

Índices de calidad del agua de fuentes superficiales y aspectos toxicológicos, evaluación del Río Burgay

Guillermina Pauta Calle¹, José Chang Gómez²

¹ Laboratorio de Ingeniería Sanitaria del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Agustín Cueva, Cuenca, Ecuador, 1010201.

² Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus Gustavo Galindo, Guayaquil, Ecuador, 09-01-58-63.

Autores para correspondencia: guillermina.pauta@ucuenca.edu.ec, jvchang@espol.edu.ec

Fecha de recepción: 21 de septiembre de 2014 - Fecha de aceptación: 17 de octubre de 2014

RESUMEN

Se exponen los resultados de un estudio sobre la calidad del agua del río Burgay en la provincia del Cañar empleando un índice formulado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, con 18 parámetros físico, químicos y microbiológicos convencionales; por constituir este río una fuente de abastecimiento para algunas poblaciones, el estudio incluyó la búsqueda de plaguicidas de uso agrícola que modifican considerablemente la calidad del agua y limitan sus usos posteriores, sobre todo el destinado a consumo humano. El estudio evidencia que los índices convencionales miden un riesgo sanitario a corto plazo, puesto que se investiga la presencia de organismos patógenos; en cambio la presencia de plaguicidas, cuando no se aplican sistemas de tratamiento específicos para su remoción, representan un riesgo químico a largo plazo, debido al consumo continuo de pequeñas dosis de estas sustancias con propiedades acumulativas y con efecto tóxico en la salud de la población. El riesgo sanitario a corto plazo normalmente es medido por la entidad encargada de la dotación del servicio, a través de ensayos sistemáticos, periódicos y documentados; pero la toxicidad de la fuente por requerir análisis más complejos y un mayor nivel de capacitación, debe ser parte de los Planes de Vigilancia de la Calidad, y que normalmente los ejecuta una entidad diferente a la prestadora del servicio. Se enfatiza en la responsabilidad de las instituciones competentes para coordinar acciones y llevar a cabo los dos procesos: Control de Calidad Interno y Sistema de Vigilancia Externo, como un mecanismo que permita una evaluación oportuna e integral de la fuente, minimizando el riesgo y garantizando la salud de los consumidores.

Palabras clave: Índice de calidad, plaguicida, riesgo toxicológico.

ABSTRACT

The article presents an analysis of the water quality of the river Burgay, located in the province of Cañar, using the index of the Mexican Institute of Water Technology which is based on 18 conventional physical, chemical and microbiological parameters. Special emphasis has been given to the concentration of agricultural pesticides since the river water serves as supply for human settlements. The presence of pesticides affects the water quality and might restrict its use for human consumption. The study reveals that the conventional indexes depict a short-term sanitary risk of the river water due to the presence of pathogen organisms. The existence of pesticides however, when water is not treated, represents a long-term chemical risk because pesticides, even at non-detectable or low concentration level tend to accumulate in the body causing ultimately toxic effects on human's health. The short-term sanitary risk is normally monitored by the water supply agency or institution appointed by this agency, via systematic, periodic and documented assays. Generally, neither the agency nor the appointed institution possesses the skills to measure the presence of pesticides, a task normally executed by another institution. The authors recommend that both monitoring institutions

should coordinate their measurements, as a mechanism to derive a complete picture of the water quality as to minimize the risk and ensure the health of the consumers.

Keywords: Water quality index, pesticides, toxicological risk.

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios de la calidad físico-químicos y microbiológicos de las fuentes de agua destinadas a consumo humano, constituyen un requisito necesario e indispensable para evaluar su aptitud para este uso, que sin duda es el más delicado del recurso.

Un mecanismo difundido para esta tarea constituyen los índices de calidad, que resumen una gran cantidad de información, hasta obtener un número que le ubica al agua en una determinada categoría. Cuando la fuente a evaluar está sujeta a variaciones meteorológicas como los ríos, es necesario que el diagnóstico incluya un período representativo de evaluación que permita detectar las variaciones temporales y espaciales a la que están sujetas.

