



Aplicación del análisis de componentes principales en la investigación de aguas de pozo para el consumo humano

Application of principal component analysis in well water research for human consumption

Juan Gustavo Rodríguez¹ Eva Giménez Legal²

¹Médico; Universidad Nacional de Asunción - Facultad Politécnica; San Lorenzo, Paraguay; email: avoroan@gmail.com

²Ingeniera Comercial; Investigadora Independiente; San Lorenzo, Paraguay; email: e.gimenez@med.una.py

Recibido: 29/10/2017; Aceptado: 28/11/2017

RESUMEN

DOI:10.18004/pdfce/2076-054x/2017.023(45).038-052

El efecto adverso de los residuos orgánicos sobre la calidad de las aguas subterráneas puede llegar a ser un serio problema para la salud humana. El objetivo de este estudio fue evaluar la contaminación con nitritos, nitratos y bacterias coliformes en muestras de agua subterránea en el área rural del Departamento de Caaguazú mediante la aplicación de análisis de componentes principales. La concentración de nitritos y nitratos se determinó por destilación con arrastre de vapor y el número de bacterias fue determinado mediante de la técnica del número más probable en el caldo de Mc Conkey. Ningún pozo examinado presentó concentraciones de nitratos que excedieron al valor crítico de 10mg % de agua establecido por Organizaciones Internacionales para el consumo humano. Las concentraciones altas de nitratos se registraron en pozos ubicados en áreas que tuvieron un uso agrícola intensivo, con aplicación de fertilizantes a largo plazo. Con respecto a la presencia de bacterias coliformes, 23 de las muestras analizadas presentaron igual o menos de 3 NMP de bacterias coliformes por 100 mL de agua, que es uno de los criterios establecidos para aguas de consumo humano por el ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, sugiriendo un alto riesgo sanitario. Se deberían establecer mejores prácticas de manejo para maximizar la producción de los cultivos, al mismo tiempo que se minimiza el riesgo de contaminación ambiental.

Palabras clave: nitrato, bacterias, contaminación, residuos orgánicos, agua.

ABSTRACT

The adverse effect of organic waste on the quality of groundwater can be a serious problem for human health. The objective of this study was to evaluate the contamination with nitrites, nitrates and coliform bacteria in groundwater samples in the rural area of the Department of Caaguazú. The concentration of nitrites and nitrates was determined by steam distillation and the number of bacteria was determined by the most probable number technique in the McConkey broth. No well examined had nitrate concentrations that exceeded the critical value

of 10mg% of water established by International Organizations for human consumption. High concentrations of nitrates were recorded in wells located in areas that had intensive agricultural use, with long-term fertilizer application. With regard to the presence of coliform bacteria, 23 of the samples analyzed had equal or less than 3 MPN of coliform bacteria per 100 mL of water, which is one of the criteria established for water for human consumption by the Ministry of Public Health and Welfare Social, suggesting a high sanitary risk. Better management practices should be established to maximize crop yields, while minimizing the risk of environmental contamination.

Key words: nitrate, bacterium, pollution, organic waste, water.

INTRODUCCIÓN

El análisis de componentes principales (ACP) es quizás la más antigua técnica de análisis multivariante. Su introducción se debe, como tantas veces en estadística, a Pearson (1901) (Peña, 2002), pero su verdadero desarrollo y aplicabilidad se la debemos a Hotelling (Pérez, 2004). Como ha ocurrido con otras muchas técnicas multivariantes, sus aplicaciones prácticas no se manifestaron hasta que no se desarrollaron los medios informáticos necesarios (Anderson, 1984).

La idea central del ACP es conseguir la simplificación de un conjunto de datos cuantitativos, procedentes de un conjunto de variables interrelacionadas. Este objetivo se alcanza obteniendo a partir de combinaciones lineales de las variables originalmente medidas, un nuevo conjunto de igual número de variables, llamadas componentes principales (CP) en las cuales, permanece la variabilidad presente en los datos originales y que, al ordenarlas decrecientemente por su varianza, nos permiten explicar el fenómeno de estudios con las primeras CP (Dallas, 2000; Jiménez, 1995). Con ello conseguimos: sintetizar la información procedente de un volumen importante de datos recogidos en una investigación en particular, crear indicadores o índices, representados por las CP, utilizar el ACP como paso previo a otras técnicas y eliminar variables que no aportan información.

Los compuestos nitrogenados agregados al suelo, como los fertilizantes, abonos y residuos orgánicos son degradados mediante la acción microbiana produciendo, entre otros compuestos inorgánicos, nitratos y nitritos, los cuales son esenciales para la nutrición vegetal, pero a su vez pueden ser contaminantes del medio ambiente (Spaliding y Exner. 1993; Oweins, Edwards, Shipitalo, 1995). Los nitratos son altamente solubles y no son retenidos por las cargas negativas de los coloides del suelo, de modo que se mueven libremente con el agua de drenaje, a través del perfil, hacia los pozos (Oweins et al., 1995). Altos niveles de nitratos en el suelo pueden conducir a niveles relativamente altos de nitratos en el agua de consumo, lo cual afecta adversamente la salud humana. El consumo de agua con nitratos produce metahemoglobinemia, una enfermedad mortal para los lactantes y más recientemente se ha asociado con el desarrollo del linfoma de no-Hodgkin. De aquí, la importancia de monitorear los niveles de esta sustancia en los pozos o en cualquier otra fuente de suministro de agua para consumo (Ward et al., 1996; Howart et al., 1996; Carpenter et al., 1998; Vitousek et al., 1997; Turco, 1994).

