 = 0.025$; con $(n_1 - 1)$ grados de libertad en el numerador y $(n_2 - 1)$ grados de libertad en el denominador. Tomando como regla de decisión cuando **Fogodada * Sid** se rechaza H_0 . (24)

Luego se realizará una prueba de hipótesis entre medias de dos poblaciones normales en donde:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ y $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

El estadístico de prueba:

a) cellos elementos con varianzas Poblacionales iguales

$$F = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_p^2}{n_1} + \frac{S_p^2}{n_2}}}$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

El estadístico de prueba sigue una distribución "t" de Student bilateral con $(n_1 + n_2 - 2)$ grados de libertad y $\alpha = 0.025$.

b) Para aquellos elementos con varianzas desiguales:

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{s_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}$$

\bar{X}_1 : media muestral de la primera población.

\bar{X}_2 : media muestral de la segunda población.

μ_1 : media poblacional de las concentraciones en ppm de los elementos contenidos en el agua superficial (antes del tratamiento).

μ_2 : media poblacional de las concentraciones en ppm de los elementos contenidos en el agua subterránea (después).

s_1^2 : varianza muestral de la primera población.

s_2^2 : varianza muestral de la segunda población.

s_p : estimador mancomunado de varianzas muestrales.

n_1 : número de datos registrados de la muestra 1.

n_2 : número de datos registrados de la muestra 2.

GL: grados de libertad.

El estadístico de prueba sigue una distribución "t" de Student bilateral con $\alpha = 0.025$, y los grados de libertad se expresan por la expresión indicada anteriormente.

Para ambos tratamientos estadísticos se define como: Si $t_{calculada} > t_{tabulada}$, se rechaza la H_0 . (25)

8. RESULTADOS T DI SCISSION :

~~Ca~~ part tetlericin total de rayos I (R.T.R.I) :

Generador de Voltain:

Kilovoltaje: 40

Miliempereje 1 20

Como se mencion6 con anterioridad, el equipo utilizad° pars la entaciOn de las muestras es un tube de Rayos I con anode de Mo. Por lo tento son neceseries sates condiciones en el generadrr de voltaSe pert poder producir los electrons que wren acelerados a alto vacio hacia el Mo. Con lo coal se genereren los rayos I primaries carecteristicas de este metal pare &titer les muestrs pie serer! enelizados.

Detector:

Voltam - EGO volts.

Amplificador: genencia gruesa 1000

genancia fine. 0.652

Como se utilize un detector semiconductor de Si-Li, es neceserio splicer el volteje junto pars poder crear una region Optima sensible a las radiations provenientes de Is muestra pare que puedan ser detectades con is mejor eficiencia posible. De iguel manera son importerntes les conditions de operation indicades pert el amplificador; puesto que con estos velores se logra una eedeacueda emplificaciOn de is seta' electric& proveniente del detector pert que pueden ser registredes y analizades per el enelizador multicenal.

Apli sicksi_ a imiaaa:

Volumen de epicaciOn 15 microlitros.

El volumen de muestra aplicado as un pariunetro importante en el anidisis de ague. ya que entre mayor sea este• mayor as is masa de coda uno de los meteles presentee y per to tento mayor sere it intensidad de las senates que seen registrades. La cuel es muy beneficioso pare fines cuantitativos. Letzten dos factures tundementeles pie limitan el volumen de aplicaciOn de muestra sobre los reflectores.:

donde no siliconizan la superficie de los reflectores los volúmenes de aplicación utilizados normalmente varían entre 2 a 5 microlitros. Estos volúmenes son adecuados cuando las concentraciones de los elementos a cuantificar son iguales o mayores a una parte por Milen. Por lo tanto el utilizar un volumen de muestra de 15 microlitros ofrece **la ventaja** de poder cuantificar elementos cuyas concentraciones sean inferiores a una **parte** por mil que es la concentración habitual para ciertos elementos presentes en el **agua** potable.

Concentración del estándar interno y Límites mínimos de detección:

Concentración de estándar interno (Se) : 2 ppm.

El hecho de discutir en forma conjunta estos aspectos es debido a que están íntimamente relacionados. En un trabajo de investigación anterior a este se utilizó una concentración de estándar interno (Se) de 10 partes por mil (ppm).

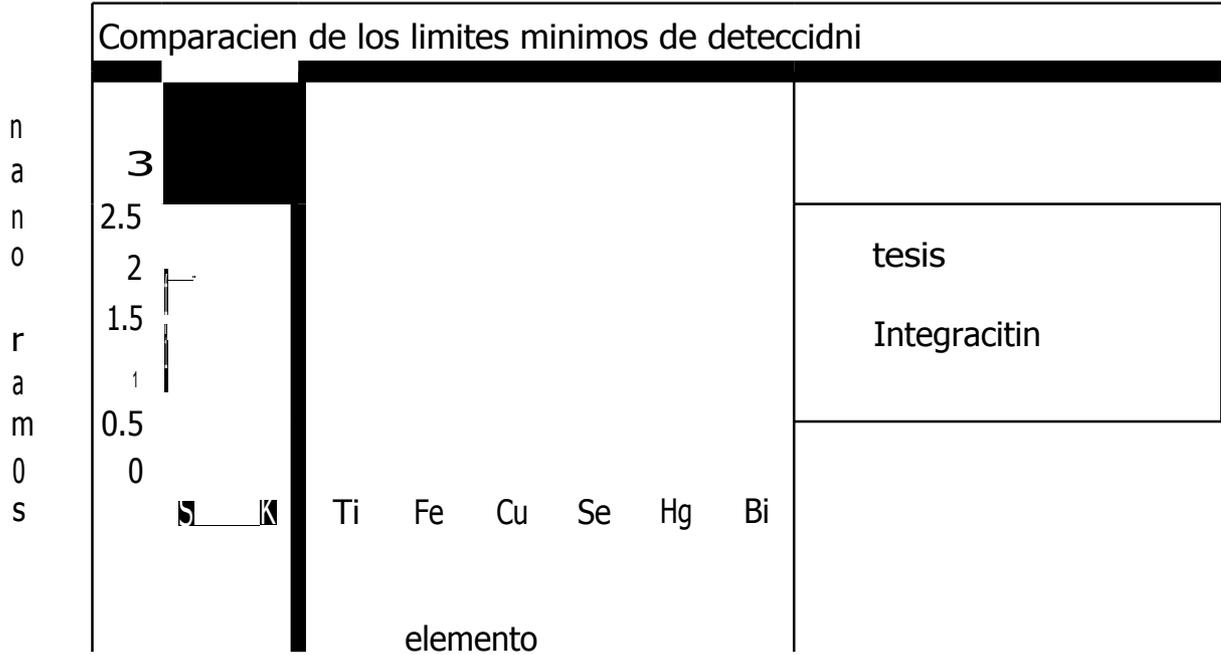
A continuación se presentan los límites mínimos de detección para los elementos que fueron cuantificados en el presente trabajo de investigación; así como también los obtenidos en una investigación anterior.(5).

