

Calidad del agua de riego y parámetros microbiológicos y químicos del suelo de la zona agrícola de Barbacoas, estado Aragua

José Hernández¹, Yusmary Espinoza², Lesly Malpica² y Manuel de Jesús²

¹Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101, Aragua. Venezuela.

²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA-CENIAP). Maracay 2101, Aragua. Venezuela.

RESUMEN

Se estudiaron algunos parámetros microbiológicos y químicos del agua de riego y suelos de la zona agrícola de Barbacoas, estado Aragua, con el fin de evaluar la calidad del agua de riego usada con fines agrícolas. Para su evaluación se determinaron coliformes totales (CT) y fecales (CF) y se realizaron cuantificaciones de protozoarios, así como la presencia de nitrato y amonio. En todas las muestras de agua y suelos las concentraciones de CT y CF oscilaron entre $3 \times 10^3 - 4 \times 10^9$ NMP/g o mL. Con respecto a los protozoarios, la concentración en agua estuvo en el orden de 10^6 protozoarios/mL oscilaron entre 10^5 y 10^8 protozoarios/g suelo. Todos estos valores sobrepasaron los límites establecidos por la norma oficial para la calidad de agua en Venezuela, la Organización Mundial de Salud y la USEPA. Por otra parte, se detectó baja concentración de nitrato ($< 1,2$ mg N/L) en 100% de las aguas de pozo y alta concentración de amonio (> 4 mg N/L). En el suelo se encontró una mayor concentración de N-NO₃ comparada al agua, especialmente en la parcela de tomate, donde los niveles alcanzaron valores mayores de 100 mg N/kg suelo. Se concluye que el 100% de las muestras de agua no son aptas para ser empleadas con fines de irrigación. No se encontró una relación directa entre los parámetros evaluados en el agua de riego y los suelos de las diferentes parcelas evaluadas.

Palabras clave: aguas subterráneas, irrigación, pozos profundos, coliformes totales, coliformes fecales, protozoarios, nitrato, amonio.

Irrigation water quality and soil microbiological and chemical parameters from the agricultural area of Barbacoas, Aragua state

ABSTRACT

To assess the quality of the irrigation water used in the agriculture area of Barbacoas, Aragua State, some microbiological and chemical parameters were evaluated. For water and soil evaluation, total soil (CT) and fecal coliforms (CF), protozoa were evaluated, and the presence of nitrates and ammonium as well. In all water and soil samples, soil total (CT) as well as In CT and CF concentration ranged between $3 \times 10^3 - 4 \times 10^9$ NMP/g or mL. Moreover, protozoan concentration in water was 10^6 protozoa/mL water, and in the soil ranged between 10^5 and 10^8 protozoa/ g soil. All these values exceed the limits established in the official norms of water quality of Venezuela, World Health Organization, and USEPA. By the other hand, low concentration of nitrate ($< 1,2$ mg N/L) was detected in all water samples and high

*Autor de correspondencia:

E-mail: orihuen@yahoo.com

concentration of ammonium (>4 mg N/L). In the soil, higher concentration of N-NO₃ compared to the water were found especially in the tomato plots, where the levels reached values higher than 100 mg N/kg soil. A direct relationship between the parameters evaluated in irrigation water and soil in the different plots was not found.

Key words: irrigation, groundwater, deep holes, total coliforms, fecal coliforms, protozoas, nitrate, ammonium.

INTRODUCCION

El agua es un factor clave en todas las actividades realizadas por el hombre, entre ellas la agricultura. En la medida que la sociedad demande cada vez mayores cantidades de agua de buena calidad, la utilización del agua subterránea será de gran importancia para satisfacer esta demanda y para responder a las necesidades del desarrollo municipal, industrial y agrícola (Ortiz y Martínez, 2000; Chaparro, 2004).

Una medida para satisfacer su demanda para riego en la agricultura es la extracción de agua subterránea mediante pozos profundos. Estas son percibidas como menos vulnerables a la contaminación que el agua superficial, debido a la capacidad de filtración natural del suelo de la subsuperficie y de la distancia que los microorganismos tendrían que recorrer para alcanzar la fuente subterránea. Sin embargo, los pozos en áreas rurales son susceptibles a la contaminación debido a su poca profundidad, escaso mantenimiento y pueden estar cerca de áreas con cargas de heces humanas o de animales (Valenzuela *et al.*, 2009). Según Ongley (1997) la contaminación del agua subterránea puede ocurrir en forma natural, pero la contaminación aguda es usualmente el resultado de las actividades humanas. Los contaminantes potenciales que pueden existir en dichos pozos son los residuos animales, las sales en el agua de irrigación y toda la gama de diferentes compuestos químicos, aplicados a los cultivos. Los compuestos de nitrógeno son los nutrientes más importantes desde el punto de vista de contaminación de las aguas subterráneas, son los más usados en agricultura y debido a la movilidad del nitrato (NO₃) es estudiado como un indicador de la degradación de los acuíferos (Ortiz y Martínez, 2000).

Desde el punto de vista microbiológico, la presencia de ciertos grupos de bacterias puede revelar una contaminación reciente por materia fecal o materia orgánica. La carga bacteriológica de cierto tipo de patógeno en el agua puede contaminar los cultivos regados, aumentando con ello el riesgo de salud pública por la ingesta de las verduras, las cuales principalmente se consumen crudas. Cuanto mayor es la concentración

de organismos patógenos en el agua o en los alimentos mayor es la probabilidad de enfermedades en humanos (USEPA, 2004).

