

5

*Estudio Geoquímico de las Aguas que Drenan la Cuenca del Río  
Tuy, Venezuela.*

---

*Williams Meléndez, Nadeztha Hernández, Carlos Barrios*

*Recibido: Julio 2017*

*Aprobado: Noviembre 2017*

---

# Estudio Geoquímico de las Aguas que Drenan la Cuenca del Río Tuy, Venezuela

## Geochemical Study of Waters Draining the Tuy River Basin, Venezuela

Williams Meléndez<sup>1</sup>, Nadeztha Hernández<sup>1</sup>, Carlos Barrios<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central de Venezuela.

Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias de la Tierra. Caracas 1040.

[wmelende08@gmail.com](mailto:wmelende08@gmail.com)

### Resumen

Se realizó un estudio geoquímico en muestras de aguas de la Cuenca del Río Tuy, con el propósito de determinar la evolución del grado de contaminación que presenta este importante cuerpo de agua. Durante el muestreo fueron realizadas mediciones en campo de los parámetros pH, conductividad, temperatura y alcalinidad; las muestras fueron filtradas a 0,45  $\mu\text{m}$  y determinadas las concentraciones de Na, K, Ca, Mg, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Los resultados obtenidos indican que las zonas que presentan mayor contaminación corresponden a Guayas, Ocumare, Lagartijo y Boca de Cagua, y así como los afluentes correspondientes a las quebradas Cúa, Charallave y Guayas, y los ríos Caucagua y Guaire, evidenciado por los altos valores de conductividad y los mayores valores de concentraciones de las especies Na, K, Ca, Mg, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, no obstante en las zonas aguas arriba en el río desde la Colonia Tovar hasta El Consejo, las concentraciones fueron similares a las de afluentes considerados como no contaminados. En cuanto al NO<sub>3</sub><sup>-</sup> este presentó sus máximos en Boca de Paparo, Hacienda Buen Paso Hacienda Santa Teresa y Tácata, atribuido a las actividades agropecuarias.

**Palabras clave:** Río Tuy, contaminación, elementos mayoritarios, Venezuela.

### Abstract

A geochemical study was realized in water samples of the Rio Tuy basin, with the aim of determining the degree of pollution that presents this important river. Measurements of pH, conductivity, and alkalinity were realized in field during sampling. The samples were filtered at 0.45  $\mu\text{m}$  and the concentrations of Na, K, Ca, Mg, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> were determined. Results indicate that Guayas, Ocumare, Lagartijo and Boca de Cagua present higher pollution correspond to, as well as the tributaries located at Cúa, Charallave and Guayas, and the rivers Caucagua and Guaire, this demonstrated by the high values of conductivity and the major values of concentrations of the species Na, K, Ca, Mg, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, although in areas upstream from the Colonia Tovar concentrations were similar to those of non-contaminated tributaries. As for the NO<sub>3</sub><sup>-</sup> this one presented his maximums in Boca de Paparo, Hacienda Buen Paso, Santa Teresa and Tácata attributed to the agricultural activities.

**Keywords:** Tuy River, pollution, major elements, Venezuela.

## 1. Introducción

Los ríos son cuerpos de agua de gran importancia ecológica, ya que en éstos conviven una gran cantidad de especies, entre las que se encuentran organismos fotosintéticos como las algas, musgos, plantas acuáticas, así como diversas cantidades y tipos de peces. Por otro lado, al ser los ríos una de las fuentes principales de agua dulce, estos son empleados para usos domésticos, industriales, agrícolas y recreativos. De igual manera, los ríos son utilizados para la construcción de presas, las cuales tienen como objetivo

la producción de electricidad, riego, regulación de caudales, control de inundaciones, control de sequía y navegación (Seoáñez, 2000). El continuo y acelerado crecimiento poblacional, industrial y agrícola, ha convertido a estos sistemas en receptores de grandes cantidades de desechos. Las actividades domésticas contribuyen a través de los residuos provenientes de las poblaciones cercanas a los ríos, estos incluyen jabones, detergentes, restos de alimentos, grasas y excreciones humanas. Así mismo, las industrias influyen de manera importante a través de los vertidos químicos (Balairón, 2002). Por otro lado, las

principales fuentes de contaminantes asociados a las actividades agrícolas las constituyen los fertilizantes, los pesticidas y las industrias procesadoras de alimentos (FAO, 1992). Estas fuentes liberan una gran cantidad de elementos químicos al ambiente acuático, los cuales pueden ser incorporados como sólidos

disueltos, sólidos suspendidos y sedimentos de fondo (Blanco, 2007). La presencia y comportamiento de estos elementos dependerá en gran medida de parámetros fisicoquímicos como el pH, Eh, el oxígeno disuelto y la temperatura. (Domènech y Peral, 2006).



Figura 1. Ubicación geográfica de la Cuenca del Río Tuy, Venezuela. Los lugares de muestreo se indican con puntos rojos y corresponden a los indicados en la tabla 1.