Debido a la facilidad de interpretar los resultados de los índices (rangos, colores, etc.), estos son muy usados por las empresas y las entidades que tienen a su cargo el control y el manejo del recurso. Varios países basan sus estudios de calidad en el empleo de índices. Resultados de algunas investigaciones: Estudio del Río Santa Lucía en Uruguay (Pacheco *et al.*, 2012); en México para las cuencas de los Ríos Lerma-Chapala (Vizcaíno, 2014); España, propone el uso de Índices de Calidad General (ICG) empleando 23 parámetros de los cuales 9 se usan siempre; y para estudios de información rápida sugieren el índice simplificado de calidad (ISCA) con 5 parámetros (Miliarium Aureum, 2001). En Colombia para el estudio del río Cauca en el 2004 se empleó el índice NSF (Fundación de Sanidad de los EEUU), pero luego fue adaptado a las condiciones locales a través del ICACAUCA, (Valle, 2004); posteriormente en el 2010 se realizó un estudio comparativo aplicando 4 índices de calidad en un tramo del mismo río (Torres *et al.*, 2010). Otros estudios sobre la calidad de ríos en cambio se basan en parámetros físicos, químicos y microbiológicos solamente, sin integrar sus resultados en índices (Álvarez *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2010; Branco, 2012). En el Ecuador, Cuenca lleva a cabo un programa de vigilancia de sus ríos mediante el uso del índice NSF.

Los modelos de calidad empleados se basan en ecuaciones y metodologías formuladas por organismos internacionales como la EPA (Agencia Internacional para la protección del Medio Ambiente), la OMS (Organización Mundial de la Salud), el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCMA), entre otros.

Estos modelos incluyen una serie de parámetros básicos que permiten estimar el nivel de contaminación del agua y tratan de enfocar aspectos relacionados con: la presencia de nutrientes, oxígeno disuelto, estética del agua, el riesgo bacteriológico por la presencia de patógenos, etc. Un análisis de los principales índices, las bases para su conceptualización y la evolución que han experimentado en su uso, se presenta en la referencia (Torres *et al.*, 2009).

Sin embargo el paulatino deterioro de los ríos por la descarga de todo tipo de residuos naturales y antrópicos, sin contemplar que su capacidad para asimilarlos es limitada, ha provocado que los aspectos antes mencionados no sean suficientes para evaluar la calidad de la fuente. La mayoría de los nuevos contaminantes son sustancias químicas catalogadas por la comunidad científica como tóxicos, presentes generalmente en pequeñas concentraciones y con efectos acumulativos negativos en la salud de las especies a largo plazo. Esta toxicidad crónica de las fuentes limita sus usos, como la conservación del ecosistema, el riego agrícola, etc., pero sin duda el más afectado, es el abastecimiento público.

A la luz de las nuevas investigaciones, los índices de evaluación de la calidad del agua se van modificando, en el reconocimiento de la necesidad de incluir el aspecto toxicológico como requisito indispensable en las fuentes destinadas a consumo humano. Los parámetros seleccionados para tal fin, dependerán de los usos del suelo predominantes en la zona de estudio.

Por ejemplo, la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental del Brasil, introduce en el índice de calidad del agua cruda (IAP) a ser empleada en abastecimiento público, el componente

toxicológico (ISTO), que junto al ICA básico complementa la evaluación de la fuente (CETESB, 2006).

La OMS en “Guías para la calidad del agua”, menciona la necesidad de calcular los valores de referencia para sustancias tóxicas en el agua destinada a consumo humano, utilizando dos métodos: uno para sustancias químicas con umbral de toxicidad y el otro para sustancias sin umbral (principalmente sustancias cancerígenas genotóxicas), lo que significa que a cualquier dosis de exposición, estas sustancias presentan un riesgo (OMS/OPS, 2006).

Uno de los tóxicos de mayor preocupación por su uso intenso, constituyen los plaguicidas empleados en la agricultura. Varios estudios demuestran su presencia en los cuerpos superficiales de todo el mundo, inclusive en países como Canadá en donde las regulaciones ambientales son muy exigentes; por lo que su búsqueda para garantizar la calidad de las fuentes se va generalizando; en tal virtud, el CCME (Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente) llevó a cabo por primera vez en su país, del 2003 al 2005, un programa de control y vigilancia de pesticidas en “Ecosistemas acuáticos seleccionados”, y posteriormente en un estudio de caso específico, el mismo consejo elabora un informe en donde se revela datos sobre pesticidas procedentes de la agricultura, en tres cuencas afluentes del lago de Saint Pierre (Khan *et al.*, 2005).

