

NITROGEN POLLUTION ON GROUNDWATER RESOURCES OF BELEN PITUTA B, GUAQUI TOWN-BOLIVIA.

*Guisbert H. Elvira^a, Ramos R. Oswaldo^a, Gemio Romulo^a, Quino Israel^a, Avila Claudia^a, Choque Rigoberto^b, Flores Henry^c

^a Instituto de Investigaciones Químicas; Laboratorio de Hidroquímica, U.M.S.A., ^bEspecialidades Químicas I+D+I, ^c INRA.

*Autor correspondiente : eguish@hotmail.com

Key words: nitrogen, ammonium, groundwater, pollution, Bolivia

ABSTRACT

The evaluation of nitrogen pollution degree on groundwater was made from dry to wet season. NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , N_T , N-inorg y N-org were analyzed. The results show high NH_4^+ concentrations on groundwater (depth: 40 - 80m): $0,006 \text{ mgL}^{-1}$ a $8,5 \text{ mgL}^{-1}$ and low concentrations of dissolved oxygen on the mostly wells (lowest value $\approx 0,8 \text{ mgL}^{-1}$) being impossible an oxidation from NH_4^+ to NO_3^- . Only NH_4^+ it's over permissible limit of the law 1333 R.M.A.

RESUMEN

Se realizó una evaluación del grado de contaminación por nitrógeno en aguas subterráneas (prof.: 40 a 80m) en época seca y húmeda a través del análisis de NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , N_T , N-inorg y N-org, encontrándose concentraciones altas de NH_4^+ disponible en aguas subterráneas, rango: $0,006 \text{ mgL}^{-1}$ a $8,5 \text{ mgL}^{-1}$ y una baja presencia de oxígeno disuelto en la mayoría de los pozos ($\leq 0,8 \text{ mgL}^{-1}$) frenando la oxidación de NH_4^+ a NO_3^- .

INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas son una de las principales fuentes de suministro para uso doméstico riego en muchas partes del mundo y suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce suele ser más difícil de eliminar. Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su purificación. [1]

En la zona de estudio, comunidad de Belén Pituta "B", se observó la proximidad de depósitos de estiércol procedente del ganado vacuno y de pozos sépticos ($\approx 30\text{m}$) hacia los pozos y suministros de agua de consumo doméstico.

Tanto el estiércol acumulado como los pozos sépticos aportan nutrientes (N, P y K) a los

acuíferos. Se calcula que si cada persona adulta produce al año 400 a 500 L de orina y 50 a 60 L de heces, el aporte de nitrógeno (N) en orina y heces es de 5 y $0,1 \text{ kgL}^{-1}$ [2]. Los aportes de N tanto en estiércol como en desechos humanos son mayores que el resto de los nutrientes (P y K) [3], lo que aumenta su probabilidad de convertirse en fuente de contaminación en función de la profundidad de la napa freática.

Los procesos de oxidación-reducción de las especies nitrogenadas en el agua están influenciados por fenómenos biológicos y en consecuencia los productos finales dependerán del número y tipo de organismos que intervengan en ellos.

Generalmente el NH_4^+ o el NH_3 libre aparecen sólo como trazas en aguas subterráneas naturales, aumentando su concentración cuando el medio es fuertemente reductor. Dado que la presencia de NH_4^+ favorece la multiplicación microbiana, su detección en cantidad significativa en el agua se considera como indicador de contaminación probable de especies nitrogenadas.

Según estudios previos realizados con muestras de agua extraídas de un pozo somero dentro el área de estudio se determinó una media, a 20°C , de $1,1 \times 10^5$ UFC/100ml de *mesofilos aerobios* y 50 UFC/100ml de *escherichia coli*, valores que sobrepasan los límites permisibles en aguas para consumo humano, (0 UFC/100 ml de coliformes fecales y mesofilos aerobios, según la O.M.S.) [4] En este trabajo se trató de realizar una evaluación del grado de contaminación de las formas de nitrógeno en aguas subterráneas dentro el área de estudio y al mismo tiempo determinar las fuentes naturales y/o antropogénicas causantes.

