

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE GEOQUÍMICA



**VARIACIÓN ESPACIAL DE LOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS Y DE LA
COMPOSICIÓN QUÍMICA, EN FUNCIÓN DE LOS ELEMENTOS MAYORITARIOS, EN
LOS RÍOS PRÍSTINOS O CUASI-PRÍSTINOS DE VENEZUELA**

Trabajo Especial de Grado presentado
ante la Ilustre Universidad Central de
Venezuela, por la Br. Gabriela J. Farías
S, para optar por el título de Licenciada
en Geoquímica.

Caracas, octubre, 2017

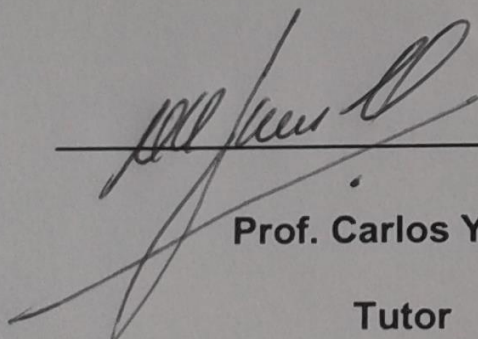


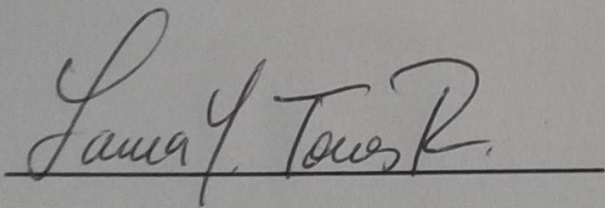
**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



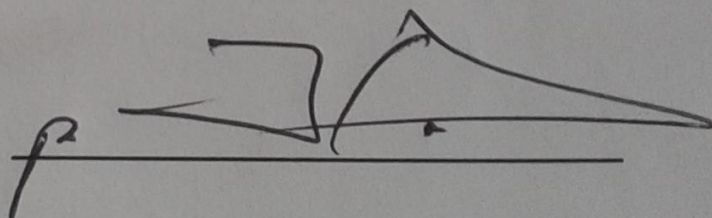
ACTA

Los abajo firmantes, designados por la Universidad Central de Venezuela como integrantes del Jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado: "Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela". Presentado por la Br. Gabriela J. Farías. S, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por esta Magna Casa de Estudios para optar al título de Licenciada en Geoquímica.


Prof. Carlos Yanes
Tutor


Prof. Laura Torres

Jurado


Prof. Ramón Montero

Jurado



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



AGRADECIMIENTOS

Gracias Dios y gracias San Judas Tadeo, por ustedes soy quien soy y me he mantenido en pie a pesar de las distintas dificultades que he tenido que enfrentar durante estos años. Gracias por siempre estar conmigo cuidándome y guiándome en cada paso que doy. Esto es de ustedes y para ustedes.

A mis padres Aura y Jesús, a mis tíos Virginia y Luis, a mi preciosa abuela María “Marilú”, a Daniela, a mi princesita Maya y a mi hermosa sobreviviente Manuel Daniel, por brindarme la estabilidad moral y emocional necesaria para alcanzar esta meta. Gracias por todo su amor incondicional, apoyo, comprensión y paciencia.

Deseo expresar mi gratitud a la Ilustre Universidad Central de Venezuela y al Instituto de Ciencias de la Tierra, por su solidaridad y apoyo infinito. Gracias por ser mi segunda casa y ayudarme a forjar mi carácter y personalidad.

Al profesor Carlos Yanes, por ser mi tutor. Muchas gracias por todo su apoyo, consejos, enseñanzas, comprensión, paciencia y amistad. Siempre lo recordaré con mucho cariño y estaré para usted en todo lo que necesite.

A la profesora Chaveli Fernandes y a José Portela, por todas sus enseñanzas, apoyo, amistad y paciencia. Gracias por no dejarme morir y ayudarme tanto durante la realización de este trabajo.

A los profesores Juan Torres, Santiago Marrero, William Meléndez, Carlos Barrios, Laura Torres, Jesús Monsalve, Ramón Montero, Germán Velásquez, Grony Garbán, Karla Quintero, José Vicente Gutiérrez, Katya Reátegui, Patricia Lugo y Elisa Ochoa por todas sus enseñanzas, paciencia y por contribuir a mi formación profesional.

A mis amigos Jetsy Crespo y Jesús Romero; por ser tan comprensivos y pacientes conmigo... yo sé que no tengo un carácter muy fácil. Gracias por su apoyo y por estar conmigo en las buenas y en las malas.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y químicos de los ríos prístinos o cuasi-prístinos de las principales cuencas hidrográficas de Venezuela (N=9), en términos de los elementos mayoritarios, agrupando a estos ríos en función de dicha composición química y otras variables morfoclimáticas, y proponiendo valores de referencia para dichos elementos. La metodología empleada consistió en: 1) búsqueda y recopilación de la información disponible de datos fisicoquímicos y químicos; 2) selección de ríos, caños o quebradas (N=345); 3) organización de los ríos con sus datos por cuenca hidrográfica; 4) identificación de los vacíos de información; 5) validación de los datos químicos; 6) clasificación de los principales tipos y subtipos de agua; 7) agrupación de los ríos en función de sus características fisicoquímicas y composicionales, en términos de las sales disueltas; 8) distribución espacial de las variables fisicoquímicas y composicionales; 9) análisis de las relaciones interelementales; 10) establecimiento de valores de referencia de las especies mayoritarias. La agrupación se hizo con gráficos de distribución de frecuencia acumulada. Los valores de referencia de cada uno de los grupos se obtuvo mediante el método estadístico iterativo 2σ propuesto por Matschullat *et al.*, (2000).

Los resultados obtenidos permiten concluir que el tipo de agua más abundante en los ríos de Venezuela bajo condiciones naturales o poco intervenidos es $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$, (42,0% de la muestra estadística), mientras que el subtipo de agua más abundante es el $\text{Ca}^{2+}>\text{Mg}^{2+}>\text{Na}^+>\text{K}^+ \leftrightarrow \text{HCO}_3^->\text{Cl}^->\text{SO}_4^{2-}$ (14,5% de la muestra estadística). La alta variación observada en el pH, en términos de su distribución espacial, reflejan el diverso y complejo ambiente geológico de Venezuela y diversidad climática. La variación de pH es producto de la presencia y menor o mayor proporción de minerales con capacidad de neutralización de las aguas de lluvia, lixiviados de la vegetación, así como producto de la hidrólisis de los silicatos, aluminosilicatos y sulfuros de las mismas. La variación espacial de la concentración de los elementos mayoritarios, conductividad y sales disueltas está controlada por la litología, el ambiente tectónico y las condiciones



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



morfométricas presente en las distintas cuencas hidrográficas del país. Esto permitió separar los ríos estudiados en seis grupos y establecer los valores de referencia siguiente:

Grupo 1. Concentraciones de: SiO_2 ($2,00 \pm 0,60$ mg/L), Ca^{2+} ($0,05 \pm 0,04$ mg/L), Mg^{2+} (ND), Na^+ ($0,20 \pm 0,12$ mg/L), K^+ ($0,08 \pm 0,06$ mg/L), Cl^- ($0,17 \pm 0,08$ mg/L), SO_4^{2-} ($0,15 \pm 0,18$ mg/L) y HCO_3^- (ND).

Grupo 2. Concentraciones de: SiO_2 disuelta ($4,87 \pm 1,96$ mg/L), Ca^{2+} ($0,17 \pm 0,10$ mg/L), Mg^{2+} ($0,03 \pm 0,02$ mg/L), Na^+ ($0,37 \pm 0,12$ mg/L), K^+ ($0,30 \pm 0,16$ mg/L), Cl^- ($0,47 \pm 0,24$ mg/L), SO_4^{2-} ($0,65 \pm 0,28$ mg/L) y HCO_3^- ($1,50 \pm 0,16$ mg/L).

Grupo 3. Concentraciones de: SiO_2 disuelta ($7,4 \pm 1,54$ mg/L), Ca^{2+} ($0,34 \pm 0,09$ mg/L), Mg^{2+} ($0,12 \pm 0,04$ mg/L), Na^+ ($0,62 \pm 0,20$ mg/L), K^+ ($0,82 \pm 0,58$ mg/L), Cl^- ($1,80 \pm 0,82$ mg/L), SO_4^{2-} ($1,11 \pm 0,36$ mg/L) y HCO_3^- ($3,00 \pm 1,54$ mg/L).

Grupo 4. Concentraciones de: SiO_2 disuelta ($10,6 \pm 2,60$ mg/L), Ca^{2+} ($0,60 \pm 0,34$ mg/L), Mg^{2+} ($1,17 \pm 0,60$ mg/L), Na^+ ($5,80 \pm 2,44$ mg/L), K^+ ($2,80 \pm 4,58$ mg/L), Cl^- ($10,8 \pm 1,60$ mg/L), SO_4^{2-} ($3,40 \pm 2,88$ mg/L) y HCO_3^- ($63,0 \pm 21,0$ mg/L).

Grupo 5. Concentraciones de: SiO_2 disuelta ($14,5 \pm 1,00$ mg/L), Ca^{2+} ($2,65 \pm 2,04$ mg/L), Mg^{2+} ($4,40 \pm 1,48$ mg/L), Na^+ ($14,2 \pm 4,28$ mg/L), K^+ ($4,11 \pm 0,40$ mg/L), Cl^- ($21,8 \pm 6,54$ mg/L), SO_4^{2-} ($16,5 \pm 9,80$ mg/L) y HCO_3^- ($97,0 \pm 14,0$ mg/L).

Grupo 6. Concentraciones de: SiO_2 disuelta ($17,5 \pm 2,12$ mg/L), Ca^{2+} ($45,9 \pm 10,4$ mg/L), Mg^{2+} ($21,5 \pm 6,82$ mg/L), Na^+ ($31,5 \pm 3,46$ mg/L), K^+ ($9,00 \pm 2,62$ mg/L), Cl^- ($57,5 \pm 31,8$ mg/L), SO_4^{2-} ($78,9 \pm 10,6$ mg/L) y HCO_3^- ($190 \pm 50,6$ mg/L).

Palabras Claves: Hidrogeoquímica, ríos de Venezuela, aguas de ríos, hidrogeoquímica de ríos venezolanos, ríos de la Vertiente del Mar Caribe, ríos de la Vertiente del Océano Atlántico, cuencas hidrográficas de Venezuela, valores de fondo de las aguas de los ríos venezolanos.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela



INDICE DE CONTENIDO

No.	Descripción	Pág.
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	MARCO TEÓRICO	3
2.1	Composición de las aguas de río	4
2.1.1	Meteorización	5
2.2.	Comportamiento geoquímico de algunos elementos químicos	9
2.2.1.	Calcio	10
2.2.2.	Magnesio	10
2.2.3.	Sodio	11
2.2.4.	Potasio	11
2.2.5.	Bicarbonato	11
2.2.6.	Sulfato	12
2.2.7.	Cloruro	12
2.2.8.	Silicio	12
2.4.	<i>Factores que controlan la composición química de las aguas</i>	14
2.5.	Valores de línea base y valores de fondo	17
2.6.	Antecedentes	17
2.7.	Área de estudio	20
2.8.	Hidrología	20
2.8.1.	Vertiente del Mar Caribe	20
2.8.2.	Vertiente del Océano Atlántico	23
2.9.	Clima	24
2.10.	Geología	25
2.10.1.	Escudo de Guayana	26



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



2.10.2. Cinturones Orogénicos	28
2.10.3. Los LLanos	29
2.11. Vegetación	29
3. METODOLOGÍA	31
3.1. Captación de muestras	31
3.2. Medición de los parámetros fisicoquímicos	32
3.3. Determinación de los elementos mayoritarios	32
3.3.1. Análisis de Cationes y Aniones	32
3.3.2. Análisis de Sílice Disuelta.....	32
3.4. Descripción de la metodología aplicada	33
3.4.1 Búsqueda y recopilación de la información disponible	33
3.4.2. Selección de los ríos a estudiar	33
3.4.3. Organización de los datos por Cuenca Hidrográfica	34
3.4.4. Identificación de los vacíos de información	34
3.4.5. Validación de los datos químicos	35
3.4.6. Agrupación de los ríos en función de sus características fisicoquímicas y composicionales	36
3.4.7. Clasificación de los principales tipos y subtipos de agua	36
3.4.8. Análisis de las relaciones interelementales	36
3.4.9. Distribución espacial de las variables fisicoquímicas y composicionales	37
3.4.10 Establecimiento de valores de referencia	37
4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38
4.1. Validación de los datos seleccionados	38
4.2. Tipos y subtipos de aguas	42
4.3. Características fisicoquímicas de las aguas de los ríos venezolanos	47
4.3.1. Parámetros fisicoquímicos	47