La calidad sanitaria del agua está basada en la cantidad de organismos indicadores. Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos, así como su concentración y reacción frente a factores ambientales, pero son más fáciles, rápidos y económicos de identificar (Del Pilar *et al.*, 2005). Los microorganismos más usados como indicadores de calidad sanitaria son los coliformes totales y coliformes fecales (Silva *et al.*, 2004); sin embargo, también se pueden utilizar los protozoarios (Lura *et al.*, 2002).

Algunos protozoos son parásitos patógenos para el hombre, son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa y una forma resistente (Madigan *et al.*, 1997). Muchos de ellos pueden causar desordenes gástricos, principalmente diarreas en la población humana. Los principales mecanismos en la transmisión son la ingesta de agua contaminada, el contacto y la re contaminación por una mala higiene doméstica (Solarte *et al.*, 2006).

En Barbacoas, municipio Ruíz Pineda del estado Aragua, se están utilizando aguas para riego provenientes de pozos profundos. Estos pozos profundos se cargan en gran parte con el agua proveniente de los canales portadores de dos lagunas de oxidación existentes en la zona. De acuerdo a Gil (2009), estas aguas están contaminadas con bacterias patógenas, protozoarios parásitos y huevos de helmintos. Por lo tanto, existe una probabilidad alta de contaminación de estos pozos ubicados dentro de la zona agrícola, los cuales como se indicó, son utilizados para riego de los cultivos. Las hortalizas producidas en esta zona son comercializadas en toda la región central del país en diferentes establecimientos y mercados populares, convirtiéndose estos productos en un riesgo potencial para la salud pública debido a su contaminación. Por lo tanto, es muy importante la información sobre la carga microbiológica y el perfil químico que puedan poseer estas aguas y suelos.

El objetivo de este trabajo fue determinar la relación

entre la calidad de agua de riego y la contaminación microbiológica y química del suelo, mediante la determinación de microorganismos indicadores como coliformes totales, coliformes fecales y protozoarios, así como el contenido de nitrato y amonio en el suelo y agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de muestreo

El sitio experimental se ubicó en la zona agrícola del Asentamiento Campesino Ruiz Pineda, Barbacoas, Municipio Ruiz Pineda, estado Aragua, a $10^{\circ} 33' - 9^{\circ} 15' N$ y $66^{\circ} 30' - 67^{\circ} 53' O$. El clima es típico tropical de sabana y la temperatura promedio oscila entre 25 y $26^{\circ}C$, con precipitaciones anuales de hasta 1.530 mm. El suelo tiene una textura franco limosa.

El muestreo fue realizado en 6 parcelas con distintos tipos de cultivo (ají dulce, maíz, lechosa, tomate, pimentón y barbecho como control) con sus respectivos pozos de agua (Figura 1). Se tomaron 4 muestras de suelo utilizando un barreno marca Okland de $2,5$ cm de diámetro hasta 10 cm de profundidad en cada una de las parcelas. Una vez colectadas las muestras se colocaron en bolsas plásticas y se trasladaron al laboratorio refrigeradas y se almacenaron a $4^{\circ}C$. Los diferentes análisis se realizaron dentro de las primeras 24 a 72 h.

La toma de muestras de agua se realizó en los pozos situados dentro de las parcelas muestreadas, cada

uno de ellos con una profundidad de aproximadamente 10 m. En general, el agua presente en cada pozo estaba a más de 4 m de profundidad. Además, se muestreó un pequeño río formado por el desagüe de las aguas servidas del pueblo de Barbacoas, las cuales se utilizaron como controles. Para el muestreo se utilizó un toma muestra de fabricación casera consistiendo de un envase plástico esterilizado de aproximadamente 500 mL, atado a una cuerda flexible. Al igual que los suelos, las muestras fueron trasladadas al laboratorio a una temperatura de aproximadamente $10^{\circ}C$ y almacenadas a $4^{\circ}C$. Las muestras fueron analizadas en las primeras 72 h después de su toma. El contenido de agua o humedad del suelo se determinó gravimétricamente en estufa a $80^{\circ}C$ durante 48 h. La humedad presente se cuantificó por diferencia de masas.

Análisis microbiológico

Cuantificación de coliformes totales y fecales

Los coliformes totales se cuantificaron utilizando la técnica del número más probable (NMP) (Woomer, 1994), siguiendo la metodología propuesta por Turco (1994). Las muestras (1 g de suelo y 1 mL de agua) fueron diluidas en 9 mL de solución salina siguiendo una dilución seriada hasta 10^{-6} , posteriormente se sembraron 3 tubos por cada muestra en caldo lauril triptosa, donde cada uno de los tubos contenía un tubo Durham invertido. Luego fueron incubados en un baño de agua maría a 35

