

Artículo Científico

Nitrógeno en las aguas subterráneas del municipio de San Pedro La Laguna, Sololá.

Eduardo Antonio Rodríguez Juárez

Ingeniero Químico, M. Sc. Ingeniería Sanitaria, ERIS-USAC, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: earj_45@hotmail.com

Recibido 28 de febrero de 2017 Aceptado 17 de mayo de 2017

Resumen

El presente artículo trata sobre la investigación realizada en el municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá, con la finalidad de obtener información sobre la calidad de las aguas subterráneas. Este artículo presenta las tres formas de nitrógeno estudiadas en el municipio, las cuales son: nitratos, nitritos y amoníaco. Lo estudiado fue la relación que existe entre ellas y su comportamiento en la época de lluvia y en época seca. Con base a la información analizada se determinó que el nitrato es la forma de nitrógeno predominante, la cual aumenta sus concentraciones en época seca y las muestras de la mayoría de pozos analizados sobrepasan los 50.00 mg/L de nitratos que equivale a 11.30 mg/L de nitratos en forma de nitrógeno y se encuentran en un rango entre 64.97 mg/L y 506.00 mg/L. También se determinó que las concentraciones de amoníaco tienen un aumento en época lluviosa especialmente en los dos pozos ubicados en la zona cafetalera, siendo la muestra de uno de los dos pozos cercanos, la de mayor relevancia con una concentración de 377.50 mg/L. Las concentraciones de nitratos y amoníaco pueden ocasionar problemas de salud a niños que consumen esta agua.

Palabras clave: Nitratos, nitritos, amoníaco, concentraciones, época seca, época lluviosa.

Abstract

The present article deals with the research carried out in the municipio of San Pedro la Laguna, department of Sololá. In order to obtain information on the quality of groundwater. This article presents the three forms of nitrogen studied, which are: nitrates, nitrites and ammonia. This study pretends to know relationship between them and their behavior in rainy season and in dry season. Based on the information analyzed, it was determined that nitrate is the predominant form of nitrogen, which increases their concentrations in dry season and samples from majority of analyzed wells exceed 50 mg/L of nitrates which is equivalent to 11.30 mg/L of nitrates in the form of nitrogen and are in a range between 64.97 mg/L and 506.00 mg/L. It was also determined that the concentrations of ammonia have an increase in rainy season especially in the two wells located in the coffee planting zone, being the sample of one of the two nearby wells, the one of greater relevance with a concentration of 377.50 mg/L presented in rainy season. Concentrations of nitrates and ammonia can cause health problems to children that consumed this kind of water.

Keywords: Nitrates, nitrites, ammonia, concentrations, dry season, Rainy season

Introducción

La disposición de las aguas residuales en municipio de San Pedro la Laguna del departamento de Sololá, se realiza a través de sistemas de infiltración, en los que se aprovechan las condiciones geológicas de la zona que brindan una alta permeabilidad, El abastecimiento de agua de San Pedro La Laguna se realiza por medio de pozos excavados manualmente, pozos mecánicos, un nacimiento de agua y agua procedente del lago de Atilán. Siendo el suministro de aguas subterráneas y del lago de Atilán el que cubre la demanda en un 70%, por lo que esta es la principal preocupación que se asocia a la contaminación del

acuífero. Se tomó como referencia las formas de nitrógeno analizadas, ya que estas son indicadores de contaminación con aguas residuales. Se realizaron dos monitoreos; uno en época lluviosa y otro en época seca, donde se muestrearon pozos en zonas urbanas, pozos en zonas cafetaleras, agua del sistema de distribución de agua, nacimiento y lago de Atilán.

Se realizaron las comparaciones de los resultados en las dos épocas, determinando que existe un aumento de las concentraciones de nitratos en la época seca, donde las muestras que provienen de pozos identificadas como: SP02, SP03, SP10, SP11 y SP12, SP13 sobrepasan 50.00 mg/L (11.30 mg/L de N-NO₃) y se encuentran en un rango entre 64.97 mg/L y

506.00 mg/L, y la forma de nitrógeno predominante es el nitrato ya que su fracción supera el 60% en los dos monitoreos exceptuando la muestra identificada SP13 que es un pozo donde la forma predominante es el amoniaco y este se encuentra cercano a una zona cafetalera.