Los ríos cuando reciben efluentes de diferentes fuentes tienen la capacidad de autopurificarse y lo hacen a través de mecanismos fisicoquímicos tales como intercambio iónico, adsorción, acomplejamiento, floculación y coprecipitación, entre otros (Blanco, 2007). Sin embargo, a causa del gran número de actividades que se desarrollan en las zonas cercanas a los ríos, la capacidad de recuperación de éstos disminuye, alterando la composición natural de los mismos, contaminando sus aguas, y rompiendo el equilibrio ecológico. Las investigaciones realizadas en la década de los años 80 en la cuenca del Río Tuy, no solo mostraron un alto índice de contaminación en su cauce sino también de algunos de sus principales afluentes, esto como consecuencia de las actividades industriales, domésticas y agrícolas que se desarrollan

en la cuenca, (Angulo, 1980; Yanes, 1980; Pineda, 1982). Sin embargo, desde entonces poco se conoce del estado actual del sistema, particularmente en la fase de sólidos disueltos, lo que permite resaltar la importancia, de que, al conocer estas condiciones de la cuenca, se tendrá información acerca de los cambios que han influido sobre el grado de contaminación, considerando que en la actualidad el incremento poblacional e industrial de la zona ha sido un factor relevante.

## 2. Zona de estudio

La cuenca del Río Tuy está ubicada en la región nor-central de Venezuela y tiene un área aproximada de 6600 Km<sup>2</sup> y recorre en todo su trayecto una longitud

aproximada de 270 Km (Mogollón, 1995). Sus cabeceras se encuentran en la vertiente sur de la Serranía del Litoral, a unos 2400 metros de altura, cerca del pico Codazzi, al norte de la Colonia Tovar, Estado Aragua. En este sector drena en dirección norte-sur; luego se desvía para tomar una dirección oeste-este hasta su desembocadura en el Mar Caribe, en la zona de Boca de Paparo, Estado Miranda (Picard y Pimentel, 1968) (Figura 1).

### 3. Metodología experimental

Se establecieron 36 puntos de muestreo, ubicados a lo largo del Río Tuy desde su nacimiento en la Colonia Tovar, estado Aragua, hasta la desembocadura en Boca de Paparo, estado Miranda; así como en los afluentes más importantes (Figura 1). Estos se seleccionaron de acuerdo a los análisis químicos de trabajos previos, la litología de la zona, las vías de acceso y las actividades domésticas, agrícolas e industriales en la zona. La captación, filtración a través de 0,45  $\mu\text{m}$  y el almacenamiento en envases de polietileno de 1 y 0,5 L, de las muestras se realizó en febrero de 2010. Las determinaciones de Na, K, Ca y Mg fueron realizadas mediante la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica (Perkin Elmer, modelo 2000); mientras que, las concentraciones de los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$ , fueron determinados por Cromatografía Iónica (DIONEX, modelo DX-120).

### 4. Presentación y discusión de resultados

#### 4.1. Parámetros Físicoquímicos

En la Tabla 1 son mostrados los valores de pH, conductividad, alcalinidad y temperatura medidos en los puntos de muestreo en función de la distancia del río, esto considerando la zona de la Colonia Tovar como 0 Km. Con respecto al pH puede observarse que los valores oscilan entre 6,30 y 8,13; a excepción del afluente río Cauagua (6,3), el resto de los valores están dentro de los límites mínimos y máximos permitidos en aguas tipo B según el Decreto 883, (Gaceta Oficial N° 1025, 1995) Venezuela, así como con los valores publicados para calidad de aguas superficiales y usos a nivel mundial (WHO, 1999). En cuanto al valor de pH obtenido en Cauagua, puede señalarse que el mismo es producto de las descargas de aguas servidas domésticas e industriales que vierten sus efluentes en esta zona (Annalakshmi and Amsath, 2012). Asimismo, los valores más altos fueron detectados en los afluentes Río Guare (8,1) y Río Súcuta (8,0). Angulo (1980) y Pineda (1982) señalan que estos ríos son considerados como no contaminados, además de estar en el intervalo natural de pH para este tipo de sistemas (WHO, 1999). Sin embargo, es de hacer notar que este parámetro no puede ser considerado un indicador directo de grado de contaminación, debido a que áreas contaminadas,

como Hacienda Santa Teresa, cuya evidencia de ello, han sido observadas en campo y a través de los valores de otras medidas de parámetros físicoquímicos, presentó un valor de pH de 8,0. Por otro lado, cerca del Río Guare aflora la Formación Paracotos caracterizada por estar litológicamente constituida por calizas (Zambrano, 1970), lo que explica el valor del pH ligeramente básico, no por descargas básicas sino por la presencia de carbonatos (APHA, 1995). Igualmente al comparar los valores de pH con los obtenidos en la época de lluvias en trabajos previos realizados en el Río Tuy (Yanes, 1980), puede observarse que estos son similares, predominando la tendencia en la que el Río Guare presenta mayor pH.

En cuanto a la conductividad, varía desde 133 a 1853  $\mu\text{S/cm}$  (Tabla 1).

Tabla 1: Parámetros físicoquímicos pH, Conductividad (Cond.), Temperatura (T) y Alcalinidad ( $\text{HCO}_3^-$ ) en el Río Tuy y sus principales afluentes.

