

Estudio del grado de contaminación por hierro en el Acuífero Patiño en pozos profundos de la zona de Luque

A study of the contamination degree by iron in the Patiño Aquifer in deep wells in the Luque area

Nilsa Concepcion Ortigoza Caceres*

*Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Campus Universitario, San Lorenzo, Paraguay. Email: nilsacortigoza@hotmail.com

Resumen: En la ciudad de Luque hay una creciente utilización de las aguas subterráneas para provisión de agua potable, debido al crecimiento poblacional, y se generan problemas potenciales de sobreexplotación, que convierten además a algunas de las localidades estudiadas en sistemas que se encuentran vulnerables y expuestos a sufrir riesgos de contaminación. En este trabajo se aplican metodologías sencillas de investigación para la determinación del grado de contaminación por Hierro (Fe), que podrían aplicarse también a otras zonas del acuífero. La utilización del método GOD, permitió zonificar las áreas de acuerdo a su grado de vulnerabilidad y la representación en mapas basados en tipos de cargas contaminantes de toda el área; esta técnica también puede aplicarse otros tipos de especies químicas que provienen de las contaminaciones naturales y antrópicas. Para las zonas donde se han encontrado altas concentraciones de Hierro, se plantean acciones para monitorear el problema. En general los valores de Hierro en aguas subterráneas de Luque varían desde normales con un mínimo de 0,18 mg/l y valores anormalmente alto de 1,03 mg/l en pozo del tercer Barrio.

Palabras clave: Acuífero Patiño, Contaminaciones antrópicas, piezómetros, método de GOD.

Abstract: In the city of Luque there is a growing use of groundwater for the provision of drinking water, due to population growth, and potential overexploitation problems are generated, which turn some of the studied localities into systems under risk of contamination. In this work, simple research methodologies are applied to determine the degree of contamination by iron (Fe), which could also be applied to other areas of the aquifer. The use of the GOD method allowed to zonify the areas according to their degree of vulnerability and the representation in maps based on types of pollutant loads of the entire area; This technique can also be applied to other types of chemical species that come from natural and anthropic contaminations. For areas where high concentrations of iron have been found, actions are taken to monitor the problem. In general, Iron values in Luque waters vary from normal with a minimum of 0.18 mg / l and abnormally high values of 1.03 mg / l in Tercer Barrio.

Key words: Patiño aquifer, anthropogenic contamination, piezometers, GOD method.

Introducción

El Acuífero Patiño es la fuente de abastecimiento de agua más importante de las ciudades que abarcan el Departamento Central, entre las cuales se halla asentada la ciudad de Luque, además abastece al sector industrial, comercial y agropecuario de las distintas compañías y barrios. Esta agua puede extraerse fácilmente mediante pozos perforados y someros que constituye una buena parte del aprovisionamiento por medio de las distintas Empresas Privadas que se encargan de las distribuciones de agua potable denominadas aguaterías, así como de las Juntas de Saneamiento representando un papel

fundamental en el bienestar de la población de la ciudad de Luque.

La extracción masiva de agua del acuífero Patiño suscita cierto temor en relación a las provisiones de agua futura. El Grado de Vulnerabilidad del Acuífero Patiño es mayor por tratarse de un acuífero libre por lo que existe una menor protección natural en la zona de aireación.

Existen trabajos bibliográficos realizados sobre Presencia de Hierro en Aguas Subterráneas en parte del territorio paraguayo y ciertos sectores del Nordeste Argentino (Lafleur, 1995). El estudio de Riesgos a la Contaminación del Acuífero Patiño en

Recibido: 15/06/2018 Aceptado: 26/11/2018



el Campus Universitario- UNA. , estudió la calidad del agua tomando aspectos físicos, químicos y Bacteriológico, además la utilización del método de DRASTIC, clasificando las potenciales cargas de contaminantes en el Acuífero Patiño (Gadea, 2007). Otros estudios realizados sobre Vulnerabilidad y riesgo a la Contaminación del sistema Acuífero de Filadelfia del Chaco Central, con la aplicación del método de GOD (Godoy & von Hoyer, 1995).

El Agua Subterránea del Acuífero Patiño en el Área Metropolitana del Gran Asunción, este trabajo está relacionado a la explotación, y características geoquímicas y la metodología utilizada en la operación y control del agua subterránea que se destina al abastecimiento de la población del área metropolitana del Gran Asunción Paraguay (Acosta et al. , 2000).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar los niveles de concentración de hierro en aguas subterráneas y la vulnerabilidad del acuífero Patiño a partir de datos de pozos profundos de algunas localidades de Luque. Para cumplir con el objetivo de este trabajo de investigación se realizarán análisis de agua de pozos profundos y suelos de algunas zonas de la ciudad de Luque. Se utilizará el modelo hidrogeológico de GOD por ser uno de los métodos más sencillo para la determinación de Grado de Vulnerabilidad lo cual nos permitirá de la construcción de Mapas de Vulnerabilidad. Con los resultados obtenidos nos permitirán la aplicación de herramientas sencillas de la estadística descriptiva, con gráficos de línea realizar comparaciones con respecto al valor permitido de Hierro en agua y observar el comportamiento con respecto al tiempo.