LIMITES MINIMS DE DETECCION				
ELEMENTO	levestirein actual		lavesiSaeie aterier Sei O. Perez (5).	
	Pastes por mill&	Nanc9ramos	Partestor milleel	Nanogmos
S	1.8480E-01	27720	1.8080E-01	2.7125
Cl	1.3410E-01	20115	1.8080E-01	2.7120
K	6.8640E-02	1.0297	1.5190E-01	22789
Ca	4.5608E-02	0.6841	1.0320E-01	1.5483
It	1.1560E02	0.1734	1.0610E-02	0.1591
Fe	5.0421E-03	0.0756	6.6955E-03	0.1043
Nt	8.0226E-03	0.1203	8.7500E-03	0.1313
	7.51E0E-03	0.1127	5.302E-03	0.0991
at	7.4471E-03	0.1117	1.1490E-02	0.1724
Se	7.9019E-03	0.1185	8.3940E-03	0.1259
Sr	8.0138E-03	0.1202	7.1950E-03	0.1079
g	1.0420E-01	1.5630	1.1260E-01	1.6890
Pb	1.9307E-02	0.28%	8.2850E-02	24136
ei	2.100E-02	0.2715	8.3900E-02	24195
Ti	1.3536E-02	0.2030	8.0900E-02	0.4045

Ariore blest los resultados presentetdos en la table anterior muestran que el thstainutr to concentration del extender interno se logra una clisminuciOn en los limites minimos de detection. Lo cue' es muy importante desde el panto de vista cuentriativo.; puesto que se pueden detector centidades mils pequries de los elementos que seen cuentificados. Esto se debe a to siguiente• Los limites maximos de detection ester) expresados comp:

$$LMD = 3 \sqrt{\frac{1}{\text{area } i}} \cdot \text{concentracian } i$$

Por tento existe una relacidri directamente proporcional entre el rondo espectrel y los LW). Entre mayor sea is serial del °standar interno (Se) en Is muestra mayor sere el tondo espectrel generado per esta en sus alrededores; destavorectiendo a los elementos que epercen tercet del mismo, ya que los limites minimos de deteccién pera estos saran mayores de los que se obtendrian si Is serial del extender interns fuer& de menor



CALIDAD DEL AGUA POTABLE:

De los resultados obtenidos de la tabla anterior se procede a determinar la calidad del agua potable proveniente del manantial del valle de la ciudad de Guatemala; de acuerdo a la norma de calidad para agua potable establecida por la Comisión Guatemalteca de Normal (COGUANOR). A continuación se presentan los elementos cuya concentración sobrepasa los Límites Máximos Permisibles :

Elemento	Clase	Lugar	Resultado
Fe	I	Dian*, 7	20.
Fe	II	Colonia Maya	30.
Fe	III	Filtros Brigade	20.
Ni	I	Criamante 5	10.
tit	I	Dimwit 5	20.
Mn	I	Diantante 5	30.
	III	Itarque Colic	20.
	III	Brigada 6	30.

Después de tener en cuenta las concentraciones de los elementos que se presentan en el agua subterránea se determina que solamente 3 de los 11 elementos mencionados no cumplen con este norma de calidad, lo cual establece que a mayores concentraciones que las estipuladas para cada uno de los elementos, el agua no es adecuada para consumo humano.

En lo que respecta al Fe y Ni; los resultados no muestran suficiente evidencia que indique que los pozos en donde fueron detectados estos elementos con concentraciones fuera de especificación existen una fuente de contaminación constante que atente contra la salud de las personas. Esto es debido a que solamente en uno de los 3 recorridos de muestreo realizados se detectaron concentraciones que no cumplen con esta norma de calidad para agua potable. De ninguna manera se descarta la posibilidad de una contaminación real aislada en el agua proveniente de estos pozos. Aunque se debe considerar que estas concentraciones enormemente elevadas pueden deberse a la liberación debido entre otras cosas a la corrosión en la tubería propia del pozo; cuando los pozos están en funcionamiento durante un periodo de tiempo razonablemente largo. Esto sucede en los pozos en cuestión (Colonia Maya, Filtros Brigade y Parque Colón) los cuales operan según las necesidades de abastecimiento de la red de distribución de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA).

Los resultados obtenidos para el Mn, son referidos a las muestras tomadas en el pozo Diamante 5 en los tres recorridos de muestreo. Esto indica que existe una alta probabilidad de que en este pozo se presente una Fuente de contaminación de este elemento.

Se procede a realizar: un análisis de varianza en bloques al azar (ANDEVA) con submuestreo por elemento cuantificado. Con el objeto de determinar si existe diferencia mínima significativa entre terciarieritos (acuiferos) como entre *toques (recorridos de muestreo). A continuación se presenta una tabla con los datos más importantes obtenidos en dicho análisis estadístico.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
EN BLOQUES AL AZAR						
CON SUBMUESTREO						
Información relativa al modelo estadístico utilizado°						
Tratamientos= 4 (scorfer°, en estudio).						
Bloques =3 (recorridos realizados).						
Submuestras =19 (pozos distribuidas entre los acuiferos estudiados)						
Se utilizó un modelo desbalanceado donde el número de submuestras por tratamiento no son iguales						
Variables dependientes =13 (Elementos Químicos estudiados).						
Número de observaciones en el cuadro de datos =57						
Tipo de error experimental= mancomunado expresado como tratamientos x bloques x submuestras						
Significancia utilizada = 0.05.						
Elementos	F Calculado	F Tabla	F Calculado	F Tabla	Significancia	Stratificación
	Tratamientos	Tratamientos	Bloques	Bloques	Tratamientos	Bloques
5	0.84	2.92	2.37	3.52	1.4827	0.1098
Cl	2.12	2.80	1.18	3.19	0.1097	0.3242
K	2.50	2.80	8.36	3.19	0.0702	0.0007*
Fe	0.56	2.80	1.88	3.19	0.6451	0.1623
Ca	2.66	2.80	0.60	3.19	0.0580	0.5515
Zn	2.65	2.80	0.69	3.19	0.0589	0.5085
Sr	4.56	2.80	0.45	3.19	0.0066	0.6371
Ti	1.04	2.93	1.32	3.33	0.3904	0.2828
Ma	7.64	3.10	0.01	3.49	0.0014*	0.9897
Ni	1.23	3.13	0.79	3.52	0.3265	0.4686
MOUE Los elementos que presentan diferencia mínima significativa entre tratamientos y/o entre bloques están indicados por *						

Los resultados de los análisis de varianzas muestran que existe una diferencia mínima significativa en la concentración de los elementos Estroncio y Manganeso entre los tipos de acuíferos. Por lo que se realizó la prueba de Tukey en estos elementos, con el objeto de establecer entre cuáles tratamientos existe diferencia significativa y también para conocer cuál es la distribución de las concentraciones promedio del Estroncio y Manganeso en los acuíferos estudiados.

PROE M DE TUKEY PARA EL ELEMENTO ESTRONCIO (Sr)

ACUIFERO	MEDIA	AGRUPACION DE TUKEY
II	0.4568	A
III	0.1233 ...	B
I	0.1180	B
IV	0.1065	B

NOTA: los mediae que presentan la misma letra no son significativamente diferentes.