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



4.4. Distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos y especies mayoritarias	57
4.4.1. Temperatura.....	58
4.4.2. pH.....	60
4.4.3. Conductividad y sales disueltas	64
4.4.4 Sílce Disuelta	69
4.4.5. Calcio	72
4.4.6 Magnesio	74
4.4.7 Sodio.....	77
4.4.8. Potasio.....	79
4.4.9. Cloruro	81
4.4.10. Sulfato	84
4.4.11. Bicarbonato	86
4.5. Comportamiento Geoquímico de los elementos mayoritarios y procesos asociados con su origen.....	88
4.6. Grupos de ríos con características hidrogeoquímicas similares y sus valores de referencia, en función de las especies mayoritarias	99
CONCLUSIONES.....	102
RECOMENDACIONES.....	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
APÉNDICES	118
Apéndice A: Ubicación de los puntos de muestreo.....	119
Apéndice B: Datos fisicoquímicos y de composición química de las aguas de los ríos seleccionados	128
Apéndice C: Cálculos teóricos de la validación de los resultados geoquímicos obtenidos	147



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela



INDICE DE FIGURAS

No.	Descripción.	Pág.
	Figura 1: Ciclo Hidrológico	3
	Figura 2: Vertientes y cuencas hidrográficas de Venezuela	21
	Figura 3: Provincias morfológicas de Venezuela	26
	Figura 4: Grafica de la conductividad ideal con respecto a la conductividad medida en campo para las aguas de los ríos seleccionados.	40
	Figura 5: Gráfica de la concentración catiónica total (E+) con respecto a la concentración aniónica total (E-) de los ríos seleccionados.	41
	Figura 6: Tipos de agua en los ríos seleccionados.....	43
	Figura 7: Subtipos de agua encontrados en los ríos seleccionados.	45
	Figura 8: Distribución de frecuencia acumulada de Temperatura para los ríos de Venezuela.	49
	Figura 9: Distribución de frecuencia acumulada de los valores de pH para los ríos venezolanos.	51
	Figura 10: Distribución de frecuencia acumulada de la conductividad para los ríos venezolanos.	54
	Figura 11: Gráfica de la conductividad con respecto a las sales disueltas de los ríos venezolanos.	55
	Figura 12: Distribución de frecuencia acumulada de Sales disueltas para los ríos seleccionados.	56
	Figura 13: Variabilidad geográfica de la Temperatura (°C) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	59



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Figura 14: Distribución espacial de la temperatura en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	60
Figura 15: Variabilidad geográfica del pH en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	61
Figura 16: Distribución espacial de pH en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	63
Figura 17: Variabilidad geográfica de la Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	65
Figura 18: Distribución espacial de la conductividad en las aguas de los ríos de Venezuela.	66
Figura 19: Variabilidad geográfica de sales disueltas (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	67
Figura 20: Distribución espacial de las sales disueltas en los ríos de Venezuela.	68
Figura 21: Variabilidad geográfica de la sílice disuelta (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	70
Figura 22: Distribución espacial de la sílice disuelta en los ríos de Venezuela.	71
Figura 23: Variabilidad geográfica del calcio (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	72
Figura 24: Distribución espacial del calcio en los ríos de Venezuela.	74
Figura 25: Variabilidad geográfica del magnesio (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	75
Figura 26: Distribución espacial del magnesio en los ríos de Venezuela.	76
Figura 27: Variabilidad geográfica del sodio (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	77



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Figura 28: Distribución espacial del sodio en los ríos de Venezuela.	78
Figura 29: Variabilidad geográfica del potasio (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	80
Figura 30: Distribución espacial del Potasio en los ríos de Venezuela.	81
Figura 31: Variabilidad geográfica del cloruro (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	82
Figura 32: Distribución espacial del cloruro en los ríos de Venezuela.	83
Figura 33: Variabilidad geográfica del sulfato (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	84
Figura 34: Distribución espacial del sulfato en los ríos de Venezuela.	85
Figura 35: Variabilidad geográfica del bicarbonato (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	86
Figura 36: Distribución espacial del bicarbonato en los ríos de Venezuela.	87
Figura 37: Relación entre sílice disuelta y sales disueltas en las principales cuencas de Venezuela.	90
Figura 38: Relación entre sílice disuelta y concentración catiónica total (E+) para las principales cuencas de Venezuela.	92
Figura 39: Relación entre calcio y bicarbonato para las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.	93
Figura 40: Relación entre el magnesio y el bicarbonato para las principales cuencas de Venezuela.	95
Figura 41: Relación entre el sodio y cloruro para las principales cuencas de Venezuela. ...	97
Figura 42: Relación entre el potasio y bicarbonato para las principales cuencas de Venezuela.	98



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



INDICE DE TABLAS

No.	Descripción.	Pág.
	Tabla 1: Tipos y subtipos de agua encontrados en los ríos seleccionados.....	46
	Tabla A.1: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de los ríos seleccionados, con la fuente bibliográfica de procedencia de la información.....	119
	Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.....	128
	Tabla B.2: Valores mínimo (V mín.), máximo (V máx.) y medianas de los datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como de sales disueltas y sílice disuelta en las principales cuencas de Venezuela.....	144
	Tabla B.3: Valores mínimo (V mín.), máximo (V máx.) y medianas de los cationes mayoritarios en las principales cuencas de Venezuela.....	145
	Tabla B.4: Valores mínimo (V mín.), máximo (V máx.) y medianas de los cationes mayoritarios en las principales cuencas de Venezuela.....	146
	Tabla C.1: Valores de conductividad de campo e ideal, suma de cationes, suma de aniones y balance iónico de los ríos seleccionados.....	148



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



1. INTRODUCCIÓN

Venezuela está ubicada en la parte más septentrional de Sudamérica, hemisferio norte, en plena zona intertropical, entre los 0°38'N y los 12°12'N de latitud y los 59°47'W y los 73°22'W de longitud (FAO, 2015), lo que le permite disponer de un clima tropical, con precipitaciones de gran diversidad, y pisos térmicos variables, entre tropical y gélido (FAO, 2015), que favorece la ocurrencia y tenencia de grandes reservas de agua fresca.

En Venezuela, los recursos hídricos tienen una distribución muy variada, tanto en su componente de aguas superficiales como en las aguas subterráneas. En sí, el territorio es drenado por más de un millar de ríos, de los cuales 124 poseen cuencas mayores de 1.000 Km² (Fundambiente, 2006). Esta inmensa riqueza hídrica hace que Venezuela se encuentre entre los primeros quince países del mundo con mayores recursos hídricos renovables (FAO, 2015), destacándose por ser una región privilegiada entre muchas zonas del mundo; sin embargo, este potencial hídrico carece de una información sistematizada, de calidad, procesada e integrada, en función de varios aspectos como son: características fisicoquímicas y composición química, calidad, distribución regional y local de sus cuerpos de agua de acuerdo a dichas características, así como los procesos que la originan y contribuyen a su composición, entre otros (Martínez *et al.*, 2013).

Con el propósito de contribuir a la generación de una documentación organizada que permita iniciar un proceso de sistematización de la información que existe actualmente en Venezuela sobre la temática hídrica, este trabajo tiene como objetivo principal evaluar la variación espacial de los parámetros fisicoquímicos de los ríos prístinos o cuasi-prístinos del país, y de la composición química de sus aguas, en términos de los elementos mayoritarios, proponiendo los valores de referencia de dichos elementos en las principales cuencas hidrográficas del país.

Para alcanzar éste objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



- Identificar los tipos y subtipos de agua en las distintas cuencas hidrográficas de Venezuela, de acuerdo a la abundancia de los componentes mayoritarios (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , SiO_2 y de sales disueltas).
- Analizar la variación espacial de los parámetros físicoquímicos (pH, conductividad eléctrica y temperatura) y de la composición química de las aguas de los ríos bajo estudio.
- Determinar la relación entre la composición química de los componentes mayoritarios de las aguas de estos ríos con la litología y otras variables hidroclimáticas de su área de drenaje.
- Agrupar a estos ríos en función de dicha composición química y las citadas variables.
- Proponer valores de línea base o de referencia para las cuencas hidrográficas de Venezuela.

Es necesario destacar que para este trabajo los términos prístinos o cuasi-prístinos se emplearán para referirse a aquellos cuerpos de agua que mantienen sus condiciones naturales inalterables o han sido poco intervenidos por el hombre, sobre la base de la información proporcionada por los diversos autores de la bibliografía consultada. Esta selección de ríos prístinos o cuasi-prístinos asegurará que el manejo de la información a procesar en cuanto a las variables a utilizar en el presente estudio, sea resultado de procesos naturales, lo que permitirá un mejor entendimiento del comportamiento de los elementos mayoritarios de las aguas de río en el ciclo exógeno y del proceso de meteorización, a nivel regional; así como de los otros factores y/o procesos que controlan las características fisicoquímicas de las aguas superficiales en el trópico.



2. MARCO TEÓRICO

La cantidad de agua almacenada en los todos ríos del mundo es de 2000Km^3 (Oki y Kanae, 2006), lo que representa solamente el 0,0001% del volumen de agua de la superficie terrestre y de la atmósfera (Leet y Judson, 1984); sin embargo, los ríos constituyen una parte esencial del ciclo hidrológico (Figura 1), ya que son los responsables de transportar los productos de la meteorización desde el continente hacia el océano durante su desarrollo. Este ciclo involucra el movimiento de agua entre la hidrosfera, la atmósfera, la litosfera y la biosfera, ocurre gracias a la radiación solar y a la gravedad terrestre, y se produce debido al establecimiento de diferentes procesos como son: evaporación, transpiración, condensación, y precipitación.

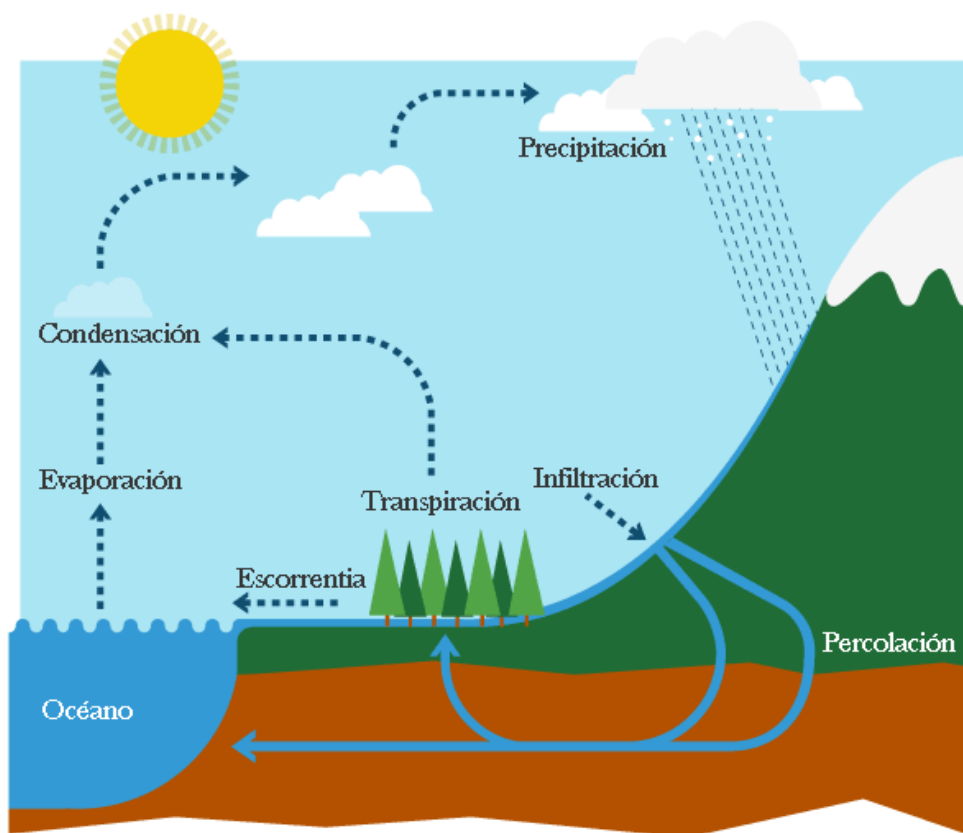


Figura 1: Ciclo Hidrológico (Modificado de KS3, 2017).



