

VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CACHIL, CON ÉNFASIS EN LA UTILIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL, SALAMÁ, BAJA VERAPAZ

Monica Lisett Aldana Aguilar¹

RESUMEN: Este artículo se basa en la generación de información de la variación estacional en la calidad del recurso hídrico del río que abastece de agua potable a la población de Salamá, en el cual se determinaron los índices de calidad del río Cachil que pertenece a la cuenca del mismo nombre, ubicada en el área del corredor seco en el municipio de Salamá departamento de Baja Verapaz. En este estudio se hace énfasis en el análisis de la variación de la calidad del agua según la contaminación que esté presente en la época lluviosa calculando los índices de calidad mensuales, a través de los cuales se identificaron variaciones causadas por el aumento de material suspendido procedente de arrastre en la época lluviosa. Para poder determinar la variación de la calidad de agua se establecieron 4 puntos de muestreo; uno ubicado en la parte alta de la cuenca (Llano Largo), el segundo en la parte media (El Carmen), el tercero en la parte baja (Cachil) y el cuarto en el área de captación para la planta de tratamiento. Se realizaron muestreos mensuales en donde se tomaron parámetros in situ y parámetros que se analizaron a nivel de laboratorio estos proveyeron información que permitió calcular los índices de calidad de agua por medio de WQI_{NSF} , metodología que asigna valores de ponderación a cada una de las variables en las que se fundamenta, para que este índice pueda determinarse como: (Krendel y Novontny, 1980); donde W_i denota el factor de importancia o ponderación de la variable (i) respecto a las restantes variables que conforman el índice, y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno. (15) Estos permitieron definir que las variaciones de calidad se dan principalmente por los niveles de conductividad eléctrica, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto, sólidos totales, coliformes totales y fecales que muestran una variación estacional marcada. Las aguas del río Cachil en época de lluvia se clasifican dentro de los índices de calidad para consumo entre (40.21 a 60.21) índices de calidad de media a mala, con estas características podrían utilizarse con tratamientos de potabilización. Y para uso agrícola se encuentra dentro del mismo rango la cual podría utilizarse para la mayoría de los cultivos y en algunos meses se debe realizar tratamientos para la utilización en sistemas de riego. Es importante resaltar que estos datos se pudieron obtener asociando parámetros físico-químicos y bacteriológicos (Temperatura, sólidos disueltos, turbiedad, fosfatos, % de saturación de oxígeno, pH, nitratos, coliformes fecales, y DBO). También se determinó la morfometría de la cuenca, definiéndola como alargada, con una densidad de drenajes baja que refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta, con pendiente media de 43.21% y pendiente del cauce principal de 5.724 %. Se observó que el caudal disminuye considerablemente de febrero al mes de abril (caudal mínimo es $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de febrero en la parte baja de la cuenca) y el mes que reporta mayor caudal es agosto (caudal máximo $2.33 \text{ m}^3/\text{s}$ en el punto medio de la cuenca El Carmen).

PALABRAS CLAVE: Agua superficial, Índices de calidad del agua, cuenca, análisis del agua, calidad del agua, contaminación del agua, gestión integrada de recursos hídricos, riegos, variación estacional, índices de cuencas, DBO, Oxígeno disuelto, cuenca.