Los resultados obtenidos en esta prueba muestran la formación de dos grupos, expresando que existe diferencia significativa en la concentración de este elemento entre los acuíferos que integran en grupo A respecto de los del grupo B; y no existiendo ninguna diferencia entre los acuíferos de un mismo grupo. De tal manera que las concentraciones de Sr en el acuífero II (Gansu) es distinta a las concentraciones de este elemento presentes en los siguientes acuíferos: I (basaltos y andesitas fracturadas), III (terreno volcánico* blend y fino) y IV (terreno volcánico* blend y duro).

Así mismo la prueba de Tukey muestra una distribución decreciente respecto a la concentración de Sr en los 4 acuíferos estudiados. De donde se puede observar que es en la formación de Calizas (acuífero II) donde se encuentra la mayor concentración de este elemento. Estos resultados concuerdan con los publicados por J. Green (26) en los cuales señala que el Sr se encuentra presente en rocas ígneas, Sedimentarias y Metamórficas. Pero hayándose en mayor porcentaje en las rocas Sedimentarias y específicamente en las calizas.

La forma química en que se encuentra el Sr en este tipo de rocas este tema del alcance de este estudio, debido a la naturaleza del método analítico; la cual se explica detalladamente en el capítulo de antecedentes. No obstante, estudios Geoquímicos indican que los elementos alcalinos y alcalinotérreos generalmente se presentan

asociados a aniones oxigenados comp: silicatos, aluminosilicatos, carbonates, fosfatos y sulfates. (26)

Con respecto al Mn la prueba de Tukey da como resultado dos agrupamientos el grupo A: acuífero I (basaltos y andesitas fracturadas); el grupo B: acuífero II (Gallas), acuífero III (terreno volcánico blando y duro), acuífero IV (terreno volcánico blando y lino) Los cuales se prescreen en la siguiente tabla:

PRUEBA DE TUKEY PARA EL ELEMENTO MANGANESO (Mn)

ACUIFERO	MEDIA	Agrupación de Tukey	...
I	5.444	A	
III	0.0358		B
II	0.0257		B
IIi	9.0209		B

POTA: Los media de los presenten le miscue tetra en el tenmemiento. no son significativamente diferentes.

Estos resultados expresen claramente que la concentración de Mn en basaltos y andesitas fracturadas es distinta a las concentraciones existentes en ceding, terreno volcánico blando duro y terreno volcánico blando y lino. Aden se puede observar que la concentración de Mn en el acuífero I (basaltos y andesitas fracturadas) es mayor a la que se encuentra en los otros 3 acuíferos estudiados. Estos resultados concuerden con los publicados por S. R. Nockolds; en los cuales indica que existe un mayor contenido de Mn en rocas ígneas, que es el tipo de rocas que forman el acuífero I, respecto al existente en rocas sedimentarias, que son el tipo de rocas que forman los otros tres acuíferos restantes. Así mismo en este estudio se indica que la forma química en la que este elemento se encuentra presente en este tipo de rocas es como MnO (Oxide de manganeso II). (26)

De igual manera los resultados del análisis de variancia muestran que existe diferencia mínima significativa en la concentración de Potasio y Calcio entre bloques (recorridos de muestreo). Por lo que se precede a realizar una prueba de diferencia mínima significativa con el propósito de establecer entre cuales bloques existe tal diferencia. Así como también cuando se analiza la distribución de las concentraciones promedio de Potasio y Calcio entre los recorridos de muestreo realizados.

DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIYA PARA EL ELEMENTO POTASIO (K)			
RECORRIDO	MEDIA	AGRUPAMIENTO	
20.	3.2940	A	
10	2.6160	A	B
30	1.8590		
NOTA: Las medias que presentan la misma letra en el agrupamiento no son significativamente diferentes.			

Los resultados de la table anterior muestran 2 agrupamientos; el grupo A integrado por el primer y segundo recorrido y el grupo B por el primero y tercer recorrido. Al igual que en la prueba de Tukey; estos agrupamientos indican que existe diferencia en la concentración de K únicamente entre el segundo y el tercer recorrido, siendo mayor la concentración de este elemento en el segundo recorrido.

DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIYA PARA EL ELEMENTO CALCIO (Ca)			
RECORRIDO	MEDIA	AGRUPAMIENTO	
20.	54.3740	A	
10.	32.3670		B
30.	26.8080		B
Las medias que presentan la misma letra en el agrupamiento no son significativamente diferentes.			

Para el Ca. los resultados obtenidos indican que la concentración de este en el segundo recorrido es distinta respecto de la concentración en el primero y tercero. Y al igual que el K, la concentración de Ca es mayor en el segundo recorrido tal como se muestra en la table anterior. La razón de este comportamiento se debe a que los periodos de muestreo tal como a Pereaon • 20, 10. y 30., estuvieron distribuidos en forma

descendente respect° a conditions de precipitation pluvial. Por tent° el egos qua se filtra a travez del suelo provoca la solubilizaciOn proportional it *les* diferentes sales qua constituyen los minerales en las formations rocosas subterranas: y la soluciOn resultente formers perte del manto freatico correspondiente.

Para determinar si existe diferencia significative en las concentraciones protaedio de los elementos cuantificados entre el agua subterranea (pozos) y el agua superficial (plantas it tratamiento), se realizan los siguientes tratemietos estadisticos

a) Prueba de hipOtesis de verienzy mtmclos poblaciones :

POMBA DE HIIPOTESIS DE VARIANZ AS						
Elamite	Peres	Plantes -	F Calculada	F Tabulada	Annteeiint	McKeehan de He
	Varieeza	Varianzas-				
S	4.600E+00	2.637E+00	1.745	2330	***	
K	3.543E+01	5.420E-02	655.920	13.990		*4*
Cl	2.074E+00	2.609E-01	.	2.270	***	***
Ca	6.484E+02	1.756E+00	369200	2270	***	***
Fe	1.905E-01	1.760E-01	1.070	2270	+44	
CM	2.500E-03	1.500E-03	1.388	2270	***	
Za	1.391E-01	1850E-04	749.420	2270		
Sr	2.900E-02	4.958E-05	584.960	2.270		
Ti	6.405E-04	2338E-03	3.650	2.310		
MR	7.990E-02	1.835E-04	435.370	2.630		