Cuando las sales de hierro se hallan disueltas en el agua y la concentración de los iones del hierro exceden los umbrales permitidos para el consumo humano, se habla de contaminación. Se puede mencionar que las disoluciones del hierro son provenientes de las disoluciones de las rocas, que ocasiona alteración en las propiedades físicas como la aparición de partículas en suspensión denominados coloides; variaciones en el color provocando impregnación en las ropas lavadas, confieren un intenso sabor metálico, convirtiéndose en uno de

los elementos químicos que confiere al agua la propiedad de ser Agua Dura. Los compuestos de hierro, son rojos corrosivos que tiñen y provocan el bloqueo de pantallas, bombas, tuberías y sistemas de recirculación y daños severos en instalaciones domiciliarias, etc. Si los depósitos de hidróxido de hierro se producen por bacterias del hierro entonces son depósitos pegajosos, desagradables que ocasionan los problemas mencionados. El uso Industrial del agua se ve afectado por el hierro pues es seria la situación para las industrias de bebidas, fábricas de pasta de papel, lavanderías, industrias textiles.

En el acuífero Patiño existen antecedentes de altos tenores de hierro evidenciando problemas en las instalaciones domiciliarias, por lo cual importante el estudio de la carga de contaminación natural en función del mismo, además soporta una serie de impactos adversos como la sobreexplotación. Existen pocos datos actualizados de carga de contaminantes en general y casi no hay trabajos realizados sobre determinaciones de hierro como contaminantes provenientes de acciones naturales en el acuífero Patiño, y hasta qué punto influirá en la recarga de agua potable del acuífero Patiño. La precipitación del hierro en el acuífero tiene un ligero efecto sobre la permeabilidad del estrato y se calcula que la vida útil del pozo es mucho menor que el periodo crítico de obturación de la capa acuífera.

Con este Trabajo de Investigación se pretende seguir estudiando el grado de contaminación del acuífero Patiño de las localidades de la ciudad de Luque, tomando como posibles contaminantes al hierro proveniente de la contaminación natural. Además ante la ausencia de programas estratégicos de gestiones que incluyan monitoreo de las aguas en los pozos del acuífero Patiño pertenecientes a zonas de la ciudad de Luque donde se evidencien las concentraciones de hierro que sobrepasen los límites permitidos por las reglamentaciones de Aguas Potables en Normas Paraguaya, proponer Sistemas de tratamiento fisicoquímico o filtros integrados a la salida del tanque de distribución domiciliarias a fin de lograr minimizar las concentraciones excedidas del hierro. Ausencia de Perímetros de los pozos a fin de minimizar los riesgos de contaminación.

Materiales y métodos

Para los datos primarios se consideró los valores arrojados de Hierro en muestras de agua de pozos y suelos de las diferentes localidades y como complemento los análisis físicos químicos, bacteriológico y para los secundarios fue la recopilación de información. Este trabajo fue desarrollado en etapas.

La primera fue la de recopilación de informaciones, dichas informaciones se encuentran principalmente en el Servicio de Saneamiento Ambiental y Salud (SENASA), consistente en registro de banco de datos que cuenta la institución, la elección de las diferentes localidades de Luque conforme a los datos de coordenadas asentados en el registro de banco de datos de SENASA.

Ubicación del área del estudio

Este estudio se llevó a cabo en la ciudad de Luque en las localidades que se dividen en áreas urbanas y áreas rurales.

Áreas Urbanas

Tercer Barrio de Luque: Centro de Distribución de ESSAP: PZ1 y PZ 2.

Hospital Regional de Luque: PZ1.

Campo Grande: Parque Ñu Guazú: PZ3. Ministerio de obras públicas y Comunicaciones (MOPC)/SENASA.

Campo Grande Jhugua de Seda: Estatic Media. S. A: Campo Grande Villa Policial: Colegio de Policía Áreas Sub Urbanas.

Ycuá Dure: PZ3 y PZ4. Estas localidades corresponden a áreas urbanas Marambure: PZ1.

Áreas Rurales

Cañada Garay: PZ1, PZ2, PZ3

Itapuami: PZ1

Marín Caaguy: PZ1, PZ2

Itangua: PZ1

La Segunda fue la de localización de los pozos a ser muestreados conforme a las coordenadas sustraídas del banco de datos de SENASA y algunos

registros proveídos por empresas privadas perforistas con GPS Gamín/GPSMAP 76CSx, incluyendo la solicitud de permiso en entrevistas personales con los miembros de las Juntas de saneamiento de cada localidad. Una vez obtenido los permisos correspondientes se procedió a coleccionar las muestras.

El procedimiento en la toma de muestra fue la de coleccionar de la boca de pozo o llave de purgación realizando esterilización del mismo flameando con llama y coleccionando 100 ml las muestras en frascos estéril de plástico para análisis bacteriológico, y 1 litro para el análisis fisicoquímico de Fe Total en frascos de plásticos, refrigerados a 4 °C, fueron llevados al laboratorio para el análisis químico y bacteriológico.