Tanto el nitrato como el amoniaco son indicadores de contaminación.

Antecedentes

Según SERVIR 2015, el desarrollo de actividades agrícolas y antrópicas están asociadas el incremento de las concentraciones de nutrientes en el lago, y esto ha propiciado el aumento de 10 veces las concentraciones de nitratos comparadas desde los años 1968 a 2011. Con este incremento de nutrientes se presentaron graves florecimientos de cianobacterias, *Lyngbya hironymusii*.

Las condiciones geológicas e hidrogeológicas han llevado a la población de las cabeceras municipales de los municipios de San Pedro La Laguna y Santiago Atitlán a la construcción de sistemas de saneamiento a base de inodoros lavables y pozos sumideros, los cuales en algunos casos superan 40 años de

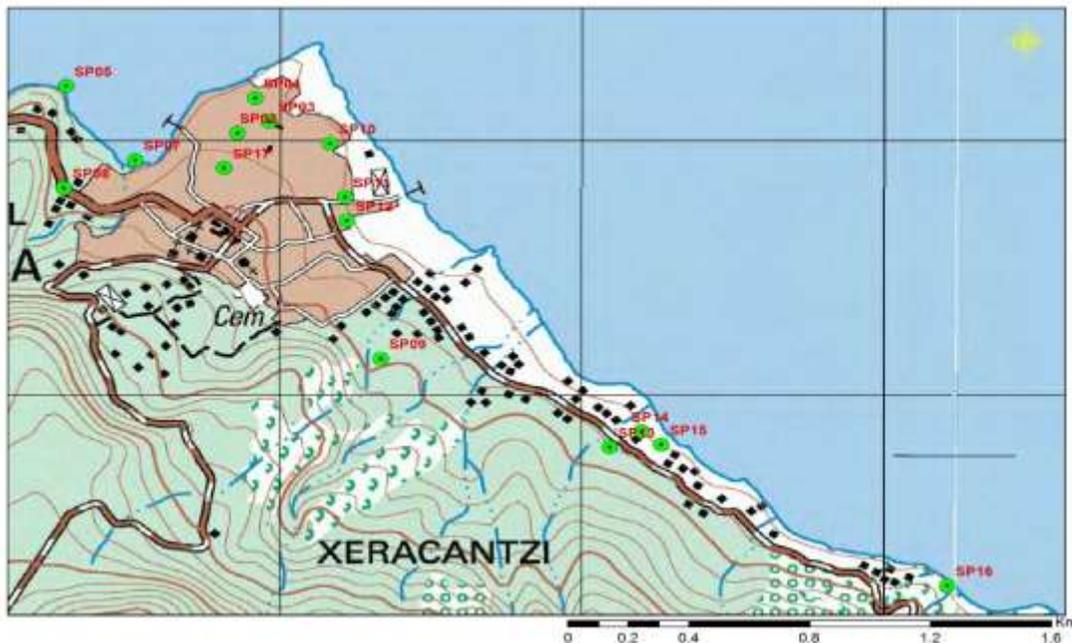
funcionamiento sin padecer de procesos de colmatación o llenado de los depósitos, lo que pone en evidencia el alto nivel de infiltración de contaminantes que está ocurriendo por las características geológicas de la zona.

De la investigación bibliográfica realizada, no se encontró información sobre aportaciones de contaminantes de forma subterránea que pudieran afectar al lago y a las personas que hacen uso de estas aguas. La investigación generó información y datos de utilidad para estudios futuros aunque se debe tomar en cuenta que, debido a cambios de autoridades municipales, no se obtuvo el acceso al nacimiento (SP01) y al pozo mecánico de la municipalidad (SP09) en el monitoreo en época seca realizado el 29 de febrero de 2016.

Ubicación

La investigación se realizó en la cabecera municipal del municipio de San Pedro la Laguna, del departamento de Sololá, Guatemala. Este se encuentra en la cuenca sur oeste del lago de Atitlán. En la figura 1 se indican los puntos de estudio y muestreo.