	Estación	D. Km	pH	Cond. ( $\mu\text{S/cm}$ )	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Alcalinidad $\text{HCO}_3^-$ (mg/L)
1	Colonia Tovar	0	6,9	184	16,5	44,6
2	H. Buen Paso	21	7,7	345	21,8	139,5
3	H. Torre Casa	27	7,8	369	24,9	148,8
4	H. Santa Teresa	30	8,0	397	24,5	160,0
5	El Consejo	34	7,8	377	23,8	141,4
6	Qda. Guayas*	39	7,6	937	28,5	297,6
7	Guayas	40	7,7	708	29,8	245,6
8	Boca de Cagua	44	6,4	713	26,4	353,5
9	Tuy antes Guare	58	7,7	445	25,0	156,3
10	Río Guare*	59	8,1	351	24,7	199,1
11	Tácata	59	7,7	433	25,5	167,4
12	Cúa	70	7,6	436	27,5	167,4
13	Qda. Cúa*	71	7,4	1853	29,5	375,8
14	Río Tarma*	76	7,8	387	28,2	202,8
15	Río Ocumare*	83	7,3	556	27,8	236,3
16	Qda. Charallave*	85	7,7	1331	33,6	368,3
17	Ocumare	86	7,4	737	27,6	260,4
18	Río Marare*	89	7,4	312	26,3	135,8
19	Río Súcuta*	90	8,0	311	26,3	163,7
20	Lagartijo	103	7,3	658	29,7	234,4
21	Santa Teresa	113	7,3	656	29,9	213,9
22	Río Guaire*	117	6,7	606	27,4	271,6
23	Río Taguacita*	129	7,6	154	27,1	78,1
24	Taguacita-Tuy	130	7,5	677	26,7	195,3
25	Araguita	144	7,3	648	30,8	206,5
26	Río Taguaza*	151	7,4	134	29,3	63,3
27	Río Cauagua*	161	6,3	694	28,2	245,6
28	Río Cuirá*	171	7,4	212	27,2	99,0
29	Panaquire	186	7,6	463	27,6	157,2
30	Río Panaquirito*	187	7,4	184	26,4	63,0
31	Qda. Yaguapo*	193	7,6	170	25,2	72,0
32	Qda. Urba*	193	7,2	189	25,3	84,0
33	Río Sapo*	197	6,9	133	25,8	58,2
34	El Samán	202	6,9	482	28,1	166,2
35	San Juan-Galpones	228	7,1	486	27,3	135,8
36	Boca de Paparo	262	7,1	476	27,6	160,2

\* Afluentes del Río Tuy

Los valores más bajos son observados en las cabeceras del río, cerca de la Colonia Tovar y Hacienda Buen Paso. En estas zonas el río está poco influenciado por

actividades antrópicas, por lo que los valores de conductividad son similares a los de ríos utilizados como referencia de no contaminados por [Angulo \(1980\)](#), [Yanes \(1980\)](#) y [Pineda \(1982\)](#), tales como Taguacita, Taguaza y Panaquirito, entre otros. Los altos valores en el Río Tuy a la altura de Guayas y Boca de Cagua, son atribuidos a que esta zona está siendo influenciada por la entrada de la Quebrada Guayas, la cual está altamente contaminada ([Yanes, 1980](#), [Henríquez, 2011](#)), debido a que en ella descargan los efluentes domésticos provenientes de poblaciones cercanas como Las Tejerías. Por otro lado, la quebrada Morocopo que también desemboca en el Río Tuy, descarga los residuos de granjas porcinas y de las zonas industriales, las cuales deterioran la calidad de las aguas en esta zona.

En Ocumare el alto valor de conductividad (737  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) medido en el Río Tuy, está siendo controlado por la entrada de las quebradas Ocumarito y Charallave, las cuales drenan zonas industriales y de cultivos. Al comparar los valores de conductividad con los obtenidos por [Yanes \(1980\)](#), pudo observarse que los valores reportados en esta investigación son mayores, probablemente debido al aumento del grado de contaminación inorgánica en los últimos años, atribuido al incremento poblacional e industrial. Los valores de alcalinidad siguen una tendencia similar a los valores de conductividad (Tabla 1), lo que permite indicar que las razones expuestas en cuanto a los factores que controlan la conductividad, también se aplican para la alcalinidad.

Por su parte, la temperatura juega un papel importante en los sistemas acuosos ya que controla la velocidad y tipo de reacciones químicas en el medio ambiente ([Annalakshmi and Amsath, 2012](#)), (Tabla 1). El valor más bajo (16,5 °C) fue medido en la Colonia Tovar, esto es atribuido a factores naturales debido a la altitud sobre el nivel del mar es de 2200 m, con el consecuente enfriamiento de las aguas. Los mayores valores de temperatura se observan en las quebradas Cúa (29,5 °C) y Charallave (33,6 °C); además del Río Tuy en Guayas (29,8 °C) y Aragüita (30,8 °C). En estos puntos de muestreo las aguas presentan muy bajo caudal, poca profundidad y circulación de agua, lo cual trae como consecuencia una elevación de la temperatura. Un papel preponderante juegan las condiciones climáticas de la región, ya que en Charallave las temperaturas pueden llegar a los 30 °C, debido a su ubicación geográfica así como, por las emisiones vehiculares, fábricas, la tala y la quema en verano.