RESULTADOS Y DISCUSION

Resultados de formas de Nitrógeno mediante Mapas geo-referenciados SIG

Los resultados de las concentraciones de NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ y N total, se presentan en la tabla 2.1.

Se observa que los valores más altos pertenecen a NH_4^+ en época húmeda y van disminuyendo de acuerdo a la profundidad del cuerpo de agua. Estos resultados se observan más claramente en el mapa SIG de la figura No 2.1 de época húmeda, donde se visualiza más claramente la forma de nitrógeno que se encuentra en mayor proporción, cuerpo de agua y su posición geográfica en la región de estudio. Se observan mayores concentraciones de NO_3^- en aguas superficiales (río Jacha Jahuira y lago Titicaca), también mayores concentraciones de NH_4^+ en aguas subterráneas (pozos perforados) y sub-superficiales (pozos excavados) durante la época húmeda.

Durante la época seca, las concentraciones de NO_2^- son muy bajas, ($\%_{\text{máx.}} = 8$), comparadas con las otras formas de nitrógeno.

		NO_2^- mg L^{-1}	NO_3^- mg L^{-1}	NH_4^+ mg L^{-1}	N_T mg L^{-1}	N inorg mg L^{-1}	N org mg L^{-1}
Pozos Perforados	Época Seca	0,12	0,15 0,8	0,49 2,18	1,31 3,98	0,47 1,99	0,38 2,71
	Época Húmeda	0,1	0,74	6,8 8,5	6,43 11,5	5,37 6,71	0,80 5,45
Pozos Excavados	Época Seca	0,01 0,27	0,18 1,46	0,10 2,0	0,55 3,78	0,14 0,38	0,25 2,11
	Época Húmeda	0	0,2 1,78	0,1 6,5	0,45 8,47	0,16 5,45	0,14 3,03
Agua Superficial	Época Seca	0	0,43 3,69	0,05 0,09	0,51 1,19	0,17 0,87	0,31 0,99
	Época Húmeda	0	0,03 0,93	0	0	0,09 0,21	0,05 0,22

Tabla No 3.1: Resultados de formas de nitrógeno. (Prof.: pozos perforados > pozos excavados > aguas superficiales). "0" = Limite de Detección del Método (LDM).

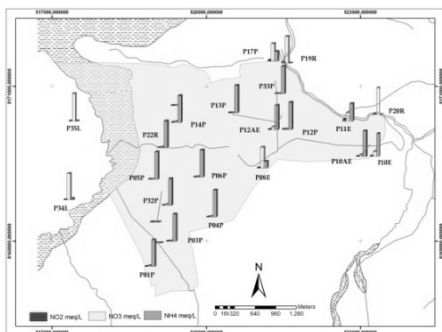


Figura. No 2.1: Imagen S.I.G. en $\% \text{meqL}^{-1}$ de formas de nitrógeno. Época húmeda.

Resultados de concentraciones de NH_4^+ vs. Concentraciones O_2 disuelto

En cuerpos de agua subterránea (Prof.:40-80m) y sub-superficial (Prof.:1-4m) se encontró bajas concentraciones de O_2 disuelto y altas concentraciones en aguas superficiales. Este comportamiento es el que se esperaría encontrar debido a que los cuerpos de agua superficial tienen un aporte constante de O_2 del aire a diferencia de los cuerpos de agua subterráneas los cuales se encuentran atrapados entre estratos geológicos que impiden un aporte de O_2 ; en cuanto a los cuerpos de agua sub-superficial se puede decir que los mismos tienen un aporte moderado de O_2 ya que se encuentran como máximo a una profundidad de 4 m.

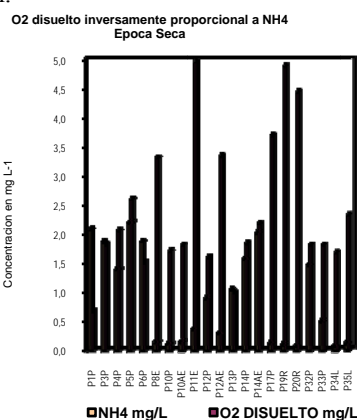
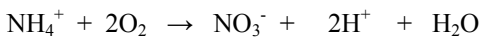


Figura No 2.2: O_2 disuelto vs. NH_4^+ . Época seca.