A su vez, los nitratos, también afectan el medio ambiente a través de la eutroficación de estuarios y ecosistemas costeros (Carpenter et al., 1998). El movimiento de compuestos nitrogenados solubles desde el suelo hacia sistemas acuáticos afecta el equilibrio de los

mismos y conduce a una disminución en el nivel de oxígeno del agua con la consecuente muerte de peces u otras especies acuáticas, y pérdida de la biodiversidad (Vitousek et al., 1997). Los ecosistemas tienden a ser fuente de nitratos si son intensamente fertilizados o muy disturbados. Existen datos que en la actualidad se duplicaron las tasas de ingresos de nitrógeno en los sistemas terrestres y que ésta aún continúa aumentando (Ward et al., 1996). Gran parte de este incremento proviene de la aplicación de fertilizantes y del uso de cultivos de leguminosas (Ward et al., 1996; Howard et al., 1996).

Una amplia variedad de microorganismos puede estar presentes en el agua, incluyendo bacterias, protozoos o virus, muchos de los cuales, son patógenos para el ser humano. La calidad sanitaria del agua puede ser evaluada examinando las muestras por la presencia de microorganismos indicadores como son las bacterias coliformes, las cuales se manifiestan con mayor frecuencia que los microorganismos patógenos, y a su vez son más simples y seguras de detectar (Doran y Linn, 1979; Thelin y Gifford, 1983). Este grupo es definido como bacterias aeróbicas y facultativas anaeróbicas, Gram negativas, no formadoras de esporas que fermentan la lactosa con formación de gas. El grupo de coliformes incluye una gran variedad de microorganismos, enterobacterias de vida libre y de origen intestinal. Por lo tanto, si se encuentran coliformes en muestras de agua es probable que la misma haya sido contaminada con materia fecal que puede provenir de pozos no encamisados o napas freáticas cercanas a la superficie (Thelin y Gifford, 1983; Jawson, Elliott, Saxton y Fortier 1982).

Las estimaciones de coliformes totales muestran una posible contaminación fecal, como así detectan la presencia de muchos organismos de limitada importancia sanitaria (American Public Health Association, American Water Works Association & Water Pollution Control Federation, 1989). El límite establecido por el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social para aguas de consumo humano es igual o menor de 3 NMP de bacterias coliformes por cada 100 mL de agua.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la contaminación con nitratos y/o bacterias coliformes en las aguas subterráneas mediante la aplicación de análisis de componentes principales, examinando pozos ubicados en una zona rural de la ciudad de Coronel Oviedo del 5to Departamento de Caaguazú, Paraguay.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio, se realizó un estudio observacional, analítico transversal, con muestreo no probabilístico de casos consecutivos, de 60 pozos de agua destinados al consumo humano del 5to Departamento de Caaguazú, entre los meses de junio y julio de 2011. Para la totalidad de las muestras de agua obtenidas se analizó la concentración de coliformes totales (CT) a través de cultivos; nitratos, nitritos por medio de la prueba de ácido sulfúrico y se evaluó también in situ la conductividad eléctrica, temperatura, osmolaridad, concentración de iones Hidrógeno (pH) y salinidad a través de tiras de reacción. Asimismo, se analizó el caudal mediante el bombardeo de canillas dado por el diámetro del caño y la profundidad del pozo dada por la compañía constructora.

Previo a la extracción de las muestras, los pozos fueron bombeados por varios minutos con el propósito de eliminar el agua que podría estar estancada.

Análisis químico: Las muestras de agua para el análisis químico se recogieron en botellas de plástico (1L), y se mantuvieron a 4°C hasta su procesamiento. La concentración de nitratos y

de nitritos, se determinó mediante el método de microdestilación por arrastre con vapor y posterior titulación con 0,005N de ácido sulfúrico.

Análisis bacteriológico: Para el análisis bacteriológico, las muestras fueron colectadas en frascos de vidrio estériles de un volumen de 250 mL. Se mantuvieron refrigeradas a 4-6 °C, para ser transportadas al laboratorio antes de cumplidas las 24 h de su recolección.

Para realizar el recuento de bacterias coliformes, se utilizó la técnica del NMP por cada 100 mL de agua. Para ello, la muestra de agua se inoculó en tubos que contenían caldo Mc Conkey (MC). Se sembró por triplicado 10 mL de la muestra problema en MC doble concentración, y 1 y 0,1 mL en MC simple concentración. Se incubó durante 48 hs a 35°C. De esta forma se determina el NMP de bacterias coliformes por cada 100 mL de agua.

Análisis estadístico: la matriz de datos obtenida, procedente de medir las variables citadas, ha sido tratada mediante la técnica multivariante descriptiva de análisis de componentes principales (ACP).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Analizando los datos obtenidos, notamos que existe una gran variabilidad entre ellas, teniendo mayor rango y por lo tanto mayor dispersión los coliformes (media de 25,67 con el mayor coeficiente de variación de la serie), la profundidad y la osmolaridad, con medias de 135,66 y 261,07 y con un coeficiente de variación de 34% para la primera variable y de 7% para la segunda.

Menor dispersión presenta los valores de nitritos (media de 0,016), la salinidad (media 0,86), pH (media de 7,67) y nitratos (media de 0,94) y con coeficientes de variación de 62,5%, 9,3%, 3,12% y 64,8% respectivamente.

Las variables caudal (media de 8,87), temperatura (media de 26,29) y conductividad (media de 12,85) presentaron coeficientes de variación de 53% para la primera variable, 7,4% para la segunda y de 9% para la tercera. Los datos descriptivos se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Presentación de estadísticos descriptivo (n=60).