De cada Localidad se realizó tomas de muestras 100 gramos suelo en frasco de plástico de boca ancha para análisis químico del mismo.

La tercera etapa fue la de realizar análisis laboratoriales, las determinaciones de cada parámetro fueron realizadas por triplicado. El grado de precisión del análisis de Fe total en agua y Fe soluble en suelo es del orden de ± 0.01

Procedimientos de Laboratorio: Determinaciones

Determinación de Parámetros Físicos

pH: Para lo cual se utilizó un equipo de determinación de pH, de la marca Metrom. Método electrométrico, en un volumen de 50 ml de agua se introduce el electrodo lo cual entrega la lectura directa, previa calibración del equipo con soluciones bufferizadas en zonas de pH 4 y pH 10.

Conductividad: Se utilizó 50 ml de muestras de aguas, se introduce en el vaso el electrodo y se realiza lectura directa de las muestras, previa calibración del equipo marca Quimis con solución de KCl 3 M.

Determinación de Parámetros Químicos

Alcalinidad Total: Método Volumétrico y Reacción Ácido Base: Se tomaron 100 ml de las muestras colocando dos a tres el indicador Mixto (rojo de metilo-verde de bromocrezol) para la zona de viraje, se titula con Ácido Sulfúrico 0,02 N, se

estandariza la solución de ácido sulfúrico 0,02 N con una solución de carbonato de sodio 0.02 N.

Dureza, Calcio. Método Volumétrico. Complejometría: Tanto para Calcio y Dureza se toma un volumen de 50 ml de muestras de agua. Para Dureza se coloca 2 gotas el indicador negro de eriocromo T, se titula con solución de EDTA, hasta alcanzar el punto final. Para calcio se agrega 1 ml de NaOH 0.1 N, 0,2 gramos del indicador se titula hasta alcanzar el punto final. Para Ambos casos se procesan los volúmenes consumidos aplicando fórmulas matemáticas.

Para la determinación de magnesio se obtiene a través de operaciones matemática entre el valor de la dureza y el calcio.

Sulfato: Método Espectrofotométrico: Se tomaron 100 ml de las muestras de aguas, se le agregó 5 ml de solución acondicionadora de Cloruro de sodio disuelto en glicerina y etanol, agregar 0,2 gramos de BaCl₂ agitando por 10 minutos se lleva a lectura de transmitancia en el espectrofotómetro a 420 nm. de longitud de onda. Del mismo modo preparar la curva de calibración con soluciones patrones de sulfato de potasio. Por medio de cálculos matemáticos se determina la concentración de SO₄⁼ en mg/L

Hierro Total en Agua: El método realizado es espectrofotométrico el de la ortofenantrolina. Se prepararon curvas de calibración para las lecturas en el equipo a una longitud de onda de 410 nm junto con las muestras que previamente se realizaron digestiones ácidas con hidroxilamina para que todo el contenido de hierro sea reducido a Fe⁺², en medio bufferizado (pH entre 3 y 9), para el desarrollo de color con ortofenantrolina. Las lecturas obtenidas por medio de fórmulas matemáticas se calculan la concentración de Hierro en mg/L.

Determinaciones de Hierro Total soluble en muestras de suelo: Se realizaron análisis de Hierro Total soluble de muestras de suelo, la metodología utilizada fueron extracciones ácidas con agitaciones mecánicas por 30 minutos cada muestras, filtración de las muestras extraídas para luego aplicar el método espectrofotométrico el de formación de complejos coloreados por la ortofenantrolina, para la lectura a una longitud de onda 410 nm, con las

lecturas obtenidas después del desarrollo de color por medio operaciones matemáticas se obtiene las concentraciones en mg/g de Hierro soluble total.

Determinación Bacteriológica

Coliformes Fecales: Se realizaron a modo de determinar contaminación Fecal. Sobre muestras filtradas en membranas de 0,45 micras de celulosas de 100 ml de aguas colectadas en frascos estéril se deposita en capsulas de Petri con medio de cultivo M-FC (preparada de calidad pura en medio de NaOH al 0,2 N y ácido rosólico al 1 %), se lleva a la estufa por 48 hs a una temperatura de 44,5 °C, luego se realizó

el conteo por cuadrantes, por medio de operaciones matemáticas la cantidad de bacterias fecales sembradas y se informa unidades formadoras de colonias por cada 100 ml de muestras (ufc/100 ml).

Aplicación de Método de GOD: Se aplicó el método de GOD, a los pozos muestreados en su gran mayoría pertenecientes a los sistemas de abastecimientos de las Juntas de saneamiento, Essap, Colegio de Policía, Parque Ñu Guazú, Empresa Privada Estatic. S. A, en base a la Información litológicos (Perfiles litológicos) proveídos por SENASA.

De cada Pozo se tuvo en cuenta el Grado de confinamiento Hidráulico, la característica litológica de la zona no saturada es decir la distancia al nivel del agua, el nivel estático del agua. El producto de los valores numéricos arrojados entrega el coeficiente de GOD indicando el grado de vulnerabilidad de los pozos perforados en las diferentes localidades de Luque.

