

Aporte de nutrientes de las aguas de riego en la zona alta de la meseta de la ciudad de Ibagué

MÉNDEZ D., FERNANDO¹ y GONZÁLEZ DEL R. R., JULIO²

¹ Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia, Especialización en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia (España), Grupo Investigación Nevado Universidad de Ibagué.

² Ph.D. Ciencias Biológicas, Universidad Politécnica de Valencia (España), Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.

Resumen

El estudio tuvo como objetivo determinar la presencia de nutrientes en las aguas usadas para el riego del cultivo de arroz. Esta investigación se realizó en la parte alta de la meseta de la ciudad de Ibagué, cerca de la zona urbana. Como fuentes principales de suministro de agua para los cultivos se estudiaron los canales Combeima, Ambafer y San Isidro.

Al agua de los tres canales objeto de estudio se le realizó un análisis fisicoquímico y se detectó la presencia de materia orgánica y metales que sirven como nutrientes para el cultivo de arroz. El resultado de los análisis de laboratorio permitió comprobar que el agua de riego muestra presencia de nutrientes que pueden ser utilizados como fertilizante en las diferentes etapas del crecimiento de la planta; es decir, puede realizar un aporte significativo a los requerimientos nutricionales del cultivo.

Palabras clave: arroz, nutrientes, canales, riego, caracterización, fertilización.

Abstract

The aim of the present study was to determine the nutrient presence and contents in the waters used to irrigate rice plantations. This research was located in the high area of Ibagué's plateau, near the urban zone of the city. The main sources of water supply for the rice plantations were Combeima, Ambafer and San Isidro channels.

A physicochemical analysis performed on the water from the three channels revealed the presence of organic matter and metals that function as nutrients in the rice plantations. By understanding the results of several laboratory analyses, the authors believe that the irrigation waters tested in this study are exhibiting a significant nutrient content. These nutrients may be used as an important fertilizer through different growth stages of the rice plant. Therefore, these irrigation waters may be giving a significant contribution to fulfill the nutritional requirements of the rice plantation they serve.

Keywords: Rice, nutrients, channels, irrigation, characterization, fertilization.

Correos electrónicos: fernando.mendez@unibague.edu.co - jgonzrio@hma.upv.es

1. INTRODUCCIÓN

En décadas recientes, el crecimiento de la población urbana en América Latina ha sido un fenómeno acelerado. La mayoría de las ciudades tienen tasas de crecimiento que están entre el 3% y el 5%; además se espera que en los próximos años, más de 30 ciudades de esta región excedan el millón de habitantes (Moscoso, 1995).

Este incremento de la población no ha ido acompañado de una mejora en la prestación de servicios de acueducto y alcantarillado; la construcción de los sistemas de alcantarillado en las ciudades de esta región se ha realizado en forma intermitente a lo largo de muchos años, habiéndose introducido los primeros sistemas de alcantarillado a inicios del presente siglo.

Esta construcción en etapas ha propiciado que muchos sistemas no estén bien integrados y racionalizados; además, no se ha realizado una selección de puntos de descarga, de modo que existe una gran variedad de lugares donde se evacúan las aguas residuales, entre los que están los sistemas acuíferos o sobre el mismo terreno. Con frecuencia, en la mayoría de ocasiones, se descarga el efluente directamente al río o al canal más próximo.

Se puede afirmar entonces que, en su gran mayoría, las aguas residuales tienen como disposición final cuerpos de agua receptores que pueden ser ríos, lagos, mares o canales. Por lo general, en la zona de influencia del presente estudio, los ríos y canales son utilizados mediante distritos de riego para suministrar el agua requerida para la producción agrícola; de esta manera las aguas residuales diluidas son utilizadas para riego de cultivos.