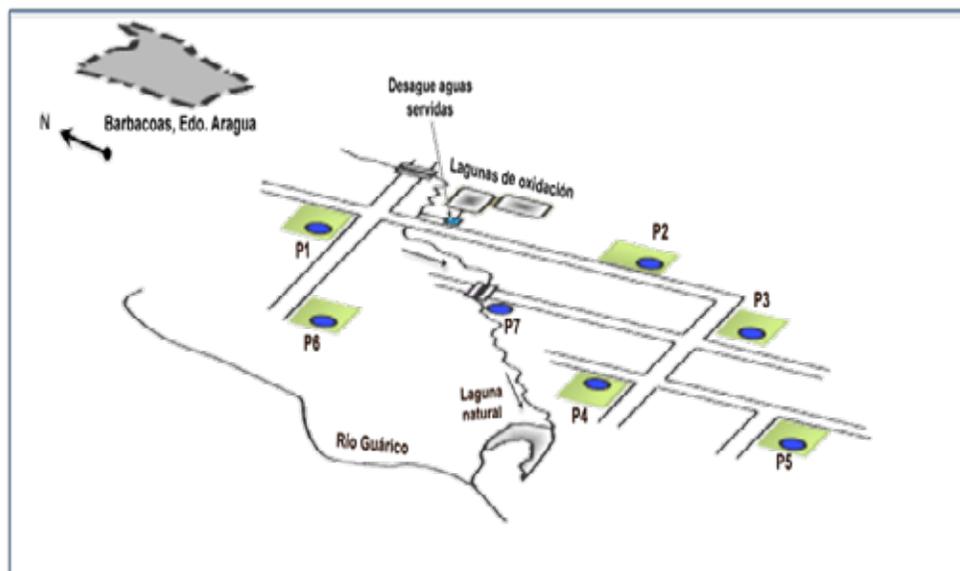


Figura 1. Esquema del asentamiento agropecuario Ruiz Pineda, Barbacoas, estado Aragua. P₁: parcela de ají dulce, P₂: parcela de maíz, P₃: parcela de lechosa, P₄: parcela de tomate, P₅: parcela de pimentón, P₆: parcela de barbecho, P₇: parcela de control (solo agua).

$\pm 1^\circ\text{C}$ por 24 ± 1 h. Se consideraron positivos aquellos tubos con turbidez y con producción de gas en el interior del tubo Durham. Los tubos positivos fueron luego inoculados para la cuantificación de coliformes fecales, para lo que se utilizó un caldo enzimático conteniendo un tubo Durham invertido. Luego de sembrados se incubaron a $45 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 ± 1 h y se consideraron positivos aquellos tubos con presencia de gas en el tubo Durham (Turco, 1994). El número más probable (NMP) fue determinado utilizando un 95% de confianza.

Cuantificación de protozoarios

La cuantificación de protozoarios en agua se realizó usando una cámara de Sedgewick Rafter, siguiendo la metodología sugerida por Dehority (2004). Se filtraron 20 mL de muestra con filtros de membrana de 0,45 mm, luego el papel de filtro se lavó con 5 mL de agua destilada, de los cuales 3 mL se trasladaron a tubos de ensayos de 5 mL donde se le agregó una gota de verde brillante y se dejó coloreando toda la noche. En la lámina de Sedgewick Rafter se colocó 1 mL de muestra y se dejó reposar durante 1 h antes de cuantificar usando un microscopio óptico, que tenía adaptada en el ocular una cuadrícula de 0,5 x 0,5 mm, previamente calibrada. Esto dió un área total de cuadrícula de 0,25 mm². Se contaron 50 cuadrículas dando un área total de 12,5 mm². El área total de la superficie de la cámara fue de 1000 mm², por lo tanto se contó $1/80^{\text{avo}}$ de la cámara ($1000/12,5=80$). Multiplicando el promedio de 50 cuadrículas x 80, se obtuvo el número de protozoarios por mL de dilución. Para calcular el número de protozoarios de la muestra original se corrigió por el factor de dilución (100).

La cuantificación de protozoarios en suelo se realizó a través de una enumeración indirecta, basada en la técnica del número más probable (NMP). Se hizo una serie de diluciones de una suspensión de suelo, las cuales fueron incubadas durante un período de 4 semanas, adicionando bacterias como fuente de alimento para los protozoarios (Clarhom, 1985). Debido a la dificultad de visualizar los tubos positivos, al final de las 4 semanas de incubación se tomaron 5 mL de muestra de cada una de las diluciones, se le agregó una gota de verde brillante y se dejó coloreando toda la noche. En una lámina de Sedgewick Rafter de 0,5 mL se colocó la muestra y usando un microscopio óptico se determinó la presencia de protozoarios, lo que indicaba tubos positivos y la ausencia de protozoarios como tubos negativos. El número más probable (NMP) fue determinado al 95% de confianza.

Análisis químico

Determinación de nitrato, amonio (N-NO_3 , N-NH_4) y pH

El contenido de nitrato en cada muestra se determinó mediante el método de destilación (Faust *et al.*, 1987). Para realizar la extracción del NO_3 a 5 g de suelo se le adicionó una solución de KCl 2 M (relación 1:10) y se agitó por 1 h. Posteriormente se filtró (papel Whatman N° 5), y una alícuota del extracto (20 mL) se destiló con una unidad Tecator, modelo Kjeltac System 1002. Se recogió el destilado en una solución estandarizada de HCl 0,005 Mc. Se adicionó MgO para la destilación del NH_4 y para el NO_3 se utilizó la aleación de Devarda (Al, Zn y Cu) en polvo para reducir los nitratos a amonio. Luego el destilado se valoró con una solución estandarizada de NaOH 0,005 Mc en presencia de un indicador mixto rojo de metilo: azul de metileno. Para las muestras de agua, la destilación se realizó directamente sobre 20 mL, siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

El pH se determinó utilizando un pHmetro (marca Oakton, modelo pH 1000), por medio de una solución de suelo seco y agua destilada (en relación 1:2,5); en las aguas el pH se midió directamente en cada muestra.