Cálculos de GOD realizados en los pozos:
 $V = G * O * D = Y_{cua} Dure-3. Nivel Estático = 15,6$
 (Acuífero Libre = 1.0) x 0.75 (areniscas) x 0.8 (NE = 15.6) = 0.6 Vulnerabilidad alta.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 de datos de análisis físico químico: podemos observar que el pH mínimo es de 5,73 en la localidad Marambure y un pH máximo de 6,83 del pozo de Estatic Media S. A que corresponde a la localidad de Jhugua de Seda.

Los valores de pH obtenidos en las distintas

Tabla 1. Datos de determinaciones físicas y químicas en aguas subterráneas de las localidades de Luque.

Localidades	Fe T. Agua mg/L	Fe T. suelo mg/g	pH	Cond. µ s/cm	A.T. mg/L	D.T mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	SO ₄ ⁻ mg/L	Temp. agua	C.F. ufc/100 ml	Cód.
Essap1 3er B.	0,4	4,28	6,05	169,7	41,67	28	13	3,6	4	18,5	0	PZ1
Essap 2 3er B.	1,03	4,25	6,12	115,1	13,33	12	8	0,97	2	18,6	0	PZ2
Ycuá Dure	0,55	5	6,08	79,4	11,67	14	4	2,4	1	15,9	0	PZ3
Ycuá Dure	0,24	4,1	5,88	79	10,8	13	2,8	2,5	0,8	18,8	25	PZ4
Marambure	0,18	11,24	5,73	154,5	19,1					19,3	140	PZ1
Cañada Garay	0,24	18,92	5,77	64,4	***					19,2	5	PZ1
Cañada Garay	0,21	2,83	5,84	64,1	***					18,9	0	PZ2
Cañada Garay	0,24	1,12	5,88	61,7	***					18,8	40	PZ3
Ytapuami	0,3	3,76	5,92	124,4	***					18,2	2	PZ1
Marín Caaguay	0,23	1,22	6,4	194	***					18,5	0	PZ1
Marín Caaguay	0,38	2,79	5,81	67,8	***					19,00	17	PZ2
Itá angu'a	0,34	0,55	6,14	51,5	*****					18,00	0	PZ1
Hospital de Luque	0,37	3,8	5,86	174,8	***					18,5	990	HR
Estatic Media	0,57	3,74	6,83	54,6	28,75	15	6	2,2	1,7	17,5	0	EsM
Colegio de Policía	0,58	3,4	6,66	242	123,75	135	37	24	4	18,00	665	CP
Parque Ñu guazú	0,76	4,5	6,06	131,6	31,25	46	18	6,8	13	18,00	0	PÑG3
Tanque Casa	1,71	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Fecha de Muestreo	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17

localidades de la Ciudad de Luque se encuentran en un rango débilmente ácido a neutro, lo que podría indicar la presencia de HCO_3^- y vestigios de CO_2 de acuerdo al diagrama de equilibrio de especies iónicas representadas en los valores AT (Anexo A2), por lo cual se realizó la determinación de especies iónicas, como la dureza total en forma de CaCO_3 , pero sin dejar de lado los valores de pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} que podrían interferir en la oxidación de las especies iónicas del hierro.

Realizando descripciones individuales las concentraciones del Hierro Total en las muestras de agua, los valores no representan concentraciones muy altas debido a que la norma de la OMS establece valores menores a 0,3 mg/L y la regida en Paraguay el nivel permisible es de 0,3 mg/l, en el PZ1 del 3er Barrio se obtuvo en valor de 0,4 mg/L, comparando PZ2 en donde se evidencio alta concentración.

En el centro de distribución de Essap se eleva al tanque el agua de 5 pozos ubicados en la ciudad y la mezcla de los mismos es lo que se distribuye en las principales zonas de Luque, al contrario del pozo 2 ubicado en el mismo terreno cuya distancia podría ser determinada por las coordenadas del pozo 1, arrojó un valor de 1.03 mg/l de hierro total el cual posee características de ser pozo somero por encontrarse en contacto con el oxígeno del aire, recirculando el agua continuamente, el pozo se encuentra en desuso, no se pudo conseguir información al respecto.

El pozo 3 asentado en la localidad de Ycua Dure se obtuvo un valor de 0.55 mg/l de Fe Total, excedido en 0.25 mg/l, lo cual guarda relación con la litología descrito en el perfil del pozo compuestas por areniscas media a gruesa marrón rojizo, compacta con gránulos cuarzosos, areniscas marrones rojiza fina a media, indicador del valor excedido del Fe en las aguas.

En cuanto al pozo 4 de Ycua Dure arrojó un valor de 0.24 mg/l de hierro total valor bajo con respecto al pozo 3. Los pozos asentados en Cañada Garay, Marambure, Itapuami y Marín Caaguay-Pozo 1 arrojaron valores dentro de los límites permitidos. Los valores de Hierro en el pozo 2 de Marín Caaguay,

en el pozo 1 de Itá angu'a y el hospital regional de Luque se obtuvieron valores en el orden de 0.34 a 0.38 mg/L, excediendo en cantidades ínfimas de concentraciones con respecto al nivel permitido.