El agua residual descargada a los ríos o canales puede ser agua cruda (sin tratamiento alguno) o agua tratada. El tratamiento del agua, por lo general, se ha realizado en plantas convencionales (PTAR), las cuales tienen tratamiento primario y secundario. El tratamiento primario está conformado por un sistema integrado de reja, desarenador y trampa de grasas, mientras que el tratamiento secundario está básicamente constituido por uno o dos sistemas biológicos, en serie, como el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), lagunas de oxidación o lodos activos (Rocín, 2002).

Desde otro contexto, se puede decir que el agua es un elemento indispensable en el desarrollo de los cultivos, y es necesaria por las mismas características fisiológicas de la planta. Los nutrientes que la planta requiere para su normal desarrollo deben estar en solución, motivo por el cual el agua es indispensable para que la planta pueda realizar el proceso de absorción (Minambiente, 2002).

Lo anterior permite afirmar que las características fisicoquímicas de las aguas de riego usadas en zonas aledañas a los centros urbanos han tenido un cambio, a través del tiempo, que va paralelo con el crecimiento de las ciudades. Se nota de una manera significativa el impacto que la generación de aguas residuales domésticas tiene sobre el agua de los sistemas de riego en zonas de la periferia urbana.

El agua se puede suministrar al cultivo básicamente de dos formas: por piscina, más conocido como inundación, o por riego corrido. Por piscina se presenta una inundación

sostenida, mientras que por riego corrido se suministra un caudal de agua permanente durante un tiempo tal que permita mantener encharcado el terreno (Romero, 1999).

Para los cultivos de arroz de la meseta de la ciudad de Ibagué, en su gran mayoría, se usa el sistema de riego corrido. De esta forma el agua pasa por todo el lote hasta llegar a la parte más baja del mismo (curvas de nivel), generando lo que se conoce como aguas de escorrentía. Esta agua que sale del lote se usa para regar los lotes que se encuentran ubicados en la parte baja de acuerdo con el nivel de las tierras.

Dependiendo de la nivelación del suelo, de la permeabilidad del terreno y de las condiciones climáticas, para el cultivo de arroz se tiene un caudal de entrada que oscila entre 1 y 3 L/s. Para riego corrido, en los cultivos de la meseta de la ciudad de Ibagué se usa el caudal máximo de 3 L/s, el cual se suspende temporalmente en el momento de la aplicación de abonos o de pesticidas, para un consumo que fluctúa entre 10.000 y 16.000 metros cúbicos por hectárea y por cosecha, con un promedio de 14.000 metros cúbicos (Serviarroz, 2000).

Para el cultivo de arroz, el aporte de los nutrientes necesarios se efectúa tomando como base las características fisicoquímicas del lote; es decir, presencia de arenas, arcilla, etc. Se realizan pruebas de tipo químico para saber en qué niveles se encuentran los elementos en el suelo. Los elementos mayores, como nitrógeno, azufre, fósforo y potasio, se aplican en altas cantidades, siendo la urea la principal fuente comercial de nitrógeno, seguido del sulfato de amonio como fuente de nitrógeno y azufre. Como fuente de fósforo se utiliza convencionalmente el DAP (fósforo diamónico) y el MAP (fósforo monoamónico); como fuente de potasio se usa principalmente el cloruro de potasio (Fedearroz, 2000).

Los elementos requeridos son hierro, cobre, zinc, manganeso, magnesio y calcio, entre otros. El suministro de los elementos mayores y menores se distribuye a través del ciclo vegetativo, y la fertilización en sí se divide o se fracciona en cuatro o seis partes. Generalmente se distribuye en forma periódica a partir de los 15 a 20 días después de la germinación, hasta los 85 días o más, según la variedad y hasta antes del espigamiento (Serviarroz, 2000).

La absorción de nutrientes es afectada por varios factores entre los que se incluyen el suelo y sus propiedades, la cantidad y el tipo de fertilizante aplicado al cultivar, el nivel de humedad y el método de cultivo. En la tabla 1 se relacionan los requerimientos nutricionales promedio para el arroz (Castillo, 2006).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización del área de estudio

El trabajo se desarrolló en los canales de riego Combeima, Ambafer y San Isidro. El canal Combeima se origina del río Combeima, mientras que los otros dos canales se derivan del río Chipalo.