Figura 1. Puntos de muestreo, Municipio de San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala



Fuente: Escobar & Rodríguez 2017..

Metodología

Se realizó una zonificación dentro del área de estudio observada en la figura 1, donde se ubicaron los pozos existentes. Se determinaron los puntos de muestreo en base a su ubicación y posible incidencia en la contaminación; siendo estos 15 puntos distribuidos de la siguiente forma: 10 pozos (totalidad de pozos encontrados), tres muestras en el lago de Atitlán, dos a orillas del municipio de San Pedro La Laguna y una a orilla de área cafetalera, una muestra en el sistema de agua potable y una muestra en un nacimiento cercano que abastece parte del agua a la comunidad de San Pedro la Laguna.

Se realizaron dos campañas de muestreo; una en fecha 28 de septiembre del año 2015 (periodo lluvioso) y otra en fecha 29 de febrero de 2016 (época seca), con la finalidad de evaluar la calidad del agua y la influencia del régimen de lluvias. Las muestras se identificaron con las siglas SP que significan San Pedro, y se enumeraron conforme la toma de muestras realizadas.

Las muestras se tomaron directamente sobre los volúmenes de agua almacenados en los pozos o chorros de la fuente, con un muestreador de profundidad en los pozos y en el lago.

Las muestras se identificaron, se almacenaron y preservaron en hieleras, para su posterior traslado al laboratorio donde se procedió a realizar los análisis de laboratorio para la determinación de las concentraciones de nitratos, nitritos y amoníaco; mediante los métodos descritos en el *Estandar Methods 14th edition 1978*

Se realizó una comparación de los resultados obtenidos en los dos muestreos obteniendo indicios de contaminación por nitratos en algunas muestras.

Resultados

En la tabla 1, se identificaron los pozos por tipo y uso y se determinaron las concentraciones de nitrógeno en función de nitratos, nitritos y amoníaco.

Tabla 1. Valores obtenidos de nitratos, nitritos y amoníaco en época lluviosa y época seca

MUESTRA	TIPO	USO	Muestreo época Lluviosa (28/09/2015)			Muestreo época Seca (29/02/2016)		
			Nitratos (NO ₃ mg/L)	Nitritos (NO ₂ mg/L)	Amoníaco (NH ₃ mg/L)	Nitratos (NO ₃ mg/L)	Nitritos (NO ₂ mg/L)	Amoníaco (NH ₃ mg/L)
SP01	Nacimiento brote definido	Consumo humano	7.48	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
SP02	Pozo Artesiano	Consumo humano	23.76	0.24	0.62	112.49	15.23	0.76
SP03	Pozo Artesiano	Consumo humano	45.32	0.06	0.00	72.89	0.06	0.10
SP04	Pozo Artesiano	Consumo humano	118.80	0.04	0.01	47.67	0.03	0.00
SP05	Lago	Recreativo	0.44	0.03	0.07	2.93	0.01	0.00
SP07	Lago	Recreativo	13.20	0.01	0.07	3.81	0.03	0.00
SP09	Pozo Mecánico	Consumo humano	11.88	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
SP10	Pozo Artesiano	Consumo humano	30.80	0.04	0.00	96.36	0.04	0.00
SP11	Pozo Artesiano	Consumo humano	41.36	0.04	0.00	69.81	0.07	0.00
SP12	Pozo Artesiano	Riego	33.00	0.02	0.06	64.97	0.01	0.00
SP13	Pozo Artesiano	Abandonado	44.00	0.11	377.50	506.00	0.10	219.60
SP14	Pozo Artesiano	Procesos agroindustriales	7.92	0.03	0.55	22.44	0.00	0.00
SP15	Pozo Artesiano	Recreativo	12.76	0.03	0.01	13.79	0.02	0.00
SP16	Lago	Recreativo	6.16	0.02	0.13	3.23	0.03	0.00
SP17	Grifo	Consumo humano	33.44	0.02	0.01	136.84	0.21	0.00
	Valores fuera del límite máximo aceptable de la norma COGUANOR NGO 29001 (>50 mg/L de nitratos) y OMS							
	Valores fuera de concentraciones naturales según OMS (<0.2 NH ₃ mg/L)							