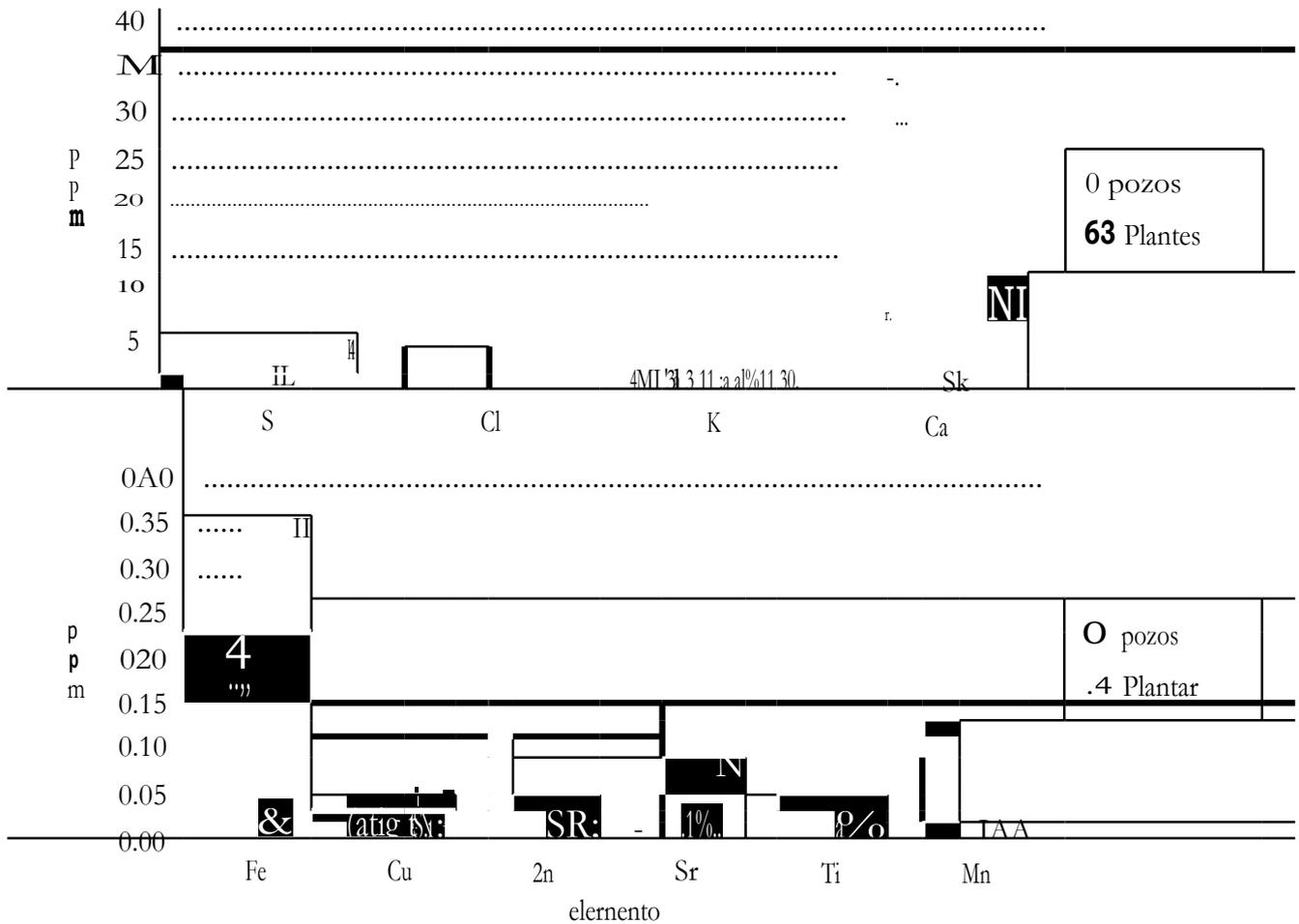
De la prueba anterior m establece (pie it los 10 elementos en estudio :Momenta en el ezufre, el hierro y el cobra no existe diferencia **significative entre sus varianzes poblacionales** Este informaciOn es muy importante puesto qua **dependiendo del comportamiento it les verienzes poblacionales**, se elige el tratamiento estadittico a utilizar en la prueba de hipatesis de medial poblacionales.

t.) Prueba de hipotesis de reedies entre dos poblaciones:

PRUEBA DE HIPOTESIS						
ENTRE MEDIAS DE DOS POOLACIONES						
Elmeate	't" ealmdula twat"	Libm tad	't' tabolada	Reeban He	Aceptanien He	
S	7.9732	55	207	***		
Cl	5.4706	58	2.00	***		
K	0.7201	75	1.99			*4*
Ca	7.2993	57	2.00	***		
Fe	0.8249	75	1.99			***
Cu	1.4000	75	1.99			*4*
&I	1.4619	56	2.00			***
Sr	28049	56	2.00	***		
Ti	0.3683	17	2.10			-lir-
Mr.	1.9366	25	2.06			***

En is prueba anterior se compareron les concentraciones promedio de 10 elementos cuentificados en el agua subterrenea (pesos) con las concentraciones de los correspondientes elementos cuentificados en el agua potable superficial (planes de tratamiento). Los resultados presentados en la tabla anterior indican que solamente el S total, el Ca y el Sr presentan diferencia significative. Siendo is concentration de S total mayor en agua potable superficial, el cual se debe probthlemente a que en este tipo de **egua** utilize sulfato de aluminio como floculante en el proceso de potabilisacien.; ocasionendo que el agua tratada poses cantidades relativamente elevades del ion sulfato. Por el contrario las concentraciones de Ca y Sr son mayores en egua subterrinee. Estos resultados se pueden apreciar en las siguientes gráficas:

Comparación de las concentraciones de los elementos cuantificados tanto en agua subterránea (pozos) como en agua potable superficial (abates de tratamiento).



Los resultados anteriores muestran un panorama general tanto cualitativo como cuantitativo de la constitución química elemental de estas 2 fuentes de agua potable para proveer la red de distribución de la Empresa Municipal de Agua. (EMPAGUI.), en la ciudad de Guatemala.

Es importante hacer notar que el tratamiento químico utilizado en estas dos fuentes de agua para lograr su potabilización es muy distinto; debido a la presencia de sustancias que se encuentran en los mismos. Por tanto son necesarios estudios más detallados para evaluar los cambios en el contenido de metales que sufre el agua superficial en su proceso de potabilización para poder discutir con mejor fundamento las razones referentes a la diferencia de concentraciones en S total, Ca y Sr que existen entre el agua subterránea y el agua potable superficial.

9. CONCLUSIONES

- 9.1. La reflexión total de saws 1, que utilize como tuerca de **exitteCiOn** un tubo de Coolidge con ánodo de Mo sin la utilización de procedimientos de precocentración de muestras, es una técnica adecuada para realizar análisis multielementales de rutina en agua potable. ~~Además cumple con las características de ser un método analítico directo, rápido y con alto grado de sensibilidad para cuantificar concentraciones menores a 1 parte por millón de los elementos que se detectaron.~~
- 9.2. De los 11 elementos que fueron cuantificados en los 19 pozos muestreados solamente ~~el Mn detectado en el pozo denominado Diamante 5, presenta suficiente evidencia para suponer que las concentraciones de *Ste* están por debajo de los límites máximos permisibles para agua potable según la Comisión Guatemalteca de Normas. Por tanto a excepción del pozo anteriormente mencionado, la calidad del agua potable que proviene del manantial freático del valle de Guatemala cumple con el parámetro de calidad en cuanto al contenido de elementos químicos.~~
- 9.1. Existe diferencia significativa únicamente en las concentraciones de Sr y Mn entre los cuatro tipos de acuíferos estudiados. Determinando que el contenido de Sr es mayor en el **grupo** proveniente del acuífero II (constituido por Galin's), resultó que ~~concuerda con los publicados por J. Green (26). Así mismo, el contenido de Mn en el acuífero I (constituido por basaltos y andesitas fracturadas) es mayor que el proveniente de los tres acuíferos restantes. Esto concuerda con lo publicado por SR. Nockolds (26).~~
- 9.4. Se determinó que a excepción del S total, Ca y Sr no aísle ninguna diferencia en el contenido de elementos químicos entre el agua subterránea y el agua potable superficial. ~~Las concentraciones de Ca y Sr son mayores en agua subterránea por el contrario la concentración de S total es mayor en agua potable superficial. Por lo tanto en términos generales se puede indicar que tanto el agua potable superficial como el agua subterránea cumplen con el parámetro de calidad (Límite Máximo Permisible) establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR).~~