En la figura No 2.2 obtenida al graficar los puntos de muestreo en función de la concentración de NH_4^+ y O_2 (época seca), muestra un comportamiento inversamente proporcional en la mayoría de los puntos (aguas subterráneas y superficiales), es decir, puntos donde se determinó concentraciones bajas de O_2 disuelto y concentraciones altas de NH_4^+ ; en algunos puntos donde las concentraciones de O_2 disuelto fueron altas, las concentraciones de NH_4^+ fueron bastante bajas. Este comportamiento inversamente proporcional es corroborado por los valores de potencial medidos, que se encuentran entre moderado a altamente reductor (de -20 a -80 mV). Durante el proceso de amonificación se produce NH_4^+ del ácido úrico, $\text{C}_5\text{N}_4\text{H}_3\text{O}_3$, (aves y ganado vacuno) y urea, $\text{CN}_2\text{H}_4\text{O}$, (desechos humanos), el cual se deposita en los suelos y luego pasa a los reservorios de agua subterránea mediante procesos de escorrentía.

En condiciones óptimas de oxidación se da el proceso de nitrificación [8]. La ecuación química de este proceso es:



A partir de esta ecuación se puede calcular la cantidad de NH_4^+ total antropogénico aportada al acuífero, donde:

$$\text{NH}_{4T}^+ = \text{NH}_4^+ \text{eq. NO}_3^- + \text{NH}_4^+ \text{c.d.} \quad [\text{Ec.I}]$$

Donde:

NH_{4T}^+ = NH_4^+ total antropogénico aportado.

eq. = equivalente; c.d. = cuantificado disponible.

También se calculó el % de los procesos de nitrificación y amonificación de la siguiente manera:

$$\% \text{Nitrificación} = \frac{\text{NH}_4^+ \text{eq. NO}_3^-}{\text{NH}_{4T}^+} * 100$$

$$\% \text{Amonificación} = \frac{\text{NH}_4^+ \text{c.d.}}{\text{NH}_{4T}^+} * 100 \quad [\text{Ec.II}]$$

El resultado de estos cálculos se presenta en la tabla No 2.2, es decir el NH_4^+ total aportado al acuífero por punto y clasificadas según origen de pozo y tipo de agua superficial.

La tabla No 2.2 muestra que los porcentajes de amonificación son mucho mayores a los de nitrificación en casi todos los pozos perforados debido a las bajas concentraciones de O_2 disuelto determinadas en los cuerpos de agua subterránea. Además muestra claramente que en aguas subterráneas profundas (Prof.:40-80m) existe un proceso de amonificación preponderante al de nitrificación y de manera contraria, en pozos excavados (Prof.:1-4m) y aguas superficiales.

También se puede observar que los valores de NH_4^+ total son bastante grandes, entre 2 a 8,6 mgL^{-1} (Límite permisible de NH_4^+ en agua de clase A, 0,05 mgL^{-1} [9]).

	MUESTRA	NH_4^+ mgL^{-1}	NO_3^- mgL^{-1}	NH_4^+ total (mgL^{-1})	Nitrifica- ción	Amonifi- cación	
POZOS PERFORADOS	P1P	6,836	0,736	7,050	3,0	97,0	
	P3P	8,529	0,389	8,642	1,3	98,7	
	P4P	7,083	0,570	7,249	2,3	97,7	
	P5P	8,064	"0"	8,065	0,0	100,0	
	P6P	8,329	0,470	8,466	1,6	98,4	
	P12P	6,958	0,269	7,036	1,1	98,9	
	P13P	7,776	0,076	7,78	0,3	99,7	
	P14P	6,838	0,652	7,028	2,7	97,3	
	P17P	0,553	3,499	1,571	64,8	35,2	
	P32P	6,790	0,800	7,023	3,3	96,7	
	P33P	6,903	0,041	6,915	0,2	99,8	
	POZOS EXCAVADOS	P8E	0,164	1,777	0,680	76,0	24,0
		P10E	0,417	0,298	0,504	17,2	82,8
P10AE		6,530	1,661	7,012	6,9	93,1	
P11E		0,137	0,225	0,203	32,3	67,7	
P12AE		0,639	0,248	0,711	10,1	89,9	
PZE		0,133	0,044	0,146	8,8	91,2	
RIOS Y LAGO	P19R	"0"	0,409	0,119	100,0	0,0	
	P20R	"0"	0,380	0,110	100,0	0,0	
	P22R	0,278	0,026	0,285	2,7	97,3	
	P34L	0,006	0,454	0,138	95,7	4,3	
	P35L	"0"	0,929	0,270	100,0	0,0	