#### **4.2. Elementos mayoritarios Na, K, Ca, Mg**

La concentración de Na en la zona cercana al nacimiento del Río Tuy (Colonia Tovar y El Consejo) varió entre 9,3 y 12 mg/L, respectivamente, los cuales están por encima del valor de la concentración

promedio de Na en aguas naturales, que es 6,3 mg/L ([Hem, 1985](#)). Estos altos valores están asociados a la lixiviación de los fertilizantes, debido a que se trata de zonas agrícolas y los componentes de Na son usados en muchas aplicaciones que incluyen agroquímicos ([APHA, 1995](#)). Por su parte, en las haciendas Buen Paso, Torre Casa y Santa Teresa fueron detectados valores más bajos de la concentración promedio, atribuido a la baja densidad poblacional en estas zonas, con la disminución de efluentes domésticos.

El Río Tuy a la altura de Guayas, presenta un aumento notable en la concentración de Na a 39,9 mg/L, lo que se atribuye a las importantes descargas domésticas de las poblaciones Las Tejerías y Curiepe; de igual forma ocurre en el afluente quebrada Guayas (26,1 mg/L), la cual está fuertemente afectada también por descargas domésticas y actividades industriales. Por su parte, en Tácata ocurre una disminución considerable en la concentración de Na a 11,6 mg/L. Esta disminución es ocasionada por el efecto de dilución que genera el Río Guare, que es un afluente no contaminado (8,4 mg/L), que inyecta su caudal al Río Tuy ([Angulo 1980](#); [Yanes 1980](#); [Del Giudice, 1980](#); [Ramírez, 1984](#); [Pineda, 1982](#)).

Asimismo el aumento en la concentración de Na observado en Ocumare (38,3 mg/L), es atribuido a la entrada en este punto de las quebradas Cúa (161 mg/L), Charallave (105,2 mg/L) y Ocumarito (43,4 mg/L). Éstas presentaron los mayores valores de concentración de Na en toda la cuenca, debido a que allí llegan las mayores descargas industriales y domésticas de la zona. Luego, en Lagartijo la concentración de este elemento no varía en forma apreciable (36,6 mg/L), a pesar de la entrada de los afluentes menos contaminados Río Marare (18,5 mg/L) y Río Súcuta (13,6 mg/L). Esto permite señalar que la concentración de Na en Lagartijo proviene de las industrias que descargan sus aguas directamente al río y de los efluentes domésticos de las poblaciones cercanas tales como San Francisco de Yare.

Por su parte, los valores de concentración de Na obtenidos en Santa Teresa del Tuy (41,4 mg/L) y Aragüita (49 mg/L) aumentan debido a las descargas domésticas de la población de Santa Teresa; mientras que en Aragüita por ser una amplia zona de cultivos, el Na pudiera provenir de algunos fertilizantes que utilizan compuestos de Na ([APHA, 2012](#)). El Río Tuy a la altura de Panaquire, presentó un descenso en el valor de Na (28,6 mg/L) que pudiera deberse a la entrada de los afluentes Río Cuira (7,8 mg/L) y Río Taguaza (5,4 mg/L), los cuales son considerados como no contaminados ([Angulo 1980](#), [Yanes 1980](#), [Pineda 1982](#)) y cuyos valores son similares a la abundancia promedio de este elemento en ríos (6,3 mg/L) ([Hem, 1985](#)). En las zonas cercanas a la desembocadura, los afluentes no contaminados correspondientes al Río Panaquirito (5,8 mg/L), Quebrada Yaguapo (7,2

mg/L), Quebrada Urba (6,3 mg/L) y Río Sapo (6,6 mg/L), no tuvieron influencia en el proceso de dilución en el Río Tuy, sino que la concentración se mantuvo similar a Panaquire. Este valor de concentración de Na detectado pudiera ser generado durante la lixiviación de los fertilizantes utilizados en las actividades agrícolas desarrolladas en esta zona. Por su parte, la concentración de este elemento detectada en Boca de Paparo (25,4 mg/L), recibe la contribución de los vientos marinos (González, 1982) además de las actividades agrícolas. En cuanto a la distribución de la

concentración de K a lo largo del Río Tuy (Tabla 2), esta varía entre 0,6 mg/L y 10,6 mg/L siendo muy similar a la distribución del Na a lo largo de toda la cuenca, con valores, superiores a la abundancia promedio de K en ríos mundiales, que de acuerdo a Hem (1985) corresponde a 2,3 mg/L.

Tabla 2: Concentración de cationes y aniones determinados en el Río Tuy y sus principales afluentes.