En el Ecuador poco se conoce sobre la toxicidad de los ríos; la mayor parte de los estudios hacen una evaluación de la calidad básica empleando o no índices para tal fin, y comparando sus valores con la normativa local; sin embargo por todo lo mencionado, la información que de ellas se deriva, puede considerarse como preliminar y deberá ser complementada con la toxicológica; es posible que la evaluación básica catalogue a una fuente como aceptable para consumo humano, pero la toxicológica demuestre su no aptitud para tal fin. Demostrar la necesidad de incluir los aspectos toxicológicos en los estudios de calidad de los cuerpos receptores destinados a fuentes de abastecimiento, es el objetivo del presente trabajo, máximo cuando en nuestro país los sistemas convencionales de tratamiento, están diseñados para corregir solamente las propiedades físicas (color y turbiedad) y bacteriológicas (por la presencia de patógenos).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Zona de estudio

La zona de estudio corresponde a la subcuenca del río Burgay, afluente del río Paute, importante arteria hidrográfica del sur del país; representa el 8.7% del área total de esta cuenca, con un área de drenaje de 447.04 km², una elevación media de 2997 m.s.n.m. y una pendiente promedio de 15.4% (ver Fig. 1).

2.2. Programa de monitoreo

Se establecieron seis estaciones de monitoreo ubicadas a lo largo de 36.28 km. de recorrido del río, y considerando el aporte de los principales afluentes: río Cashicay, río Tabacay y río Déleg; adicionalmente y debido a la preponderante actividad agrícola de la zona, se situaron dos estaciones en los ríos Cachihuayco y Tambo afluentes secundarios del río Burgay en su zona alta (ver Fig. 2). El monitoreo cubrió un año de estudio de febrero a noviembre del 2013. Las campañas de muestreo, los ensayos realizados y la frecuencia respectiva, se resumen en la Tabla 1.

Para la determinación del índice ICA, se empleó el modelo de calidad del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; es un método aditivo, emplea 18 parámetros físico-químicos y microbiológicos convencionales: color real, turbiedad, conductividad, pH, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, alcalinidad total, dureza, cloruros, demanda bioquímica de oxígeno DBO (Ruíz *et al.*, 2007), sustancias activas al azul de metileno SAAM, grasas y aceites, coliformes totales, y coliformes fecales (E. Coli), nitrógeno amoniacal, nitratos y fosfatos totales, los cuales se resumen en la Ec. (1).