Análisis estadístico

El diseño de experimento utilizado fue completamente aleatorizado. Los datos fueron analizados a través del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2005), utilizando Proc Mixed como procedimiento para el análisis de varianza. Para la separación entre medias se utilizó el test de mínima diferencia significativa. Todos los resultados fueron considerados diferentes a un nivel de significancia de $P < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros químicos

La caracterización de las aguas y suelos estudiados se muestra en el Cuadro 1. En cuanto al pH, tanto para agua como para suelo se encontraron en el rango de 8,42 a 6,10, observándose valores mayores en las muestras de agua en comparación con las del suelo. Aunque se considera que el pH del agua de riego no es un criterio usado para evaluar su calidad, debido a la disparidad existente en la capacidad tampón entre el agua y el suelo, es una variable muy importante, la cual determina las concentraciones relativas de las especies de carbonato

Cuadro 1. Parámetros químicos medidos en el agua y el suelo en las diferentes parcelas evaluadas.

Cultivos	pH agua	pH suelo	Humedad del suelo (%)
AjÍ dulce	7,92	7,3	26
Maíz	8,42	7,1	11
Lechosa	8,13	7,2	24
Tomate	8,10	6,9	10
Pimentón	7,97	6,6	20
Barbecho	8,3	6,1	24
Control	7,92	----	----

disueltas, que condicionan la presencia o no de grupos de microorganismos. En este estudio, el pH, tanto en agua como en suelo, parece no ser un parámetro limitativo en el comportamiento microbiano, ya que los valores están alrededor de la neutralidad.

Con respecto a la humedad del suelo (Cuadro 1), los valores oscilaron entre 10 y 26%, observándose los valores más bajos en las parcelas de maíz y tomate.

El contenido de nitrato en las muestras de agua (Figura 2) osciló entre 0,2 mg N/L en la parcela en barbecho y 1,3 mg N/L en la de pimentón. Ninguna de las muestras superó los límites permitidos de contenido de nitrato en agua de riego y de consumo humano. La concentración límite de nitrato para el agua de riego y para consumo humano, fijada por el servicio de salud pública de EUA es de 10 mg N/L (USEPA, 1986). Este nivel crítico es también muy similar al valor de 11,3 mg N/L de la Unión Europea (Smith *et al.*, 1996), mientras que el Código Alimentario Argentino (1969) especifica un valor límite más flexible de 45 mg N/L. El consumo de agua con nitratos ha sido correlacionado con la metahemoglobina, una enfermedad mortal para los lactantes (Spalding y Exner, 1993), y más recientemente se ha asociado con el desarrollo del linfoma de no-Hodgkin (Ward *et al.*, 1996). De aquí la importancia de monitorear los niveles de nitratos en los pozos o en cualquier otra fuente de suministro de agua para riego o consumo humano.

La concentración de N-NH₄ en las aguas de pozo fue mayor a la de nitratos. El 28,6% de las muestras presentó niveles de amonio entre 30 y 32 mg N/L, el 42,9% presentó valores entre 11 y 15 mg N/L y el 28,6% restante menos de 4 mg N/L. La mayor concentración se observó en el control y en la parcela de maíz, seguidas por ajÍ dulce, lechosa y pimentón. El barbecho y el tomate mostraron valores similares. La alta concentración de N-NH₄ observada en el control sugiere que su procedencia

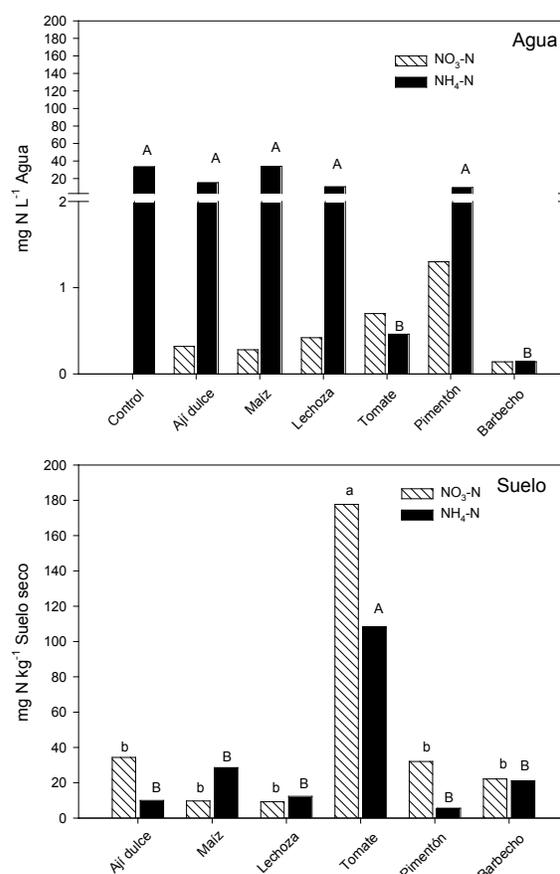


Figura 2. Contenido de N-NO₃ y N-NH₄ en el agua de pozo, control y suelo de parcelas cultivadas con ajÍ dulce, maíz, lechosa, tomate, pimentón y zona bajo barbecho. AaBb: Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican diferencias significativas entre las medias de N-NH₄ y las minúsculas entre las medias de N-NO₃ a P < 0,05.

debe ser del agua servida procedente de la población de Barbaocoas, ya que los desechos líquidos y sólidos que se vierten directa o indirectamente en el agua incrementa los niveles de NH₄. Este vertedero urbano de alguna forma está llegando a los pozos.