2.1 Composición de las aguas de río

El agua de los ríos está asociada con tres componentes: sólidos disueltos, sólidos suspendidos y sedimentos de fondo (Sabater y Elozegi, 2009). El criterio utilizado para agrupar el material disuelto y suspendido es operacional (Yanes, 1988). En tal sentido, los sólidos disueltos son definidos como aquellas partículas cuyo tamaño es inferior a $0,45\ \mu\text{m}$, junto con otras que se encuentran en forma coloidal (sílice, óxidos de Al y Fe), y por las sustancias químicas inorgánicas (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-}) y orgánicas (ácidos fúlvicos y ácidos húmicos) que se presentan en solución verdadera. Estas especies tienen diferentes orígenes; sin embargo, el principal factor que controla la composición química de las aguas superficiales es la meteorización química de las rocas (Wedepohl, 1969; Meybeck, 1979; Stallard y Edmond, 1983; Yanes y Ramírez, 1988; Yuretich et al., 1993; Konhauser et al., 1994;). Otros factores como la precipitación atmosférica, la actividad biológica y las actividades antrópicas, también influyen y pueden predominar en una situación específica, pero generalmente se superponen de una manera compleja que hace difícil su estudio de forma individual (Yanes, 1988).

No obstante, durante la época de bajo caudal, el sistema fluvial permite visualizar más eficientemente la interacción roca-agua, y por lo tanto estudiar los procesos que controlan la composición química de los ríos (Yanes y Ramírez, 1988). En sí, todos los factores actúan conjuntamente, aunque su importancia varía según las características y la situación geográfica del sistema fluvial estudiado (Yanes, 1988).

En el caso de los ríos tropicales, la meteorización química y el ambiente tectónico son los factores fundamentales que controlan las características fisicoquímicas de sus aguas (Stallard y Edmond, 1983; Stallard y Edmond, 1987; Yanes y Ramírez, 1988; Konhauser et al., 1994).

Motivado a que la meteorización de las rocas es el factor, más importante, que controla la composición de las aguas superficiales, a continuación, este punto será expuesto en



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



detalle, haciendo énfasis en la meteorización química, ya que ésta es el proceso dominante en los climas tropicales.

2.1.1 Meteorización

La meteorización es un proceso que involucra la desintegración y alteración de las rocas en o cerca de la superficie terrestre, llevando a la formación de materiales estables bajo las condiciones fisicoquímicas que imperan en el ambiente superficial, el cual se caracteriza por presentar temperaturas y presiones bajas, alta concentración de agua, oxígeno, dióxido de carbono, y materia orgánica (Gifford, 2005; Rose, 1979). Así que la meteorización es un proceso que conlleva a la búsqueda de una estabilidad frente a las condiciones fisicoquímicas que caracterizan al ambiente superficial (Velásquez, 2000).

La meteorización es usualmente clasificada en dos tipos: meteorización física y meteorización química (Butz, 2004). La meteorización física es un proceso mediante el cual las rocas se rompen en fragmentos más pequeños debido a efectos netamente mecánicos, sin que se produzcan cambios en la composición química y mineralógica de la roca (Butz, 2004).

La meteorización química es un proceso donde ocurre la descomposición de una roca con los consecuentes cambios químicos en las fases minerales preexistentes (Gifford, 2005; Butz, 2004; Rose, 1979). Se producen especies químicas que se mantienen en solución o que precipitan o co-precipitan con otros componentes cristalinos u amorfos, se forman minerales neoformados y se liberan minerales residuales.

Los principales agentes de la meteorización química son: el agua, el oxígeno, el dióxido de carbono, y la actividad biológica, ya que por acción de sustancias liberadas por micro o macro organismos los componentes mineralógicos de las rocas pueden ser igualmente descompuestos o alterados. Sin embargo, algunos autores consideran aquellos procesos de descomposición de las rocas que resultan de la actividad biológica como otro tipo de meteorización, denominada meteorización biológica, debido



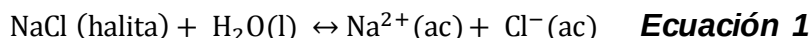
Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



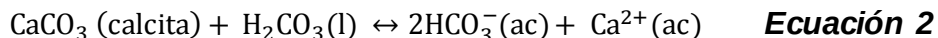
a que la acción de estos organismos puede ser tanto de carácter químico como de carácter físico (Gifford, 2005; Rose, 1979).

Cuatro tipos diferentes de procesos químicos son particularmente importantes en la meteorización de las rocas, estos son: disolución, hidrólisis, adsorción y oxido-reducción (Brownlow, 1996).

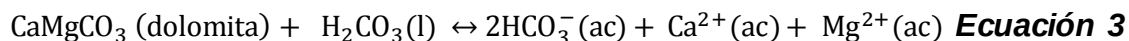
La disolución se refiere a la incorporación de especies solubles, en forma de iones, en el agua. El mineral soluble más común es la halita (Ecuación 1). El yeso ($K_{sp}=2,5 \times 10^{-4,6}$) tiene una solubilidad aproximada de una cuadragésima parte la de la halita ($K_{sp}=10^{1,58}$), y la anhidrita tiene una solubilidad aún más baja ($K_{sp}=10^{-4,5}$), mientras que la calcita tiene una baja solubilidad en agua pura (Brownlow, 1996).



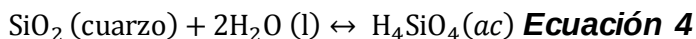
La amplia disolución de calcita en la naturaleza se debe a la ocurrencia de dióxido de carbono disuelto en el agua, produciendo el ácido carbónico que reacciona con la calcita de acuerdo a la siguiente ecuación (Brownlow, 1996):



El dióxido de carbono en las aguas naturales proviene de la atmósfera y de la oxidación de materia orgánica. Mientras más dióxido de carbono hay en el agua, mayor cantidad de calcita se disolverá (Brownlow, 1996). La calcita, el aragonito, la magnesita y la dolomita se disuelven de una forma similar y tienen solubilidades parecidas en aguas naturales, aunque la magnesita ($K_{sp}=10^{-7,50}$) y la dolomita ($K_{sp}=10^{-16,7}$) se disuelve más lentamente que el aragonito ($K_{sp}=10^{-8,22}$) y la calcita ($K_{sp}=10^{-8,35}$).



El cuarzo se disuelve mediante la siguiente reacción de hidratación:

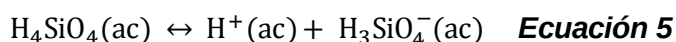




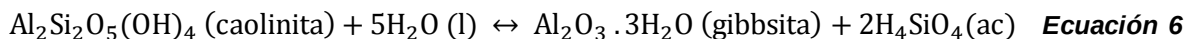
Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



A valores bajos de pH y temperatura, la solubilidad del cuarzo es de aproximadamente 10 partes por millón (Brownlow, 1996). A valores más altos de pH, por encima de 9, el ácido silícico ($pK_1=9,71$) se disocia ligeramente, y la solubilidad del cuarzo aumenta (Brownlow, 1996; Faure, 1998).

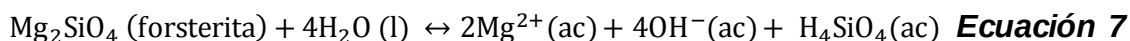


Las reacciones de cuarzo y calcita son ejemplos de disoluciones congruentes (Brownlow, 1996; Faure, 1998). Estas reacciones no producen una nueva fase sólida. La caolinita se disuelve incongruentemente en agua debido a que se produce una nueva fase sólida ej., gibbsita (Brownlow, 1996; Faure, 1998):

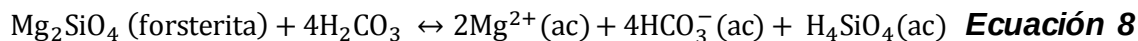


La solubilidad de la caolinita es muy pequeña; sin embargo, se transformará en gibbsita si entra en contacto con agua que contiene baja concentración de sílice disuelta. Muchas de las reacciones de disolución de meteorización son incongruentes.

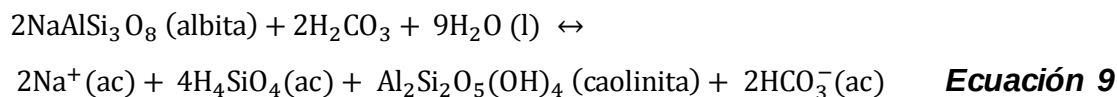
Una de las reacciones superficiales que se produce en la disolución de los minerales de silicato es la hidrólisis. Como termino general, la hidrólisis se refiere a todas aquellas reacciones de los compuestos con agua, en las que se forma un ácido débil o una base débil. En el caso de los silicatos se forma ácido silícico (Brownlow, 1996):



La meteorización de los silicatos puede ser representada por este tipo de reacción de hidrólisis. Sin embargo, dado que las aguas naturales contienen dióxido de carbono disuelto, una forma más precisa de escribir tal reacción de hidrólisis, es la siguiente:

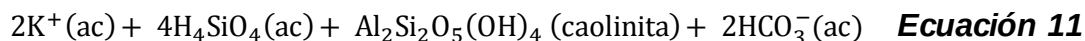
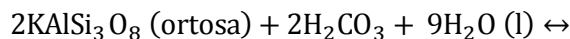
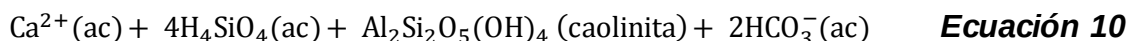
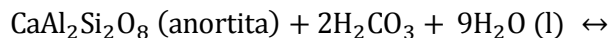


Cuando se trata de la alteración química de un aluminosilicato, un mineral de arcilla es un producto adicional al ácido silícico (Brownlow, 1996):





Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



La sílice liberada en las reacciones de hidrólisis puede entrar a la solución preferentemente como sílice coloidal y no como una molécula en solución verdadera H_4SiO_4 en sí (Brownlow, 1996). Como se pudo observar en todas las reacciones anteriores, en las que participa el dióxido de carbono disuelto, el ion bicarbonato es el producto común, lo que conlleva a que este ion domine en las aguas no marinas.

Por otra parte, las reacciones de óxido-reducción involucran la transferencia de electrones entre los sitios superficiales en minerales y especies acuosas multivalentes (Brownlow, 1996); mientras que la adsorción se refiere a la unión de un ion disuelto, o molécula, a la superficie de un sólido (Brownlow, 1996). En el estudio de la meteorización es de interés principal la adsorción de moléculas de agua, ya que el primer paso en el proceso de hidrólisis es la adsorción de estas moléculas en los sitios de enlaces Si-O, lo cual lleva a la ruptura de estos enlaces y a la formación de otros, en los que participan los átomos de la molécula de agua (Brownlow, 1996).

La velocidad a la que se produce la meteorización química, depende de varios factores. Uno de ellos es sencillamente la presencia o ausencia de fracturas en las rocas, ya que los fluidos se infiltran por las fracturas, lo que provoca una meteorización química más intensa (Monroe et al., 2008). Así mismo, existen otros factores que también controlan la meteorización química, como lo son: el clima, el tamaño de las partículas, y la composición mineralógica de la roca (Monroe et al., 2008; Denecke, 2007).

El clima es el factor más importante que afecta la meteorización y se expresa normalmente en términos de: temperatura y precipitación. Ambos influyen en el tipo y velocidad de la meteorización (Denecke, 2007). Individualmente, el primero influye en la velocidad de la reacción química y en la velocidad de descomposición de la materia orgánica, suministrando al sistema una mayor cantidad de ácido carbónico y ácidos



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



orgánicos que aumentan la velocidad de meteorización (Rose, 1979). La precipitación influye en el potencial de lixiviación, ya que éste es función de la cantidad de agua presente en el medio y de las condiciones locales de drenaje, por lo que a medida que la precipitación media anual se incrementa ocurre un aumento de este potencial, del cual depende en gran medida, la movilidad de los cationes durante el proceso de meteorización (Rose, 1979).

El tamaño de partículas de la roca afecta en gran medida la velocidad a la que se produce la meteorización química (Denecke, 2007). En las mismas condiciones, mientras más pequeñas sea una roca en particular, más rápido se meteorizará. Esto se debe a que un volumen dado de partículas pequeñas tiene una mayor área superficial que el mismo volumen de partículas grandes, y mientras mayor sea la superficie expuesta, la roca reaccionará más rápido con los agentes atmosféricos (Denecke, 2007).

La composición mineralógica de una roca determina sus propiedades físicas y químicas, y por lo tanto su susceptibilidad a los agentes de la meteorización, así que es de suma importancia en la meteorización química (Monroe et al., 2008). Rocas compuestas de minerales que reaccionan fácilmente con ácidos, agua u oxígeno se meteorizarán más rápidamente que los compuestos por minerales menos reactivos. En realidad, la estabilidad de los minerales formadores de rocas es justo lo contrario de su orden de cristalización en la Serie de cristalización de Bowen (Monroe et al., 2008; Brownlow, 1996). Los minerales que se forman al final en esta serie son químicamente estables, mientras que aquellos que tienen una formación temprana se alteran más fácilmente porque están más apartados del equilibrio con sus condiciones de formación (Monroe et al., 2008).