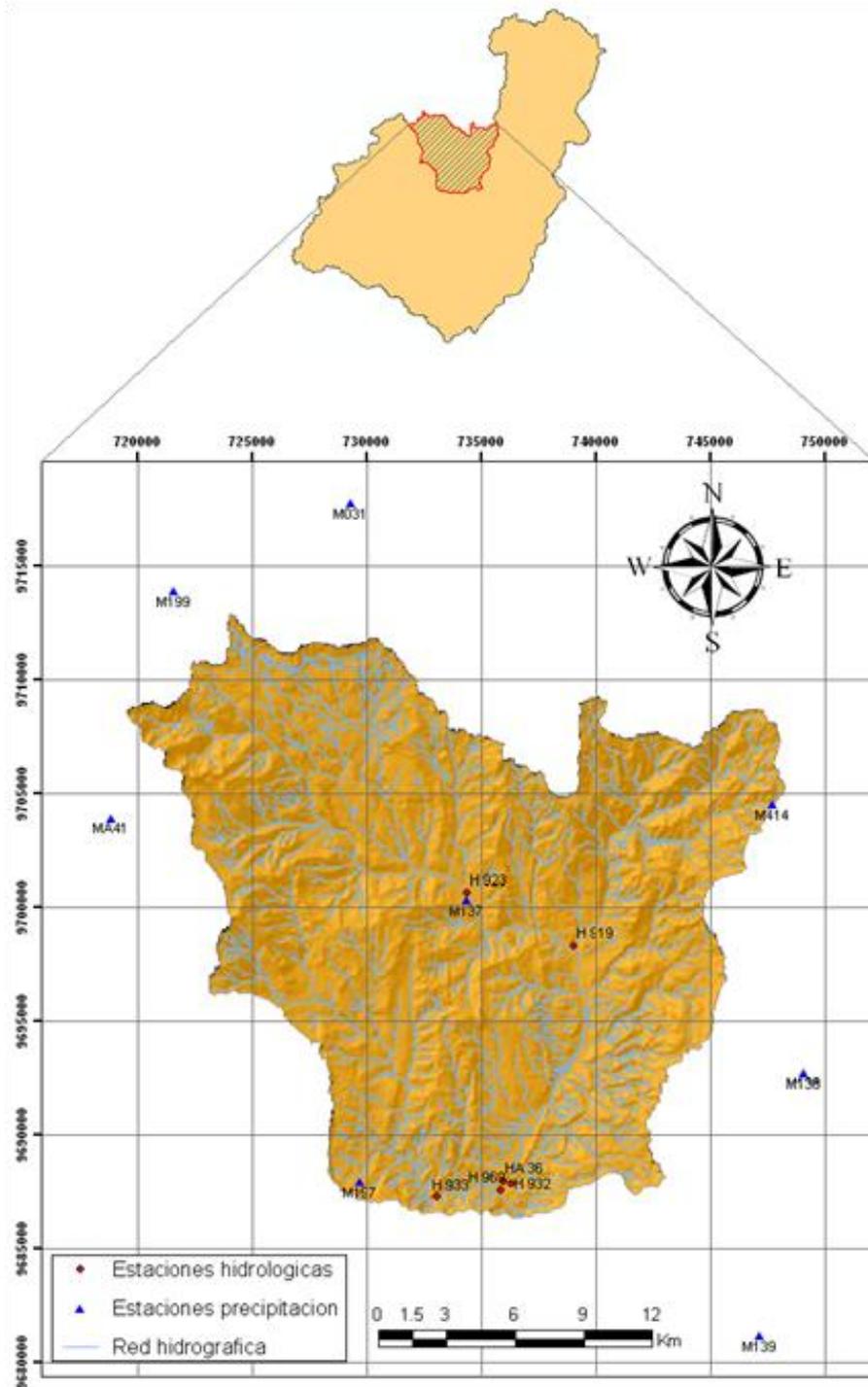


Figura 1. Ubicación de la subcuenca del Burgay en la cuenca del río Paute (CG PAUTE 2008).

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

en donde:

- ICA: índice de calidad del agua global
- I_i: índice de calidad para el parámetro i
- W_i: coeficiente de ponderación del parámetro i
- n: número total de parámetros

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Sobre el ICA

El máximo valor de ICA 71.4, se registra en la estación Cachi, en cambio el mínimo de 39.3 en la estación Burgay DJ. Déleg; los resultados muestran que al aumentar progresivamente el caudal del río, debido a los usos del suelo, la erosión y las descargas de aguas residuales, su calidad va disminuyendo (ver Tabla 2).

3.2. Sobre los plaguicidas

Los resultados de estos indicadores se presentan en la Tabla 2. Las casillas con sombra significan presencia de plaguicidas. Para la interpretación se toma como referencia la Normativa Ecuatoriana TULAS (Texto Unificado de la Legislación Ambiental Ecuatoriana), que fija límites para plaguicidas en cuerpos receptores destinados como fuentes para abastecimiento humano con calidad que sólo requieren desinfección, de: 10 partes por billón (ppb) para plaguicidas órgano clorados (OC), y 100 ppb para plaguicidas órgano fosforados (OF).

Se observa que todas las estaciones presentan plaguicidas, al menos una vez; llama la atención el muestreo M3, en donde las estaciones que registraron plaguicidas, superaron los valores normativos para organoclorados de 10 ppb; pero la estación Cachi según el ICA en el mismo monitoreo, está catalogada como “poco contaminada”. Análisis semejantes puede hacerse en las otras estaciones, aunque sólo los monitoreos M3 y M5 superaron los valores referenciales.

En síntesis, todas las estaciones presentan contaminación por plaguicidas, situación especialmente preocupante en aquellas utilizadas como fuente de abastecimiento, sobre todo por no existir una relación con su ICA correspondiente. Como ejemplo se visualiza esta relación para la estación Cachi, en la Fig. 3.