En la determinación de nitrato en suelo (Figura 2) se obtuvieron los siguientes resultados: en la muestra de la parcela cultivada con tomate se encontró la mayor concentración de nitrato con un valor de 180 mg N/kg, mientras que en las parcelas restantes el valor no superó los 38 mg N/kg. Este comportamiento se podría asociar a una fertilización nitrogenada. No se encontró relación significativa entre el NO₃-N monitoreado en el agua y el encontrado en el suelo.

Con respecto a la determinación del contenido de

amonio de suelo se obtuvo que la parcela de tomate vuelve a ser la primera en cuanto a cantidad con 110 mg N/kg y las demás con valores no mayores de 30 mg N/kg. Al igual que con el nitrato en suelo, este valor tan alto en la parcela de tomate se podría asociar también a una fertilización nitrogenada.

El N-NH₄ es retenido con facilidad por el suelo y manifiesta una decidida tendencia a la oxidación por bacterias nitrificantes, en primer término a NO₂ y finalmente a NO₃⁻. Por lo tanto, se esperaría un bajo contenido de N-NH₄ en el agua de pozo. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1989) el límite máximo de NH₄ en el agua de consumo humano es de 0,5 mg/L. Otra norma que trata sobre el deterioro en la calidad del agua, por la presencia de N-NH₄ es la holandesa, que adopta un límite máximo de 3 mg/L para el N-NH₄, expresado como nitrógeno. De acuerdo a estas normas, el agua de pozo de todas las parcelas puede ser clasificada como no potable respecto al contenido de N-NH₄.

Parámetros microbiológicos

Coliformes totales y fecales

En general, los valores de coliformes totales (CT) en las aguas de riego oscilaron entre 10⁷ a 10⁹ NMP/100 mL (Cuadro 2). La mayor concentración de CT fue observada en el punto control (puente) con el mayor (P<0,05) valor de 1,1x10¹⁰ NMP/100 mL. Es importante resaltar que esta agua proviene de un río formado por el desagüe de las aguas servidas del pueblo de Barbacoas. En cuanto a los pozos el mayor valor obtenido fue en la parcela de tomate con un valor de 2,4x10⁹ NMP/100 mL. Este alto valor observado en la parcela de tomate quizás esté relacionado a que este pozo está muy cerca de la laguna natural, la cual es alimentada con el agua de desagüe de las aguas servidas. La evaluación de esta laguna señalada por Gil (2009) demuestra su alta contaminación por CT. Las aguas de

los pozos de las parcelas de ají dulce, maíz, pimentón y barbecho mostraron valores similares aproximados a 1 x 10⁸ NMP/100 mL. Por otra parte, el agua de riego de la parcela de lechosa presentó el menor valor (1,5x10⁷ NMP/100 mL) de CT (Cuadro 2). Valores similares a los encontrados en este estudio también fueron reportados por Valbuena *et al.* (2002) quienes evaluaron las lagunas de estabilización de la Universidad del Zulia, Maracaibo, estado Zulia, las cuales son empleadas como un sistema de tratamiento para las aguas residuales utilizadas para riego de la vegetación del área.

En general, los valores de CT encontrados en suelo (Figura 3) fueron similares a los observados en agua, pero su distribución dentro de las parcelas evaluadas fue diferente. La parcela de ají dulce mostró la mayor concentración de CT con un valor de 1,2x 0⁸ NMP/g suelo seco⁻¹. Este valor fue diferente significativamente (P<0,05) del resto de las parcelas. El menor valor se observó en la parcela de tomate (5x10⁵ NMP/g suelo seco⁻¹), contrario a lo observado en el agua de riego.

En general, los valores de CT encontrados en suelo (Cuadro 2) fueron similares a los observados en agua, pero su distribución dentro de las parcelas evaluadas fue diferente. La parcela de ají dulce mostró la mayor concentración de CT con un valor de 1,4 x 10⁸ NMP/g suelo seco. Este valor fue diferente significativamente (P<0,05) del resto de las parcelas. El menor valor se observó en la parcela de tomate (4,7 x 10⁵ NMP/g suelo seco), contrario a lo observado en el agua de riego.

El Cuadro 3 muestra la distribución de coliformes fecales (CF) en las aguas y suelos evaluados. En general, los valores de CF tanto en agua como en suelo fueron mucho más bajos que los encontrados en CT. En cuanto al agua, estos valores estuvieron en el rango de 1x 0⁵ a 9,3x10⁶ NMP/100 mL. El valor de CF hallado en el agua del pozo profundo de la parcela de tomate fue significativamente (P<0,05) mayor al resto de los pozos, e

Cuadro 2. Número más probable (NMP) de coliformes totales presentes en agua de pozo y suelo de parcelas cultivadas con ají dulce, maíz, lechosa, tomate, pimentón y barbecho.

Fuente	Ají dulce	Maíz	Lechosa	Tomate	Pimentón	Barbecho	Control
Agua NMP/100 mL	1,1x10 ⁸ c	9,3x10 ⁷ c	1,5x10 ⁷ d	2,4x10 ⁹ b	9,3x10 ⁷ c	9,2x10 ⁷ c	1,1x10 ¹⁰ a
Suelo NMP/g	1,4x10 ⁸ a	2,7x10 ⁷ b	5,7x10 ⁶ bc	4,7x10 ⁵ c	1,1x10 ⁷ b	3,0x10 ⁷ b	-

NMP= Número Más Probable. Letras diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre las medias a P<0,05.