Tabla 1. Requerimientos nutricionales del arroz.

Nutriente	Ciclo reproductivo		
	Fase Vegetativa (48 días) (kg/Ha)	Fase Reproductiva (31 días) (kg/Ha)	Fase Maduración (30 días) (Kg/Ha)
K	61,98	105,02	5,17
Ca	6,54	32,29	2,04
Mg	3,37	14,61	0,75
Fe	0,68	0,22	0,68
Cu	0,03	0,01	0,05
Zn	0,05	0,02	0,08
Mn	0,28	0,14	0,31
Si	116,03	240,35	58,02
P	20,86	16,69	4,17
N	169,50	51,98	4,52

Fuente: Castilla (2006).

Trabajos previos

Antes de diseñar las campañas de muestreo se realizó una visita a la zona de estudio con el fin de conocer las características propias de cada uno de los canales que suministran el agua de riego para la parte alta de la meseta de la ciudad de Ibagué, contigua a la zona urbana. Se empezó con precisar los sitios donde se derivan los canales de cada uno de los ríos de los distritos de riego que tienen influencia sobre la zona de estudio, y fueron identificados los canales que irrigan los cultivos de arroz. Se realizaron visitas de campo durante los meses de septiembre y octubre de 2006, con el fin de hacer un reconocimiento visual del recorrido que realiza el agua desde la derivación del río hasta la entrada a los lotes donde se cultiva el arroz. En las visitas de campo se pudo constatar que estos canales reciben aguas residuales domésticas de los asentamientos humanos ubicados en áreas de influencia.

2.2 Población objeto de estudio

Es trabajo está orientado al estudio de las aguas de los principales canales de riego que están siendo utilizados para los cultivos de la zona alta de la meseta de la ciudad de Ibagué. La parte alta de la meseta tiene básicamente tres fuentes hídricas de importancia, y

son los ríos Combeima, Alvarado y Chipalo. Estos tres ríos dan origen a los canales usados en el riego de la zona; los canales Ambafer, San Isidro y Combeima riegan cerca del 90% de las tierras ubicadas cerca del casco urbano de la ciudad (Serviarroz, 2000).

2.3 Parámetros por determinar

Los parámetros por analizar se escogieron teniendo como referente la guía para el reuso del agua en proyectos de riego agrícola de la FAO. Estos parámetros fueron: temperatura, pH, OD, conductividad, DBO, DQO, K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{+2} , Si, NID (amoníaco, nitritos y nitratos), fosfato (PO_4^{-3}). Minerales como Fe, Cu, Zn y Mn no fueron detectados en concentraciones de ppm.

2.4 Técnicas de muestreo

En función de lo expuesto anteriormente, se determinó realizar un muestreo piloto con el fin de calcular el tamaño de la muestra. Se estimó que los puntos de muestreo estarían ubicados, para cada uno de los tres canales, cerca a la entrada de los lotes donde se cultiva el arroz. El muestreo piloto se realizó del 7 al 14 de enero de 2007, efectuando tres mediciones por día: a las 8:00 a. m., a las 12:00 m. y a las 4:00 p. m., en días consecutivos y a unas horas que permitieran detectar posibles variaciones en las características del agua por actividades relacionadas con el comportamiento humano. Los parámetros escogidos para el análisis fueron conductividad, pH, temperatura y oxígeno disuelto. El tamaño máximo de muestra encontrado fue de doce.

2.5 Campañas de muestreo

Dada la influencia de las descargas de aguas residuales sobre los canales objeto de estudio, y teniendo en cuenta su condición de variable a través del día, se optó por muestras compuestas. En cada campaña, para cada canal, se tomaron cuatro muestras a lo largo del día, en intervalos de tiempo regulares: dos en la mañana y dos en la tarde. Las dos muestras de la mañana se integraron para obtener una muestra compuesta, y lo mismo se hizo con las dos muestras de la tarde, de tal forma que la muestra final es el resultado de la mezcla de las muestras parciales.