ABSTRACT: This article has generated information on seasonal variations in water quality of the river that supplies drinking water to the population of Salama, determining the quality indices of the Cachil river that belongs to the watershed of the same name, it is located in the dry corridor in the village of Salama of the department of Baja Verapaz. This paper emphasizes the analysis the variation of water quality from the pollution present in the rainy season calculating the monthly quality indices, through which were identified variations caused by water shortages due to low rainfall and the increased use of water for irrigation in the dry season and increased suspended material from erosion in the rainy season. To determine the variation of water quality there were established four sampling points, one located in the upper part of the watershed (Llano Largo), the second in the middle (El Carmen), the third in the lower (Cachil) and fourth in the catchment area of the treatment plant. Monthly samples were made where in situ parameters were taken and parameters that were analyzed in the laboratory, information that allowed the calculation of water quality indices through $WQINSF$, which assigns values of importance to each of the variables in which it is based, so that the index can be determined as: (Krendel and Novontny, 1980), where W_i denotes the importance or weighting factor of the variable (i) with respect to the other variables that make up the index, and weighted between 0 and 1, so that the total is equal to one. Indices used to define the quality variation is mainly due to the levels of electrical conductivity, nitrates, phosphates, dissolved oxygen, total solids, total and fecal coliforms that showed a marked seasonal variation. Cachil river waters generally are classified into quality indices for the rainy season for consumption are between the ranges (40.21 to 60.21) with indices of medium to poor quality, with these characteristics the water could be used with purification treatments. And for agricultural use it is within the same range which could be used for most crops and in some months it has to be treated for irrigation use. It is important to underline that the data could be obtained associating physico-chemical and bacteriological parameters (temperature, dissolved solids, turbidity, phosphates, % oxygen saturation,

pH, nitrates, fecal coliform and DBO). It was determined that the morphometry of the watershed is elongated, with a low density of drains that reflects a poorly drained area with a very low hydrological response, with an average slope of 43.21 % and a main channel slope of 5.724 %. Also it was observed that the flow rate decreases considerably from February to April (minimum flow rate is 0.001 m³/s at February and at the lower part of the watershed) and August is the maximum flow rate (maximum flow rate 2.33 m³/s at the El Carmen basin midpoint).

KEYWORDS: Surface water, water quality indices, basin, water testing, water quality, water pollution, integrated water resources management, irrigation, seasonal variation, indices of basins, BOD, dissolved oxygen, watershed.

INTRODUCCIÓN:

La presión sobre los recursos hídricos está aumentando, principalmente como resultado de las actividades humanas como el cambio del uso del suelo (avance de la frontera agrícola), la urbanización, el crecimiento demográfico, el aumento de la demanda por el agua, cuyas consecuencias se ven agravadas por el cambio climático y las variaciones de las condiciones naturales, el deterioro de los recursos naturales y la pobreza propician que el país sea cada vez más vulnerable a desastres naturales, contaminación de sus fuentes de agua y a las consecuencias que de esta se derivan.

El río Cachil es un claro ejemplo del entorno natural protegido sin industrias, por lo que se creería la baja probabilidad de una contaminación a gran escala y donde la población se encuentra concentrada en pequeños núcleos, debido a lo antes expuesto se estableció como un punto propicio para realizar este estudio que busca determinar la variación de la calidad de agua del río que abastece de agua para consumo a la población; mediante índices de calidad metodología que permite agrupar parámetros físico-químicos y bacteriológicos (Porcentaje de saturación de oxígeno, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad, y sólidos totales) para determinar la calidad del vital líquido según los distintos usos para los que se requiere.

En este artículo se analizaron los cambios espacio-temporal de la contaminación del río Cachil, a través de la variación de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Determinando los índices de calidad del agua en la época lluviosa (debido al aumento de la precipitación y al arrastre de sedimentos).

DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CACHIL:

La cuenca del río Cachil se encuentra ubicada al norte del Municipio de Salamá, Baja Verapaz, pertenece a la depresión y valle del Chixoy.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