El pozo muestreado en la localidad de Jhugua de Seda Campo Grande, correspondiente a la Empresa Privada Estatic Media se obtuvo valores de 0.57 mg/L, y el Colegio de Policía concentraciones de 0.58 mg/L; estos pozos pertenecen a suelos areno arcillosos de colores rojizos lo cual representan indicios de presencia de hierro y favoreciendo las disoluciones del hierro en las aguas de estas localidades permitió evidenciar a través de análisis químico, altas concentraciones de hierro del orden de 3,4 a 3.7 mg/g en muestras de suelo, con valores de pH del orden de 6.06 a 6.86.

En la muestra extraída del pozo del Parque Ñu Guazú se obtuvieron valores de 0.76 mg/L de hierro Total cuyo valor excede en 0.46 mg/L con respecto al nivel permitido. En general los valores de SO_4 determinados en los pozos de las distintas localidades se encuentran dentro de los valores permisibles en muestras de aguas subterráneas no siendo importante para facilitar la oxidación de los Iones Fe^{+2} a Fe^{+3} . Los valores de Dureza Total, Ca, Mg y los valores de Alcalinidad Total se encuentran en rangos bajos por tanto no confieren Dureza al agua. La Conductividad del agua varía entre 54,60 us/cm a 242 us/cm, reflejando bajamineralización.

Los pozos valores de Cp. y EsM. resultaron con altos valores de coliformes fecales producto de las descargas de fosas sépticas. No obstante, esta contaminación está controlada, es debida a que el agua de los mimos son aguas que prácticamente no se utilizan en forma continua en ambos lugares son destinados a limpieza y regadío. A modo de obtener información complementaria y demostrar que la presencia de hierro en el agua subterránea es problema que persiste en el área de estudio, se realizó el análisis de agua de un tanque domiciliario, distribuida por ESSAP en la localidad del 3er barrio. El contenido de hierro en la muestra arrojó valor de 1,71 mg /l; este valor podría deberse a que en el tanque se depositan Hidróxido de hierro el agua la que se trata con

Tabla 2. Valores promedio de Fe Total en aguas subterráneas y suelo de las localidades de Luque.

Localidades	Fe Total en agua (mg/l)	Valor permitido (0,3 mg/l)	Fe total en suelo mg/g
Essap1 3er B.	0,40	0,3	4,28
Essap 2 3er B.	1,03	0,3	4,25
Ycuá Dure 3	0,55	0,3	5,00
Ycuá Dure 4	0,24	0,3	4,10
Marambure	0,18	0,3	11,24
Cañada Garay 1	0,24	0,3	18,92
Cañada Garay 2	0,21	0,3	2,83
Cañada Garay 3	0,24	0,3	1,12
Ytapuami	0,30	0,3	3,76
Marin Caaguay 1	0,23	0,3	1,21
Marin Caaguay 2	0,38	0,3	2,79
Itá angu'a 1	0,34	0,3	0,55
Hospital de Luque	0,37	0,3	3,80
Estatic Media SA	0,57	0,3	3,74
Colegio de Policía	0,58	0,3	3,40
Parque Ñu guazú	0,76	0,3	4,50
Promedio	0,41	---	4,72
Valor Mínimo	0,18	---	0,55
Valor Máximo	1,03	---	18,92
Desviación Estándar	0,23	---	4,47

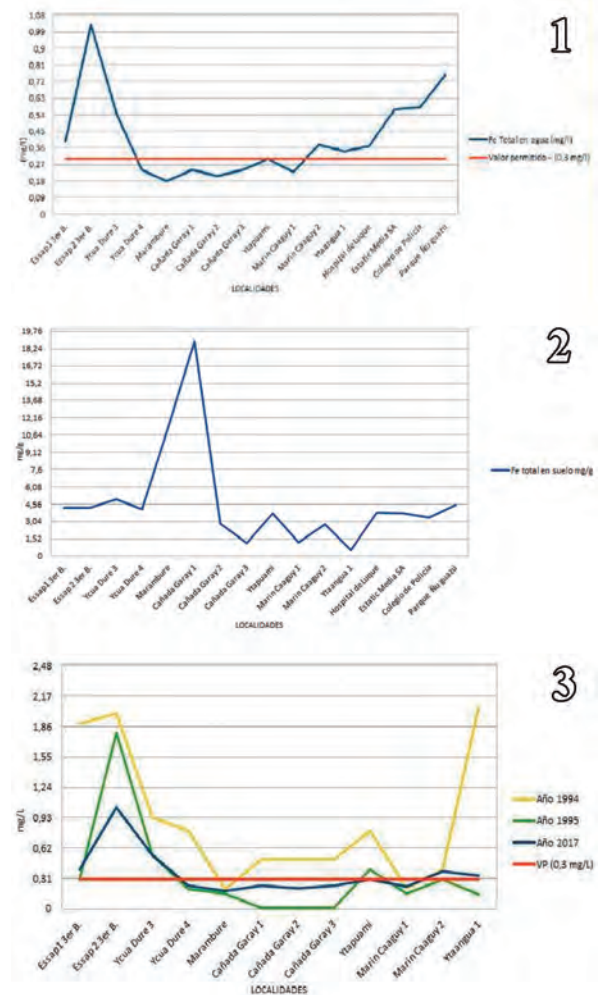
hipoclorito de sodio para la desinfección del mismo, esto acelera la oxidación del Hierro, que se encuentran en disolución.