Las campañas de muestreo se llevaron a cabo entre los meses de marzo y julio de 2007. Estas campañas se repartieron de tal forma que se realizaran en diferentes días de la semana para recoger la posible incidencia de las actividades humanas en la calidad de las aguas. Igualmente, el horario programado se estableció de tal forma que presentaran intervalos regulares entre las muestras de los diferentes canales.

2.6 Equipos y accesorios

Conductímetro, oxímetro, pH-metro, nevera, espectrofotómetro de absorción atómica, colorímetro spectroquant y destilador de nitrógeno.

3. MÉTODO ESTADÍSTICO

Con un total de doce muestras por canal, se realizaron los análisis en laboratorio. Estos valores fueron sometidos a un análisis estadístico donde se determinaron pruebas de normalidad por gráficos Q-Q, prueba de Shapiro Wills y análisis de componentes principales (ACP).

Los resultados de las pruebas de los gráficos Q-Q y de Shapiro Wills sugieren que los datos de las muestras presentan ajuste a la normalidad, en cuyo caso el valor promedio de ellas es un estadístico representativo para el estudio. De la misma forma, el ACP muestra que se trata de tres canales con aguas de características fisicoquímicas claramente diferenciadas, siendo el canal Ambafer el que presenta mayor diferencia respecto a los otros dos canales, en las variables analizadas.

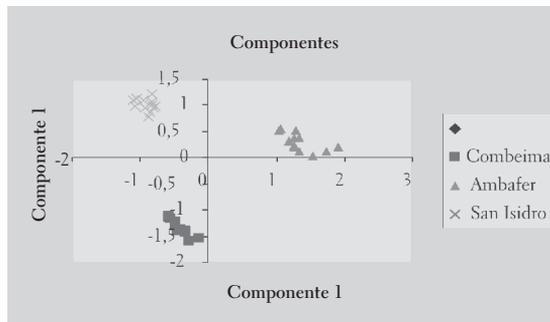


Figura 1. Gráfico de Análisis de Componentes Principales (ACP) para todas las variables de los tres canales.

Fuente: <http://www.google.com/search?q=serlos2003@yahoo.es>

4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Con los resultados de los análisis de laboratorio, se establecieron los valores medios de los principales nutrientes para el cultivo de arroz. Teniendo en cuenta que el caudal promedio de agua de riego, por hectárea y por cosecha, es de 14.000 metros cúbicos, y que la concentración media de los nutrientes está expresada en partes por millón, se calcula la cantidad de nutriente por fase de desarrollo de la planta.

Los valores medios de los principales nutrientes (ppm) se indican en la tabla 2.

El aporte de nutrientes en kg/Ha y por cosecha, en cada fase vegetativa del cultivo de arroz, puede determinarse teniendo en cuenta el caudal de aguas de riego y su concentración media. A manera de ejemplo se muestra el cálculo de la cantidad (kg) promedio de potasio aportada por el canal Combeima en la fase vegetativa:

$$\frac{14.000 m^3 \times 48 \times 1.000 L \times 0,38 mg \times 1 kg}{(48 + 31 + 39) 1 m^3 \times L \times 1'000.000 mg} = 2,34 kg$$

Tabla 2. Concentración media de nutrientes.

Nutriente	Combeima	Ambafer	S. Isidro
K	0,4	2,7	1,1
Na	7,7	9,7	7,7
Ca	24,7	26,5	18,9
Mg	7,7	7,7	5,2
Si	2,8	7,0	4,7
PO ₄	0,5	3,0	0,7
N(NH ₃)	0,0	5,0	0,1
NO ₂	1,7	2,0	1,8
NO ₃	0,2	0,3	0,2

De igual forma se calcula la cantidad de potasio aportada por el canal Combeima para las demás etapas de crecimiento del arroz; estos mismos cálculos se realizan para las demás sustancias objeto de estudio. De forma similar se determina el aporte de los canales Ambafer y San Isidro. Los resultados se muestran en las tablas 3a, 3b y 3c.