Punto	Distancia (Km)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	Cl- (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)
Colonia Tovar	0	12,0	3,0	2,3	15,5	9,2	6,1	5,1
H. Buen Paso	21	9,5	1,9	7,9	46,8	7	40,7	10,5
H. Torre Casa	27	9,8	2,0	8,2	51,6	5,7	50,3	9,1
H. Santa Teresa	30	10,9	2,2	8,4	54,4	10,7	47,1	10,2
El Consejo	34	9,3	2,2	7,6	48,3	10	40,7	7,9
Qda. Guayas*	39	26,1	8,0	12,7	119,2	27,9	172,6	0,2
Guayas	40	39,9	5,5	12,2	82,6	48,6	93,3	0,6
Boca de Cagua	44	24,1	4,9	11,9	83,1	18	100,7	5,8
Tuy antes Guare	58	16,5	4,2	9,9	57,9	19,2	58,9	9,5
Río Guare*	59	8,4	1,1	22,3	27,5	10,5	12,7	2,0
Tácata	59	11,6	3,9	13,2	51,3	13,6	65,1	10,0
Cúa	70	13,2	3,5	11,6	53,8	19,5	47,1	7,3
Qda. Cúa*	71	161,0	10,6	53,6	106,6	345,3	138,1	0,2
Río Tarma*	76	11,5	1,3	15,2	34,6	13,9	19,1	3,4
Río Ocumarito*	83	43,4	4,0	18,0	36,0	23,5	49,2	0,2
Qda. Charallave*	85	105,2	7,5	38,6	96,7	133,9	152,2	0,4
Ocumare	86	38,3	5,1	20,3	69,4	35,1	82,3	7,4
Río Marare*	89	18,5	1,6	10,7	22,2	16,9	17	1,1
Río Súcuta*	90	13,6	1,5	10,9	28,6	7,8	10,5	2,1
Lagartijo	103	36,6	4,6	17,6	61,6	33,3	71,3	5,5
S. Teresa del Tuy	113	41,4	4,5	16,7	58,6	51,1	60,2	5,9
Río Guaire*	117	33,0	6,0	8,5	39,9	31,2	57,9	2,6
Río Taguacita*	129	7,1	0,6	8,3	10,7	6,5	5,2	0,8
Taguacita-Tuy	130	27,1	5,6	14,1	82,0	28	60	0,2
Araguita	144	49,0	6,2	13,1	48,5	24,1	63,9	2,1
Río Taguaza*	151	5,4	0,5	5,2	10,7	2,9	ND	ND
Río Caucagua*	161	42,3	5,3	8,3	65,2	24,1	104,4	2,7
Río Cuira*	171	7,8	0,9	9,0	15,2	8,4	12,7	1,0
Panaquire	186	28,6	4,6	6,2	43,0	24,6	43,9	4,6
Río Panaquirito*	187	5,8	0,6	5,4	8,9	4,2	5,1	0,6
Qda. Yaguapo*	193	7,2	0,6	5,8	9,8	4,7	ND	0,7
Qda. Urba*	193	6,3	0,7	7,2	16,4	4,1	17,9	0,6
Río Sapo*	197	6,6	0,7	4,0	9,5	6,5	7,3	0,7
El Samán	202	25,9	4,4	12,6	39,6	24	48,2	9,2
San Juan-Galpones	228	23,2	4,0	8,3	41,4	27,2	42,8	5,1
Boca de Paparo	262	25,4	4,0	12,2	41,2	23,8	46	13,8

\* Afluentes del Río Tuy

ND= No detectado

Los altos valores de K en Quebrada Guayas (8,0 mg/L) y Quebrada Cúa (10,6 mg/L) confirman el aporte de efluentes domésticos revelados por el Na. Resultados similares han sido reportados por Annalakshmi y Amsath (2012), en el Río Arasalar, en India.

Por otro lado, la concentración de Ca presenta intervalos entre 8,9 mg/L y 119,2 mg/L (Tabla 2) con máximos valores en Boca de Cagua, Guayas, Taguacita y Ocumare; así como, en los afluentes pertenecientes a las quebradas Cúa, Charallave y

Guayas cuyos valores están muy por encima de 15 mg/L, correspondiente al promedio en aguas de ríos (Hem, 1985). Al igual que con Na y K, estos valores son atribuidos a las actividades industriales y domésticas que descargan sus residuos a las quebradas Guayas, Charallave y Cúa (Yanes, 1980). Los afluentes pertenecientes a la unidad norte de la cuenca constituida por las quebradas Guayas, Cúa y Charallave así como los ríos Guaire y Caucagua, presentaron altas concentraciones de este elemento por discurrir sobre litologías esencialmente félsico-carbonáticas, conformadas por rocas meta-sedimentarias, tales como el Esquisto de Las Mercedes y el Esquisto de Las Brisas (Urbani, 2002) de manera que durante el proceso de meteorización de estas rocas, son aportados iones  $\text{Ca}^{2+}$  hacia las aguas de estos ríos.

### 4.3. Aniones $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{NO}_3^-$

En la cuenca del Río Tuy el  $\text{Cl}^-$  varía entre 2,9 mg/L y 345,3 mg/L (Tabla 2). Desde la Colonia Tovar hasta El Consejo los valores de  $\text{Cl}^-$  son bajos (5 a 10) mg/L, similar a la composición promedio en ríos cuyo valor es de 7,8 mg/L (Fyfe, 1981). Luego es observado un aumento a 48,6 mg/L a la altura de Guayas, antes de la entrada del afluente Quebrada Guayas, el cual tiene una concentración de  $\text{Cl}^-$  de 27,9 mg/L. Los efluentes domésticos provenientes de las poblaciones cercanas a Las Tejerías, son los responsables de este comportamiento. En las zonas de Boca de Cagua y Tuy antes de Guare, las concentraciones de  $\text{Cl}^-$  descienden debido a la entrada del Río Guare (8,4 mg/L), el cual ejerce un efecto de dilución, también reflejado en la concentración en el Río Tuy a la altura de Táchata (13,6 mg/L). Luego puede observarse otro aumento en la zona de Ocumare (35,1 mg/L), probablemente por la entrada al río Tuy de las quebradas Charallave (133,9 mg/L) y Cúa (345,3 mg/L). La alta concentración de  $\text{Cl}^-$  en esta zona es considerada como un indicador de contaminación debido a desechos orgánicos de animales y efluentes industriales (Venkatesharaju *et al.*, 2010). Sin embargo, el aumento no es tan grande como era de esperar, ya que adicionalmente se incorpora en este punto el Río Tarma (11,5 mg/L), el cual es considerado como no contaminado (Angulo, 1980; Yanes, 1980; Pineda, 1982 y Henríquez, 2011). En la zona de Santa Teresa del Tuy y Lagartijo también existen evidencias de altas concentraciones de  $\text{Cl}^-$  (51,1 mg/L), causado por las descargas de aguas residuales y domésticas de la población de Santa Teresa. A partir de este punto y hasta Aragüita, la concentración de  $\text{Cl}^-$  sufre un descenso importante (24,1 mg/L), probablemente debido a la influencia del Río Taguacita (6,5 mg/L), un río no contaminado, permitiendo de esta manera ejercer efecto de dilución al desembocar en el Río Tuy. A partir de esta zona hasta El Samán, la concentración en el canal principal