2.2. Comportamiento geoquímico de algunos elementos químicos

A continuación, se presenta una breve discusión sobre el comportamiento geoquímico en el ambiente exógeno de las especies Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , y silicio; las cuales serán analizadas en este trabajo.



2.2.1. Calcio

Es un elemento móvil durante el proceso de interacción agua-roca a cualquier temperatura, siendo un catión mayoritario en las aguas naturales (Albarède, 2009). Este elemento está presente en las rocas ígneas como la plagioclasa, el clinopiroxeno, y la anfibolita, pero también es constituyente importante de los minerales del grupo de los carbonatos como calcita, aragonito y dolomita, los cuales son meteorizados por el agua en equilibrio con el dióxido de carbono atmosférico (Albarède, 2009).

El nivel de concentración de calcio en las aguas superficiales está controlada mayormente por la solubilidad de calcita y aragonito (Albarède, 2009). En su mayoría el calcio presente en las aguas de río proviene de la meteorización de carbonatos, sulfatos, y feldespatos, destacándose especialmente las plagioclasas con alto contenido de anortita (Hem, 1985). El apatito y la fluorita pueden ser fuentes minoritarias de calcio en las aguas de río.

La descomposición de la calcita, la dolomita, y la anortita, se ilustran mediante las ecuaciones 2, 3 y 10 respectivamente. La disolución del yeso se puede observar por medio de la siguiente reacción:



2.2.2. Magnesio

Este elemento está presente en los minerales ferromagnesianos de las rocas ígneas, específicamente en el olivino, en los piroxenos, en los anfíboles y en las micas oscuras (Hem, 1985). También se encuentra en las rocas metamórficas, formando parte de minerales como la serpentinita, el talco, el diópsido y la tremolita, así como en la magnesita, la hidromagnesita, la dolomita y la calcita baja y alta en magnesio (Hem, 1985; Albarède, 2009). Así mismo, forma parte de algunos minerales de arcilla que muestran concentraciones variables de este elemento como la montmorillonita, y la saponita. La meteorización libera al magnesio de los silicatos y los carbonatos y lo



transporta al océano en la carga disuelta (Albarède, 2009). La alteración de la dolomita se ilustra mediante la ecuación 3.

2.2.3. Sodio

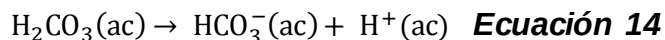
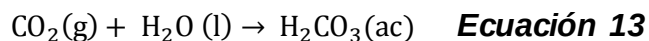
En su mayoría, el sodio que se encuentra en las aguas de los ríos es aportado por la meteorización de las plagioclasas, aunque también puede provenir del ciclaje de las sales de sodio y de la alteración de la halita presente en los sedimentos evaporíticos (Hem, 1985). A pesar que la albita puede ser relativamente estable a condiciones superficiales, el sodio es, preferentemente, lixiviado durante la meteorización química de este mineral (Albarède, 2009). La descomposición de la halita y de la albita pueden observarse en las ecuaciones 1 y 9, respectivamente.

2.2.4. Potasio

La mayor fuente de potasio en las aguas de los ríos es debido a la meteorización de los silicatos, especialmente de los feldespatos de potasio (ortosa, sanidina, adularia y microclino) y algunas micas como la moscovita. Como estos feldespatos son relativamente resistentes a la transformación química, durante la meteorización, son alterados más lentamente, en comparación a minerales poco resistentes (Hem, 1985). La reacción 11 ilustra la alteración química de la ortosa en el ambiente exógeno.

2.2.5. Bicarbonato

Este anión es el principal agente regulador del pH de las aguas naturales, por lo que es una de las especies químicas aniónicas más importantes desde el punto de vista geoquímico en las aguas de río (Hem, 1985). Su presencia en estas aguas se debe principalmente al aporte de CO_2 atmosférico a través de las siguientes reacciones (Hem, 1985):





Sin embargo, la meteorización química de las rocas carbonáticas también son una fuente de bicarbonato en las aguas de río, por intermedio de la alteración de minerales como la dolomita, la siderita, el aragonito y la calcita (Hem, 1985). Los carbonatos están presentes mayormente en las rocas sedimentarias y en algunas rocas metamórficas, ya sea masivas (mármoles) o en vetas en conjunto con otros minerales.

2.2.6. Sulfato

La principal fuente de este anión en las aguas de río es la alteración química de los sulfuros presentes en las rocas ígneas y sedimentarias como los sulfuros metálicos (pirita), los cuales al oxidarse, durante la meteorización, producen el ión sulfato soluble, que luego es transportado por las aguas (Hem, 1985). De igual forma, la meteorización química del yeso y la anhidrita aportan sulfato a las aguas de río (Ecuación12).

2.2.7. Cloruro

La principal fuente de este anión a las aguas fluviales, según Stallard et al. (1981), es el ciclaje atmosférico de las partículas de cloruro de sodio presentes en los aerosoles marinos. Otra fuente de cloruro puede ser la actividad magmática; sin embargo este es un elemento traza en muchas rocas ígneas, por lo que su contribución a la carga disuelta de los ríos va a ser relativamente baja si se compara a las que pueden aportar la alteración de las rocas evaporíticas que contienen halita, silvina y carnalita.

2.2.8. Silicio

La presencia de este elemento en las aguas superficiales está limitada por la reacción de la disolución del cuarzo ($-\log K_{sp} = 4,0$) y de la sílice amorfa ($-\log K_{sp} = 2,7$); a pesar de que se puede encontrar en, prácticamente, todas los tipos de rocas que contienen silicatos y aluminosilicatos (Albarède, 2009). La concentración de sílice disuelta, depende de la temperatura presente en la cuenca de drenaje (Faure, 1998; Maybeck, 1981). En las zonas tropicales predomina la transformación de los aluminosilicatos a caolinita, y bajo condiciones severas ocurre la transformación de esta arcilla a gibbsita. En ambos casos se produce un proceso de desilificación, por lo que los ríos tropicales



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



contienen mayores concentraciones de sílice disuelta que aquellos situados en zonas templadas (Meybeck, 1981).

2.3. Parámetros fisicoquímicos

La movilidad de todas las especies químicas mencionadas anteriormente depende de los parámetros fisicoquímicos del medio, como: pH, Eh, fuerza iónica de la solución y temperatura (Dómenech, 2006).

2.3.1. pH

El pH indica la actividad de los iones hidrogeniones en una disolución o una sustancia (Garrels y Christ, 1965). En las aguas naturales, el pH es una medida de la actividad de los iones hidronios disueltos en la misma, producto de la interacción agua-atmósfera, agua-roca, agua-sedimento o agua-suelo. Dicha actividad determina la solubilidad de muchos minerales y sustancias amorfas en los sistemas acuosos (Hem, 1985). Las aguas naturales presentan normalmente valores de pH entre 4 y 9, la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de metales alcalinos y alcalinotérreos (APHA, 1995). El pH regula las reacciones químicas y biológicas que tienen lugar entre el agua y el sustrato (Stumm y Morgan, 1981).

2.3.2. Eh

El Eh define el poder oxido-reductor de un cuerpo de agua, y mide la tendencia de las especies disueltas en este sistema a oxidarse o reducirse (Garrels y Christ, 1965). Para las aguas naturales en equilibrio con la atmósfera, los valores típicos de Eh oscilan entre 350 y 550mv, para cifras de pH entre 6 y 8 (Hem, 1985). Valores de Eh, menores a 350mv, puede ser debido a la presencia de la materia orgánica biodegradable (medio anaeróbico). El Eh controla la distribución de las especies iónicas de un determinado elemento en función de su estado de oxidación y de las características redox del ambiente acuático (Stumm y Morgan, 1981),

2.3.3. Conductividad



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad y depende de la concentración de iones en solución, y de la fuerza iónica de esta. Por consiguiente es un parámetro que permite evaluar indirectamente la cantidad de sólidos disueltos en un cuerpo de agua (Hem, 1985). Las medidas de conductividad eléctrica están controladas principalmente por las especies iónicas mayoritarias encontradas en las aguas naturales, tales como sodio, magnesio, potasio, calcio, sulfato y bicarbonato (Hem, 1985). En las aguas de origen marino, o las aguas de ambientes transicionales donde es común la mezcla de agua marina con agua continental, los valores de conductividad son altos ($> 1500 \mu\text{S/cm}$); mientras que las aguas de lluvia o las que drenan sustratos muy meteorizados o litologías con una baja susceptibilidad de meteorización (areniscas y conglomerados siliciclásticos) muestran conductividades bajas. ($< 100 \mu\text{S/cm}$). Las aguas superficiales que discurren sobre litologías con una alta susceptibilidad de meteorización como litologías: sedimentarias de tipo carbonato, metamórficas como mármoles y de rocas máficas o ultramáficas tienen conductividades que pueden variar entre los valores ya indicados (Hem, 1985).

2.3.4. Temperatura

En cuanto a la temperatura, esta oscila mayormente entre cifras de 26° y 16°C , con valores extremos que pueden alcanzar los 40° y 2°C . Esta variable depende principalmente de factores climatológicos (temperatura del aire, radiación solar y precipitación atmosférica), pero también es afectada por el entorno físico (cobertura vegetal, influencia glaciaria, geomorfología, elevación sobre el nivel del mar) (Yanes, 1980; Hem, 1985). La temperatura afecta la fugacidad y solubilidad de los gases (especialmente oxígeno), y de todas las reacciones bioquímicas y químicas que pueden presentarse en un ambiente dado (Yanes, 1980; Hem, 1985).

2.4. Factores que controlan la composición química de las aguas

Por otra parte, la composición química de las aguas superficiales está controlada por una serie de factores químicos, geológicos, morfológicos, biológicos, climáticos y antrópicos (Skoulikidis, 1993). Los factores químicos más importantes son el potencial



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



iónico y la solubilidad del mineral. En cuanto al potencial iónico, los elementos de bajo potencial (como sodio, calcio y magnesio), permanecen en solución durante el proceso de meteorización y transporte; los que poseen un potencial iónico intermedio son precipitados por hidrólisis, siendo sus iones asociados con grupos hidroxilos procedentes de las soluciones acuosas; y los elementos con potencial iónico elevado forman aniones conteniendo oxígeno, que son a su vez solubles (Siegel, 2002).

De los factores geológicos, los más resaltantes son el ambiente tectónico y la litología (Stallard, 1985b). El ambiente tectónico controla directamente el transporte total disuelto y sólido, e indirectamente la composición química y mineralógica de la fase disuelta, así como de los sedimentos, de un río (Stallard, 1985b).

Durante el proceso de meteorización, la litología reacciona frente a los distintos agentes de meteorización de acuerdo a su composición mineralógica, en conjunto con otros factores como: textura, permeabilidad y porosidad, los cuales favorecen la circulación de las aguas a través de las rocas, controlando su grado de alteración, y la composición química de la fase disuelta (Meybeck, 1981).

Los factores morfológicos engloban al relieve y la pendiente. El relieve es el factor más importante que incrementa la erosión y en consecuencia, el transporte de material suspendido, ya que las pendientes suelen ser inestables lo que produce deslizamientos y derrumbes, y en ellas la escorrentía es muy rápida y los ríos son muy energéticos (Stallard, 1985a). Si el material meteorizado es transportado con una velocidad mayor al proceso de generación del mismo, entonces la erosión es del tipo meteorización limitada, en este caso el material es alterado parcialmente debido al poco tiempo de interacción entre la litología y los agentes de meteorización; esto hace que el aporte por la litología a la carga disuelta del río sea proporcional al área expuesta y a su susceptibilidad a meteorizarse. En el caso donde la velocidad de meteorización exceda a la capacidad de transporte, la erosión es del tipo transporte limitado lo que produce una meteorización más profunda en el material parental, y la contribución a la carga del río solamente es proporcional al área expuesta (Stallard, 1985a).



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



La vegetación es el factor biológico de mayor importancia, su influencia es compleja y diversa, pudiendo causar un incremento en la velocidad de meteorización, al controlar el pH del medio donde se desarrolla (Drever, 1994), ya que las raíces y el material vegetal que se acumula en la superficie de los suelos, retiene la humedad; además, al descomponerse proporcionan bioácidos y otros ligandos orgánicos que pueden formar compuestos solubles, favoreciendo al proceso de meteorización química y el transporte de especies disueltas (Stallard, 1985b). La vegetación también ejerce su influencia sobre los suelos, ya que si es abundante, estabiliza el terreno, haciéndolo más resistente a la erosión, lo cual implica mayor cantidad de sólidos disueltos y menor concentración de sólidos suspendidos transportados por los ríos (Stallard, 1985a).