Así como se observa en la Tabla 2, en general se obtuvo un valor mínimo de 0,18 mg/l perteneciente a la localidad de Marambure y un valor máximo de 1,03 al 3er Barrio del pozo ESSAP. , con valor promedio de 0,41 mg/l de Fe Total en agua en la ciudad de Luque, con una Desviación Estándar

de 0,23. En la Figura 1 se observan los pozos que sobrepasan los valores de Fe Total en agua de los límites permisibles.

En la Figura 2 Gráfica de. Distribución de Fe Total en suelo de las diferentes localidades de Luque. En general se observa un valor máximo de 18,72 mg/g en la localidad de Cañada Garay, con un valor mínimo en la localidad de 0,55 mg/g en la localidad de Itá angu'a. Con una media de 4,72 mg/g en la ciudad de Luque y una Desviación Estándar de 4,42.

En la Figura 3 Gráfica de Distribución de Fe Total en agua por año se observan que se mantienen las concentraciones de Fe en su gran mayoría



Figuras 1-3. Gráficas de distribución de Fe Total en las diferentes localidades de Luque. **1)** En aguas subterráneas. **2)** En suelo. **3)** En agua por Año.

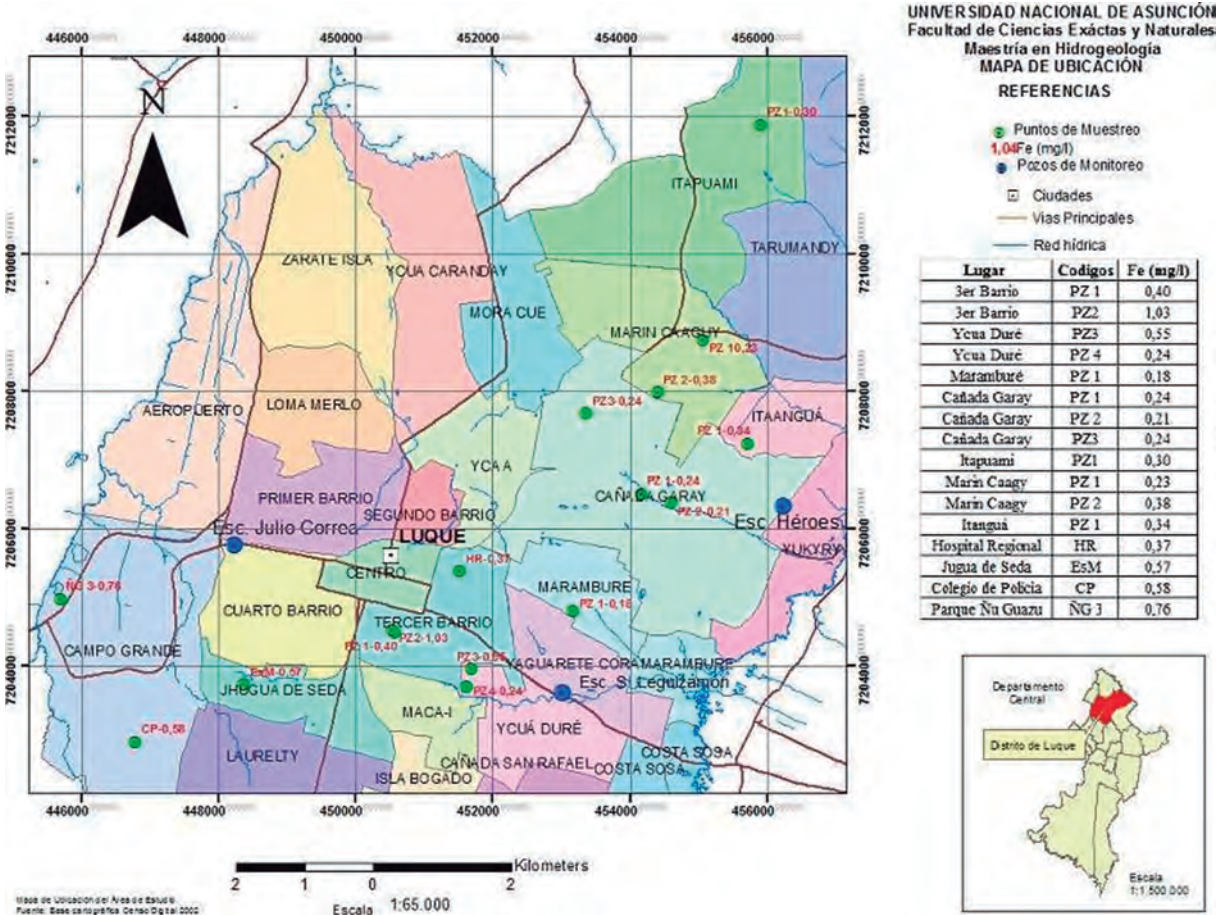


Figura 4. Mapa de determinación de valores de Fe Total por cada localidad.