se mantiene más o menos constante con valores que oscilan entre 20 mg/L y 24 mg/L, observándose que los ríos no contaminados Panaquirito, Quebrada Yaguapo, Quebrada Urba y Río Sapo no ejercieron dilución sobre el Río Tuy, debido a lo bajo de sus caudales. En la localidad de Boca de Paparo la concentración de  $\text{Cl}^-$  (23,8 mg/L), como fue discutido anteriormente con el Na, pudiera ser atribuida a la influencia de vientos marinos (González, 1982). Por su parte, la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  presenta un comportamiento similar al  $\text{Cl}^-$ , por lo cual se aplican las mismas consideraciones en cuanto a los aumentos y disminuciones de la concentración de este anión en las distintas zonas del río. Sin embargo, es importante observar que a la altura de Táchata la concentración aumentó hasta 65 mg/L, es decir que el Río Guare, cuya concentración es similar al valor promedio (11,2 mg/L) en ríos reportado por Fyfe (1981), no ejerció efecto de dilución sobre el Río Tuy, debido probablemente a que en esta zona los residuos domésticos llegan directamente al cauce principal (Yanes, 1980, Henríquez, 2011).

Por otro lado, la concentración y distribución de  $\text{NO}_3^-$  en la cuenca del Río Tuy varía entre 0,1 y 13,8 mg/L (Tabla 2). En cuanto al cauce principal, se detectaron las mínimas concentraciones en Taguacita-Tuy (0,2 mg/L), Guayas (0,6 mg/L) y Aragüita (2,1 mg/L); mientras que, los máximos están en Boca de Paparo (13,8 mg/L), Hacienda Buen Paso (10,5 mg/L), Hacienda Santa Teresa (10,2 mg/L) y Táchata (10,0 mg/L). Estos máximos valores detectados en los sitios considerados como menos contaminados (Hacienda buen Paso y Hacienda Santa Teresa), puede ser provocado por la lixiviación de fertilizantes aplicados en las áreas agrícolas circundantes. Finalmente, las quebradas Guayas, Cúa y Ocumarito, presentaron los más bajos valores de  $\text{NO}_3^-$  (0,2 mg/L), a pesar de ser las zonas más contaminadas en toda la cuenca, con una alta concentración de materia orgánica (Meléndez, 1987), lo cual genera a su vez un ambiente reductor, produciendo de esta manera la reducción de nitratos a nitritos, de allí los bajos valores en la concentración de este anión en esta zona. En contraste, los ríos Caucagua y Guaire se ven afectados tanto por actividades agrícolas como por domésticas, pero en un ambiente más oxidante debido a la alta energía de estos afluentes. El diagrama triangular de la figura 2 permite discriminar claramente los afluentes limpios del Río Tuy de otros afluentes contaminados, así como el grado relativo de afectación. Allí se observa como los ríos Guaire y Caucagua, así como las quebradas Charallave y Cua presentan los valores más altos de concentración de estos elementos y se separan del resto de las muestras, confirmando la incorporación al Río Tuy, de afluentes altamente contaminados, aumentando el nivel de afectación del Río Tuy en las zonas de Guayas, Ocumare, Lagartijo, Santa Teresa y Aragüita.

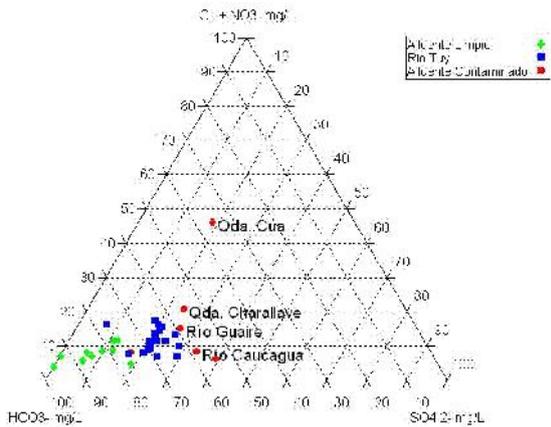


Figura 2. Relación entre las especies  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  en las aguas de la Cuenca del Río Tuy.