El clima puede influir de manera directa e indirecta sobre las características fisicoquímicas de los ríos. Directamente influye a través de los procesos de evaporación y dilución; el primero aumenta la salinidad y la conductividad, mientras que la dilución las disminuye. La influencia indirecta es efectuada por intermedio de la erosión y la meteorización, ya que estos procesos que condicionan el transporte total disuelto y suspendido, están a su vez afectados por el clima. En consiguiente, cualquier factor climático que favorezca o no la meteorización o la erosión, afectará las características fisicoquímicas de las aguas (Yanes, 1988).

De igual forma, la precipitación atmosférica es otro factor que determina la composición química de las aguas de río. Si la precipitación es alta, produce un aumento en el caudal del río, originando una disminución en la concentración de las diferentes especies químicas presentes en las aguas; junto al aumento de la cantidad de sólidos suspendidos. Así mismo, las aguas de lluvia también pueden influir en la composición de las aguas de un río, de una forma indirecta, por intermedio de la escorrentía (Yanes, 1980).

Por otra parte, los factores antrópicos están asociados con todas aquellas actividades realizadas por los seres humanos que afectan el medio ambiente (Barreto, 2006). Las actividades humanas modifican notablemente los sistemas fluviales, no solo desde el punto de vista de transferencia anormal de masa de los continentes a los océanos, sino



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



también con respecto a modificaciones de la composición de las fases sólida y disuelta; así como también los tiempos de residencia de los diferentes elementos en el ciclo geoquímico (Ramírez, 1984). En las aguas los iones que reflejan la influencia de la contaminación son Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^{+} , mientras que las especies químicas como HCO_3^{-} y sílice disuelta son menos afectados por el acto de la actividad humana (Ramírez, 1980). En sí, las actividades humanas pueden causar un aumento de la concentración de las sales disueltas en un cuerpo de agua (Roldán, 2003).

2.5. Valores de línea base y valores de fondo

En cuanto a los valores de línea base o de referencia, estos indican la concentración específica de un elemento para una zona y tiempo determinado (Kabata-Pendias y Pendias, 1992; Salminen y Gregorauskiene, 2000). En áreas prístinas los valores de línea base son cercanos a los valores de fondo (Galuszka, 2007), los cuales se entienden como las concentraciones naturales de un medio que no ha sido afectado por actividades antropogénicas (Gough, 1993). Por lo tanto, la diferencias entre los valores de línea base y los valores de fondo es que los primeros pueden incluir tanto la influencia natural como la antrópica.

2.6. Antecedentes

Los grandes ríos tropicales en distintas partes del mundo han sido investigados en un en un amplio rango de aspectos incluyendo geomorfología (Dietrich et al., 1999; Latrubesse y Franzinelli, 2002; Ramonel et al., 2002), relación entre los procesos tectónicos y fluviales (Latrubesse y Rancy, 2000; Franzinelli e Igreja, 2002), así como la relación entre la geología y la meteorización en la carga disuelta (Gurumurthy y Tripi., 2015; Spencer et al., 2014; Andrade et al., 2009; Raj y Azeez., 2009; Viers et al., 2000; Konhauser et al., 1994; Stallard y Edmond., 1987). Sin embargo, debido a lo extensas que son las regiones tropicales y el tamaño propio de los ríos de estas zonas, el conocimiento sobre ellos es todavía limitado.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



De estos estudios se desprende que los principales factores que controlan la composición química de los sólidos disueltos en la cuenca del Amazonas son la litología y el régimen erosional, señalando como factores secundarios la precipitación de sales en suelos, la interacción biológica y el suministro de sales cíclicas (Stallard y Edmond, 1987); así como que las variaciones en la composición química de los ríos amazónicos están controladas por la litología de la cuenca de drenaje y por la geoquímica del suelo erosionado, por lo que es posible clasificar la composición química de los ríos amazónicos de acuerdo al tipo de suelo de sus cuencas de drenaje (Konhauser *et al.*, 1994). Las variaciones espaciales observadas en la composición química de las aguas del río Bharathapuzha, en la India, se deben principalmente a cambios en el uso de la tierra, especialmente a la reducción de la cubierta forestal en la cuenca de drenaje (Raj y Azeez, 2009); la composición química de las aguas de los ríos del suroeste de India está controlada por la heterogeneidad de la litología y la intensidad de la meteorización en la cuenca de drenaje, en adición las temperaturas cálidas que promueven la meteorización de los silicatos en esta región (Gurumurthy y Tripi, 2015). La composición química de las aguas del río Nyong en África, está controlada por factores geomorfológicos (Viers *et al.*, 2000); así como que en la cuenca del río Congo, en África, las concentraciones de Na^+ determinadas en sus aguas se deben a la meteorización de silicatos, mientras que las concentraciones de Mg^{2+} y Ca^{2+} se derivan de la meteorización de carbonatos y silicatos, aunque una parte significativa de Na^+ , Cl^- y Mg^{2+} proviene de la meteorización de rocas evaporíticas (Spencer *et al.*, 2014).

En cuanto a la distribución espacial de los iones mayoritarios y de los parámetros fisicoquímicos en las aguas de los ríos, ésta ha sido estudiada en distintas partes del mundo (Varol *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2002). En todos estos estudios se encontraron variaciones espaciales significativas tanto en las concentraciones de los iones mayoritarios como en los parámetros fisicoquímicos, y se observó que la química de los iones mayoritarios en las aguas de los ríos estudiados está principalmente controlada por la meteorización de rocas carbonáticas.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Por su parte, Varol *et al.* (2013) observaron que en el río Tigris (Turquía), los valores más altos de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sílice disuelta, y de concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} se presentan en los meses de la estación seca, mientras que los valores más altos de pH, NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ y HCO_3^- se tienen en meses de temporada lluviosa. En el río Han, China, Li *et al.* (2008) encontraron que las menores concentraciones de soluto se presentan en las zonas con alta cobertura vegetal y que las mayores concentraciones de Cl^- , NO_3^- , y SO_4^{2-} están en sitios cercanos a los establecimientos industriales. Chen *et al.* (2002), en el río Yangtze, China, observaron una tendencia al incremento en la concentración de SO_4^{2-} y, en menor medida, de Cl^- , debido a los factores antropogénicos; también observaron que la meteorización de silicatos juega un papel menos importante en la composición química de los elementos mayoritarios.

En Venezuela las aguas de los ríos han sido estudiadas con distintos propósitos, entre los que se puede mencionar la determinación de la calidad de las aguas (Martínez *et al.*, 2013; Rodríguez, 2006; González, 2013) y el estudio de las variaciones espaciales de los iones mayoritarios y de los parámetros fisicoquímicos (Burguera *et al.*, 1986; Mogollón *et al.*, 1987; Yanes y Ramírez, 1988; Rodríguez, 1994; Bernardo, 1995; Yanes, 1997; Morantes, 1997; Reyes, 1999; Velásquez, 2000; Barreto, 2006; Astiz, 2012). Estas investigaciones concluyen que las diferencias espaciales observadas en la composición química y en los parámetros fisicoquímicos de las aguas de los ríos estudiados se deben principalmente a las distintas litologías que se encuentran en las cuencas de los ríos (Burguera *et al.*, 1986; Mogollón *et al.*, 1987; Yanes y Ramírez, 1988; Rodríguez, 1994; Bernardo, 1995; Reyes, 1999; Velásquez, 2000; Barreto, 2006; Astiz, 2012), a la morfología (Rodríguez, 1994; Bernardo, 1995; Barreto, 2006), a las actividades antrópicas del área (Burguera *et al.*, 1986; Mogollón *et al.*, 1987; Morantes, 1997; Reyes, 1999; Barreto, 2006; Astiz, 2012), al patrón de precipitaciones de cada región (Burguera *et al.*, 1986; Bernardo, 1995; Barreto, 2006), y la cobertura vegetal (Bernardo, 1995; Barreto, 2006).



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Sin embargo, las investigaciones realizadas en las aguas de ríos venezolanos anteriormente mencionadas, han estado orientadas mayormente al estudio específico de una porción de una cuenca fluvial en particular, o una cuenca pequeña (Rodríguez, 2006; Aztiz, 2012); y muy pocos al estudio regional y comparativo entre varias cuencas (Bernardo, 1995, Yanes, 1997; Velásquez, 2000), y mucho menos al establecimiento de valores de fondo a nivel regional, asociados con características litológicas comunes o similares, lo cual limita el establecimiento de generalizaciones, tanto desde el punto de vista composicional y fisicoquímico, a nivel nacional, así como los procesos que controlan dicha composición.

2.7. Área de estudio

Los ríos a objeto del presente estudio forman parte de las dos vertientes hidrográficas de Venezuela: la vertiente del Mar Caribe, que drena la región norte del país, y la vertiente del Océano Atlántico, que discurre hacia el este del territorio venezolano (Zinck, 1982). La descripción de ambas vertientes se desarrollará sobre la base de los siguientes aspectos: hidrología, clima, geología y vegetación.

2.8. Hidrología

2.8.1. Vertiente del Mar Caribe

La vertiente del Mar Caribe ocupa toda la franja Norte de Venezuela, extendiéndose del Oeste en el estado Zulia hasta Paria; su línea divisoria de aguas la conforman la Cordillera de los Andes, la Cordillera de la Costa en su flanco norte, incluyendo los niveles altos del norte de los estados Guárico y Anzoátegui (Figura 2).

Los recursos hídricos de la Vertiente del Mar Caribe constituyen el 20,7% del total del Territorio Nacional. Las principales cuencas hidrográficas de esta vertiente son: 1) Cuenca del Golfo de Venezuela, 2) Cuenca del Lago de Maracaibo, 3) Cuenca Occidental del Caribe, 4) Cuenca Central del Caribe, 5) Cuenca del Río Tuy, 6) Cuenca del Río Unare y 7) Cuenca del Golfo de Cariaco (Figura 2).



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



La mayoría de estas cuencas se caracterizan por ser de área pequeña y cursos cortos y torrentosos, a excepción de los ríos que drenan hacia el Lago de Maracaibo, debido a que esta vertiente es una franja estrecha por la proximidad de las montañas que forman parte de estas cordilleras con la línea de costa del Mar Caribe (Zinck, 1982).

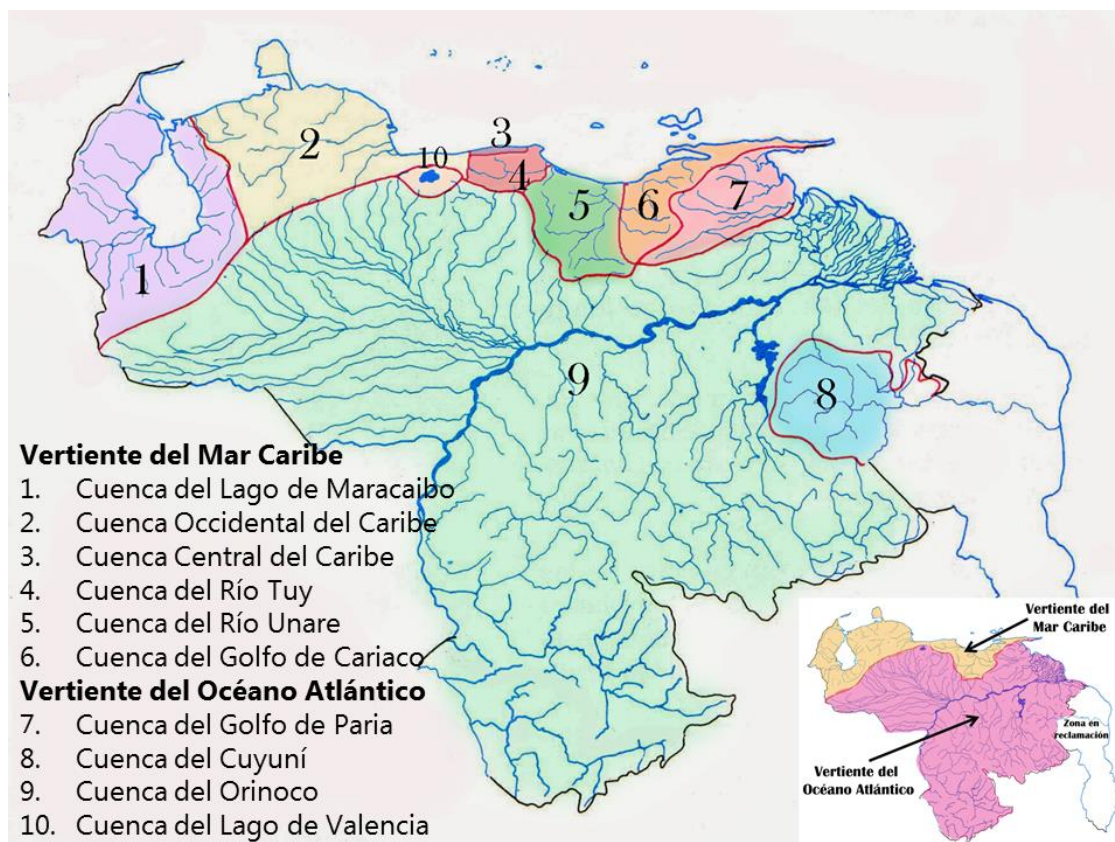


Figura 2: Vertientes y cuencas hidrográficas de Venezuela (Modificado de MPPA, 2010).