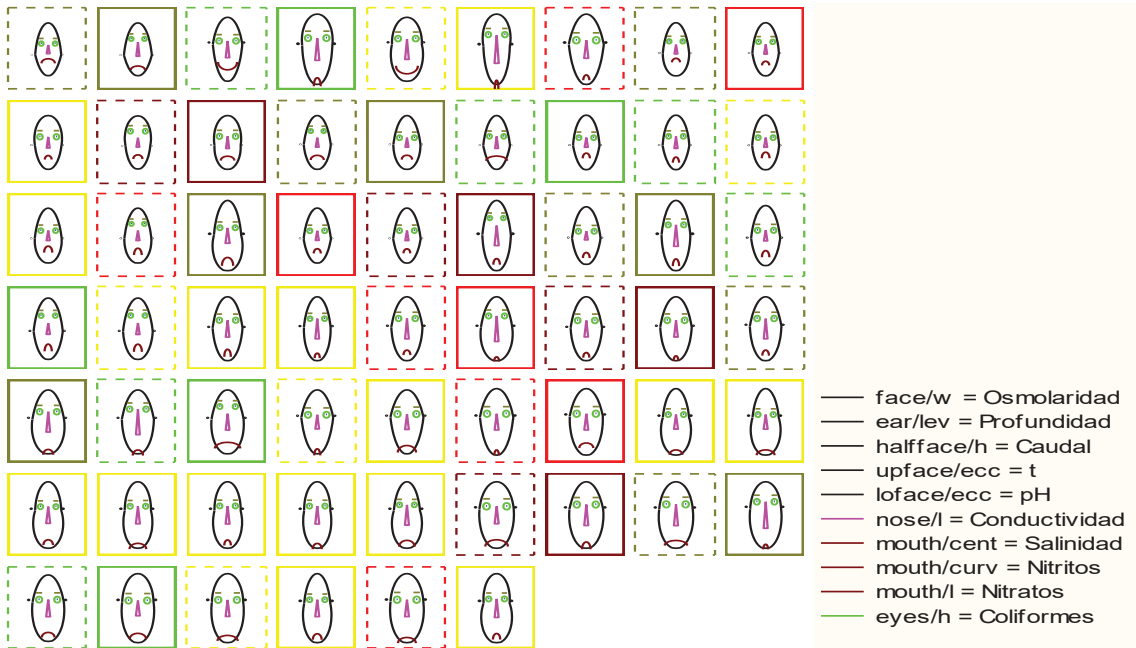
	Min.	Máx.	Media	Desv. Tip	Q1	Q2	Q3
Osmolaridad	232,11	301	261,07	18,58	243,6	256	277
Profundidad	50	190	135,66	46,006	82,5	180	180
Caudal	1,2	15	8,87	4,70	2,92	10	12
Temperatura	25	31	26,29	1,95	25	28	28
pH	7,3	8	7,67	0,24	7,47	7,898	7,89
Conductividad	11,02	15,64	12,85	1,15	11,62	13,43	13,43
Salinidad	0,7	0,975	0,86	0,08	0,78	0,87	0,94
Nitratos	0,3	4	0,94	0,61	0,67	0,9	1,05
Nitritos	0,0	0,05	0,016	0,01	0,002	0,01	0,03
Coliformes	0	250	25,67	51,76	0	0	10

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

Con el estilo de gráfico icon Plot tipo caritas de Chernoff, observamos que se pueden agrupar a los pozos según las similitudes entre las variables analizadas. Este tipo de gráfico es útil por lo

que agrupa a los pozos según ciertas características que resultan muy útiles para agruparlos (Figura 1).

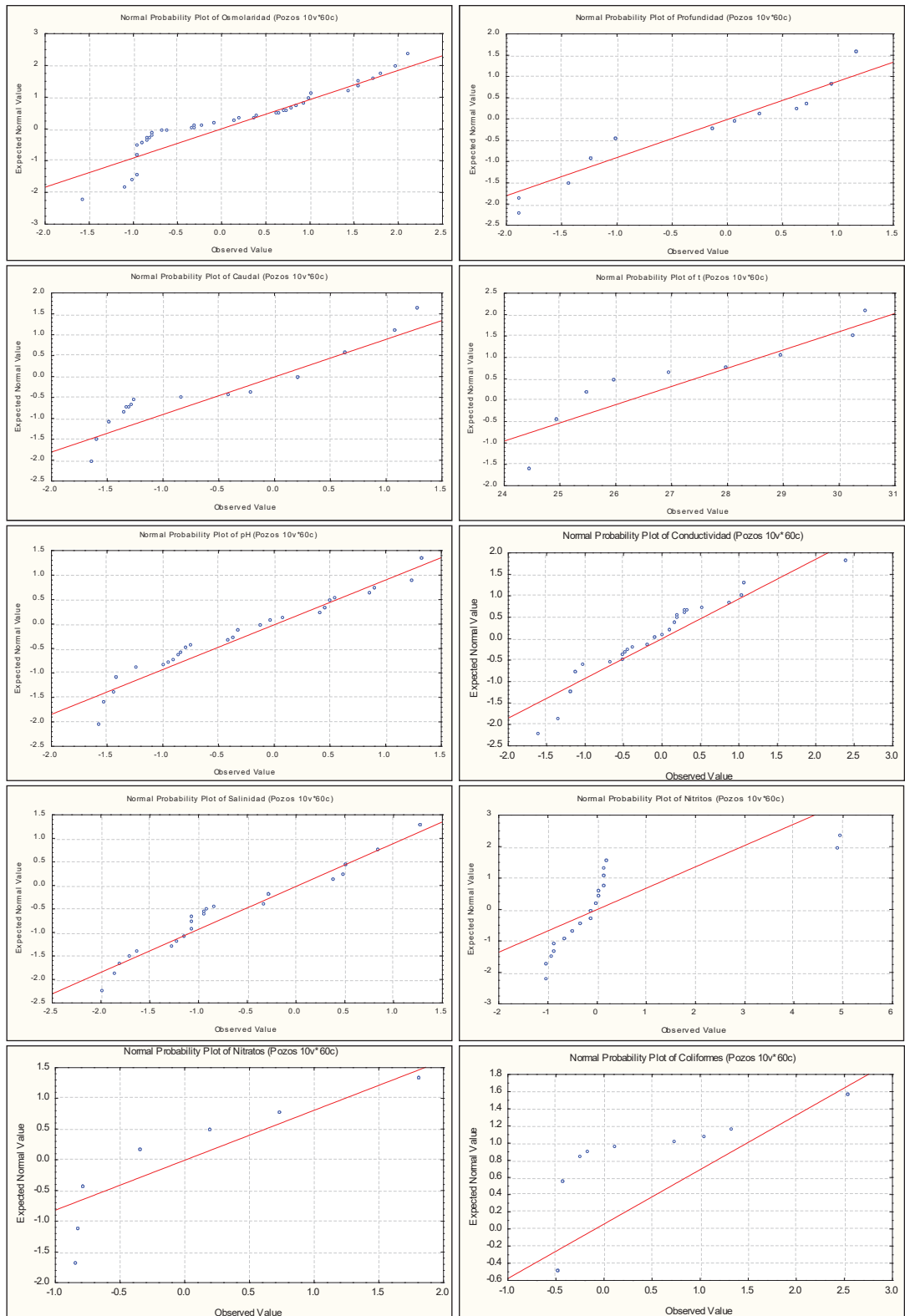
Figura 1. Caritas de Chernoff (n=60)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