- 95 ~~Es importante utilizar la menor concentración posible de estándar interno (Se), con el objeto de obtener mejores límites mínimos de detección para aquellos elementos cuyas señales estén cercanas a la del estándar interno, debido a que se reduce la radiación de fondo generada por Se.~~
- 9.6 Con los tipos de silicatos solubles en alcohol isopropílico se pueden preparar soluciones siliconizantes que permiten la aplicación de un volumen máximo de muestra de 15 microlitros. Volúmenes con el cual se logra obtener los mejores resultados desde el punto de vista cuantitativo en la técnica de reflexión total de rayos X.
- v.7 ~~Para cuantificar Pb, As Hg y Bi en agua potable por medio de reflexión total de rayos X, es necesario utilizar técnicas de preconcentración de muestras, ya que las concentraciones habituales de estos elementos son tan pequeñas que se encuentran por debajo de los límites mínimos de detección calculados para éstos.~~

10. RECOMENDACIONES

- 10.1** Para análisis de selenio en agua potable se recomienda utilizar una concentración de selenio interna (Se) de 2 partes por millón. Ya que en base a los resultados obtenidos en esta investigación, esta concentración permite disminuir los límites mínimos de detección para aquellos elementos cuyos niveles estén cercanos a los del estándar interno.
- 10.2 Realizar estudios con el objeto de determinar si es factible utilizar concentraciones menores de 2 partes por millón de selenio interno (Se) en muestras de agua potable para lograr mejores resultados desde el punto de vista cuantitativo en la técnica de fluorescencia total de rayos X.
- 10.3 Es necesario desarrollar técnicas de preconcentración de muestras que se apliquen en el análisis de agua potable con el propósito de poder cuantificar Pb, As, y Hg, debido a la importancia que estos elementos juegan desde el punto de vista toxicológico.
- 10.4. Implementar la realización de análisis químicos multielementales periódicos a lo largo del año; tanto en pozos como en las plantas de tratamiento de agua de la Empresa Municipal de Agua con el objeto de monitorear la calidad del agua potable que proporciona la empresa.
- 10.5 Desarrollar trabajos de investigación con el objeto de implementar la utilización de itrio (Y) como estándar interno en los análisis de rutina de agua potable y específicamente en la cuantificación de Pb, As, Hg y Bi. Este elemento permite mejorar los límites mínimos de detección de los elementos mencionados que lo que se logra con el selenio (Se), debido a que la energía de los rayos X característicos del itrio son lo suficientemente distintos a la de los elementos en cuestión, disminuyendo el efecto de fondo espectral en dichos elementos, factor que es determinante para el cálculo de los límites mínimos de detección.
- 10.6 Realice estudios más detallados en aquellos pozos en donde se detectaron elementos que no cumplan con los límites máximos permisibles en cuanto al contenido de elementos químicos establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas; para verificar si realmente existen niveles de contaminación permanentes de estos elementos en dichos
-

11. REFERENCIAS:

- (1) Smith, F C **A comparison of energy dispersive X-Ray to applications for specific metals in natural waters.** Analytical Chemistry. Vol 7. No. 5 . May1975.
- (2) Smith, F.C. **Hater analysis by dispersive X-Ray fluorescence using resin loaded filter papers.** Analytical Chemistry Vol 8. No. 6 Jun. 1975.
- 0) Leyden, D.E. **Advances in the preconcentration of disolved ions in water sample.** Analytical Chem. Acta. pp 437-443..
- (4) Knott's, J., Schwenk& H. **An X-Ray Fluorescence Spectrometer with Totally Reflecting Sample Support for Trace Analysis at ppb. Level.** Fresenius A. Anal. Chem. 291, 200-204 (1978).
- (5). Perez **Estrada, O R Anitilisis Multielesental de Ca. Zn, Cu, Mn, Ni. As, As, Hg, Pb, Cl. S, I. V. Sr, Bi y Ti en agua potable de la chided Capital, utilizando un sistesa de reflexien total de rayos I con tube de rayos X as imodo de Mo.** Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 1991. pp. 100.
- (6) ICAITI. **Ague Potable.** Especificaciones. ICA rri 29001.
- (7). SCGREAH. (Consulting Engineers ltda). **Estudio de optimization del sisteata de distribucien de agua potable de In eluded de Guatemala.** Francia: SCGREAH. Vols 5. vol. 4, 1 %9. pp. 261- 288.
- (8) TAHAL. (Consulting Engineers Lida). **Plan maestro de abestecisiento de agua de la ciudad de Guatemala.** Guatemala: TAHAL (Consulting Engineers Ltda). Volt 4, vol. 2,1982. pp I- 50.
- (9) Skoog, D.. Vest. D. **Anelisis Instrumental.(2a).** Mexico: McGraw-Hill. 1989. pp 447 - 471.
- (10) Schvenke, H., Knoth, J. **High sensitivity multielement trace analysis using EDIRF spectrometry with multiple total reflection of the exciting beam**

Trace Element Analytical Chemistry in Medicine and Biology. 26 to 29, April 1980. Neuherberg, BRD.

(11) Aiginger, H.9 Vobrauschek, P. **Total Reflectance X-Ray Spectrometry. Adv. X-Ray Anal.** 28, 1-10(1985).

(12) Vobrauschek, P., Aiginger. H. **Total Reflection X-Ray Fluorescence Spectrometric Determination of Elements in 'anagram Amounts.** Analytical Chemistry. Vol, 47. No. 6. May 1975.

(13). Stossel, RP. et al. **Preconcentration 'methods for the determination of trace elements in water in rain water by Total Reflection I-Ray Fluorescence.** Anal. chem. 57, 2880-2885 1985.

(14). Knuchel, A., Prange, A. **Multi-element determination of dissolved heavy metal traces in sea water by T.R.X.R.F.** Anal chem. Acta. 172,79-100. 1985

(15). Von Bohlen, A. et al. **Qualitative survey analysis of thin layers of tissue samples.** nit. Arch Occup Environ Health. 59:103-411. 1987.

(16). Freitag, IC. Energy Dispersive X-Ray Fluorescence **Analysis with Total Reflektion. An Improvement of Detection Limits.** Report, Richard Seifert & Co. Bogenstresse 41, D. Aiffl Ahrensburg.(1984).