Tabla No 2.2: % de predominancia de los procesos de amonificación y nitrificación en puntos muestreados en época húmeda.

Resultados de N-orgánico e inorgánico

En las tablas No 2.3 y No 2.4, se observa que los mayores % de nitrógeno orgánico (%N-org) se encuentran en pozos excavados (menor profundidad) y mayores % de nitrógeno inorgánico (%N-inorg) en pozos perforados (mayor profundidad).

A diferencia de los anteriores analitos, las altas y bajas concentraciones de N-org y N-inorg pueden justificarse por la influencia del río Jacha Jauría que es un afluente del río Tiahuanacu, donde descargan sus aguas las redes de servicio doméstico.

En los pozos donde las concentraciones de N-org son mayores se puede inferir que existe ausencia de bacterias (nitro bacterias y nitrosomas) que son las que generan los procesos de amonificación. (Conversión de N-org a N-inorg).

Como se vió anteriormente, los niveles de NH_4^+ (N-inorg) son bastante grandes (máximo, 8,5 mgL^{-1}) y considerando que este catión proviene de un proceso de amonificación, se puede deducir que los aportes de N-org desde la superficie hasta los acuíferos, provienen de los desechos tanto de animales como de humanos y que son bastante grandes.

	POZOS EXCAVADOS			
	P12AE	P10AE	P11E	P10E
PROF (m)	1,1	1,3	2	4
% N inorg	79,3	64,3	37,4	24,4
% N org	20,7	35,7	62,6	75,6
% N org Total	91,2	95,6	86,4	95,8
NTotal (mg)	0,7	8,47	0,45	1,61

Tabla No 2.3: Relación de profundidad con N-orgánico y N-inorgánico en pozos excavados. época húmeda.

Muestra	PERFORADOS					
	P5P	PIP	P6P	P3P	P4P	P12P
Prof (m)	45	50	50	71	75	78
% N inorg	52,5	55,6	61,4	83,9	87,5	58,8
% N org	47,5	44,4	38,6	16,1	12,5	41,2
% N org Total	93,8	98,8	87,5	76,67	98,0	93,5
NTotal (mg)	3,65	3,13	2,94	2,37	3,46	1,31

Tabla No 2.4: Relación de profundidad con N-orgánico y N-inorgánico en pozos perforados.

Empleando la ecuación III, que suma las concentraciones de N-org determinadas con las de

$N-NH_4^+$ disponible calculadas, se generan los datos de % N org Total que se muestra en 4^{ta} fila de la tabla No 2.3 y 2.4 aumentando considerablemente la proporción de N orgánico; esto muestra claramente que el N total cuantificado en los acuíferos proviene del N que se encuentra en los ácidos úricos y/o urea de los desechos.

$$\%N_{orgTotal} = \frac{(N_{org} + N - NH_4^+)}{N_{Total}} * 100 \quad \text{Ec. [III]}$$

EXPERIMENTAL

Belén Pituta "B" se encuentra dentro el municipio de Guaqui, provincia Ingavi del departamento de La Paz, latitud Sur de 16°35' y longitud Oeste de 69°10'.

Se tomaron muestras en cuerpos de agua subterránea y superficial. Las muestras de agua subterránea son de pozos excavados (profundidad aprox. de 1 a 4 m) y perforados (profundidad aprox. entre 40 a 80m).