Analizando las pruebas de normalidad (Ho: "X" tiene una distribución normal, H1: no Ho), utilizando la prueba de Kolmogorov – Smirnov, como se muestra en la figura 2 notamos que ninguna sigue una distribución normal. Sin embargo, las variables pH y la conductividad se acercan mucho a parecerse a esa distribución.

Figura 2. Pruebas de normalidad.



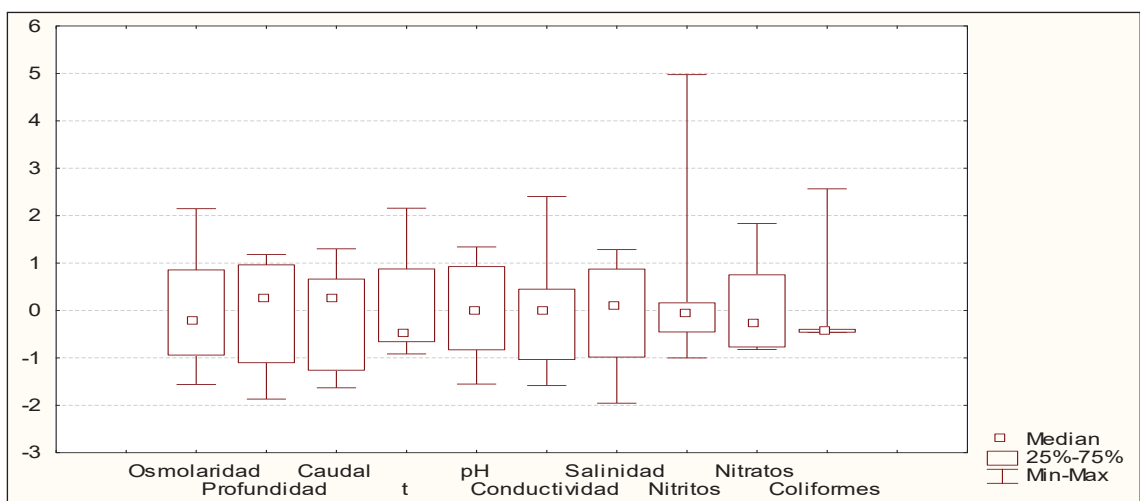
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

El método de análisis elegido para el presente estudio es el de componentes principales, teniendo como criterios las técnicas de análisis multivariantes (Peña, 2002; Pérez, 2004; Anderson, 1984; Uriel, 1995):

1. Las variables a analizar son métricas.
2. Reducción de la dimensión, generado con la técnica utilizada la expresión de la información contenida en el conjunto de datos.
3. Para el análisis de componentes principales parto de la matriz de correlaciones y el método no exige normalidad ni homocedasticidad.

Como están expresadas en diferentes unidades de medida, el primer paso en la base de datos es realizar una estandarización de las variables originales (Figura 3).

Figura 3. Box Plot con variables estandarizadas.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

Se debe obtener en primer lugar, una matriz en la que se ubican las correlaciones entre todas las variables consideradas. Es muy conveniente solicitar una serie de pruebas que nos indicarán si es pertinente, desde el punto de vista estadístico, llevar a cabo el análisis de componentes principales con los datos y muestras disponibles. Entre los principales tenemos (Peña, 2002; Pérez, 2000; Anderson, 1984 y Uriel, 1995):

- a. *El determinante de la matriz de correlaciones*: si dicho determinante es muy bajo, entonces significa que existen variables con correlaciones muy altas y entonces es factible continuar con el método. En el presente estudio el valor del determinante es 0,005, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Matriz de correlaciones (Pozos).