I 1

(17). Penayappen, R., et. al. **Determination of soluble elements in water by I-Ray fluorescence spectrometry after preconcentration with polyvtnylpirrolidona-thioanilide.** Anal. them. 50:8,1125. July, 1978.

(18) Michaelis, V. et. el. **Trace analytical capabilities of total-reflection X-Ray fluorescence analysis.** Adv. X-Ray Anal. 28, 75 (1984).

(191. Perez Sabin°, J.F. **DeterminatiOn experimental de las sensitibidades pare los elementos entre niamero attitude° 15 y 39 . Utilizando estindares en cape fine en un sistema de reflexiOn total de rayon I con tubo de molibdeno.** Guatemala Universidad de San Carlos de Guatemala. Examen General de Integration. 1989, 60 i

(20) Miller, J.C., Miller, J.N. **Statistics for Analytical Chemistry**. England: Ellis Harwood Limited. 1984. PP 72-152.

~~(21) Ott, Lyman **An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis**. NJ Boston, USA : PES - Kent Publishing Company. 1988. pp 793 - 811.~~

(22). Ostia, Bernard. **Estadística Aplicada**. Mexico: Limusa, S.A. 1983. pp. 311 - 474., 109 - 119

(23) Daniel, V. **Dioestadística. Bases para el análisis de las ciencias de la salud**. (3a.) Mexico: Limusa, 1987. pp. 312-349.

(24). Mendenhall, V. et al. **Estadística Matemática Aplicada**. Mexico: Grupo Editorial Iberoamericano S. A. 1986. pp. 297 - 343.

~~(25) Velpole, R., Myers, R. **Probabilidad y Estadística para Ingenieros**. (3a.) Mexico: Interamericana. 1990. pp 308-316.~~

(26) Huang, W. **Petrología**. Mexico: Uthea. 1970. pp 3-11, 151-162, 309-325.

~~(27). Dreisbach, R. H. **Manual de Toxicología Clínica**. (5a.) Mexico: El Manual Moderno, S.A. 1984. pp. 210-220 404~~

~~(28) Valkovic, V. **Analysis of Biological Material for Trace Elements Using I-Ray Spectroscopy**. U.S.A. : CRC Press Inc 1980. pp. 101~~

12. **AtinOS**

GLOSAR WI

Agua Potable: Es aquella que por sus características de tenced especificadas es adecuada para el consumo humano.(.6.)

Limite Maximo Aceptable (LMA) : Es el valor de is concentration de cualquier característica de calidad del agua, arriba del alai el agua Pica a ser rechazable por *Los* consumidores, desde su punto de vista sensorial pero sin que implique un daho a la salud del consumidor. (6).

Limite Maximo Permisible (LMP) : Es el valor de is concentration de cualquier característica del agua, arriba del coal, el agua no es adecuada el consumo humano.(6)

Matrix Es el medio en el que esten contenidos los elementos que serail analizados en una muestra.

Hex Primario: Son los rayos X que produce un elemento ya sea por radiación natural (radioisatopos) 0 Men, como producto *de* is excitation de este elemento con electrones de alts energia.

Acuifero: Es el tipo de formaciOn geolOgica de donde se extrae el agua del men to (*medico para su explotacin).

P11703 de la Empresa Plateal de Ma		
gees fuera mestreadas en el presente *stadia		
N.	Roza	Molten
1	Diamante 1 Diamante5_ Ojo de <u>ague 2</u> Ojo de <u>ague 3</u> Juana de Arco	<u>Baseltos vaSesitas fracturadas</u> Calizas
6	Presto	
7	Colon's San <u>Rafael</u>	
8	Colonie	
9	<u>Filtros Brigade</u>	<u>Terreno volcanico blando y duro</u>
10	<u>Las Americas</u>	
11	Colonia <u>El Maestro</u>	
12	Colonia <u>Lourdes</u>	
13	Jardi <u>nes de is Asuncion</u>	
14 Colonia San Antonio ...	
15	Pargue Colon	
16 Inca <u>&</u>	
17	<u>Brigade 6</u>	<u>Terreno volcanico blando y fino</u>
18 Ciudad Vittl,	
19	JA. Salazar	