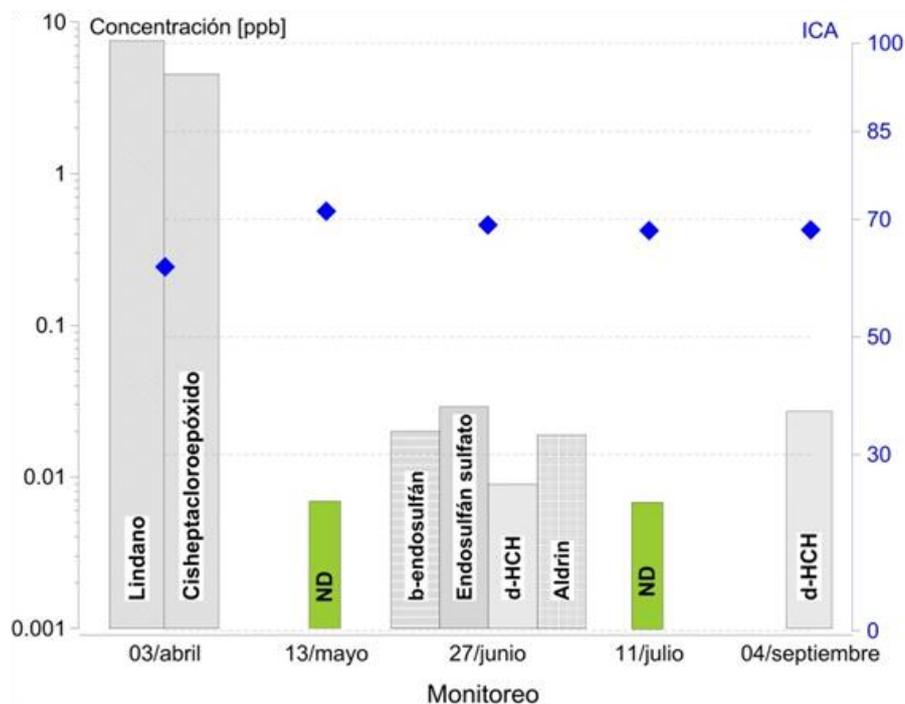


Figura 3. Relación plaguicidas - ICA por monitoreo, estación Cachi.

Tabla 2. Evolución del ICA en el periodo de evaluación.

Estación	Criterio general ICA por muestreo												Análisis de residuos de pesticidas por muestreo									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M3		M5		M7		M8		M9	
RIO CACHI					AC	AC	AC				AC	AC	OC	D	OC	ND	OC	D	OC	ND	OC	D
													OF	ND	OF	ND	OF	ND	OF	ND	OF	ND
RIO CACHIHUAYCO	?												OC	ND	x	x	OC	ND	OC	D	OC	D
													OF	ND			OF	ND	OF	ND	OF	ND
RIO TAMBO	?			AC									OC	ND	OC	ND	OC	D	OC	D	OC	D
													OF	ND	OF	ND	OF	ND	OF	ND	OF	ND
BURGAY ORIGEN													OC	ND	OC	ND	OC	D	OC	ND	OC	D
													OF	ND	OF	ND	OF	ND	OF	ND	OF	ND
BURGAY A.J. TABACAY													OC	ND	OC	ND	OC	D	OC	D	OC	ND
													OF	ND	OF	ND	OF	ND	OF	ND	OF	ND
BURGAY D.J. TABACAY		C	C						C	C	C	C	OC	D	OC	ND	OC	D	OC	D	OC	D
													OF	ND	OF	ND	OF	ND	OF	ND	OF	ND
BURGAY A.J. DELEG		C	C	?				C	C	C	C	C	OC	D	OC	ND	OC	D	OC	D	OC	D
													OF	ND	OF	D	OF	ND	OF	ND	OF	ND
BURGAY D.J. DELEG		C	C	?			C	C	C	C	C	C	OC	ND	x	x	OC	D	OC	D	OC	D
													OF	ND			OF	ND	OF	ND	OF	ND
Simbología:	ICA	RANGO	70 - 84	AC	Aceptable												PLAGUCIDAS	OC	Organo clorado			
			50 - 69	PC	Poco contaminado													OP	Organo fosforado			
			30 - 49	C	Contaminado													D	Detectado			
																		ND	No detectado			

3.3. Sobre los usos

Los usos del agua según el valor del ICA obtenido y cuando la corriente presenta caudal bajo se presenta en la Tabla 3, notándose que en las primeras cinco estaciones, son prácticamente los mismos; a partir de Burgay DJ Tabacay la calidad disminuye restringiendo fuertemente los beneficios del recurso.

Table 3. Usos del agua, en caudal bajo (condiciones más desfavorables para la calidad).

Estaciones	Valores promedio	Abastecimiento Público	Recreación	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola
Río Cachi	66.2	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendable	Aceptable excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para industria normal
Río Cachuayco	63.1	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendable	Aceptable excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para industria normal
Río Tambo	62.6	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendable	Aceptable excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para industria normal
Río Burgay (origen)	64.2	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendable	Aceptable excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para industria normal
Río Burgay AJ. Tabacay	53.3	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendable	Aceptable excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para industria normal
Río Buragy DJ. Tabacay	47.4	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Sólo organismos muy resistentes	Tratamiento en la mayor parte de la industria
Río Buragy AJ. Déleg	42.2	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Sólo organismos muy resistentes	Tratamiento en la mayor parte de la industria
Río Buragy DJ. Déleg	41.7	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Sólo organismos muy resistentes	Tratamiento en la mayor parte de la industria

En general, todo el cuerpo receptor presenta un grado de contaminación preocupante; la estación Cachi corresponde al punto donde nace el río Burgay, pero no es una estación de referencia, ya que para consumo humano por ejemplo ya sugiere una “mayor necesidad de tratamiento”.