Las figuras 2, 3 y 4 presentan los resultados en forma gráfica de cada una de las tres formas de nitrógeno analizadas

Figura 2. Nitratos NO₃

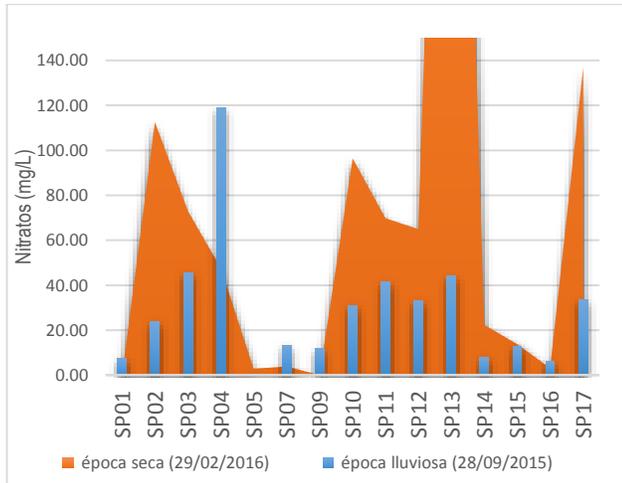


Figura 4. Nitrógeno NH₃

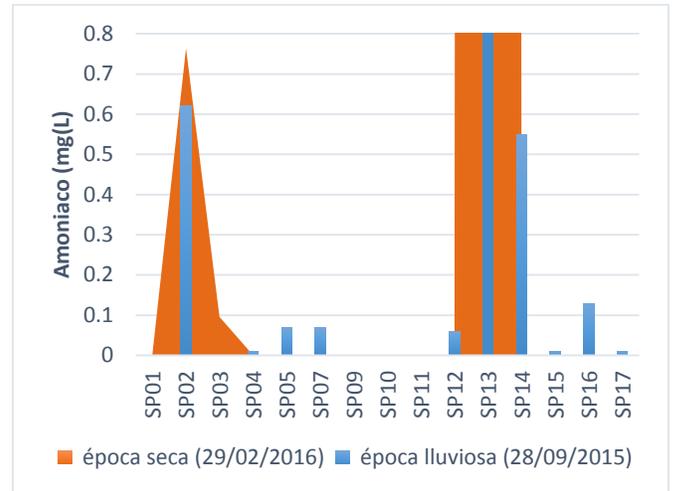
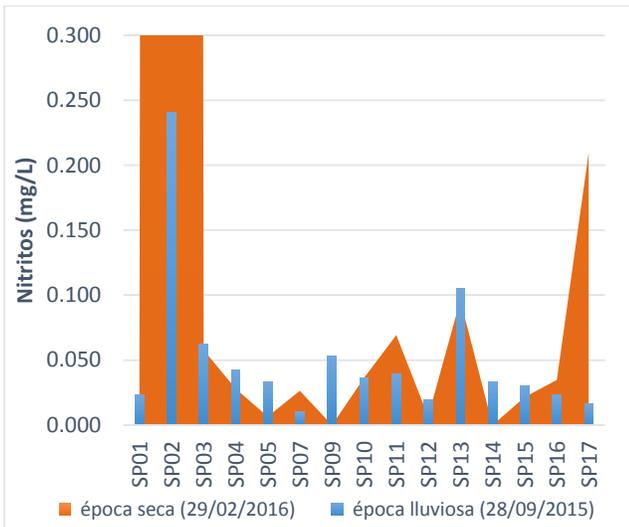


Figura 3. Nitrógeno NO₂



Para un mejor análisis de los resultados, estos se modificaron para obtener las concentraciones de nitratos, nitritos y amoniaco; en forma de nitrógeno por medio de estequiometria, utilizando la siguiente expresión general para la transformación de los resultados

$$[Compuesto] \times \frac{1 \text{ mol compuesto}}{\text{Peso molecular}} \times \frac{1 \text{ mol nitrógeno}}{1 \text{ mol compuesto}} \times \frac{\text{peso molecular N}}{1 \text{ mol de nitrogeno}}$$

Los valores obtenidos se presentan en la tabla 2, los cuales representan las concentración de nitrógeno de cada una de las tres formas analizadas en las dos épocas del año.