ff	0	OP	Si	LS	45	LS	LS	LS	LS	LS	ff	effie eP Omega
S0-31104	90-319G	LO-3661	PO-301.9	p0-345	CO-106C	I0-3W1	10-101C	10-3101	CIP313P	900.1101	10.31[00.309P
LO-PL I	CO-0101	10-3eg	LO-31St	Zak IP	10-6S I	Lo-st	LO-nt r	io-sot	10.311	£ 00°3601	03.31/1	003651
09100	00100		09100	00900	00010	00900	00010	00010	00010	00010	00010	00010
0000	09100	96L00	POLO0	00010	CLCO0	&WO	TITO	09111111	61.10!	1CU0	19/010	01
19100			69100	15010	SOLI0	51/00	*50	04191.	19511	0416	1TO0	01
6E100		SILO0	66100	19900	II to 0	ono-0	mo0	6019 if	61901	6010 1	ova 6	0P
•L100			91900	16900	P0900	0600	66600	1P6015	0195)	0115 I	1116 I	01
	92100	6600 0	1100	IWO 0	911 0	16600	PL0. 0	90/00	6UP LI	61/1	OTOS	1601.0
1000 0		11E0 0	61100	0M10	'9100	1MO	1001:0	tarot	non	15101	PfL1 0	04
9900 0			6100	0111 0	11900	16100	0100	614111	CS191	1910 I	P5160	01
			TIO 0	1[100	10100	69190	11010	169001	*116 6	TOGO		of
			61100	SPSO 0	11S10	26000	61600	611911f	ISWC	1P91601	LOPO 1	of
		0400	1090 0	[COO	00000	1TOO	1.1104	11 10	9511111	MITI	4906/	Of
			11100	lmo 0	onto	aro.	If	Sit o	rata	cur	num	tins I
		410009	4100	11100	61600	1GLO0	61100	6/600	610194	01611	LWCZ	6110
(POO 0		*9009	65100	91100	*000	51100	£1100	K6161	1TC 1	£JLPO	OIT 0	ef
15000			0010 0	cargo	two'0	rem0	igloo	osi ro	warm	11WO	zee 1	oc
		trio 0	16010	1L100	NCI 0	410'0	99190	0111E00	911001	PTS'C	11000	09010
			6610 0	51000	TWO	1e4100	cacao	1L9VIC	WTI	1960 1		11
1.1200		11100	65000	10100	11100	05910	<1930'0	PII PSO	101161	15011 1	1169 1	01
		01100	60100	01900	P6050	11500	TWO	•0616	96111	6161		01
!E100		61010	19100	50100	aloo	°ratio	/TWO	ATV	161201	11011	TWIG	69061
			61010	LUPO	£1500	96000	1400	16010	*1/- 1L	16145	1 T/	5099 1
			6000	COSO 0	61060	LL100	OCZO 0	ONO 0	NWT	11591	into	VOW 0
			0100	10100	9E900	TEO 0	LUGO	0*00	SWCIP	119110	Un	01
		aso.0	mo0	am •	*ono	CLOS	85LL 1	9SPZ1S1	15131	1461	LIT 0	DC
	W00 0	TIO 0	TWO	TWO	01050	OZZ00	*9050	601,1101	WWI	10011		01
	00000	C1100	CPCOV	14500	SIWO	LI 190	11100	11000	1110591t	1601	65411	Oltf I
		15100	1110 0	06100	5600	0600	00600	09100	MCP	TWO	WTI	9161 1
II USIA p•o° 13/p	1110 0		61100	01000	9611 0	91500	Sot00	69360	1919T	SCS1'S	110111	SO 11Z
azoiHS t IPA		95100	6100	61600	LCZOV	0060	45100	6500	16900	14141	112061	KOS
•evecton			110 0	OKI 0	TWO	010'0	1100	00900	1111.61	51101	all. I	el
gollelei	29000	10(00	9100	9109	PAO 0	14100	T100	05110'0	110061	0011	11011	Di
09163 seuild•S		5600-0	0610 0	/010 0	0911 0	60050	010 0	61000	61191131	19111	09161	9191 0
•II ISO elSoh	5110 0		16100	16900	11000	1116609	0091	99100	1410	101601	114'1	OW 11
TT/Tin **u10				06100	Val 0	01100	01110	Oaf 0	MOT	10091	tsal	15
sellunolT			99600	61500	CPC90	10100	TWO	11660	1640	6111	•1610	66 1
payday WO			TWO	TWO	62P10	LI MO	1.5109	MS 1	1016111	TOPI	0111	06110
'outlaw °51201		95100	19000	51100	SLCOO	OZT1	/MOO	trio	003991	11110	6ftft	'of
Mips 60:111,9			fSSIVO	moo 0	6E00	tato 0	resat.	(sofest	tun	fad.		In
ITOW TS 1	01000		00100	11100	00000	TIO 0	Of 10'0	ODSCIO	00011!	00011	001/0	0009 0
•Ns- oponue),	55100	II/00	COTO	0100	1000	1600	•9100	2.6110	NTT	9, 1ST	0410	TT 0
	700 0	CC100	10E00	P1500	91010	6000	OFIn	1000	900551	14 11	.619 1	01
tow •loologi	10100	10100	SWOO	0x10	L9100	10000	ottao	1-60199	99061	1510 1		01
1 @T4C si•H	5000-0		MOO	651110	15100	95100	1660'0	M7E19	1114191	10110	00110	01
4 sluosupiete			90100	OCW 0	L1100	0910 0	1911 0	111100	1LW/	51151		01
i otle 50 °(6. j		10110	09900	1410	05100	60100	61/10	LPWCP	1e561:1	61.11	POPO 1	01
1 Tao 60 °10-3		<119'0	[600	0610	11100	10100	50110	11991C	9191	11191	CI IP 0	et
'mead			60100	MO 0	1-1160	51100	*4 10	601614	CM I	60911	9061 0	of
			19110	TO013	6100	19110	010110	19111	/1.00.	UT 0		of
owl II (TIT	*L100	0160	TOO 0	61110	9150 0	06100	6660 0	PL66111	SSFC	0056	9561t	01
031190104 ostu•AI		1*00		91600	6010	1110 0	19111	990001	145't	MTV		.1
emu, R oistam			OSITO	69900	TWO	91100	1190	TIED	L41I	WEL 1		OL
031to3pe 00%1.1•111			19100	0190	11500	61100	1101 0	900115	nal	11345 5		01
1.0211•0°11		1(100	sielo 0	row 0	tom 0	roto-0	eeloo	rave	111-051,	EL91	<ma	laS9 f
Wolan311.11	15000	15590	50100	/0210	6e200	LILO 0	92101'0	961/11	19991	C001 C	PUS 0	01
sepsouos R..111.1.11	4100 0		010 0	treoo	stao 0	11100	*6000	*woo	swtez	iitrz	*911	List 0
Imuello3V			PTO 0	6P1 1 0	Gtt00	P0100	9TO 0	1149 9C	11151	OCZt•	10110	01
am	IS	II	WI	11	011	111	ot	63	of	63	1	13
												11

(a) U011110 ad sepal um sagenzta ma. sonalut• 90110 MIU01340003uo3 Mil 91011

:1
 :a
 6,
 -
 6.
 C A.
 n 1=
 n
 a tg
 • E
 :1
 1
 t

Ot	Li	SI	ei	Or	02	OZ	OZ	Or	OZ	•	01	00190 90 9II
90-3•G•	•0-3•01	06-3•1 I		SO-396•	•0-3991	C0-30411	10-39L 1	0903911	10-3191	L0-301,6	00.3092	o299119A
01' 00	LIL0 0	<u>00500</u>		KW 0	&POO	COCO 0	CISCO	01121 C1	0051 t	/9n0	zoto ;	1111101•014
69100	LIC00	I C600	•9100	0200 0	5100	I CEO 0	00990	fifit ZI	/9601	00000	L9Gt t	S
If100	SOLO 0	OSZ011	CEO 0	9060 0	0600 0	/W10	00900	19K CI	/946 I	00000	CCIO•	•
zip 0 0	LIZ00	09E00	9910 0	1560'0	55100	G6M0	MOCO	0099 CI	0116 I	0000.0	001, •	1
9510 0	£9100	0000'0	90200	4160 0	501,00	<u>WO 0</u>	Lit 0	000E II	it90 t	0000 0	CCIPC ir	t
99100	MOO	MVO 0	G5100	9t110 0	0LLOO	05910	001C 0	0091 ZI	<u>CIITG</u>	MOO 0	L9SZ •	
01100	SOO 0	002.0	00100	001'0	9190'0	0100	4.9002	0965111	00111	0000'0	t115 6	S
tM 0 0	•400 0	65100	9110 0	05600	9000	06100	00010	CCU 11	1161 I	00000	CCU /	•
0510 0	/MOO	SSIZO	£1100	19010	COMO	t910 0	EMI 0	CS6111	0021	ono 0	cos 9	I
r11100	05100	000'0	01100	50690	100'0	IC100	01010	<u>COL II</u>	/WIC	00000	0056'0	t
99100	1060	99900	la IWO	C1010	91E00	19100	<u>MIE 0</u>	tit111	19100	0000 0	00•10	
WOO	91100	00000	99100	90600	MOO	/1100	90L0'0	/95611	0091 t	00000	00009	S
15100	rirge 0	0000'0	ttI 0'0	51600	01109	SI COV	9090'0	05Z11	19199 f	0000 0	/9109	•
0510 0	0000'0	000 0 0	IGLOO	1.990	1MO 0	9 0,0 0	5C01 0	it/L1•1	tern	L961 0	1.9Z/ S	f
<1.10 0	00000	99t00	WOO	91690	EMI)	1SM 0	96100	191•61.1	/900Z	0101 0	0011 5	Z
ni 0 0	£660	1=70	LS100	019500	09W0	<u>0091 0</u>	01600	0901.1	00•(t	00000	0065	
9110 0	0000 0	01900	00000	9101 0	103000	•1000	00190	00f5 11	1910 C	0000.0	CIL, 9	S
1610 0	6160	•61•01)	01000	6990 0	MOO	=COO	<u>0000 0</u>	<u>0000 CI</u>	COL'2	<u>0055'0</u>	00•L' /	•
9110 0	01000	00070	0010 0	510110	12001	L9t1'0	L90 0 01	19/6 f	00000	Las 5		C
5110 0	1100 0	9000	10000	1•010 0	•590 0	16L00	191[6'0	00E0 11	0016Z	00000	1909 •	Z
9510 0	0/00 0	V•Z0'0	t9000	51000	090'0	9•10 0	11110	£91911	L91(1	00•S 0	49CC•	
II	5W	11	III	111	V2	•3	51	53	1	13	S	1153 01, 61
												4vd00010.1.1
											ar4aas9	611 dialla