De las 23 muestras tomadas, 10 son pozos perforados (P), 6 de pozos excavados (E) y 7 son de agua superficial (R y/o L) (2 en el río Jacha Jahuíra, 1 en el río Tujsa Jahuíra, 2 en un riachuelo y 2 en el lago Titicaca).

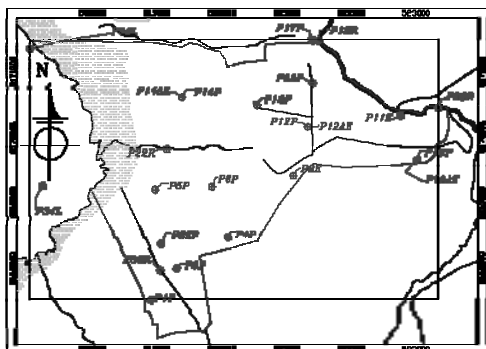


Figura No 3.1: Ubicación de puntos de muestreo.

Metodología de análisis

Analito	Técnica y/o Método	Ref.
NO_2^-	Espectrofotometría UV-Vis Método de Diazotación.	[5]
NO_3^-	Cromatografía Iónica.	[6]
NH_4^+	Espectrofotometría UV-Vis Método de Koroleff.	[7]
N_{TOTAL}	Espectrofotometría UV-Vis Método de Digestión con persulfato de potasio.	[8]

Tabla No 3.1: Analitos y métodos empleados.

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Hidroquímica de la carrera de Ciencias Químicas - U.M.S.A.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio se puede concluir que:

Se evidencia la existencia de una contaminación por NH_4^+ en pozos de agua subterránea a profundidades entre 40 a 80 m, de acuerdo al límite permisible del Reglamento Medio Ambiental de la Ley Boliviana 1333.

Las concentraciones determinadas de NH_4^+ son aportadas a los acuíferos a través de las pozos sépticos y de los depósitos de estiércol vacuno que son recolectados y apilados cerca de los pozos de consumo doméstico.

Los pozos sépticos y los depósitos de estiércol aportan N orgánico a través de un proceso de escorrentía, por efecto de la lluvia, hacia las bolsas de agua subterránea, sistema anaeróbico donde se genera un proceso de amonificación predominante al de nitrificación. Concluyendo así la existencia de contaminación antropogénica puntual.

Finalmente se puede concluir que las concentraciones de NO_3^- y NO_2^- en cuerpos de agua subterránea (pozos excavados), sub-superficial (pozos excavados) y superficial (ríos y lago Titicaca) no sobrepasan los valores máximos permitidos por la O.M.S.

AGRADECIMIENTOS

Al Jefe del Laboratorio de Hidroquímica, UMSA, Lic. Jorge Quintanilla, por toda la colaboración brindada para la realización de este trabajo.

Al M.Sc. Oswaldo Ramos, al Ph.D. Rigoberto Choque y al Dr. Rómulo Gemio por su constante guía y apoyo en todas las facetas de este trabajo.

Al Ing. Geógrafo Flores Henry por la colaboración en la creación de los mapas SIG.

REFERENCIAS

- 1: A.M. William (1993), Regional Ground Water, pg 125, Vol.1.
- 2: Fundación Friedrich Ebert Stiftung, SIDA, 1999; "Saneamiento Ecológico"
- 3: H.D. Foth, L.M. Turk, C.E. Millar, 1975 "Fundamentos de la ciencia del suelo", C.E.S.A.
- 4: V. J. Arboleda (2000), 3^a Ed. Tomo I, Univ. Minnesota, "Teoría y practica a la purificación del agua"
- 5: A.C. Bratton y E.K. Marshall, 1939, J. Biol. Chem, 128, 537 pp
- 6: K.F. Grasshoff, 1976, "Methods of seawater Analysis", Verlag Chemie, 126-135 pp

7: J.C. Valderrama, 1981, "The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters", Marine Chemistry, 10, 109-122.

8: J. Castro, 2003; "estudio de la desnitrificación de suelos en un bosque de neblina", 11 pp.

9: Reglamento del Medio Ambiente, ley 1333, Bolivia.

10: APHA, AWWA, WPCF, 1992; "Métodos Normalizados" para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. Diaz Santos, SA; pp4-199