En la Figura 4 se localizan los resultados de los niveles de hierros observando los diferentes valores de hierro por localidad.

En cuanto al método de GOD aplicado para definir el grado de vulnerabilidad a partir del perfil litológico, en el PZ3 de Ycua Dure, Itapuami, Marín Caagy PZ1 y PZ2; Campo Grande CP y NG3 y Jhugua de Seda se obtuvieron valores de 0,6 como se aprecia en la Tabla 3, lo cual indica alta vulnerabilidad, susceptible de recibir contaminantes tanto antrópicos y naturales, relacionado con el parámetro en particular medido en este trabajo de investigación.

En la Figura 5 se observan los valores de Vulnerabilidad a la contaminación según el método de GOD, en la zona Noroeste y Suroeste corresponde a altas vulnerabilidad; las zonas moderadas de la

vulnerabilidad corresponden a las localidades de Itá angu’a y Marambure; mientras que en el centro del área de investigación se obtuvieron valores de vulnerabilidad baja

En la Figura 6 se observan los valores puntuales de vulnerabilidad y Fe Total en las aguas de las diferentes localidades de Luque observándose que en su gran mayoría donde el grado de vulnerabilidad es alta como ser en Campo Grande Ñu G3, EsM, CP, Ycua Dure PZ3, se corresponden con las altas concentraciones de Fe en los mismos lugares. , con excepciones de la localidad de Itapuami que se encuentra en el límite permitido.

En las localidades donde el grado de vulnerabilidad son media y baja, se corresponden con concentraciones de media y baja de Fe en las aguas subterráneas.

Tabla 3. Determinación de los índices de vulnerabilidad GOD a partir del perfil litológico.

Localidad	Código	Coordenadas UTM		Cota (m)	Nivel Estático (m)	Vulnerabilidad GOD
		Este	Norte			
3er Barrio	PZ1	450585	7204490	145	22,0	0,13.Baja
3er Barrio	PZ2	450547	7204514	Surgente	21,0	En desuso
Ycuá Dure	PZ3	451631	7203695	126	15,0	0,6.Alta
Ycuá Dure	PZ4	451707	7203946	119	10,0	0,14.Baja
Marambure	PZ1	453194	7204794	129	18,4	0,36.Moderada
Cañada Garay	PZ1	454185	7206500	107	1,80	0,16.Baja
Cañada Garay	PZ2	454623	7206386	108	1,15	0,16.Baja
Cañada Garay	PZ3	453368	7207661	134	1,30	0,16.Baja
Itapuami	PZ1	455926	7211876	119	18,9	0,6.Alta
Marín Caagy	PZ1	455086	7208744	119	6,9	0,6.Alta
Marín Caagy	PZ2	454424	7207979	149	12,0	0,6.Alta
Itá angu'a	PZ1	455730	7207228	122	21,1	0,53 Moderada
Hospital Regional	HR	451323	7203654	120	14,0	0,14.baja
Campo Grande	CP	446801	7202889	133	13,0	0,6 Alta
Jhugua de Seda	EsM	448387	7203725	103	12,0	0,6.Alta
Campo Grande	ÑG3	445711	7204973	101	3,0	0,6.Alta

En la Figura 7 se observan las correspondencias de alta, media y baja vulnerabilidad con concentraciones de hierro en suelo

En la Figura 8 se representa valores de pH en muestras de agua de las diferentes localidades donde se observa zonas acidas y valores de Fe bajo en las aguas, representados en el mapa con el color verde; puesto que el Fe permanece en solución por lo cual se evidencia la relación con la baja vulnerabilidad.