Finalmente por la presencia de plaguicidas, prácticamente todos los usos del cuerpo receptor son muy limitados, aunque el valor del ICA asigne algunos de ellos, a unas cuantas estaciones. La Fig. 4, presenta la relación ICA y el número de plaguicidas detectados en todas las estaciones durante el período de evaluación. Se observa que los ICA's varían dentro de un reducido rango; es decir los valores son concurrentes en torno a una media, excepto en la estación Burgay en donde se produce mayor variabilidad. El número de plaguicidas por estación, no tiene relación con los índices ICA.

Se confirma entonces que la fuente presenta una toxicidad crónica a largo plazo, ya que si no se realizan tratamientos específicos para su remoción, el agua potable constituye la vía de exposición y su consumo la ruta de transmisión directa del tóxico a la población. Es importante también analizar la naturaleza de los plaguicidas, ya que por sus propiedades específicas generan un efecto tóxico

diferente; un dato importante por ejemplo, es su clasificación como agente cancerígeno o no, aspecto que influye significativamente al evaluar el riesgo toxicológico de la fuente (Pauta, 2014).

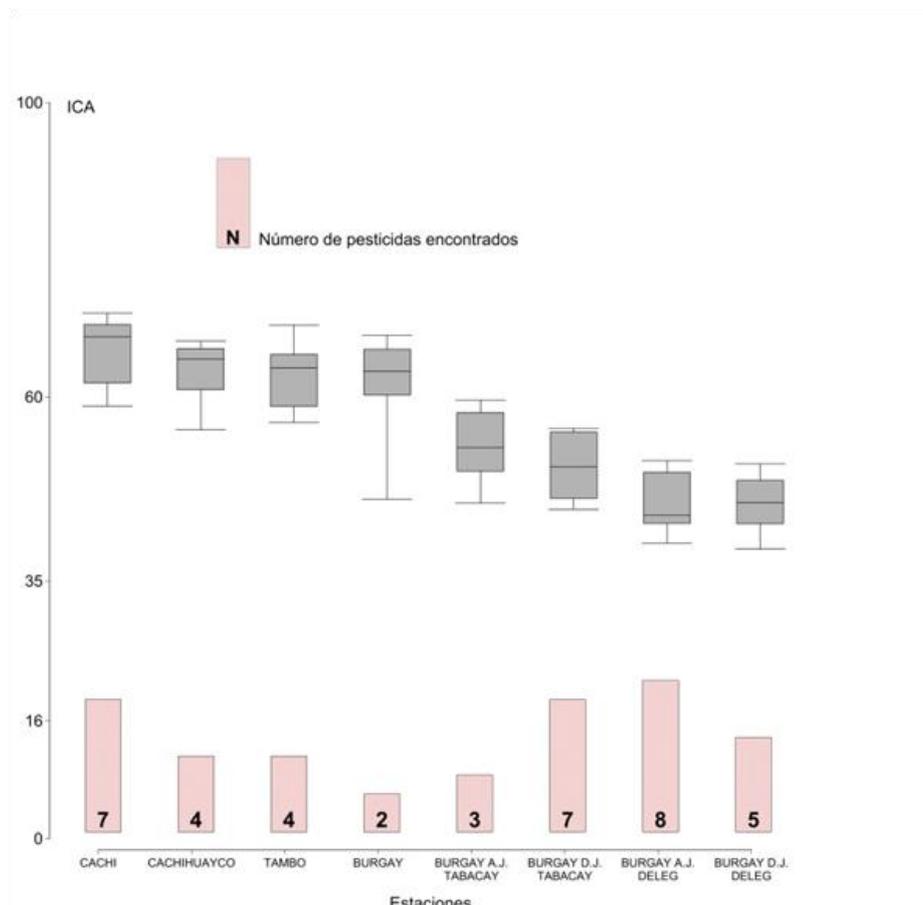


Figura 4. Box plots del ICA y número de plaguicidas por estación.

3.4. Sobre la variación temporal y espacial

La calidad del río presenta variación temporal en todas las estaciones pero es más significativa en la estación Burgay. La calidad también varía espacialmente, sobre todo cuando la corriente registra caudal bajo. Esta información es importante para las precauciones a tener, en los mecanismos de tratamiento: dosis de coagulantes, polímeros, desinfectantes, etc., cuando el recurso sea utilizado como fuente de abastecimiento (ver Figs. 5 y 6).