Cuadro 1. Ubicación de los puntos de muestreo

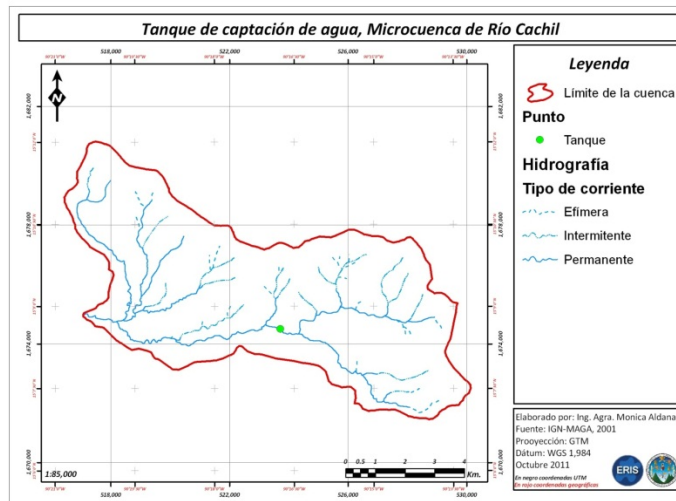


Figura 1 y 2. Ubicación de los puntos de muestreo

Punto	Lugar	Oeste	Norte
1	Llano Largo	W 90° 14' 50.43''	N 15° 08' 49.79''
2	El Carmen	W 90° 16' 25.19''	N 15° 08' 29.48''
3	Cachil	W 90° 17' 48.88''	N 15° 08' 24.34''
4	Tanque	W 90° 16' 45.44''	N 15° 08' 35.23''

METODOLOGÍA:

1. Caracterización biofísica y socioeconómica de la cuenca se realizó por medio de información secundaria existente de la zona relacionada con la cuenca.
2. Delimitación de la cuenca del río Cachil se realizó en la hoja cartográfica de Salamá, se digitalizó y se determinó su morfometría.
3. Caracterización del río Cachil y monitoreo de la calidad del agua superficial y determinación de los índices de calidad; Se establecieron tres puntos de muestreo dentro de la cuenca del río Cachil. Se tomaron muestras para estimar los parámetros necesarios para la determinación de la calidad del agua: Parámetros Físico-Químicos y bacteriológicos. Los parámetros que se midieron fueron: (in situ) temperatura, Oxígeno disuelto,

conductividad y pH. Se analizaron en el laboratorio (nitritos, nitratos, fosfatos, coliformes). Se tomaron muestras en los meses de la época de lluvia (Abril, Mayo, Junio, Agosto, Octubre), y se incluyó en los puntos de muestreo un cuarto punto en el área de captación de agua dentro del río, los análisis de estos parámetros se realizaron en el laboratorio unificado de química y microbiología sanitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

4. Estimación del índice de calidad, WQI_{NSF} , se asignaron valores según el factor de ponderación de cada una de las variables en las que se fundamenta, de tal forma que este índice pueda determinarse como: (Krendel y Novontny, 1980):

$$WQI = \sum_{i=1}^9 W_i \times Q_i$$

Dónde:

W_i : denota el factor de importancia o ponderación de la variable (i) respecto a las restantes variables que conforman el índice. Y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Q_i : la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100. (15)

MORFOMETRÍA DE LA CUENCA

Cuadro 2. Aspectos morfométricos de la cuenca del río Cachil

Aspecto	Medición	Valor
Líneales	Perímetro de la cuenca	42.05 km ²
Superficie	Área de la cuenca	62.8187 km ²
	Relación de forma	0.29619
	Densidad de drenaje	1.2254 km/km ²
	Frecuencia de densidad de corrientes	1.1143/km ²
Relieve	Pendiente media de la cuenca	43.21 %
	Pendiente del cauce principal	5.724 %

HIDROMETRÍA

Cuadro 3. Caudales del río Cachil Noviembre 2009 a Octubre 2010

Mes/Año*	Caudal Llano Largo m ³ /s	Caudal El Carmen m ³ /s	Caudales Cachil m ³ /s
nov-09	0.11	0.22	0.12
dic-09	0.09	0.22	0.01
ene-10	0.22	0.48	0.26
feb-10	0.05	0.16	0.001
mar-10	0.07	0.13	0.01
abr-10	0.07	0.13	0.02
may-10	0.29	0.72	0.68
jun-10	0.09	0.26	0.13
jul-10	0.19	0.23	0.17
ago-10	0.52	2.31	1.96
sep-10	0.40	1.34	1.43
oct-10	0.20	0.56	0.75

*Fuente programa conjunto Salamá y propia

Cuadro 4. Características físicas, químicas y bacteriológicas del punto 1 (Llano Largo)