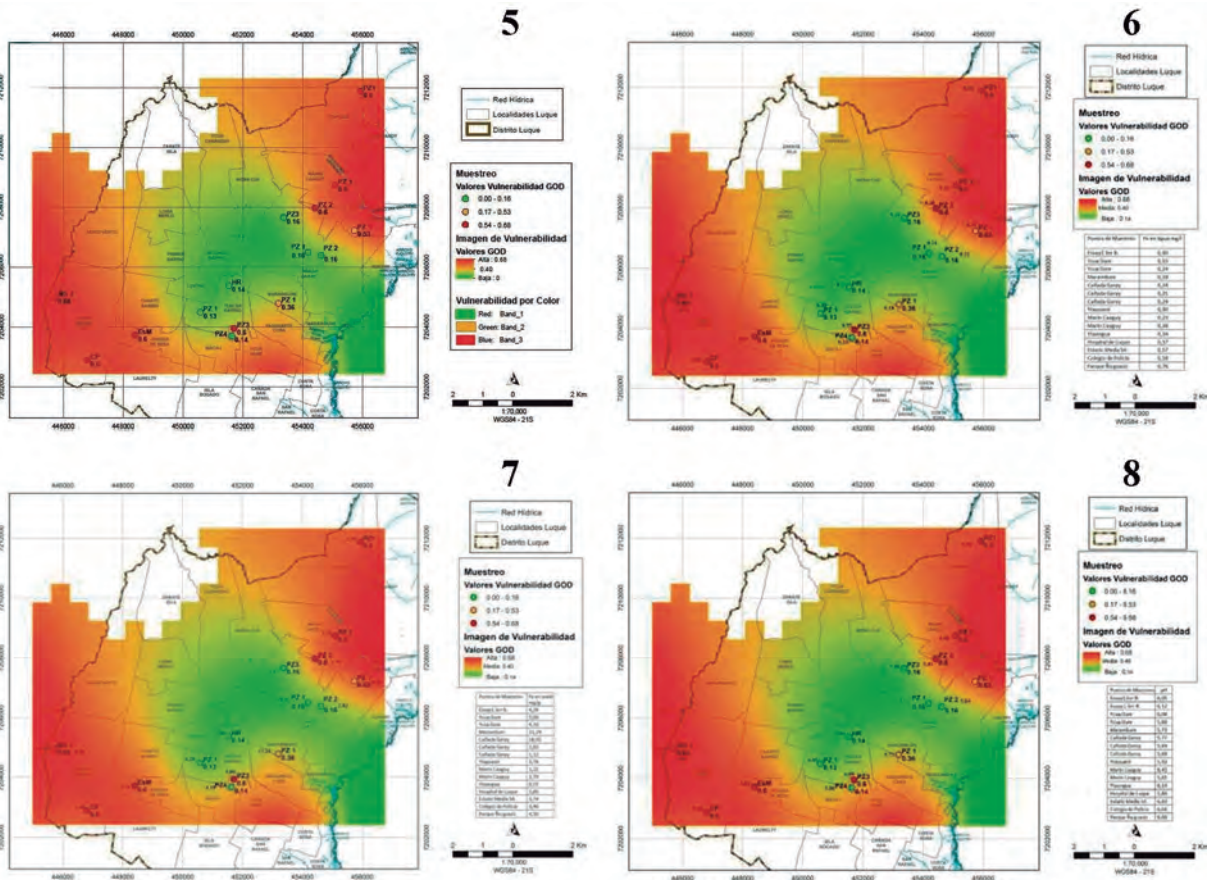
En zonas de alta vulnerabilidad se observa aumento de valores de pH, con aumentos de concentraciones de Fe en las aguas.

Conclusiones

Por medio de este trabajo de Investigación se encontraron diferencias en los niveles de concentración del Hierro en las aguas de las localidades de Luque lo cual permite evaluar el grado de con-

taminación de los mismos, considerando el cumplimiento de los objetivos a través de los resultados, se acepta la hipótesis para algunas localidades como ser Ycuá Dure PZ3 y el Parque Ñu Guazú donde se constató concentraciones de Hierro excedidos por encima del límite permitido por la OMS y las Normas regidas en Paraguay. Para algunas zonas, como Ycuá Dure en el PZ3, Campo Grande PZCP y Jhugua de Seda PEsM, se debe tener en cuenta la litología del suelo que son suelos areno arcillosos, areniscas finas marrón a rojizos motivos suficiente de los medianamente altos niveles de hierro encontrados.

El método de GOD utilizado como instrumento de comparación nos permitió determinar el grado de Vulnerabilidad en las diferentes zonas encontrando desde altas, medianamente moderadas a bajas, por ser un método sencillo, y relacionar con el parámetro en particular es decir el Fe total en las aguas y



Figuras 5-8. Mapas de valores puntuales de Vulnerabilidad y otros factores físico-químicos por cada localidad. **5)** Valores puntuales de Vulnerabilidad. **6)** Valores puntuales de Vulnerabilidad y Fe en agua. **7)** Valores puntuales de Vulnerabilidad y Fe en Suelo. **8)** Valores puntuales de Vulnerabilidad y pH en agua.

muestras de suelo, así como con otros parámetros. Por medio de este método podemos concluir que algunas localidades de Luque son muy vulnerables a aportes de contaminantes de fondo natural y otras zonas se encuentran expuestas a contaminantes de otros tipos.

Literatura citada

Acosta Alvarez, R., Lopez, O. (2000). El Agua Subterránea del Acuífero Patiño en el Área Metropolitana del Gran Asunción – Banco Interamericano de Desarrollo - BID - Corporación; Asunción- Paraguay. 15 pp.
 Godoy, E. & Von Hoyer, M. (1995). Segundo Simposio Sobre Aguas Subterráneas y Per-

foración de Pozos en el Paraguay. Sociedad de Recursos Hídricos del Paraguay. San Lorenzo Paraguay. Noviembre 22-23. 1995. 150 pp.
 Gadea, A.M. (2007). Estudio de Riesgos a la Contaminación del Acuífero Patiño en el Campus Universitario- UNA. Tesis (Magíster en Hidrogeología). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. San Lorenzo Paraguay.
 Lafleur, M.A. (1995). Segundo Simposio Sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay. Sociedad de Recursos Hídricos del Paraguay. San Lorenzo Paraguay. Noviembre 22-23. 1995. 150 pp.