Correlaciones (Pozos)										
	Osmolaridad	Profundidad	Caudal	t	pH	Conductividad	Salinidad	Nitritos	Nitratos	Coliformes
Osmolaridad	1.000000	0.507068	0.477796	-0.017068	-0.101997	0.387188	0.464849	0.080168	0.271660	-0.182061
Profundidad	0.507068	1.000000	0.887163	0.304268	0.299441	0.590882	0.842178	0.225531	0.400429	-0.412058
Caudal	0.477796	0.887163	1.000000	0.184041	0.180642	0.607866	0.785509	0.029311	0.197335	-0.289629
t	-0.017068	0.304268	0.184041	1.000000	0.214760	0.235463	0.235600	0.197289	0.261509	-0.138233
pH	-0.101997	0.299441	0.180642	0.214760	1.000000	0.127526	0.192157	0.038104	0.197933	-0.019652
Conductividad	0.387188	0.590882	0.607866	0.235463	0.127526	1.000000	0.686976	0.150971	0.109599	-0.284042
Salinidad	0.464849	0.842178	0.785509	0.235600	0.192157	0.686976	1.000000	0.095038	0.312053	-0.386890
Nitritos	0.080168	0.225531	0.029311	0.197289	0.038104	0.150971	0.095038	1.000000	0.378064	-0.135802
Nitratos	0.271660	0.400429	0.197335	0.261509	0.197933	0.109599	0.312053	0.378064	1.000000	-0.080286
Coliformes	-0.182061	-0.412058	-0.289629	-0.138233	-0.019652	-0.284042	-0.386890	-0.135802	-0.080286	1.000000

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

b. *El test de Esfericidad de Bartlett*: Se utiliza para probar la Ho que afirma que las variables no están correlacionadas en la población, es decir, comprueba si la matriz de correlaciones es una matriz identidad. Se puede dar como válidos aquellos resultados que nos presenten un valor elevado del test y cuya fiabilidad sea menor a 0,05. En este caso se rechaza la Ho y se continúa con el análisis (Peña, 2002; Pérez, 2000; Anderson, 1984). En la presente serie el “p valor” encontrado fue de 0,000.

c. *El índice de Kaiser Meyer Olkin* (Tabla 3): Mide la adecuación de la muestra. Indica que tan apropiado es aplicar el análisis de componentes principales. En el presente estudio se obtuvo un valor de 72,4% que es un valor bueno (Peña, 2002; Pérez, 2000; Anderson, 1984).

Tabla 3. KMO y Prueba de Barlett.

KMO y Prueba de Barlett		
Medida de adecuación muestral de Kaiser Meyer Olkin		0,724
	Chi cuadrado aproximado	291,262
Prueba de esfericidad de Barlett	Grados de libertad	45
	Significancia	0,000

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

Extracción de los componentes principales y necesarios que representan a los datos originales: Analizando la varianza total explicada, encontramos que el primer componente explica el 41,18% de la varianza, el segundo componente 14,46% y el tercero 11,19% llegando a obtener con estos tres primeros componentes el 66,84% de la varianza acumulada (Tabla 4).

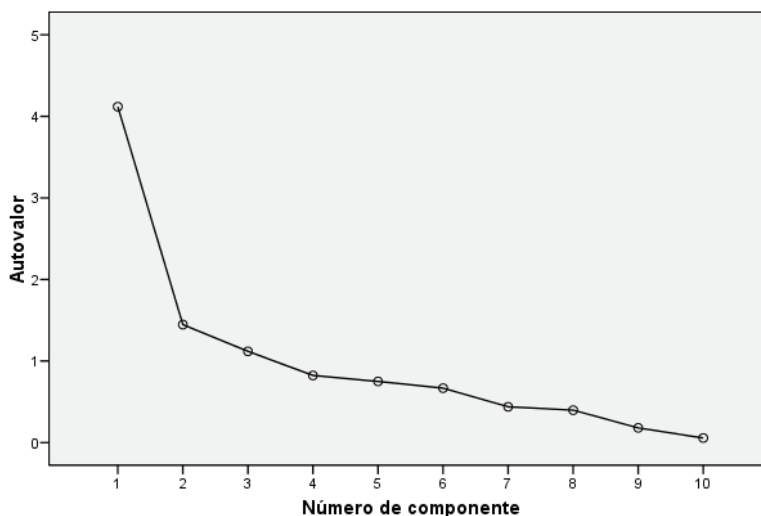
Tabla 4. Varianza Acumulada.

Componente	Autovalores Iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% Varianza	% Acumulado	Total	% Varianza	% Acumulado
1	4,119	41,186	41,186	4,119	41,186	41,186
2	1,447	14,466	55,652	1,447	14,466	55,652
3	1,119	11,192	66,844	1,119	11,192	66,844
4	0,823	8,233	75,077			
5	0,750	7,500	82,578			
6	0,668	6,680	89,257			
7	0,439	4,392	93,649			
8	0,398	3,980	97,629			
9	0,180	1,801	99,430			
10	0,057	0,570	100			

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

El mismo criterio de la obtención de tres componentes principales se vería explicado en el Gráfico de sedimentación, según el cual, a partir del agregado del cuarto componente principal, la distribución se va aplanando (Figura 4).

Figura 4. Gráfico de sedimentación.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

De acuerdo a la Tabla 5, las variables más correlacionadas en forma positiva con la primera componente son: profundidad, salinidad, caudal, conductividad y osmolaridad. De manera negativa está relacionada la presencia de bacterias coliformes.

Las variables más correlacionadas con la segunda componente de manera positiva son nitratos, nitritos, temperatura y pH. De manera negativa la osmolaridad y el caudal.

Con la tercera componente, las variables más correlacionadas en forma positiva son nitratos, osmolaridad y nitritos. De manera negativa el pH y la temperatura.

Vemos que, con los valores de nitrato, nitrito, temperatura y pH en la segunda y tercera componente, la diferencia no es tan neta para tomar una determinación sobre el peso de las

variables en las componentes. Sucede lo mismo con la osmolaridad en la primera y tercera componentes, razón por la cual hay que rotar para tomar esa conclusión.