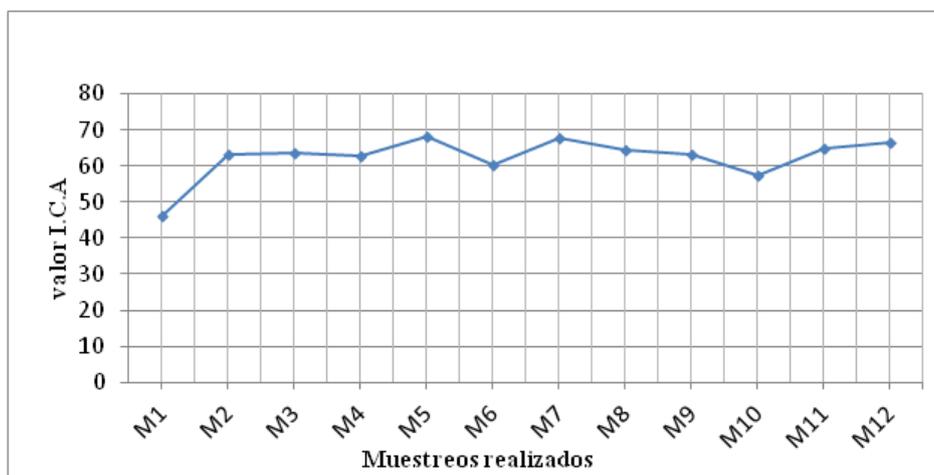


Figura 5. Variación espacial de la calidad en la estación Burgay.

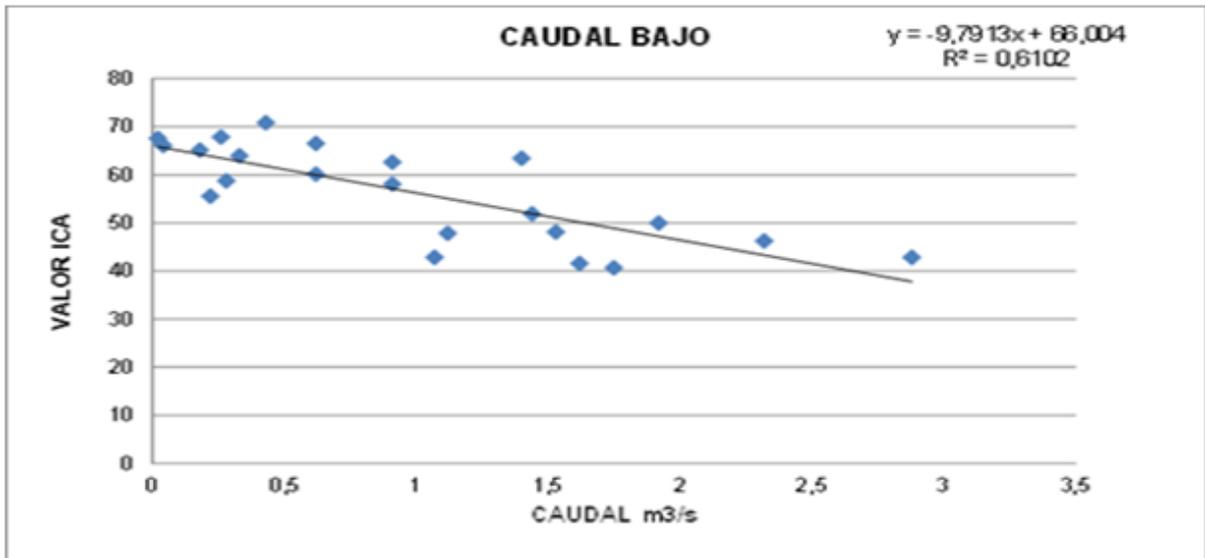


Figura 6. Variación temporal de la calidad.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Según el modelo de calidad empleado, el Río Burgay está catalogado como “poco contaminado” en su zona alta, y “contaminado” en la parte media y baja. El uso del suelo incluyendo la urbanización y la industrialización, afectan significativamente a la calidad del agua, siendo la agricultura la que produce un efecto más profundo en los recursos hídricos debido a su naturaleza, a la extensión y al grado de dispersión (contaminación difusa). Esta calidad de agua restringe sus usos, sobre todo para el consumo humano y para el mantenimiento de la pesca y vida acuática. (ecosistema).
- Debido a la presencia de plaguicidas, hay un riesgo toxicológico permanente en el cuerpo receptor, por lo que es necesario despertar una preocupación en los organismos encargados de la administración y el manejo del recurso.
- Los resultados demuestran que no existe relación entre la calidad físico-químico y bacteriológica (ICA) del río, con la presencia de plaguicidas; por lo que la primera es una información necesaria pero no suficiente para un diagnóstico en los estudios de evaluación; aspecto importante a la hora de tomar decisiones, al dictar normas, y al establecer requisitos y objetivos de calidad.
- Al no disponer de tratamientos específicos para la remoción de plaguicidas, se deberán extremar las medidas de control y vigilancia de la calidad del agua, tanto en la fuente de abastecimiento como del agua tratada y distribuida.
- Las concesiones de parte de la SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua) deben tomar en cuenta la calidad del agua en las asignaciones del recurso; sobre todo cuando el uso sea el doméstico y el consumo humano, especialmente crítico en períodos de estiaje.
- El índice ICA permite un análisis de la tendencia de la calidad, por lo que puede ser empleado como una herramienta de información pública y para el manejo del recurso; no obstante no tiene la capacidad de mostrar efectos acumulativos que provocan los tóxicos en el tiempo, ni sus efectos antagónicos y sinérgicos sobre las comunidades biológicas existentes en los cuerpos acuáticos.
- Todos los abastecimientos de agua deben ser vigilados por un organismo externo como el Ministerio de Salud Pública; para hacer operativa esta propuesta puede trabajarse con una metodología planteada por la OPS/OMS, a partir de un Laboratorio Central cuya capacidad de análisis le permita realizar análisis físico-químico y microbiológicos completos y de