Parámetro/mes*	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubr e-10
Temperatura °C	20.25	19.2	19.8	19.4	18.3
Turbiedad NTU	1.01	8.58	1.21	9.05	0.28
% de Saturación de oxígeno	68	72	76	68	64
DBO(mg/L)	18.0	29.7	26.3	21.0	27.0
Nitratos (mg/L)	2.30	3.50	1.10	1.90	6.10
Fosfatos (mg/L)	0.20	0.40	0.32	0.39	0.43
Sólidos Totales(mg/L)	132.3 3	77.00	109.6 7	123.00	145.20
pH	7.9	11.5	10.4	10.2	9
Coliformes fecales NMP/100ml	350	210	40	98.5	410.6

Cuadro 5. Características físicas, químicas y bacteriológicas del punto 2 El Carmen

Parámetro/mes*	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubr e-10
Temperatura °C	22.65	21.5	21.6	20.8	19.9
Turbiedad NTU	0.90	37.60	1.34	28.80	1.37
% de Saturación de oxígeno	6.00	7.40	7.30	7.00	6.80
DBO(mg/L)	7.7	16.0	3.3	8.3	32.7
Nitratos (mg/L)	3.00	4.55	1.54	1.90	2.30
Fosfatos (mg/L)	0.70	1.65	1.70	1.78	0.83
Sólidos Totales(mg/L)	168.6 7	105.5 0	144.3 3	118.67	1985.40
pH	8.5	10.1	10	10.7	9.2
Coliformes fecales NMP/100ml	≥240 0	≥240 0	1100	461.1	344.8

*Fuente propia

Cuadro 6. Características físicas, químicas y bacteriológicas del punto 3 (Cachil)

Parámetro/mes*	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Temperatura °C	23.55	23.2	22.8	21.5	21.2
Turbiedad NTU	1.22	28.40	1.16	38.90	1.65
% de Saturación de oxígeno	75	79	81	69	77
DBO(mg/L)	22.0	10.3	41.7	25.7	21.3
Nitratos (mg/L)	2.90	2.30	1.98	2.00	3.30
Fosfatos (mg/L)	0.10	2.90	3.35	8.40	2.13
Sólidos Totales(mg/L)	264.3	95.50	225.6	94.03	1950.2
pH	8.3	10.4	10	9.9	9.3
Coliformes fecales NMP/100ml	350	≥2400	≥2400	185.0	365.4

*Fuente propia

Cuadro 7. Características físicas, químicas y bacteriológicas del punto 4 (Tanque)

Parámetro/mes*	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Temperatura °C	23	22.8	22	21	21.5
Turbiedad NTU	2.41	52.00	0.74	50.20	0.64
% de Saturación de oxígeno	76	79	81	70	86
DBO(mg/L)	15.0	16.0	23.3	26.0	27.3
Nitratos (mg/L)	2.70	2.50	1.54	1.70	6.60
Fosfatos (mg/L)	0.50	1.00	1.22	0.54	1.78
Sólidos Totales(mg/L)	227	94	201	79.01	203.33
pH	8.2	10.7	10.1	10.3	9.2
Coliformes fecales NMP/100ml	240	240	460	137.4	275.5

*Fuente propia

Cuadro 8. Índices de Calidad de la parte alta del río Cachil

Llano Largo*	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Octubre
Total ICA	60.21	49.19	56.98	52.66	50.23
Rango de calidad	media	mala	media	media	media
Uso en agua potable (15)	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.	Tratamiento potabilizador necesario.	Tratamiento potabilizador necesario.
Uso en agricultura (15)	Utilizable en mayoría de cultivos.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos.	Utilizable en mayoría de cultivos.	Utilizable en mayoría de cultivos.

*Fuente propia

Cuadro 9. Índice de Calidad de la parte media del río Cachil

El Carmen*	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Octubre
Total ICA	53.51	41.21	53.4	45.13	53.1
Rango de calidad	media	malo	media	mala	media
Uso en agua potable (15)	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.
Uso en agricultura (15)	Utilizable en mayoría de cultivos.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos.