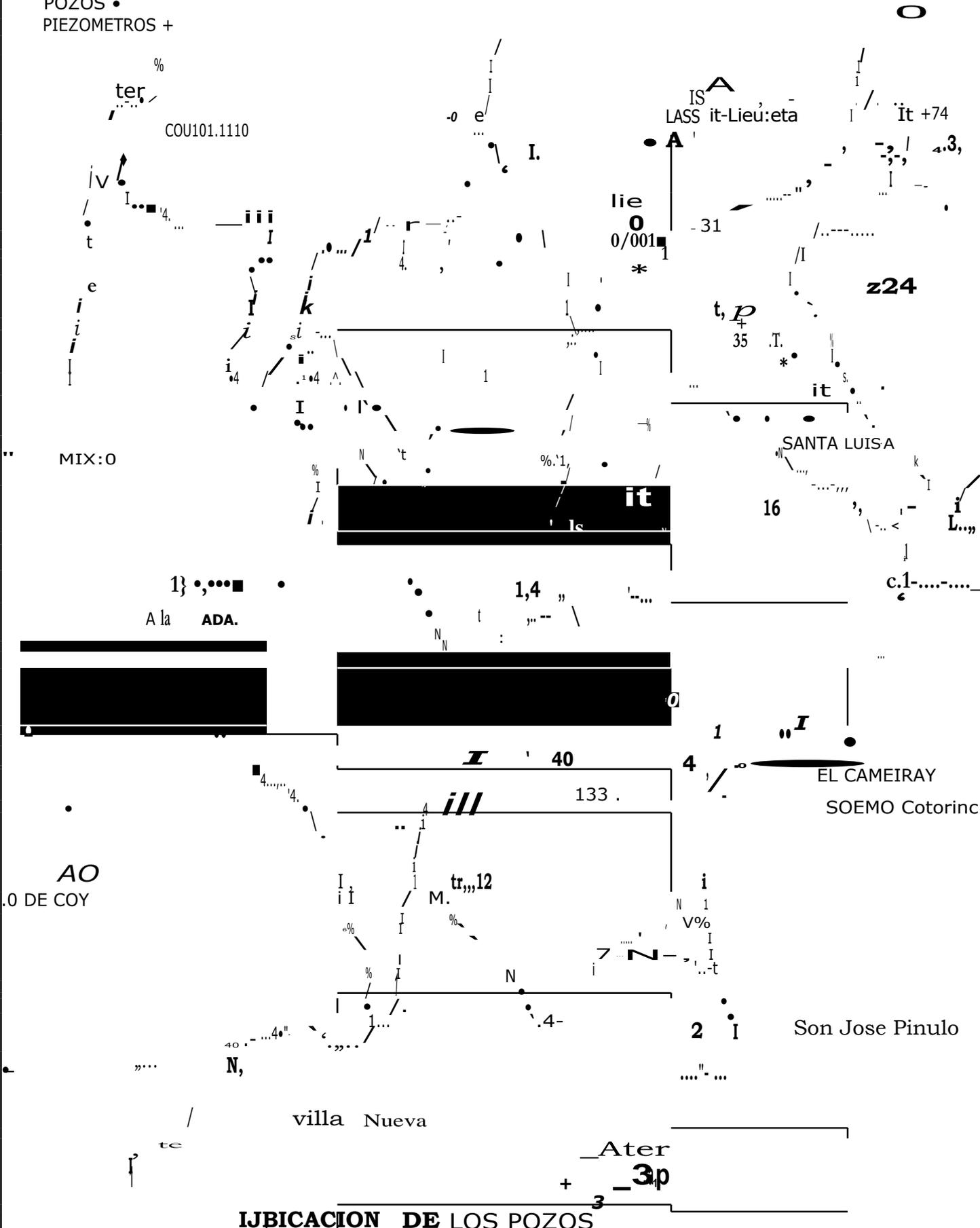
oar 60 smaimapten op Pinta a mieflilidoda sernednd •• 99061090011

Saillataneins nealleas en as terrespentiestes	
limiters maxims permisibles. (LMP)	
Sunshine's Limites méximos	
Quimica	Permisibles (PPM)
Deterterdes aniiiniess	Loco!
Al umi nio	_0.190
Barb)	1.000
Boro	1.000
Ca'do	200.000
	_ 15.000
Cloruro	600.000
Cobre	1.500
Dureza Total (CeCO3)	500.000
Fluor uro	1.700
Morro Total	1:0⁰9
Maulluese	0.500
Niguel	0.020
Substanciss (embooss	0.002
Sulfeto	400.000

Cadre Ns. 5	
5Ntsstenein Tkticas Cite se respective	
Limit. (IMP)	
Substeiie	!Amite Miximo
	Permisible (PPM)
Arsenic	0.050
:Cadmio	0.010
Cianuro	0.050
Cromo	0.050
Mercurio	0.0002
Nitrato	45.000
Nitrito	0.010
Plate	0.050
Plomo	0.100
Selenio	0.010

Ceesteetes de Senitividad (Ki/Se)		
No. Atómico	Elemento	Sensitividad
16	Azufre	0.02367
17	Cloro	0.03467
19	Potasio	0.06987
20	Calcio	0.02367
22	<u>Mercurio</u>	<u>0.03467</u>
23	Vanadio	0.23000
24	Cromo	<u>0.34000</u>
25	Manganeso	<u>0.40790</u>
26	Hierro	<u>0.49630</u>
27	Cobalto	<u>0.60030</u>
28	Níquel	<u>0.67680</u>
29	Cobre	<u>0.78550</u>
	<u>Linea</u>	0.84080
33	Arsénico	<u>0.95570</u>
34	Selenio	<u>1.00000</u>
38	Estroncio	1.12150
80	Mercurio	0.32380
82	Plomo	<u>0.38730</u>
83	Bismuto	0.42410

LIMITE ADMINISTRATIVO
AREA SERVIDA POR EMPAGUA 7,4
~~RED DE DISTRIDUCION~~
PLANTAS CE TRATAMIENTO A
POZOS •
PIEZOMETROS +



UBICACION DE LOS POZOS

1

12 de. rfaiZta6

/ iCi-s