#### 4.4. Relación Na vs Cl

Esta relación ha sido utilizada para determinar el posible aporte antrópico a las cuencas de ríos y lagos, ya que el anión cloruro solo es aportado de manera natural, por las sales cíclicas de la atmósfera, a través de las aguas de lluvia (Neal and Kirchner, 2000., Aprile et al 2013). La Figura 3 muestra esta relación para diferentes localidades dentro de la Cuenca del Río Tuy. Allí puede observarse que las muestras ubicadas en la parte del Alto Tuy siguen la tendencia marcada por la línea correspondiente al agua de Mar, lo cual ilustra la importancia del aporte de las sales cíclicas a las cuencas de ríos.

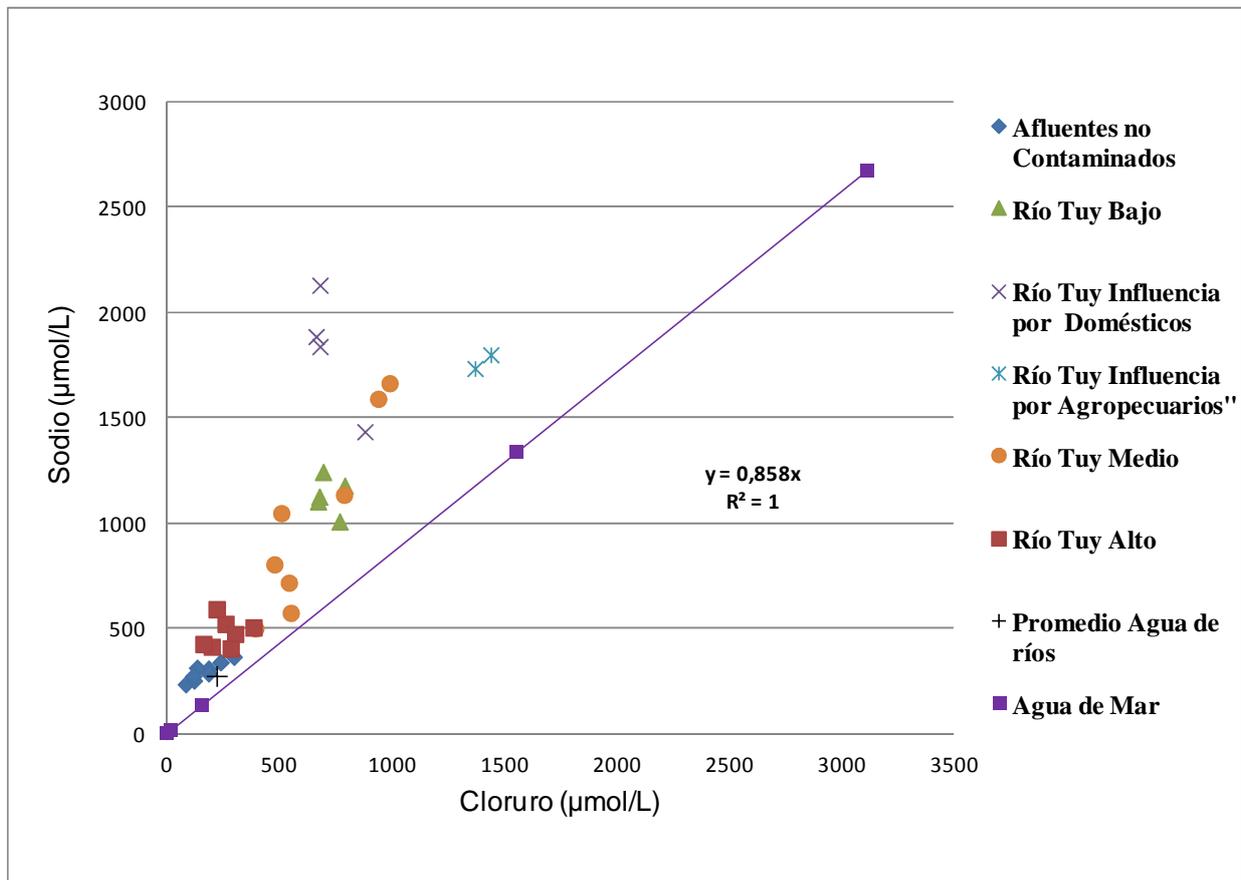


Figura 3. Relación entre sodio y cloruro en las aguas de la Cuenca del Río Tuy, Venezuela

Sin embargo, se debe indicar que todos los valores, a partir de la zona correspondiente al Río Tuy en su parte media y baja, tienen un aporte de sodio y cloruro provenientes de actividades antrópicas asociadas a las diferentes actividades domésticas, agropecuarias e industriales que se desarrollan en estas zonas de la Cuenca del Río Tuy, ya que se alejan considerablemente de la línea que marca la relación

sodio /potasio proveniente de sales cíclicas (agua de mar).

#### 5. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos puede concluirse que la cuenca del Río Tuy presenta sus mayores valores de contaminación por los elementos Na, K, Ca, Mg,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  en las zonas de

Guayas, Ocumare, Lagartijo, Santa Teresa y Aragüita, atribuido a las descargas domésticas e industriales cercanas a la zona, así como la entrada de los afluentes contaminados representados por las quebradas de Cúa, y Charallave y los ríos Guaire y Caucagua. El  $\text{NO}_3^-$  presentó sus máximos valores de concentración en Boca de Paparo, Hacienda Buen Paso, Hacienda Santa Teresa y Tácata, atribuido al desarrollo de actividades agropecuarias las cuales utilizan fertilizantes que tienen alto contenido de esta especie.