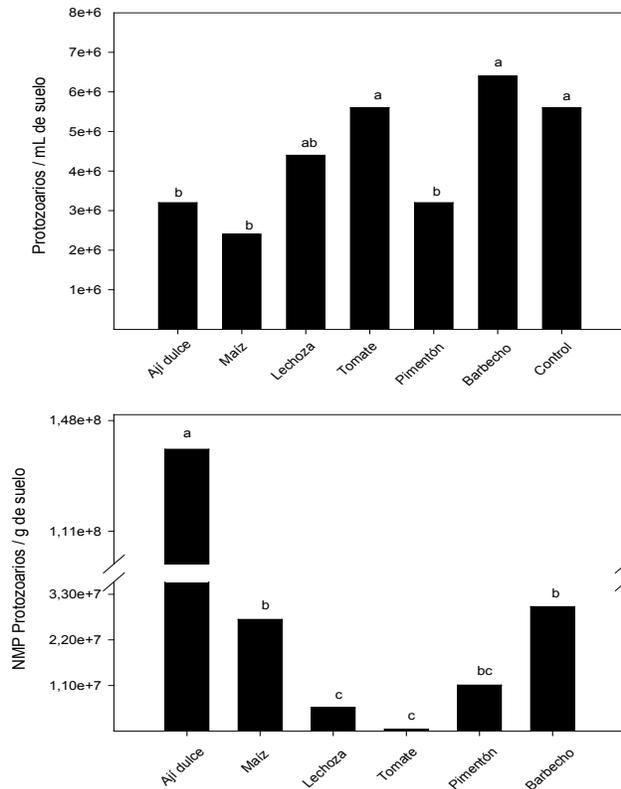


Figura 3. Número de protozoarios por mL de agua de pozo y número más probable (NMP) de protozoarios por g de suelo de parcelas cultivadas con ají dulce, maíz, lechosa, tomate, pimentón y zona bajo barbecho. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas entre las medias a $P < 0,05$.

inclusive al control. Estos resultados están en concordancia a lo encontrado por Gil (2009), donde se reportan valores de CF para la laguna natural similares a los encontrados en este estudio y, como discutido en la sección de CT, la parcela de tomate esta exactamente al lado de esta laguna. Se especula que debe haber algún movimiento de agua de la laguna natural hacia el pozo profundo que está siendo utilizado para regar la parcela sembrada con tomate.

La concentración de CF en el suelo de las parcelas muestreadas presentaron valores menores de 3×10^4 NMP/g

suelo seco (Cuadro 3). Existieron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las parcelas de maíz, lechosa, pimentón y barbecho en comparación a las parcelas de ají dulce y tomate; esta última no supera 1000 NMP/g suelo seco. Esta gran diferencia observada en la concentración de CF del suelo de la parcela de tomate y el resto de parcelas quizás obedece al uso excesivo de fertilizantes, como se observó en el contenido de $\text{NO}_3\text{-N}$ (Figura 2), además de pesticidas y herbicidas, que son aplicados como prácticas rutinarias en las actividades agropecuarias en el cultivo del tomate en la zona. Estos agroquímicos parecen estar afectando la alta concentración, tanto de CT como de CF, que llega al suelo procedente del agua de riego.

En general, los resultados encontrados en este estudio evidencian una contaminación reciente con material fecal, ya que las bacterias coliformes se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente y son capaces de sobrevivir solo por lapsos cortos de tiempo en las aguas (Sardiñas *et al.*, 2006). Además, confirman los resultados del trabajo realizado por Gil (2009), quien concluye que las aguas utilizadas para riego provenientes de las lagunas de oxidación propias de la zona no están siendo limpiadas en su totalidad y al ser utilizadas para riego en la zona puede estar contaminando el nivel freático, el suelo y el cultivo.

Aunque se observa una disminución de la concentración de CF en los pozos y en los suelos comparada con CT, a excepción del suelo de la parcela de tomate, esta disminución no alcanza el valor de la concentración mínimo permitido en el agua para riego establecidas en la norma oficial para la calidad de agua en Venezuela (Gaceta Oficial, 1995), la Organización Mundial de Salud (1989) y el código alimentario argentino (1969). Los límites permitidos para CT en agua para uso agrícola según la norma oficial venezolana (Gaceta Oficial, 1995) no debe exceder el promedio mensual de 1000 NMP/100 mL y para CF el promedio mensual no debe ser mayor de 100 NMP/100 mL. La Organización Mundial de Salud (1989) clasifica a las aguas a ser utilizadas para riego

Cuadro 3. Número más probable (NMP) de coliformes fecales presentes en agua de pozo y suelo de parcelas cultivadas con ají dulce, maíz, lechosa, tomate, pimentón y zona bajo barbecho.

Parcelas	Ají dulce	Maíz	Lechosa	Tomate	Pimentón	Barbecho	Control
Agua NMP/ 100 mL	$9,0 \times 10^5$ ^b	$3,0 \times 10^4$ ^d	$3,0 \times 10^4$ ^d	$9,3 \times 10^6$ ^a	$4,3 \times 10^5$ ^c	$3,4 \times 10^5$ ^c	$3,0 \times 10^4$ ^d
Suelo NMP/g	$9,3 \times 10^3$ ^b	$2,9 \times 10^4$ ^a	$2,4 \times 10^4$ ^a	$3,6 \times 10^2$ ^c	$2,4 \times 10^4$ ^a	$2,4 \times 10^4$ ^a	-

NMP= Número Más Probable. Letras diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre las medias a $P < 0,05$.

como tipo A cuando el cultivo va a ser consumido crudo y el límite permitido para CF es ≤ 1000 NMP/100 mL, mientras que el código alimentario argentino (1969) señala valores aun más estrictos para agua de riego de cultivos a ser consumidos crudos, donde se requiere de menos de 3 NMP/100 mL de agua.