*Fuente propia

Cuadro 10. Índice de Calidad de la parte baja del río Cachil

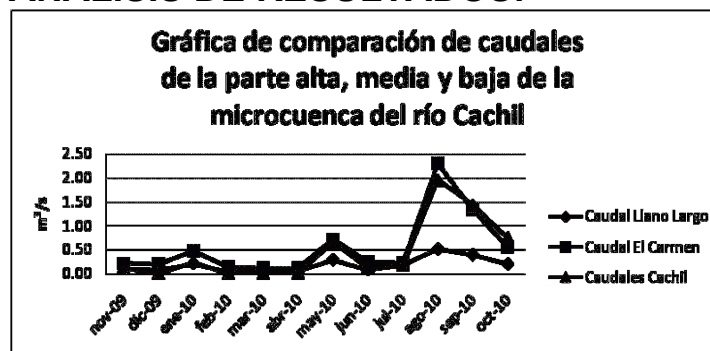
Tanque*	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Octubre
Total ICA	57.78	45.88	49.05	48.63	50.23
Rango de calidad	media	mala	mala	mala	media
Uso en agua potable (15)	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Dudosa para consumo.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.
Uso en agricultura (15)	Utilizable en mayoría de cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos

Cachil*	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Octubre
Total ICA	59.09	43.64	45.75	41.77	50
Rango de calidad	medio	malo	malo	malo	medio
Uso en agua potable (15)	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Dudosa para consumo.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.
Uso en agricultura (15)	Utilizable en mayoría de cultivos.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos

*Fuente propia

Cuadro 11. Índice de Calidad de Agua tanque de captación de agua en el río Cachil

*Fuente propia

ANÁLISIS DE RESULTADOS:**Figura 3. Grafica de comparacion de caudales de la parte alta, media y baja de la cuenca**

Se observan en la figura 3 los meses en que el caudal disminuye considerablemente y es de febrero al mes de abril; y los meses que reportan mayor cantidad de caudal es de agosto a octubre, influenciados por la época lluviosa. Los meses de mayo y enero presentan un ligero aumento en el caudal, el mes de mayo afectado por la tormenta tropical Agatha; y el mes de enero podría deberse a precipitaciones en la parte alta de la cuenca.

Índices de Calidad del agua: En la Cuenca del río Cachil por medio de la asociación de indicadores que fueron

simplificados por medio de una expresión numérica como se observa en los cuadros 7, 8, 9 y 10, en la cual se determinó que el índice de calidad de agua se encuentra dentro de un rango de medio a malo (40.21 y 60.21), los cuales determinan que para uso humano debe tratarse y con fines agrícolas se puede utilizar para la mayoría de los cultivos.

Es importante resaltar que en las cercanías del río existen varias carreteras y accesos que son fuente importante de contaminación además de degradación de los recursos asociados al río; además de la presión antropogénica que se da en el recurso debido a los diversos usos para los que se utiliza; para la agricultura (principalmente cultivo de tomate) y abastecimiento humano debido a que del mismo se abastece en gran parte la cabecera municipal de Salamá.

CONCLUSIONES:

1. La calidad del río Cachil en términos generales se encuentra dentro de la clasificación media la cual debe recibir ciertos tratamientos para su uso; además de presentar variación en la calidad física, química y bacteriológica en la parte alta, media y baja de la cuenca determinando que el punto más contaminado es el que se encuentra en la aldea Cachil parte baja de la cuenca y el que presenta mejor calidad es el punto ubicado en la aldea Llano Largo parte alta de la misma.
2. La morfometría de la cuenca indica que la forma es alargada. La cual tiene relación con la cantidad de escorrentía que se da en el área. Con una densidad de drenajes baja que refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta. La pendiente media de la cuenca es de 43.21% y la pendiente del cauce principal de 5.724 %.
3. El caudal disminuye considerablemente de febrero al mes de abril (caudal mínimo reportado es 0.001 m³/s en el mes de febrero en la parte baja de la cuenca) y los meses que reportan mayor cantidad de caudal son de agosto a octubre (caudal máximo reportado es de 2.33 m³/s en el mes de agosto en el punto medio de la cuenca en El Carmen), existiendo un aumento en el caudal en el mes de mayo influenciado por la tormenta tropical Agatha.
4. La calidad del recurso hídrico del río Cachil según la norma de agua potable COGUANOR define que algunos parámetros, se encuentran fuera del límite máximo permisible razón por la cual la utilización del agua del río Cachil debe recibir tratamientos de potabilización antes de su consumo.
5. Los índices de calidad del agua de río Cachil en época de lluvia para consumo humano se encuentran entre el rango de calidad media a mala (40.21 y 60.21) la cual se podría utilizar con tratamientos de potabilización. Y para uso agrícola podría utilizarse para la mayoría de los cultivos.