Estas se presentan de la forma N-NO₃, N-NO₂ y N-NH₃ esta nomenclatura hace referencia a concentraciones de nitratos, nitritos y amoniaco en forma de nitrógeno.

Tabla 2. Concentraciones de nitrógeno en las tres formas analizadas

MUESTRA	TIPO	USO	Nitrógeno N-NO3 (mg/L)		Nitrógeno N- NO2 (mg/L)		Nitrógeno N-NH3 (mg/L)	
			época lluviosa	época seca	época lluviosa	época seca	época lluviosa	época seca
SP01	Nacimiento brote definido	Consumo humano	1,69		0,007		0	
SP02	Pozo Artesiano	Consumo humano	5,37	25,40	0,073	4,635	0,511	0,629
SP03	Pozo Artesiano	Consumo humano	10,23	16,46	0,019	0,018	0	0,079
SP04	Pozo Artesiano	Consumo humano	26,83	10,76	0,013	0,009	0,008	0
SP05	Lago	Recreativo	0,10	0,66	0,010	0,002	0,058	0
SP07	Lago	Recreativo	2,98	0,86	0,003	0,008	0,058	0
SP09	Pozo Mecánico	Consumo humano	2,68		0,016		0	
SP10	Pozo Artesiano	Consumo humano	6,95	21,76	0,011	0,011	0	0
SP11	Pozo Artesiano	Consumo humano	9,34	15,76	0,012	0,021	0	0
SP12	Pozo Artesiano	Riego	7,45	14,67	0,006	0,002	0,049	0
SP13	Pozo Artesiano	Abandonado	9,94	114,26	0,032	0,029	310,882	180,85
SP14	Pozo Artesiano	Procesos agroindustriales	1,79	5,07	0,010	0,000	0,453	0
SP15	Pozo Artesiano	Recreativo	2,88	3,11	0,009	0,007	0,008	0
SP16	Lago	Recreativo	1,39	0,73	0,007	0,011	0,107	0
SP17	Grifo	Consumo humano	7,55	30,90	0,005	0,064	0,008	0

Valores fuera del límite máximo aceptable de la norma COGUANOR NGO 29001 (>50 mg/L de nitratos) y OMS

Valores fuera de concentraciones naturales según OMS (>0.2 NH₃ mg/L)

Se hizo un ajuste de los datos de la tabla dos, asumiendo que el 100% de nitrógeno se encuentra en las tres formas analizadas, obteniendo como resultado las figuras 5 y 6. En estas figuras se hace una comparación de las concentraciones de nitrógeno.

Figura 5. Porcentaje de las concentraciones de nitrógeno en las tres formas muestreo en época lluviosa

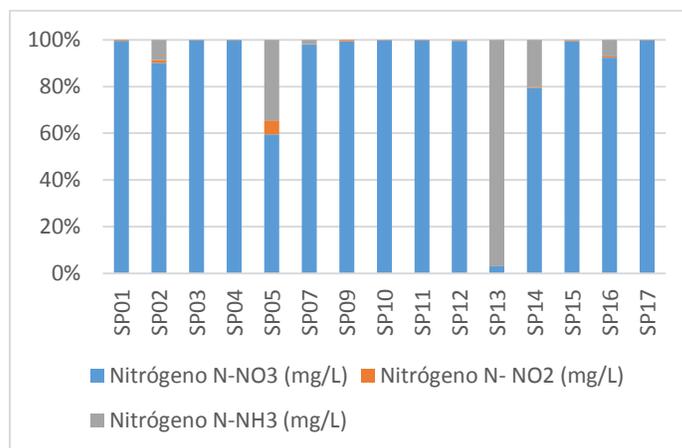
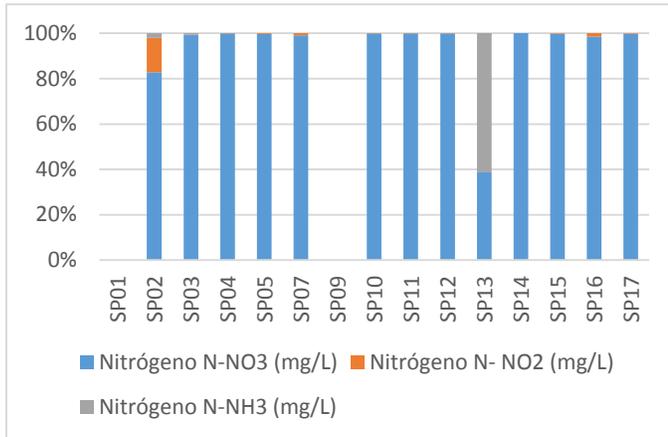