La Cuenca del Golfo de Venezuela está localizada en el extremo noroccidental de Venezuela y corresponde a los ríos que provienen de la Península de la Goajira colombiana. La Cuenca del Lago de Maracaibo está situada al oeste de Venezuela, entre la Cordillera de Perijá, por el Oeste; por la Cordillera de los Andes al Sur y la Sierra de Ciruma o el Empalado al Este. Ocupa principalmente el estado Zulia y parte de los estados Mérida, Trujillo, Táchira, Falcón y Lara y de la República de Colombia. Esta conforma nueve cuencas fluviales mayores: río Catatumbo, río Escalante, río



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Chama, río Motatan, río Palmar, río Apón, río Limón; río Santa Ana, y río Misoa (Medina y Barboza, 2006). En la costa sur oriental, entre los ríos Chama y Motatán, desembocan otros ríos de menor importancia entre los que se pueden nombrar: Caús, Pocó, Chirurí, San Pedro, Tucanizón, Frío, Guamo y Capazón.

La Cuenca Occidental del Caribe cubre gran parte de los estados Falcón, Lara y Yaracuy, y sus ríos son todos aquellos que drenan esta región, entre los que destacan: río Hueque, río Ricoa, río Tocuyo, río Aroa, Mitare, Maticora, Zazarida y Upire (Zinck, 1982).

La Cuenca Central del Caribe se extiende desde Carabobo hasta Cabo Codera, y sus ríos corresponden a los que drenan los estados: Carabobo, Aragua y Vargas. Algunos de los ríos de esta cuenca son: Petaquire, Chichiriviche, el Limón, Camurí, Naiguata, Los Caracas, Todasana y Maramita (Zinck, 1982).

La Cuenca del Río Tuy está ubicada en la región Nor-central de Venezuela y tiene un área aproximada de 6.600 Km² (Mogollón, 1995). Este río recorre en todo su trayecto una longitud aproximada de 270 Km (Zambrano, 1970). Sus cabeceras se encuentran en la vertiente sur de la Serranía del Litoral, a unos 2.400 m de altura, cerca del pico Codazzi, al Norte de la Colonia Tovar, Estado Aragua. Los ríos de esta cuenca desembocan en el Mar Caribe, en la zona de Boca de Paparo, Estado Miranda (Picard, 1968). El río principal es el Tuy, con varios afluentes como: Guare, Todazana, Ocumarito, Sucuta, Cuira, Panaquirito, Yaguapo, Urba y Sapo.

La Cuenca del Río Unare se localiza al norte del Estado Anzoátegui. Sus principales ríos son el Unare, el cual recorre parte de los estados Guarico y Anzoátegui, y desemboca con sus afluentes: Ipire, río Aragua, Guanape y Guaribe, en el Mar Caribe, y el río Neverí cuya desembocadura está en la costa del mar Caribe en la ciudad de Barcelona (Zinck, 1982).

La Cuenca del Golfo de Cariaco está localizada al norte del Estado Sucre, y los ríos que drenan sobre esta región pertenecen en su gran mayoría a las corrientes de algunos



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



ríos del Estado Sucre. Su principal río es el Manzanares, con afluentes como: Los Chorros, Guaranache y Tataracual. Otros río de esta cuenca que drenan directamente al Golfo de Cariaco es el río Carinicuao, con las aguas tributarios de los ríos limones, Tacarigua y Santa María (Zinck, 1982).

2.8.2. Vertiente del Océano Atlántico

La vertiente del Océano Atlántico comprende el 74,5% de los recursos hídricos superficiales de Venezuela, y la región que ocupa es drenada por aproximadamente 2.000 ríos; abarca una extensión de 880.000 Km² del territorio nacional, aproximadamente (Figura 2). Su río más importante es el Orinoco. Las principales cuencas fluviales de esta vertiente son: la Cuenca del Golfo de Paria, la Cuenca del Orinoco, la Cuenca del Cuyuní, la Cuenca del río Negro y la Cuenca del Lago de Valencia (MPPA, 2010; FAO, 2015).

La Cuenca del Golfo de Paria se encuentra al extremo nororiental de Venezuela. Las aguas de esta cuenca escurren sus aguas en el Golfo de Paria, de donde deriva su nombre. A ella caen aguas que derivan de los estados Sucre, Anzoátegui y Monagas. El río San Juan es el más importante de esta cuenca y es frontera natural limítrofe entre Sucre y Monagas. Entre sus afluentes destacan: Naranjo, Guanoco y Grande (MPPA, 2010; FAO, 2015).

El río Orinoco es el principal cuerpo de agua de la Cuenca del Orinoco. Este drena un área aproximada de 640.000 km² (67% del territorio venezolano, incluyendo el flanco sureste de los Andes). El río recorre unos 2.060 km hasta su desembocadura en el Atlántico, donde tiene una descarga promedio de agua de 36.000 m³.s⁻¹. El río Orinoco incluye 436 ríos tributarios y más de 2200 riachuelos. Este río recibe por su margen derecha a los ríos que discurren sobre el Escudo de Guayana (Caroni, Caura, Aro, Soapure, Parguaza, Ventuari, Cataniapo). Varios de estos ríos están entre los más caudalosos del país, con gastos superiores a 1.000 m³.s⁻¹. El área total cubierta por los tributarios de la margen derecha es de 222.717 km² representa el 52,6% de la provincia de Guayana, y el 24,4% del área total de Venezuela. En cambio el área total cubierta



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



por los ríos estudiados de la margen izquierda (Cinaruco, Capanaparo, Arauca y Apure) es de 226.300 Km² y representa el 24.8% del área total de Venezuela (MPPA, 2010; FAO, 2015). La mayoría de las cuencas estudiadas muestra hidrogramas que reflejan una descarga unimodal, donde el período de aguas altas se extiende desde junio a noviembre. Esto es consecuencia del régimen pluvial dominante en toda la zona sur del país, donde la lluvia constituye el principal elemento del clima (EDELCA, 1984).

La Cuenca del Cuyuní está localizada en el área este del Estado Bolívar. Su río principal es el Cuyuní. Este desemboca en el estuario del río Esequibo. En esta cuenca se encuentran varios ríos y quebradas que discurren de diferentes zonas de la Guayana oriental entre los que destacan: Yuruari, Yuruan, Botanamo y Venamo.

La Cuenca del Lago de Valencia es una cuenca endorreica que se localiza en los territorios de los estados Aragua y Carabobo. En el Centro de la cuenca se localiza el Lago de Valencia, cuya extensión actual es de 374 km² y su perímetro 127 km. La superficie de la cuenca es de 3.140 km² (Zinck, 1982). Se debe destacar que motivado a que los ríos que drenan sus aguas hacia ésta cuenca se encuentran contaminados, según la bibliografía consultada, ésta cuenca no se ha tomado en cuenta para el presente trabajo.

2.9. Clima

La distribución del clima, en las vertientes hidrográficas del presente estudio, está íntimamente relacionada con la ubicación de Venezuela, al norte de Suramérica. Esto permite disponer de un clima tropical en gran parte de su territorio, con una variabilidad de precipitaciones, en muchos casos puntuales, y pisos térmicos variables entre tropical y gélido, con temperaturas que oscilan en un intervalo entre 0°C y 40°C. Los meses más fríos son enero y febrero, con una segunda mínima en julio, por su parte, los máximos ocurren en marzo y septiembre (FAO, 2015).

La nubosidad es máxima en la Cuenca del Orinoco, específicamente en el Estado Amazonas, con valores de 6 a 7 octavos de cielo cubierto; así como en la región de la



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Cuenca de Maracaibo, a nivel del Catatumbo, donde impera gran nubosidad y formación de tormentas debido a los efectos locales de convergencia de vientos. La humedad relativa en ambas vertientes es por lo general muy alta, encontrándose valores mayores al 80% en los Andes, sur del Lago de Maracaibo y río Caura en Bolívar; los mínimos pueden llegar hasta 2% en la Cuenca del Unare en la localidad de Barcelona, y en la Cuenca Occidental del Caribe, cerca de Carora (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1970).

La mayor frecuencia de tormentas en el país se registra en el río Catatumbo, y en la región central del Territorio Amazonas. Las mínimas se suceden en el valle de Carora, estado Lara, y en la Cuenca de Cariaco, específicamente en las montañas de Turimiquire en el estado Sucre (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1970).

Por otro lado, las temperaturas son relativamente constantes durante todo el año, y muy próximas a 27°C en las zonas bajas, mientras que en las regiones altas, la temperatura puede estar muy cerca de los 17°C. En las regiones montañosas (alturas superiores a los 3000 m), el clima es templado de montaña y las temperaturas pueden ser inferiores a los 7° C.

2.10. Geología

La región de las vertientes hidrográficas del Mar Caribe y del Océano Atlántico presenta una geomorfología diversa, destacándose el Escudo de Guayana, los Cinturones Orogénicos (representados por la cordillera de los Andes y la cordillera del Caribe), y los Llanos (Figura 3). En el contexto de estas tres provincias morfológicas, se describirá la geología de la zona de estudio.



Figura 3: Provincias morfológicas de Venezuela (Modificado de MPPA, 2010).

2.10.1. Escudo de Guayana

El Escudo de Guayana se encuentra ubicado al sur del río Orinoco, y ha sido dividido en cuatro provincias conocidas como: Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima (González de Juana *et al.*, 1980). A continuación se hace un breve resumen de las características litológicas de cada una de estas provincias sobre la base del trabajo de González de Juana *et al.* (1980).

Las rocas que componen al complejo Imataca incluyen rocas de origen sedimentario y ortogneises que han alcanzado grados metamórficos correspondientes a las facies de la granulita y anfibolita. También están presentes gneisis máficos, cuarcitas ferruginosas, granulitas ultramáficas, mármoles dolomíticos y anortosíticos. Las edades de estas rocas oscilan entre los 3,5 y 3,6 Ga (Ga = 10^9 años). La cuenca Baja Caroní-Paragua y la parte baja del Río Aro y Río Caura discurren sobre esta Provincia Geológica.

La Provincia de Pastora se encuentra ubicada al sur del Complejo de Imataca. Litológicamente está integrada por una serie de rocas verdes de origen ígneo,



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



metamorfoseadas al grado de la anfibolita y esquistos verdes. En estas rocas han intrusionado granitos sódicos y diques de gabro y diabasa. Las edades más comunes de esta provincia giran alrededor de 2,1Ga. En ese cinturón de rocas verdes se reconocen dos ciclos estratigráficos separados por una discordancia angular; el Super grupo Pastora y el Grupo Botanamo. Las rocas más importantes que constituyen al primero de ellos son metalavas anfibolíticas de composición basáltica, tobas básicas, esquistos actinolíticos biotíticos y metagrauvas. También se encuentran rocas epiclásticas de grano fino (filita, esquistos clorítico-sericíticos). El Grupo Botanamo está integrado por rocas epiclásticas volcánicas (limolitas, grauvas y conglomerados), tobas, brechas, filitas, metaareniscas rojas y conglomerados polimíticos. El mayor porcentaje de esta Provincia aflora en la cuenca del Río Cuyuní.

La Provincia de Cuchivero está situada en la parte occidental de Escudo de Guayana venezolano. Esta incluye grandes extensiones de rocas plutónicas (granitos alcalinos, granitos y cuarzo-monzonitas), una serie de rocas volcánicas (riolita alcalina, riolita, riodacita y dacita) de edad Proterozoica (2.1 a 1,4 Ga) y una menor proporción de rocas sedimentarias, todas ellas metamorfoseadas a la facies de los esquistos verdes. Gran parte de estas rocas de Cuchivero afloran en la cuenca de los ríos Paragua, Caura, Cuchivero y Aro. Los ríos Parguaza, Suapure y Ventuari discurren sobre rocas graníticas (granito d Parguaza y Santa Rosalía) que intrusionaron las rocas de la Provincia Cuchivero. La formación Cinaruco está constituida por una secuencia de cuarcitas, esquistos y metaconglomerados que forman las Galeras de Cinaruco. Esta formación ha sido incluida dentro de la Provincia de Cuchivero.