BIBLIOGRAFÍA:

- Aguinaga, S. (1996). Manual de procedimientos analíticos de aguas y efluentes. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio y Ambiente. Extraído el 15 de enero del 2011 desde: http://www.google.com.gt/#hl=es&sugexp=kjrmc&cp=16&gs_id=1p&xhr=t&q=dinama+manual&pf=p&scient=psy-ab&source=hp&pbx=1&oq=dinama+manual+de&aq=f&aqi=&aql=&gs_sm=&gs_upl=&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.,cf.osb&p=c6e5e95adb1824d&biw=948&bih=453
- Basterrechea, M. (2009). Línea base sobre el Estado de los recursos naturales en 6 cuencas en los municipios del Corredor Seco de Baja Verapaz, Guatemala. Asesoría Manuel Basterrechea y Asociados, S.A. 412pp.
- Centro de estudios ambientales. (2007). Proyecto Institucionalidad local para el manejo de bosque y agua en comunidades indígenas Sitio Finca Pacalaj y Sitio bosque El Gigante Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala. 164 pp.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Departamento de vida silvestre. (2007). *Monitoreo de calidad de agua. Procedimiento operativo*. Extraído el 14 de octubre de 2011 desde <http://www.chmguatemala.gob.gt/informacion/monitoreo-de-biodiversidad/automatizado/Procedimiento%20Operativo%20Calidad%20de%20Agua.pdf>
- Córdoba Núñez, A. (2002). *Calidad de agua y su relación con los usos actuales en la Subcuenca del río Jucuapa. Magalpa, Nicaragua*. Trabajo de grado de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Turrialba. Costa Rica. Extraído el 12 de octubre de 2011 desde http://www.portalcuencas.net/Virtual_Library/Files/198.pdf
- Jiménez, M. (2006) *Análisis comparativo de Indicadores de calidad de agua Superficial*. Escuela de Geociencia y Medio Ambiente. Número 14. Medellín. Colombia. Extraído el 15 de octubre del 2011 desde <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/arh/articulo/viewFile/9331/9974>

Moraña, L., Salusso, M. García, M. (2002) *Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Grande (Alta Cuenca Del Bermejo, Jujuy)*. Rev. Biol. Trop. Universidad Nacional de Salta. Buenos Aires, Argentina.

Ramírez, J. (2003). *Línea base en calidad de agua para la cuenca del río Valdivia*. Trabajo de grado de Licenciatura, Universidad de Santiago de Chile. Chile. Extraído el 25 de septiembre de 2011 desde http://www.digeo.cl/doc/Ramirez_Pavez_Jeanett.pdf

Reynoso, L. Andriulo, A. (2009). Estado actual de la calidad del agua en la cuenca del Arroyo Pergamino. Extraído el 15 de enero del 2010 desde http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/2009/Calidad_agua_Cuenca_APerg_jun09.pdf

Saravia, P. (2009). Contaminación del agua. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 95pp.

Torres, F. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico*. Trabajo de grado de maestría. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico

Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). (2005). *Plan de monitoreo para sistemas de abastecimiento del río o nacimiento en el sur de Ahuchapan, El Salvador, C.A.* Extraído el 25 de septiembre de 2011 desde: eco-book.net/action/file/download?file_guid=885.

Universidad de Pamplona. Colombia. (n.d.) *Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia Mundial. Capítulo III*. Extraído el 10 de octubre de 2011 desde http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf

Valencia.J.L. (2007). Estudio Estadístico de la calidad del agua en la cuenca hidrográfica del río Ebro. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 338 pag. Extraído el 15 de enero del 2011 desde en: http://oa.upm.es/454/1/JOSE_LUIS_VALENCIA_DELF_A.pdf