Protozoarios

Los resultados de este estudio muestran la presencia de protozoarios en 100% de las muestras tanto de aguas como de suelo (Figura 3). En el agua están las condiciones apropiadas para la vida de los protozoarios, así como es considerada un vehículo para estos (Solarte *et al.*, 2006). La concentración de protozoarios en agua estuvo en el orden de 10^6 parásitos/mL agua. Se observó que en el agua de riego de las parcelas de maíz, lechosa y pimentón la concentración de protozoarios fue similar al control ($\approx 6 \times 10^6$ parásitos/mL agua) y significativamente mayor a las parcelas de ají dulce, tomate y barbecho ($\approx 2,5 \times 10^6$ parásitos/mL agua).

Los resultados obtenidos para el suelo son mostrados en la Figura 5. Se observó diferencia significativa ($P < 0,05$) en el número de protozoarios presentes en la parcela de ají dulce ($1,3 \times 10^8$ NMP protozoarios/g suelo) y el resto de parcelas. No se observaron diferencias entre las parcelas de maíz, pimentón y barbecho, con valores $< 3 \times 10^7$ protozoarios/g suelo. El menor valor se observó en la parcela de tomate (5×10^5 protozoarios/g suelo). A pesar de las altas poblaciones de protozoarios encontradas en el suelo, se debe recordar que éstos son organismos eminentemente acuáticos (Solarte *et al.*, 2006). Por esta razón, su alimentación y crecimiento en el suelo va a depender de su habilidad para sobreponerse a las condiciones fluctuantes de la humedad del suelo (Nikitin, 1973). Para el momento del muestreo de este estudio, la humedad del suelo en las diferentes parcelas estuvo en el rango de 10 a 26% (Cuadro 1), observándose el menor contenido de humedad en la parcela de tomate, lo cual coincide con el menor número de protozoarios en el suelo. De acuerdo a Bryant *et al.* (1982), los protozoarios pueden permanecer en condiciones de estrés hídrico mediante la formación de quistes y sobrevivir por décadas. En nuestro caso se cuantificaron solo formas activas y no se cuantificaron los quistes; quizás este haya sido el caso de la parcela de tomate, donde el bajo contenido de agua en el suelo haya ocasionado que los protozoarios se enquistaran, y por lo tanto, no fueran detectados.

Los protozoarios son considerados como bioindicadores de la calidad del agua de riego y del suelo.

Son los principales consumidores de las poblaciones bacterianas en los sistemas acuáticos y terrestres y juegan un papel importante como productores primarios en las redes alimentarias. Un alto número de protozoarios parásitos ha sido señalado por Botero *et al.* (2002; 2006) en aguas residuales que también tenían alta contaminación con coliformes totales y fecales. En este estudio sólo se realizó una cuantificación de protozoarios totales; sin embargo, se especula que debido al alto número de bacterias coliformes totales y fecales encontradas tanto en las aguas como en el suelo, quizás los protozoarios cuantificados se correlacionen con protozoarios parásitos y no con protozoarios capaces de depurar aguas.

CONCLUSIONES

- Las concentraciones de CT, CF y parásitos en agua y suelo sobrepasaron los valores límites de la norma oficial para la calidad de agua y suelo para uso agrícola en Venezuela (Gaceta Oficial, 1995) y por la Organización Mundial de Salud (1989). Por lo tanto, las aguas de pozo de la zona de Barbacoas pueden ser clasificadas como no aptas para ser usadas como aguas de riego y mucho menos como uso recreacional o de consumo humano, debido al riesgo de adquirir una infección gastrointestinal, por la presencia de diversos agentes patógenos
- Debido quizás a la alta carga microbiana patogénica, el paso del agua por el medio filtrante (suelo) no asegura la calidad del agua subterránea, por lo que las aguas provenientes de pozos profundos parece no ser aptas para su uso en agricultura
- Desde el punto de vista químico, el agua utilizada en la zona puede ser clasificada como no apta para riego, ya que el contenido de amonio supera los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud de 0,5 mg/L
- Aun cuando, los parámetros evaluados tanto en agua como en suelo sobrepasaron los límites de detección establecidos, no se encontró una relación directa entre los parámetros evaluados en el agua de riego y el suelo de las diferentes parcelas quizás debido al sistema dinámico que impera en el suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Botero, L; I. Arnedo; M. Bracho y O. Díaz. 2006. Determinación de la presencia de parásitos y bacteriófagos en un sistema de tratamiento de aguas residuales. AIDIS (Uruguay): 1 - 10.