Figura 6. Porcentaje de las concentraciones de nitrógeno en las tres formas muestreo en época seca



Análisis de resultados

Primero se debe considerar que hay una diferencia significativa en los resultados de las concentraciones de nitratos y amoníaco respecto a los dos muestreos realizados, por lo que se puede considerar que hay una afectación directa en las concentraciones ocasionado por el régimen de lluvias.

Amoníaco: En el muestreo realizado en época lluviosa se puede observar que la mayoría de las muestras contienen amoníaco aun en pequeñas cantidades. Las muestras que no presentaron amoníaco son SP01, SP03, SP09, SP10 y SP11. Siendo las muestras tomadas en el lago de Atitlán (SP05, SP07 y SP16), la muestra SP02 y las dos tomadas en los pozos de la zona cafetalera (SP13 y SP14), las que presentan mayores valores de amoníaco

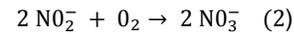
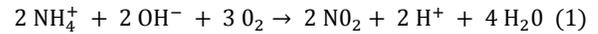
En la figura 5, correspondiente a la época lluviosa, se muestra que hay mayores concentraciones de amoníaco respecto a la figura 6 (época seca); se observan pequeñas concentraciones de nitritos y el predominante es el nitrato en la mayoría de las muestras.

En el muestreo de época seca, se puede observar una disminución considerable de las concentraciones de amoníaco ya que las únicas que presentan amoníaco es la SP02, SP03 y la SP13. Se observa también que la concentración de nitrógeno en forma de nitratos aumenta y las concentraciones de nitritos permaneces sin cambio apreciable.

Según la OMS, el amoníaco puede considerarse como un indicador de posible contaminación por bacterias, aguas residuales y residuos animales, ya

que este procede de procesos industriales agrícolas y pecuarios, y metabólicos

Según el ciclo del nitrógeno, el amoníaco se oxida a nitritos y posteriormente a nitratos.



Por lo que la presencia de amoníaco en algunos pozos significa que hay una fuente de contaminación cercana, ya que ese amoníaco aún no se ha oxidado

Las concentraciones de amoníaco en los pozos se ve beneficiada directamente por la época del año, ya que como se mencionó anteriormente, durante la época de lluvia la mayoría de pozos presentan concentraciones de amoníaco. Estos pozos se encuentran directamente sobre el área poblada y zona agrícola del municipio.

Nitratos: Como se observa en la figura 6, las concentraciones de nitratos aumentan en época seca, respecto al muestreo en época lluviosa. según la OMS, a concentraciones superiores a 50.00 mg/L de nitratos (11.30 mg/L de N-NO₃) se asocia a problemas de metahemoglobulemia en los recién nacidos por lo que es importante recalcar que pueden existir problemas de este tipo en la población ya que en algunas muestras de agua este valor es sobrepasado.

En las figuras 5 y 6 se determina también que la forma predominante de nitrógeno encontrada son los nitratos, ya que en época lluviosa las fracciones de nitratos están por encima del 60% del total (a excepción de la muestra SP13 donde el amoníaco es la forma predominante) y en época seca, las fracciones están por encima del 80% (a excepción de la muestra SP13 donde el amoníaco es la forma predominante). Se hace notar que el pozo SP13 pertenece a la zona cafetalera y se encuentra abandonado.

Nitritos: En el caso de nitritos observados en la figura 3, estos no presentan ningún tipo de cambio o modificación aparente según la época en la que se realizó el muestreo.

El amoníaco por el contrario, disminuye considerablemente en la época seca, ya que solo tres muestras presentaron concentraciones del mismo. Por lo que, se puede afirmar que las concentraciones de amoníaco en algunos pozos están relacionadas al régimen de lluvias.