contaminantes orgánicos; luego un segundo nivel de Laboratorios Regionales, que puedan ejecutar análisis físico-químico limitados y microbiológicos completos; por último los Laboratorios Locales o equipos portátiles, que puedan ejecutar ensayos de: cloro residual libre, turbiedad, pH, conductividad, coliformes totales y termorresistentes.

- Finalmente, mientras más limpia sea el agua de la fuente de abastecimiento (agua cruda), más barata será el agua tratada y más sana para beber.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Programa VLIR de la Universidad de Cuenca, y particularmente al Proyecto “Manejo Integrado de la Calidad del Agua”, por el apoyo brindado para la ejecución del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Álvarez, J., J.E. Panta, C.R. Ayala, E.H. Acosta, 2008. Calidad integral del agua superficial en la cuenca hidrológica del Río Amajac. *Información Tecnológica*, 19(6), 21-32.
- Branco, R., 2012. Variabilidade espacial de parametros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do igarapé são francisco, Rio Branco, acre, Brasil. *Ecología Aplicada*, 11(1), 23-26.
- CETESB, 2006. Relatório de qualidade das águas interiores no estado de sao paulo. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Agências da Cetesb, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Brasil. Disponible en <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios#>.
- Khan, A.A., A. Tobin, R. Paterson, H. Khan, R. Warren, 2005. Application of CCME procedures for deriving site-specific water quality guidelines for the CCME Water Quality Index. *Water Quality Research Journal of Canada*, 40(4), 448-456.
- OMS/OPS, 2006. Guías para la calidad del agua potable (3a ed.). Disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/.
- Miliarium Aureum S.L., 2001, 2004. Índices globales de calidad de las aguas. Disponible en <http://www.miliarium.com/prontuario/Indices/IndicesCalidadAgua.htm>.
- Pacheco, J.P, R. Arocena, G. Chalar, P. García, M. González Piana, D. Fabián, S. Macarena, O. Vanesa, 2012. Evaluación del estado trófico de arroyos de la cuenca de Paso Severino (Florida, Uruguay) mediante la utilización del índice biótico. *AUGMDOMUS*, 04, 80-91.
- Pauta, G., 2014. Estudio integral de la calidad del agua del Río Burgay, y evaluación de riesgo toxicológico por la probable presencia de plaguicidas. Tesis Maestría en Toxicología Industrial y Ambiental, Universidad de Cuenca, 163 pp. Disponible en <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/19831>.
- Ruiz, N.E.S., Y. Carvajal Escobar, J.C. Escobar, 2007. A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- Torres, P., C.H. Cruz, P. Patiño, 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano, una revisión crítica. *Rev. ing. univ. Medellín*, 8(15), 79-94.
- Torres, P., Cruz, C.H., Patiño, P., Escobar, J.C., A. Pérez, 2010. Aplicación de índices de calidad de agua-ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), 86-95.
- Valle, U.D., 2004. Estudio de la calidad del agua del Río Cauca y sus principales tributarios, mediante la aplicación de índices de calidad y contaminación. Proyecto de Modelación del Río Cauce -

PMC Fase II - Volumen X. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca Subdirección de Conocimiento Ambiental Territorial y Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Colombia, 158 pp. Descargado de <http://www.cvc.gov.co/cvc/Mosaic/dpdf2/Volumen10/1-ECARCpag1-158.pdf> el 25 de noviembre 2014.

Vizcaíno, L.F.L., 2014. Índices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Disponible en <https://www.dspace.espol.edu.ec/.../ICA%20Forma%20de%20estimarlos>, 7 pp.