- Botero, L.; J.L. Zambrano; C. Oliveros; D. León; M. Sarcos y M. Martínez. 2002. Calidad microbiológica del agua de un sistema de lagunas de estabilización a ser empleada en irrigación. *Rev. Fac. Agron. LUZ*, 19(4): 312 – 323.
- Bryant, R.J., L.E. Woods, D.C. Coleman, B.D. Fairbanks, J.F. MacClealan y C.V. Cole. 1982. Interactions of bacterial and amoebal populations in soil microcosms with fluctuating moisture content. *Appl. Environ. Microbiol.* 55:1857-1859.
- Chaparro, V. 2004. *Diseño de Pozos Profundos*. Editorial Universidad Santo Tomas. Bogotá. Colombia.
- Clarhom, M. 1985. Interactions of bacteria, protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen. *Soil Biol. Biochem.* 17:181-187.
- Código Alimentario Argentino. 1969. Ley 18284/69, decreto 2126/71. Reglamentario de la Ley 18.284 Capitulo XII (versión actualizada). Ed. de la Canal y Asociados. Buenos aires, Argentina.
- Dehority, B. 2004. *Rumen Microbiology*. Nottingham University Press. p 372.
- Del Pilar, M; S. Ávila; S. Estupiñán y A. Gómez. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA Publ. Cient (Colombia)* 3 (4): 69 – 79.
- FAO. 1981. Riego y Drenaje. Contaminación de las aguas subterráneas: tecnología, economía y gestión. FAO. Boletín N° 31. Roma, Italia. p 64.
- Faust, H., J. A. Sebastianelli, H. Axmann. 1987. *Manual de laboratorio. Métodos para el análisis de ¹⁵N*. FAO/OIEA. Viena. Austria.
- Gaceta Oficial de la Republica Bolivariana de Venezuela. 1995. Caracas. Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos receptores de agua y vertidos o efluentes líquidos. N° 5021 Decreto 883. Caracas, Venezuela.
- Gil P. 2009. Evaluación microbiológica de las aguas de riego de la zona agrícola de Barbacoas, estado Aragua. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. p 70.
- Lura, M; D. Beltramino; B. Abramovich; E. Carrera; M. Haye; L. Contini. 2002. El agua subterránea como agente transmisor de protozoos intestinales. *Rev. Chil. Pediatr.*, 73 (4): 415 – 424.
- Madigan, M; J. Matinku y Parker, J. 1997. *Biología de los Microorganismos*. Prentice Hall. 8^{va} ed. Madrid, España. p 989.
- Nikitin, P. 1973. The microstructure of the elementary microbial ecosystems. *Bull. Ecol. Res. Comm.* 17: 357-365.
- Ongley, E. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio FAO y Drenaje N° 55, FAO, Roma, Italia. p 116
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de agua residuales en agricultura y acuicultura, Informe de un Grupo Científico de la OMS. Serie de Informes Técnicos 778. Ginebra. Suiza.
- Ortiz, L. y Martínez, G. 2000. Contaminantes del agua de riego en zonas hortícolas de corrientes. Uso y preservación de los recursos hídricos en las umbrales del siglo XXI. Memorias del XVIII Congreso Nacional del Agua [en línea] [http:// libnet.unse.edu.ar/5Con/Rhid/R/R03019.pdf](http://libnet.unse.edu.ar/5Con/Rhid/R/R03019.pdf). Consultado 29 septiembre 2009.
- Sardiñas, O; S. Chiroles; M. Fernández; Y. Hernández y A. Pérez. 2006. Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental [en línea]* 6, 202 – 206. www.ugr.es/~dpto_prev/revista/2006.html
- SAS Institute. 2005. *Procedures Guide*. Release 9,02. Cary, EUA.
- Silva, J; L. Ramírez; A. Alfieri; G. Rivas y Sánchez, M. 2004. Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria; coliformes totales, coliformes fecales y aerobio mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. *Rev. Soc. Ven. Microbiol.*, 24(1 – 2): 46 – 49.
- Smith, J; N. Bradbury y T. Adiscott. 1996. SUNDIAL: A PC-based system for simulating nitrogen dynamics in arable land. *Agron. J.* 88: 38-43.
- Solarte, Y; M. Peña; y Madera, C. 2006. Transmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano. *Colomb Med.* 37(1): 74 – 82.
- Spalding, R.F. y M.E. Exner. 1993. Occurrence of nitrate in groundwater. A review: *J. Environ. Qual.* 22: 392-402.
- Turco, R.F. 1994. Coliform bacteria. In R.W. Weaver, J.S. Angle, y P.S. Bottomley. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Microbiological and Biochemical Properties-SSSA Book Series, No 5*. Madison, EUA. pp. 145-158.

- U.S. Environmental Protection Agency. 1986. Maximum contaminant levels subpart B of part 141, national interim primary drinking water regulations. In: U.S. Code of Federal Regulations, title 40, parts 100 to 149, revised as 1 July 1986, pp. 524-528.
- USEPA (US Environmental Protection Agency). 2004. Guidelines for water reuse [en línea]. <http://www.epa.gov/> Consultado: 5 de octubre 2009.
- Valbuena, D; O. Díaz-Suarez; L. Botero-Ledesma y R. Cheng-Ng. 2002. Detección de helmintos intestinales y bacterias indicadoras de contaminación en aguas residuales, tratadas y no tratadas. *Interciencia*, 27(12): 710 – 714.
- Valenzuela, M; M. Mondaca; M. Claret; C. Pérez; B. Lagos y Parra, O. 2009. Determinación del origen de la contaminación microbiológica del agua subterránea en una cuenca rural en Chile. *Agrociencia*, 43(4): 437 – 446.
- Ward, M. H., S. D. Mark, K. P. Cantor, D. D. Weinsburger, A. Correavillasenor, S. H. Zahm. 1996. Drinking water nitrate and the risk of non-Hodgkin's lymphoma. *Epidemiol.* 7: 465-471.
- Woomer, P.L. 1994. Most probable number counts. In Weaver R.W, Angle J.S. y Bottomley P.S. (Eds) *Methods of Soil Analysis, Part 2, Microbiological and Biochemical Properties-SSSA Book Series, No 5.* pp. 59-79. Madison, EUA.