## 6. Agradecimientos

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV por el financiamiento otorgado para la realización del presente trabajo, a través del Proyecto de Grupo "Estudio de la Evolución del grado de contaminación de la Cuenca del Río Tuy en los últimos veinte años PG-03-7843-2009/I.

## 7. Referencias

- Annalakshmi, G and Amsath, A., 2012. Nutrient status of Arasalar River, a tributary of Cauvery River at Tanjore District of Tamilnadu, India. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. Vol 2, Issue 2 : 214-222.
- Angulo, N., 1980. *Estudio Geoquímico de la Cuenca del Río Tuy-I (Fe, Mn, Cr, Cl, Na y Hg)*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Escuela de Química, Facultad de Ciencias. Caracas, 109 p.
- APHA (American Public Health Association), 1995 *Standard Methods of Examination of Water and Wastewater*. Washington, 20th Edition.
- APHA (American Public Health Association), 2012. *Standard Methods of Examination of Water and Wastewater*. E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton, L.S. Clesceri, editors. Washington, 22th Edition, 1496 p.
- Aprile, F., Darwich, A.J., Siqueira, G.W., Ribeiro, A.A and Santos, V.C, 2013. Hidrological Characterization of a Whitewater lake at Amazon Floodplain-Brazil. *Research Journal of Environment Sciences*. Vol 2(8), 44-53.
- Balairón L., 2002. *Gestión de Recursos Hídricos*. UPC Barcelona, 488 pp.
- Blanco, J., 2007. *Concentración y Distribución de Metales Pesados en Sólidos Suspendidos del Río Guaire*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Departamento de Geoquímica. Caracas, 86 p.
- Decreto 883, 1995. *Gaceta Oficial* Extraordinaria. 5.021. República Bolivariana de Venezuela
- Del Giudice, A., 1980. *Estudio Geoquímico de la Cuenca del Río Tuy-IV (Ni, K, Br, V y Ni)*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Escuela de Química, Facultad de Ciencias. Caracas, 79 p
- Domènech, X. y Peral, J., 2006. *Química Ambiental de Sistemas Terrestres*. Editorial Reverté. Barcelona, 237 pp.
- FAO, 1992. *Prevención de la contaminación del Agua por la Agricultura y Actividades Afines*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago, Chile, 386
- Fyfe, W., 1981. *Introducción a la geoquímica*. Editorial Reverté. Primera edición. España, 118 p.
- González, F., 1982. *Introducción a la geoquímica*. Secretaría General de los Estados Americanos. Washington, D.C. 139 p.
- Hem, J., 1985. *Study and Interpretation of the chemical characteristics of Natural Water*. U. S. Geological Survey. Tercera Edición. USA, 210 p.
- Henríquez, R., 2011. *Caracterización Geoquímica de los sedimentos de fondo de la Cuenca del Río Tuy (2011)*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Departamento de Geoquímica. Caracas, 103 p.
- Meléndez, W. 1987. Caracterización de la materia orgánica presente en los sedimentos de la cuenca del Río Tuy. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias Escuela de Química, 120p.
- Mogollón, J., 1995. *Influence of sampling strategy, lithology, vegetation and rainfall on metal background concentrations in sediment of the tropical Tuy River basin, Venezuela*. *Chemical Geology* 121, 263-272.
- Neal, C. and Kitchner, J. 2000. *Sodium and chloride levels in rainfall, mist, streamwater and groundwater* Boletín de Geología N° 19. C at the Plynlimon catchments, mid'Wales: inferences on hidrological and chemical controls. *Hydrology and Earth System Sciences*, 4(2), 295-310.
- Picard, X. y Pimentel, N., 1968. *Geología de la Cuenca de Santa Lucía, Ocumare del Tuy*. Boletín de Geología N° 19. Caracas, 296 p.

- Pineda, M., 1982. *Determinación de Na, K, Ca, Mg, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en muestras de agua de la Cuenca del Río Tuy*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Escuela de Química, Facultad de Ciencias. Caracas, 84 p.
- Ramírez, A., 1984. *Hidrogeoquímica de la Cuenca del Río Tuy*. Trabajo de Ascenso. Instituto de Geoquímica, Universidad Central de Venezuela, 81 p.
- Seoáñez, M., 2000. *Manual de Contaminación Marina y Restauración del Litoral*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 565 pp.
- Venkatesharaju, K., Ravikumar P., Somashekar R., Prakash, L., 2010. *Physico-chemical and Bacteriological Investigation on the River Cauvery of Kollegal Stretch in Karnataka*. Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology 6 (1): 50-59.
- Urbani, F. 2002. *Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. Geos, UCV 33: 1-170.
- WHO (World Health Organization), 1999. *Guidelines for drinking water quality-Geneva*, (2) Ed, 97-100
- Yanes, C. 1980. *Estudio Geoquímico de la Cuenca del Río Tuy-II (Al, Si, Cu, Zn, P y Mo)*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Escuela de Química, Facultad de Ciencias. Caracas, 105 p.
- Zambrano, S. 1970. *Estudio Fisiográfico Regional de la Cuenca del Río Tuy*. Boletín de Geología. N° 21. Caracas, 206 p.