Tabla 5. Correlaciones positivas y negativas.

Variables	Componente		
	1	2	3
Profundidad	0,947	0,015	- 0,053
Salinidad	0,904	- 0,134	- 0,078
Caudal	0,870	- 0,229	- 0,126
Conductividad	0,738	- 0,144	- 0,081
Osmolaridad	0,593	- 0,291	0,462
Coliformes	- 0,550	0,240	- 0,004
Nitratos	0,241	0,615	0,506
Nitritos	0,441	0,582	0,355
Temperatura	0,355	0,545	- 0,259
pH	0,265	0,448	- 0,652

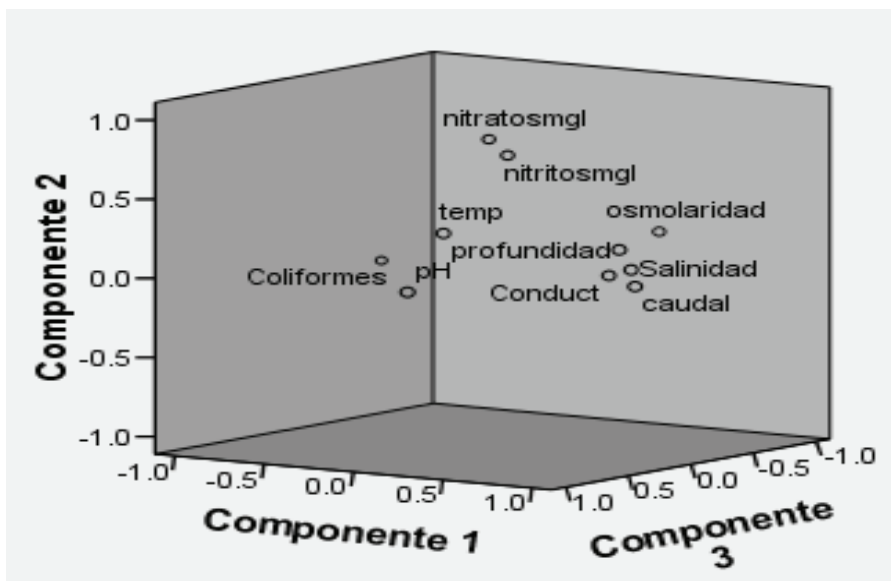
Método de extracción: Análisis de Componentes Principales

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

Se han rotado, en forma ortogonal (varimax), las componentes para una mejor explicación de las variables en las componentes principales (Figura 5):

Notamos que están correlacionados con el primer componente el caudal, salinidad, profundidad, conductividad, osmolaridad y de manera negativa los coliformes.

Figura 5. Gráfico de componentes en espacio rotado.



Con el segundo componente están correlacionadas fuertemente los nitratos y nitritos, y con la tercera componente fuertemente el pH y la temperatura (Tabla 6).

Tabla 6. Matriz de Componentes Rotados.

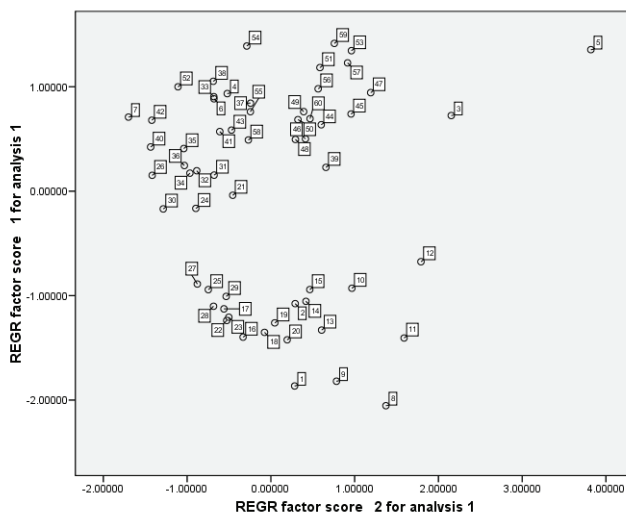
Variables	Matriz de Componentes Rotados		
	1	2	3
Caudal	0,898	0,011	0,141
Salinidad	0,893	0,120	0,167
Profundidad	0,880	0,256	0,244
Conductividad	0,743	0,063	0,129
Osmolaridad	0,646	0,253	- 0,411
Coliformes	- 0,599	0,009	0,033
Nitratos	- 0,008	0,832	0,017
Nitritos	0,194	0,772	0,157
pH	0,104	- 0,005	0,827
Temperatura	0,144	0,337	0,596

Método de extracción: Análisis de Componentes Principales
Método de Rotación: Normalización Varimax con Kaiser

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

En la figura 6, vemos que con las nuevas coordenadas, asociando la primera y la segunda componente principal, podemos formar dos grupos bien definidos, uno de ellos integra los pozos número 2, 8, 10 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 27, 28 y 29 que tienen como características una profundidad media de 55 metros, presencia de nitritos y nitratos de 0,010 y 0,9 respectivamente y un pH de 7,47. El otro grupo está compuesto por los otros pozos, los cuales no tienen estas características.