Tabla 3a. Aporte de nutrientes, en kg / Ha-cosecha.

Canal Combeima			
	Fase vegetativa	Fase reproductiva	Fase maduración
K	2,3	1,5	1,5
Ca	152,3	98,4	95,2
Mg	47,5	30,7	29,7
Si	17,3	11,2	10,8
P	1,0	0,7	0,7
N	3,4	2,2	2,1

Tabla 3b. Aporte de nutrientes, en kg / Ha-cosecha.

Canal Ambafer			
	Fase vegetativa	Fase reproductiva	Fase maduración
K	16,8	10,8	10,5
Ca	163,4	105,5	102,1
Mg	47,7	30,8	29,8
Si	43,4	28,0	27,1
P	6,0	3,9	3,7
N	29,9	19,3	18,7

Tabla 3c. Aporte de nutrientes, en kg/Ha-cosecha.

Canal San Isidro			
	Fase vegetativa	Fase reproductiva	Fase maduración
K	7,0	4,5	4,4
Ca	116,5	75,3	72,8
Mg	31,8	20,6	19,9
Si	28,8	18,6	18,0
P	1,5	1,0	1,0
N	4,2	2,7	2,6

El porcentaje de nutrientes aportado por hectárea y por cosecha, respecto a sus requerimientos, se determina como la relación entre la cantidad aportada por las aguas de riego y los requerimientos promedio. Como ejemplo se muestra el cálculo para el potasio en el canal Ambafer, fase vegetativa:

$$\% = \frac{16,77}{61,98} \times 100 = 27,06$$

De manera similar se realiza el cálculo para las demás sustancias objeto de estudio, en cada fase de crecimiento y para los tres canales. Los resultados se muestran en las tablas 4a, 4b y 4c.

Tabla 4a. Aporte de nutrientes, en % / Ha - cosecha.

Canal Combeima			
	Fase vegetativa	Fase reproductiva	Fase maduración
K	3,8	1,4	28,2
Ca	2329,4	304,7	4667,2
Mg	1409,5	210,1	3961,3
Si	14,9	4,6	18,6
P	5,0	4,1	15,6
N	2,0	4,3	47,3

Tabla 4b. Aporte de nutrientes, en % / Ha - cosecha.

Canal Ambafer			
	Fase vegetativa	Fase reproductiva	Fase maduración
K	27,1	10,3	202,7
Ca	2498,2	326,8	5005,4
Mg	1416,0	211,0	3976,0
Si	37,4	11,7	46,8
P	28,6	23,1	89,2
N	17,6	37,1	413,5

Tabla 4c. Aporte de nutrientes, en % / Ha - cosecha.

Canal San Isidro			
	Fase vegetativa	Fase reproductiva	Fase maduración
K	11,2	4,3	84,1
Ca	1781,7	233,0	3570,1
Mg	943,9	140,7	2650,7
Si	24,8	7,7	31,0
P	7,2	5,9	22,8
N	2,5	5,2	57,5

Para el canal Combeima, el aporte de calcio en la fase vegetativa es superior al requerimiento del cultivo, y bastante significativo en las fases reproductiva y de maduración. Este mismo comportamiento se presenta en el canal San Isidro. En el canal Ambafer, el aporte de calcio en las tres fases de desarrollo de la planta es superior a los requerimientos. Para cada una de las tres fases de crecimiento del arroz, los mayores aportes de nitrógeno se presentan en el canal Ambafer.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de los análisis fisicoquímicos permiten afirmar que los tres canales en estudio presentan características diferentes.