La Provincia de Roraima de edad Proterozoico (1,6 Ga) está localizada al sur de la Provincia de Pastora. Esta Provincia ha sido subdividida en cuatro formaciones que de la base al tope son: Uairén, Cuquenán, Uaimapué y Mataui. La formación Uairén consiste principalmente de conglomerados y areniscas de origen fluvial. La formación Cuquenán está constituida esencialmente por lutitas físis. La formación Uaimapué consiste predominantemente de ftanita, limolitas, arcosas y rocas tobáceas de aspecto jaspoide (rojos y verdes). La formación Mataui está formada por ortocuarcitas de



colores blanco, crema y rosado. Estas rocas afloran en gran parte de la cuenca del Río Caroní y parte de la cuenca del Río Paragua.

2.10.2. Cinturones Orogénicos

Los cinturones orogénicos están representados por la Cordillera de los Andes y la Cordillera del Caribe.

La Cordillera de los Andes venezolanos está ubicada al noroeste de la cuenca del Río Orinoco. Comienza en la depresión del Táchira y termina en la depresión de Barquisimeto. Nace de la Cordillera Oriental de Colombia y comienza a separarse de ésta, en el nudo de Pamplona. En los Andes venezolanos o Cordillera de Mérida aflora una secuencia de rocas metasedimentarias (esquistos cuarzo feldespáticos micáceos y génesis granatíferos y biotíticos) de probable edad Precámbrico Superior, y que han sido metamorfoseadas al grado de la anfibolita. Estas rocas pertenecen al Grupo Iglesias (González de Juana et al., 1980). En el flanco sur-andino afloran una serie de rocas sedimentarias clásticas (lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados) que no han sufrido metamorfismo; pero también se observa un grupo de rocas metasedimentarias que consisten en pizarras, filitas, meta-areniscas y meta-conglomerados (Formación Mucuchachí) y rocas sedimentarias compuestas por lutitas, margas y calizas, todas fosilíferas (Formación Palmarito). En la región suroeste de los Andes de Mérida y Táchira aflora la Formación La Quinta que consiste principalmente de conglomerados, interestratificados con areniscas e intervalos volcánicos en la base. El sistema cretácico aflora extensamente en los Andes venezolanos, siendo la unidad más característica la Formación La Luna, la cual consiste de calizas carbonáceas a bituminosas y de arcillas calcáreas o no (González de Juana et al., 1980).

La Cordillera del Caribe comienza desde la depresión de Barquisimeto al oeste, hasta el extremo oriental de la península de Paria, en el extremo este. Puede dividirse en un sector oriental y otro occidental. Este último corrientemente designado como Sistema Orográfico y la Faja Peimontina, externa a la Cordillera del Caribe, son las que afloran en la cuenca alta de varios de los ríos que drenan por la margen izquierda del Orinoco. El sistema Orográfico ha sido subdividido en cuatro “Fajas tectónicas”, las cuales, de



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



norte a sur, son las siguientes: la de la Cordillera de la Costa, la de Cauagua-El Tinaco, la de Paracotos y la Faja de Villa de Cura (González de Juana *et al.*, 1968). De todas éstas, la Faja de Cauagua – El Tinaco y la Faja de Villa de Cura son las que están localizadas en la Hoya Hidrográfica del Río Orinoco. La primera está constituida por la peridotita de Tinaquillo (masa ultrabásica de tipo alpino, harzbugita y metagabro) y el Complejo de Tinaco (esquistos sericíticos cuarzosos y gneises feldespáticos anfibólicos). La segunda está compuesta casi exclusivamente por rocas volcánicas del Grupo Villa de Cura (metatobas, filitas laminadas negras, metaftanitas, metalavas básicas, rocas ultramáficas del tipo piroxenitas oliviníferas y hornablendita piroxénica) (González de Juana *et al.*, 1968). Finalmente, La Faja Piemontina se caracteriza por una secuencia de turbiditas donde su principal representante es la Formación Guárico y está compuesta por areniscas turbidíticas (grauvacas y subgrauvacas feldespáticas; areniscas impuras líticas) y limolitas impuras.

2.10.3. Los Llanos

Los Llanos cubren una extensa región del país, con relieve casi plano salvo el Macizo de El Baúl y la región de Las Mesas con una altura máxima de unos 150 m sobre el nivel de los Llanos, formados por sedimentos no consolidados o poco consolidados (Neogeno y Pleistoceno) provenientes de la erosión de los Cinturones Orogénicos (González de Juana *et al.*, 1968). Sobre los Llanos Orientales se extiende La Formación Mesa, una unidad que cubre extensas mesas, constituidas por arenas de grano grueso y gravas cementadas con material ferruginoso, que dan lugar a conglomerados oscuros y arenas de distintos colores (González de Juana *et al.*, 1968).

2.11. Vegetación

En las cuencas fluviales del Escudo de Guayana la cobertura vegetal es una mezcla de bosque húmedo tropical y bosque muy húmedo tropical con muy pocas sabanas, y con predominio de vegetación herbácea en las zonas bajas cercana al cauce del Río Orinoco (EDELCA, 1984). En la región de los Llanos la vegetación es de sabanas, donde predominan las gramíneas; pero también se tienen arbustos, árboles aislados y bosques de galería a lo largo de las márgenes de los ríos (Ewel y Madriz, 1968). En la



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Vertiente del Mar Caribe, en términos generales la vegetación es muy variada: hacia el norte, como es el caso de la Península de La Guajira y la planicie de Maracaibo, prevalece el espinal tropical y el matorral tropical semi-deciduo. En la región de Falcón, arbustales y matorrales principalmente espinosos, ondonales y espinares en las inmediaciones de Coro e interior de Paraguaná. En las regiones montañosas de la región de esta vertiente, especialmente a alturas intermedias (3000 a 1500 m) se ubica el bosque húmedo tropical, bosque húmedo premontano y montano siempre verde; hacia el piedemonte, el bosque tropical se encuentra en las partes más bajas; y en las planicies aluviales, como es el caso del Lago de Maracaibo están ocupadas por el bosque tropical semideciduo; aunque también se tienen arbustos, árboles aislados y bosques de galería (Ewel y Madriz, 1968).



3. METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo documental. Con esta se aborda la búsqueda, obtención, análisis crítico, e interpretación de datos secundarios provenientes de investigaciones desde el punto de vista químico, geoquímico y de otras disciplinas ya realizadas en los distintos ríos de Venezuela (Arias, 2012). En tal sentido, inicialmente se realizará una breve descripción general de la metodología utilizada por los autores en los trabajos consultados, que incluye captación de las muestras de agua, parámetros fisicoquímicos medidos sobre las muestras de agua y análisis químico de los componentes mayoritarios considerados en esta investigación. Luego de esta breve descripción, se presentarán los aspectos metodológicos relacionados con el desarrollo de la presente investigación.

3.1. Captación de muestras

En la mayoría de los trabajos consultados, la captación de las muestras consistió en la toma de agua puntual en el centro del cuerpo de agua, entre la superficie y 30 cm de profundidad (Bernardo, 1995; Morantes, 1997; Reyes, 1999; Velásquez, 2000; Hernández, 2011); o puntuales a distintos niveles de profundidad, a lo largo de la sección transversal del canal del río (Yanes, 1997); así como de tipo integrado, que luego fueron mezcladas mediante un homogeneizador de 12 L de capacidad (Yanes, 1997). Su almacenaje fue realizado en envases de plástico lavados previamente con HNO_3 al 5%, y enjuagados con agua destilada, o agua deionizada, curando el envase varias veces con las aguas de los ríos a estudiar antes de tomar las muestras definitivas (Bernardo, 1995; Yanes, 1997; Morantes, 1997; Reyes, 1999; Velásquez, 2000; Hernández, 2011; Blanco, 2011). Esto con la finalidad de minimizar la posible contaminación de las muestras por impurezas presentes en las paredes de los envases (APHA, 1975). Después de su captación, las muestras de agua fueron filtradas en campo a través de membranas de 0,45 μm para separar los sólidos disueltos de los sólidos suspendidos (Yanes, 1997; Blanco, 2011; y otros trabajos citados por estos autores con referencia a este aspecto metodológico).



3.2. Medición de los parámetros fisicoquímicos

En todos los trabajos consultados para la obtención de la información, las mediciones de estos parámetros se realizaron en el momento de la toma de las muestras de agua, con equipos portátiles, debido a que el pH, la conductividad, y la temperatura del agua son susceptibles a variaciones con el tiempo de almacenaje (APHA, 1975). Los métodos empleados son indicados en dichas investigaciones (Bernardo, 1995; Yanes, 1997; Morantes, 1997; Reyes, 1999; Blanco, 2011).

3.3. Determinación de los elementos mayoritarios

La determinación de las concentraciones de los elementos mayoritarios Na^+ y K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} , así como Si expresado como sílice disuelta SiO_2 , los cuales fueron empleados en el presente trabajo, se describen a continuación.

3.3.1. Análisis de Cationes y Aniones

La determinación de las concentraciones Na^+ y K^+ fue llevada a cabo mediante la técnica de Espectrometría de Emisión Atómica, en todos los trabajos, mientras que las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} fue obtenida por las técnicas de Espectrometría de Absorción Atómica y Espectrometría de Emisión Óptica-Plasma inductivamente acoplado (Bernardo, 1995; Yanes, 1997; Morantes, 1997; Reyes, 1999; Velásquez, 2000). Por su parte, el análisis de los aniones Cl^- y SO_4^{2-} se realizaron por medio de la técnica de Cromatografía de Intercambio Iónico, y HCO_3^- , en algunos trabajos (Velásquez, 2000; Yanez, 1997), y a partir de los valores de alcalinidad, obtenidos mediante titulación de las muestras de agua en campo con HCl se estimaron las concentraciones de bicarbonato (Bernardo, 1995; Morantes, 1997; Reyes, 1999; Hernández, 2011; Blanco, 2011).

3.3.2. Análisis de Sílice Disuelta

La concentración de sílice disuelta se determinó en la mayoría de los trabajos por la Técnica de Espectrometría de Absorción Molecular, en las muestras filtradas, empleando el método colorimétrico del molibdato azul y por la técnica de



Espectrometría de Emisión Óptica-Plasma inductivamente acoplado (Bernardo, 1995; Morantes, 1997; Reyes, 1999; Velásquez, 2000; Blanco, 2011).

3.4. Descripción de la metodología aplicada

En cuanto a la metodología que se utilizó para alcanzar el objetivo general de este trabajo, ésta fue dividida en diez etapas: 1) búsqueda y recopilación de la información disponible; 2) selección de los ríos a estudiar ; 3) organización de los datos por cuenca hidrográfica; 4) identificación de los vacíos de información; 5) validación de los datos químicos; 6) agrupación de los ríos en función de sus características fisicoquímicas y composicionales, en términos de los elementos mayoritarios; 7) clasificación de los principales tipos y subtipos de agua; 8) análisis de las relaciones interelementales; 9) distribución espacial de las variables fisicoquímicas y composicionales; 10) establecimiento de valores de referencia.

3.4.1 Búsqueda y recopilación de la información disponible

La búsqueda y recopilación de la información disponible referente a los datos secundarios de parámetros fisicoquímicos y de composición química de ríos venezolanos se efectuó mediante la revisión bibliográfica de investigaciones ya realizadas en diversas áreas del conocimiento. Esta abarcó, en su mayoría, estudios correspondientes a las disciplinas de la hidrogeoquímica y la química acuática, en las cuales se generaron datos de parámetros fisicoquímicos y de concentración de los iones mayoritarios (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), así como de SiO_2 y sales disueltas, tanto de la Universidad Central de Venezuela como de otras Universidades nacionales e instituciones gubernamentales del país.

3.4.2. Selección de los ríos a estudiar

Los ríos a estudiar fueron seleccionados empleando el criterio de su condición prístina o cuasi-prístina; es decir que sus aguas se mantengan en su condición natural, sin intervención antrópica, o que la misma sea mínima. Para esto, se tomó en consideración la interpretación realizada por los autores de los trabajos consultados, o



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



de otros trabajos realizados en la cuenca de drenaje de los ríos estudiados, que hayan hecho referencia a esta condición para la época en que se hizo el estudio en cuestión.

Según lo anteriormente mencionado, se seleccionaron un total de 345 ríos y quebradas: 25 pertenecientes a la cuenca del Lago de Maracaibo, 9 de la cuenca Occidental del Caribe, 19 de la cuenca Central del Caribe, 22 de la cuenca del Río Tuy, 3 de la cuenca del Río Unare, 1 de la cuenca del Golfo de Cariaco, 2 de la cuenca del Golfo de Paria, 16 de la cuenca del Cuyuní y 248 de la cuenca del Orinoco.