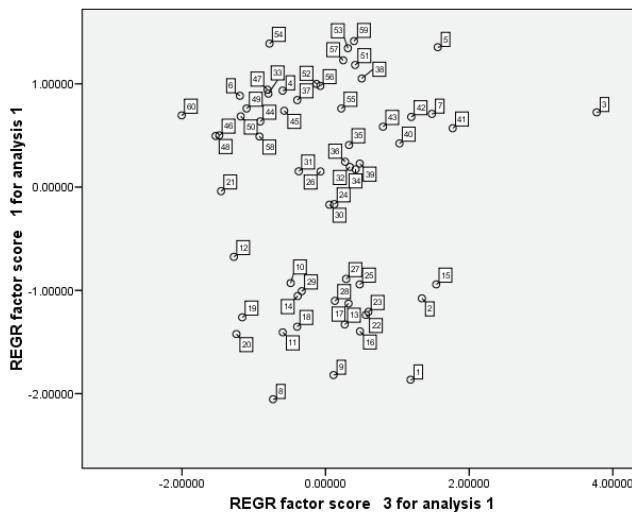
Figura 6. Dispersión de las componentes.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

Sucede lo mismo al integrar los componentes 1 y 3, pero esta vez los grupos están formados por los siguientes pozos: 2, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 27, 29 que tienen como características principales la poca colonización bacteriana por bacterias coliformes y niveles muy bajos de nitritos y nitratos (Figura 7).

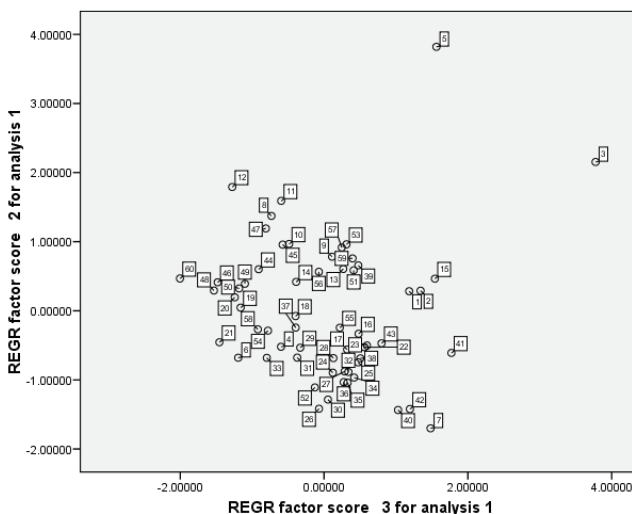
Figura 7. Dispersión de las componentes.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

Como se muestra en la figura 8, integrando la segunda con la tercera componente, no podemos agrupar a los pozos según ciertas características, excepto por dos pozos: el 3 y el 5, que comparten las características de muy alta concentración de nitratos (en promedio 4,01) y gran profundidad (180 metros).

Figura 8. Dispersión de las componentes.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados.

Las concentraciones de nitratos registradas en un momento dado dependen del balance entre los ingresos y salidas de nitrógeno del sistema, y de la sincronización entre ellos. A través del proceso de mineralización de la materia orgánica del suelo y descomposición de los residuos vegetales, pueden producirse elevadas cantidades de nitratos durante el ciclo de crecimiento de ciertos cultivos, pero su contribución a la contaminación de pozos dependerá, entre otras

causas, de si la velocidad de producción de nitratos coincidió con la absorción por parte del cultivo. La excreta animal que retorna al suelo, principalmente como orina, aporta contenidos promedio diarios de nitrógeno de 82 g/ha en verano y hasta 122 g/ha en invierno (Bremner y Keeney, 1966; Quevedo, 1967; Simith y Cassel. 1991), que puede perderse a la atmósfera en forma gaseosa o moverse como nitratos hacia las capas subterráneas (Owiens et al., 2000). La incorporación de fertilizantes nitrogenados en cantidades que excedan las necesidades de los cultivos, también puede ser una causa del lavado de nitratos y de la alta concentración de los mismos en los pozos. El lavado potencial de nitratos, además de depender de la dinámica de las transformaciones del nitrógeno en el suelo, es regulado por la textura del suelo, y por la cantidad y frecuencia de las precipitaciones y riego (Vitousek et al., 1997; Costa et al., 2002; Groffman, 2000). Existe un mayor potencial de contaminación con nitratos o nitritos de pozos cuando los ingresos de agua (por riego o precipitaciones) y de nitratos son altos, y la remoción de agua y nitratos desde la solución del suelo por evaporación o absorción por el cultivo es baja (Groffman, 2000; Tate y Terry, 1980; Thornthwalte, 1948).

En este estudio, los pozos con elevada concentración de nitratos se localizaron en las áreas más altas de la zona donde se realizó una agricultura intensiva que incluyó a la soja, trigo y maíz. En cambio, los pozos con valores menores a 1mg% se encontraron en zonas que tuvieron una agricultura menos intensiva o pasturas implantadas y/o naturales, donde el ingreso de nitrógeno por fertilización fue menor. Esta variabilidad también puede verse afectada por los periodos de sequía y/o lluvias acumuladas en la región (Spaliding y Exner, 1993; Ward, 1996), pudiendo en una temporada con precipitaciones intensas, aumentar los valores de nitratos en los pozos si coinciden coincide con el ingreso de los mismos a manera de fertilizantes (Howart et al., 1996; Vitousek et al., 1997).

Es de destacar, que la concentración de nitratos varía temporal y espacialmente, de modo que debe analizarse, cuidadosamente la información de contaminación con nitratos cuando se dispone de datos de un año o estación del año (Owens et al., 2000; Groffman, 2000).

Del total de muestras analizadas bacteriológicamente, en 37 muestras el NMP de coliformes fue igual o inferior al límite permitido para consumo humano de 3 NPM bacterias coliformes por cada 100 cc de agua, establecido por el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. Estas muestras correspondieron a pozos bien construidos (perforación profunda), y no existían pozos ciegos o corrales de animales en las proximidades. En las 23 muestras de agua restantes el número de bacterias coliformes superó el criterio establecido por el Ministerio, alcanzando valores desde 10 hasta 250 NMP de bacterias coliformes por 100 cc de agua. Estas muestras, especialmente las que presentaron una elevada población de coliformes, sugieren una posible contaminación fecal. Los suelos o aguas que reciben ingresos de efluentes cloacales o material fecal vacuno muestran una relación directa entre coliformes totales y coliformes fecales (Groffman, 2000).