Según la OMS, las concentraciones típicas de amoníaco en las aguas subterráneas se encuentran entre 0.20 mg/L. La mayoría de las muestras presentan este comportamiento, a excepción de los pozos SP02, SP13 y SP14, los dos últimos obtenidos en los pozos de la zona cafetalera del municipio.

Se puede aseverar que la forma de nitrógeno con más presencia en las aguas subterráneas del municipio de San Pedro La Laguna, es el nitrato y este es el que más problemas puede causar al ambiente y a la salud de las personas por sus elevadas concentraciones.

Conclusiones

Existen concentraciones de nitratos que sobrepasan los 50.00 mg/L establecidos en la norma COGUANOR NTG 29001, en algunos pozos del municipio de San Pedro La Laguna, principalmente en época seca, los cuales son: SP02, SP03, SP10, SP11, SP12, SP13 y SP17 y se encuentran en un rango entre 64.97 mg/L y 506.00 mg/L. Esto puede afectar directamente a las personas que consumen esta agua y al lago de Atitlán.

El nitrato es la forma predominante de nitrógeno encontrada en las muestras de agua de los pozos analizados ya que en los dos monitoreos las concentraciones de nitratos sobrepasan el 60 % de las fracciones respecto a nitratos y amoníaco, siendo la única excepción en los dos monitoreos, las muestras del pozo SP13 donde el amoníaco es la forma predominante.

La presencia de amoníaco en algunas muestras de agua de los pozos, puede significar que existen fuentes de contaminación cercanas a los mismos y las de especial relevancia se encuentra en las muestras del pozo SP13, el cual presenta concentraciones de 377.10 mg/L y 219.60 mg/L en los dos monitoreos realizados.

Los puntos de muestreo que cumplen con la norma COGUANOR NTG 29001 (<50.00 mg/L NO₃) en relación a concentraciones de nitratos son: SP01, SP02, SP03, SP05, SP07, SP09, SP10, SP11, SP12, SP13, SP14, SP15, SP16 y SP17 en la época lluviosa; y las muestras SP04, SP05, SP06, SP14, SP15 y SP16 en época seca.

Referencias

COGUANOR NTG 29001 "Norma Técnica Guatemalteca de agua para consumo humano". Comisión Guatemalteca de Normas. Ministerio de Economía.

Escobar, Homero. RODRÍGUEZ, Eduardo. "Calidad de las aguas subterráneas en el Municipio de

San Pedro La Laguna y sus efectos sobre el cuerpo de agua del Lago de Atitlán" Trabajo de graduación maestría en Ing. Sanitaria. Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, ERIS, 2017. 165 p.

MANCLALAGUNA. Estudio de pre-factibilidad: soluciones integrales de agua potable y saneamiento en San Pedro La Laguna, departamento de Sololá. San Pedro La Laguna: 2011. 97 p.

Organización Mundial de la Salud "Guías para la calidad del agua potable [recurso electrónico]: incluye el primer apéndice. Vol. 1: Recomendaciones. Tercera edición. 2006. 408 P. [En línea] http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf [Consulta: octubre de 2016].

SERVIR. Contaminación del Lago de Atitlán. SERVIGLOBAL, 2015. [En línea]. <http://www.servir.net/servir-en-accion/analisis-ambientales/720-contaminacion-lago-atitlan.html>. [Consulta: enero de 2016].

SERVIR. Lago de Atitlán. SERVIGLOBAL, 2009. [En línea] http://www.cathalac.int/lac_atlas/index.php?option=com_content&view=article&id=38:ago-atitlan-guatemala&catid=1:casos&Itemid=5. [Consulta: enero de 2016].

Información del autor

Eduardo Antonio Rodríguez Juárez, graduado de ingeniero Químico en la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) en el año 2013. Con experiencia en elaboración de instrumentos de evaluación ambiental, muestreo de aguas residuales y agua potable, análisis de química del agua por diferentes metodologías, oficinas verdes, entre otros.

M.Sc. en Ingeniería Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS de la Universidad de San Carlos de Guatemala.