La presencia de nutrientes en el agua de los tres canales es significativa en algunos casos, lo que sugiere tener en cuenta estos fertilizantes a la hora de realizar las dosificaciones del cultivo.

El agua del canal Ambafer es la que muestra la mayor concentración y aporte de nutrientes.

Los costos de producción del arroz pueden llegar a disminuir si se tiene en cuenta la presencia de nutrientes en las aguas de riego al momento de dosificar los fertilizantes.

En general, se puede afirmar que, teniendo en cuenta que la tendencia en los precios de los agroquímicos está fuertemente influida por los precios del petróleo, es decir en aumento permanente, optimizar el uso de los nutrientes presentes en las aguas de riego podría disminuir de una manera significativa los costos de producción, lo que haría más competitivo al sector arrocero en la región.

6. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos, se recomiendan las siguientes propuestas como temas de importancia para futuras investigaciones:

- Determinar el impacto generado por las aguas de riego empleadas en los cultivos de arroz de la zona alta de la meseta de la ciudad de Ibagué en el proceso de salinización de las tierras.
- Cuantificar la asimilación de nutrientes presentes en las aguas en diferentes cultivos.
- Estudiar el efecto que sobre los nutrientes presentes en las aguas residuales domésticas ejerce una depuradora convencional (PTAR).

BIBLIOGRAFÍA

- ANGHINONI, G. (2005). Nuevas recomendaciones de fertilización y encalado en el cultivo de arroz bajo riego en Río Grande do Sul, Brasil.
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Waster. Edition 18.

- CASTILLA, L. (2006). Demanda nutricional de variedades de arroz en la zona arrocera del Tolima. Fondo Nacional del Arroz, Fedearroz, 54 (465).
- CISNEROS, O. (Julio, 2006). Empleo del agua residual producida en la ciudad de México para el riego agrícola del valle de Tula, sin afectar al medio ambiente. Extraído el 30 de septiembre de 2008, de http://proyectos.iingen.unam.mx/Proyectos_2005_2006/07/7.3.7.pdf.
- DIAGO, M. (2004). El manejo ambiental en el arroz. Fondo Nacional del Arroz, Fedearroz.
- FONDO NACIONAL DEL ARROZ, FEDEARROZ. (Septiembre-octubre 2000). Revista Arroz.
- HELMER, R. (1999). Control de la contaminación del agua. Guía para la aplicación de principios relacionados con el manejo de la calidad del agua. Lima (Perú): CEPIS/OPS-OMS.
- HYDERABAD. (2002). Conferencia. Declaración del reuso de aguas residuales en la agricultura. India.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Minambiente. (2002). Guía Ambiental del arroz.
- MOSCOSO, J. (1995). Aspectos técnicos de la agricultura con aguas residuales. Lima (Perú): CEPIS.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. (2003). Año Internacional del arroz.
- ROLÍN, S. (2002). Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: realidad y potencial. Guía para la Formulación de Proyectos. Lima (Perú): OPS/OMS.
- ROMERO R., J. A. (1999). Tratamiento de aguas residuales: teoría y principio de diseño. Bogotá (Colombia): Escuela Colombiana de Ingeniería.
- SENA-SAC. (2000). El recurso suelo y sus necesidades de agua. Convenio.
- SERVIARROZ. (Marzo de 2000). Seminario-Taller sobre Metodología Pulver. Hacienda El Escobal. Ibagué (Colombia).
- VANEGAS G. M. (2002). Sistemas integrados y uso de aguas residuales en América Latina: realidad y potencial. Convenio IDRC-OPS/HEP/CEPIS. 2000-2002. 

Referencia	Recepción	Aprobación
MÉNDEZ D., F. y GONZÁLEZ DEL R. R., J. Aporte de nutrientes de las aguas de riego en la zona alta de la meseta de la ciudad de Ibagué <i>Revista Tumbaga</i> (2008), 3, 5-15	Día/mes/año 12/09/2008	Día/mes/año 22/09/2008