Las causas de esta contaminación pueden ser atribuidas a diversos factores (Tate y Terry, 1980; Thornthwalte, 1948). La presencia de pozos ciegos y/o cámaras sépticas en las cercanías de donde se realizó la toma de las muestras creó condiciones para que la población de coliformes fuera superior a 10 NMP por cada 100 cc de agua. Cuando prevalecieron adecuadas condiciones higiénicas en los molinos, la cantidad de coliformes fue menor a 10 NMP por cada 100 de agua.

No se observó ninguna asociación entre los pozos contaminados con bacterias coliformes y aquellos con nitratos, indicando que el origen de estas contaminaciones obedece a procesos distintos.

CONCLUSIONES

En todos los pozos de agua para el consumo humano se documentó la presencia de nitritos y de nitratos, aunque en niveles no tóxicos, ligadas a una intensa actividad agrícola. Sería deseable la toma de conciencia para realizar un uso más eficiente del manejo de los agroquímicos para conducir a una agricultura sustentable.

El 38% de las muestras de agua estuvieron contaminadas con bacterias del grupo coliformes, representando un alto riesgo sanitario. Por lo tanto, se recomienda mejorar las perforaciones existentes, limpiar los pozos negros o construir cámaras sépticas y ubicar el lugar de extracción del agua para consumo lejos de las aguadas o corrales de encierre de la hacienda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association & Water Pollution Control Federation (1989). Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 17 th ed., Washington, D.C.USA. Parte 9000.
- Anderson TW (1984). An introduction to multivariate Statical Analysis, 2da ed. New York. John Wiley&Sons.80p.
- Bremner, J. M., & Keeney, D. R. (1966). Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Science Society of America Journal*, 30(5), 577-582.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*, 8(3), 559-568.
- Costa, J. L., Massone, H., Martinez, D., Suero, E. E., Vidal, C. M., & Bedmar, F. (2002). Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone. *Agricultural water management*, 57(1), 33-47.
- Doran, J. W.; D. M. Linn. (1979). Bacteriological quality of runoff water from pastureland. *Appl. Environ. Microbiol.* 37; 958-991.
- Groffman, P. (2000). Nitrogen in the environment. En: M. Surnner (ed.) Hancibook of Soil Science. Boca Ratón, Floridaa, pp C-1 90: C-200.
- Howart,-R. W.; G. Billen; D. Swaney; A. et al (1996). Regional nitrogen bucigets and riverine N and P fluxes for the drainages to the North Atlantic Cícean: Natural and human influences. *Biogeochem.* 35:75-139.
- Jawson, M. D., Elliott, L. F., Saxton, K. E., & Fortier, D. H. (1982). The effect of cattle grazing on indicator bacteria in runoff from a Pacific Northwest watershed. *Journal of Environmental Quality*, 11(4), 621-627.

- Dallas J. (2000). Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. México: Internacional Thompson Editores.p. 93-146.
- Owens, L. B., Edwards, W. M., & Shipitalo, M. J. (1995). Nitrate leaching through lysimeters in a corn-soybean rotation. *Soil Science Society of America Journal*, 59(3), 902-907.
- Owens, L. B., Malone, R. W., Shipitalo, M. J., Edwards, W. M., & Bonta, J. V. (2000). Lysimeter study of nitrate leaching from a corn-soybean rotation. *Journal of Environmental Quality*, 29(2), 467-474.
- Peña D (2002). Análisis de datos multivariantes. Primera edición. Madrid: Mac Graw Hill. p. 133-170.
- Pérez López, C. (2004). Técnicas de análisis multivariante de datos. *Aplicaciones con SPSS, Madrid, Universidad Complutense de Madrid*. Pearson Prentice Hall.p. 121-154
- Quevedo, D. A. (1967). Control de Microbiología de los alimentos. Métodos recomendados U.N.M, de San Marcos, Lima Perú 1967. Serie Monog. del Cleiba.
- Smith, S. J., & Cassel, D. K. (1991). Estimating nitrate leaching in soil materials. *Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability*, (managingnitroge), 165-188.
- Spalding, R. F., & Exner, M. E. (1993). Occurrence of nitrate in groundwater—a review. *Journal of environmental quality*, 22(3), 392-402.
- Tate, R. L., & Terry, R. E. (1980). Effect of sewage effluent on microbial activities and coliform populations of Pahokee Muck. *Journal of Environmental Quality*, 9(4), 673-677.
- Thelin, R.; G. F. Gifford. (1983). Fecal coliform release patterns from fecal materials of cattie. J. Environ. Qual 12:57-63.
- Thorntwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.
- Turco, RF (1994). Coliform bacteria. En: R. W. Weaver et al. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2 Microbiological and Biochemical Properties*. Madison, WI, Soil Sci. Soc. Am. Inc., pp. 145-158
- Uriel Jiménez E. (1995). Análisis de datos. series temporales y Análisis multivariantes. Madrid Editorial AC.p. 309-342.
- Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W., & Tilman, D. G. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological applications*, 7(3), 737-750.
- Ward, M. H., Mark, S. D., Cantor, K. P., Weisenburger, D. D., Correa-Villasenor, A., & Zahm, S. H. (1996). Drinking water nitrate and the risk of non-Hodgkin's lymphoma. *Epidemiology*, 7(5), 465-471.