3.4.3. Organización de los datos por Cuenca Hidrográfica

La información fue agrupada y organizada en una base de datos según la vertiente y atendiendo a la cuenca hidrográfica a la que pertenece el río seleccionado; las distintas cuencas hidrográficas consideradas en este trabajo fueron ya señaladas en la sección de hidrología (ej. Río Yuruán, Cuenca del Cuyuní). Esto tomando en consideración la fecha de muestreo, localización de la toma de muestra en función de sus coordenadas geográficas, el área de drenaje y altitud del punto de muestreo, así como los valores de las variables fisicoquímicas (temperatura, pH y conductividad) y de las concentraciones de los elementos mayoritarios (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , SiO_2) obtenidos para cada una de las muestras. Esto con el fin de poder asociar todas estas variables entre sí, y asociarlas con la litología que drena el río en su recorrido hasta el punto de la localidad de captación de la muestra.

3.4.4. Identificación de los vacíos de información

Con la agrupación y organización de la información disponible anteriormente descrita fue posible identificar los datos faltantes de los ríos seleccionados, además de la información de los ríos principales o de sus afluentes que conforman en conjunto una determinada cuenca de las consideradas en esta investigación. De esta forma fue factible realizar la búsqueda de la información faltante en otras publicaciones no consideradas en la primera fase de búsqueda y recopilación de la información, o a su estimación o derivación en aquellos casos que fue posible a través de la aplicación de herramientas de información geográfica (área de la cuenca o altitud) o consideraciones



de balance iónico, combinado con cálculos de conductividades ideales (variables químicas).

3.4.5. Validación de los datos químicos

Los datos obtenidos de composición química de los ríos seleccionados fueron sometidos a una validación para determinar la calidad de los mismos y su representatividad en el contexto hidrogeoquímico, mediante el empleo de la aplicación de cálculos de balance iónico y de la comparación de los valores de conductividad medidos en campo de las muestras de estos ríos con los valores de conductividad ideal calculados a la temperatura del agua cuando se captó la muestra (Yanes, 1997).

En el primer caso, el balance iónico fue calculado mediante la ecuación 15 aplicado a todas las muestras. Según Hem (1985) los valores porcentuales inferiores al 10% es reflejo de que los datos obtenidos son confiables desde el punto de vista geoquímico.

$$\%BI = \frac{\sum_{i=1}^n Ci^{+} - \sum_{i=1}^n Ai^{-}}{\sum_{i=1}^n Ci^{+} + \sum_{i=1}^n Ai^{-}} * 100 \quad \text{Ecuación 15}$$

Dónde: BI =Balance Iónico

Ci^{+} = Cación especie i en meq/L

Ai^{-} = Anión especie i en meq/L

En el segundo caso, la conductividad ideal teórica fue calculada con los valores de conductividades equivalentes iónicas de cada uno de los iones mayoritarios de las muestras de agua, para relacionarlos gráficamente con las cifras de conductividades medidas en campo durante su captación (Yanes, 1997). Para el cálculo de la conductividad ideal se utilizó la ecuación 16, así como las ecuaciones 17 y 18.

$$CI_w = CI_{C^{+}} + CI_{A^{-}} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$CI_{C^{+}} = \sum_{i=1}^n Ci^{+} \mu eq_i \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\sum_{i=1}^n Ai^{-} \mu eq_i \quad \text{Ecuación 18}$$



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Dónde: CI_w = Conductividad Ideal de la muestra de agua

CI_{C+} = Conductividad Ideal Catiónica

CI_{A-} = Conductividad Ideal Aniónica

Ci^+ = Concentración especie catiónica i (en mg/L)

Ai^- = Concentración especie aniónica i (en mg/L)

3.4.6. Agrupación de los ríos en función de sus características fisicoquímicas y composicionales

Los ríos bajo estudio fueron agrupados según los valores de los parámetros fisicoquímicos de sus aguas, así como de la concentración de los elementos mayoritarios de las mismas. La agrupación se realizó mediante la elaboración de gráficos de distribución de frecuencia acumulada, identificando las distintas poblaciones o grupos de ríos, mediante los puntos de inflexión observados en estos gráficos.

3.4.7. Clasificación de los principales tipos y subtipos de agua

Las aguas de los ríos seleccionados fueron clasificadas por tipos y subtipos de acuerdo al orden de abundancia de los iones mayoritarios con el fin de asociarlas a la litología presente en su cuenca de drenaje. Esta clasificación se realizó siguiendo la metodología empleada por Yanes (1997) en su estudio de los ríos del Escudo de Guayana, ordenándose los cationes y aniones, por separado, de forma descendiente según su abundancia, correspondiendo cada combinación de grupos de cationes-aniones a un subtipo diferente de agua.

3.4.8. Análisis de las relaciones interelementales

Las muestras de agua de los ríos a estudiar fueron sometidas a un análisis exploratorio de datos mediante la aplicación de relaciones interelementales de algunos cationes y aniones mayoritarios, con la finalidad de establecer su asociación con la litología de la cuenca e inferir su interacción agua-roca, u otro proceso que determine el origen de su



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



composición. Las relaciones empleadas fueron: $(\text{Ca}^{2+} / \text{HCO}_3^-)$, $(\text{Mg}^{2+} / \text{HCO}_3^-)$, $(\text{Na}^+ / \text{Cl}^-)$, $\text{SiO}_2 / \text{Conductividad}$ y SiO_2 / Σ^+ , donde Σ^+ representa la contribución catiónica).

3.4.9. Distribución espacial de las variables fisicoquímicas y composicionales

La variación espacial de las variables fisicoquímicas y de composición de los elementos mayoritarios presentes en las aguas de los ríos seleccionados fue estudiada para cada una de las cuencas que configuran el sistema hidrológico venezolano empleando como herramienta estadística descriptiva la representación de cajas gráficas. Este tipo de representación permitió visualizar la distribución de los datos anteriormente mencionados en cuanto a los valores mínimos y máximos, con la mediana, los cuartiles (25 y 75%) y los valores atípicos para cada cuenca.

De igual forma se emplearon mapas de distribución donde la concentración de cada una de las especies estudiadas se representa, gráficamente, así como los parámetros fisicoquímicos, con la finalidad de observar su patrón de distribución regional.

3.4.10 Establecimiento de valores de referencia

Para la estimación de los valores de fondo en esta investigación, se utilizó el método estadístico iterativo 2σ propuesto por Matschullat *et al.* (2000), con una ligera modificación. Los valores de fondo se obtuvieron a partir de la mediana y la desviación estándar de los elementos mayoritarios de un conjunto de datos de cada población de agua identificada y separada mediante los valores de concentración de sales disueltas totales. Todos los valores más allá del intervalo mediana $\pm 2\sigma$ se omiten. Este procedimiento se repite hasta que todos los valores restantes se encuentren dentro de este intervalo. Las medianas $\pm 2\sigma$ calculadas a partir de la distribución resultante, se consideran que reflejan el fondo geoquímico. Este método construye una distribución normal aproximada en torno al valor medio de los datos originales. La mediana resultante y la correspondiente mediana de la población derivada se encuentran en la clase con la frecuencia más alta.



4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en este estudio. A los fines de la interpretación de resultados se consideró conveniente dividir en dos poblaciones la cuenca del Orinoco: Margen Izquierda (ríos provenientes de los Llanos venezolanos) y Margen Derecha (ríos que drenan el Escudo de Guayana), debido a la marcada diferencia que existe entre los ríos de ambas márgenes, la cual ha sido documentada en trabajos previos (Yanes, 1997; Velásquez, 2000).

La ubicación geográfica de los ríos considerados en el presente estudio y la fuente bibliográfica a partir de la cual se obtuvo la información a analizar se muestra en el apéndice A; mientras que en el apéndice B se presentan los datos de los parámetros fisicoquímicos y de composición química de los ríos seleccionados para el alcance de los objetivos.

4.1. Validación de los datos seleccionados

La evaluación de los datos de conductividad y composición química de los ríos seleccionados se hizo mediante dos aproximaciones o herramientas geoquímicas: 1) la comparación de los valores de conductividad medidos en campo, en cada localidad donde se captó la muestra, con la conductividad ideal calculada para la temperatura del agua en el momento del muestreo (Yanes, 1997); 2) el cálculo del balance iónico con las cifras de concentración de los cationes y aniones mayoritarios determinadas en las muestras de agua descritas anteriormente. Esto permitió validar la calidad de los análisis y resultados a utilizar para el desarrollo del presente trabajo.

El valor de la conductividad medida en una muestra de agua es un reflejo de la concentración de las especies iónicas que hay en solución. Por lo tanto al comparar las cifras de la conductividad ideal calculada con las concentraciones de los cationes y aniones mayoritarios analizados en cada una de las muestras (ecuación 16) con la conductividad determinada en campo, debe obtenerse una buena correlación lineal, de



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



pendiente muy cercana a la unidad. Los detalles del cálculo de la conductividad ideal se muestran en el apéndice C.

En la Figura 4 se muestra la relación existente entre las conductividades. Obsérvese una buena correlación lineal, con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,94 y una pendiente muy cercana a la unidad ($m = 0,93 \pm 0,01$). Este resultado indica que los análisis químico de mayoría de las muestras de aguas de los ríos seleccionados muestran una gran calidad puesto que los valores de las distintas especies tomadas para el cálculo de las conductividades coinciden dentro del margen de error con las conductividades determinadas en campo. También, muestra que las conductividades inferiores a $350 \mu\text{S/cm}$, se comportan como soluciones simples, con muy poco bajo grado de interacción inter-iónica que limite la movilidad de las especies por asociación iónica en el intervalo de concentración indicado (Adamson, 1979). En ese intervalo de conductividades, los valores de conductividad teórica resultaron ser inferiores (alrededor de un 7%) a los determinados en campo. Esto podría ser consecuencia a no haber considerado en el cálculo la concentración de algunos iones que contribuyen a este parámetro fisicoquímico, como es el caso del nitrato, y en menor grado algunos aniones que participan en el balance de carga en la solución, como es el caso de los aniones orgánicos, ya que los mismos no fueron analizados en la mayoría de los trabajos seleccionados para realizar la presente investigación. Los aniones orgánicos son componentes importantes en las aguas de muchos ríos de la Cuenca del río Orinoco que drenan el Escudo de Guayana (Yanes, 1997), y que son conocidos por ser de aguas oscuras denominadas: aguas negras.

En el intervalo de conductividad entre 350 y $800 \mu\text{S/cm}$, los valores de conductividad teórica y de la conductividad determinada en campo se distribuyen a lo largo de una tendencia con una pendiente muy cercana a la unidad (línea punteada); es decir cifras similares en magnitud entre ambas variables con una desviación baja (inferior al 3%), como consecuencia de que la concentración de los iones mayoritarios considerados en los cálculos teóricos, y por consiguiente en la base de datos empleada en este estudio, son las especies que determinan la conductividad de estas aguas.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

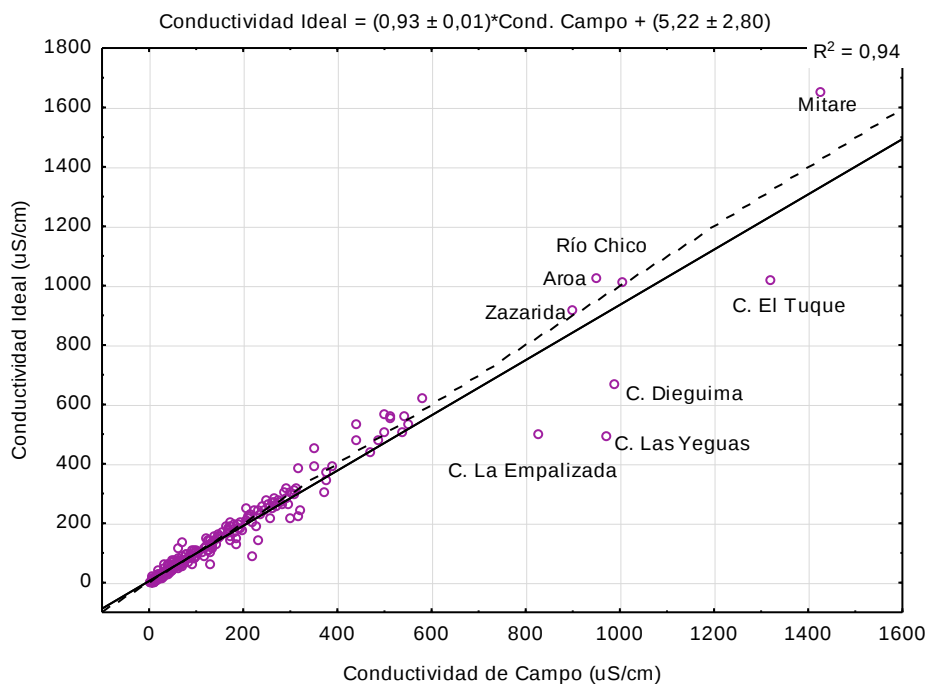


Figura 4: Grafica de la conductividad ideal con respecto a la conductividad medida en campo para las aguas de los ríos seleccionados.

La tendencia anteriormente señalada se mantiene a conductividades superiores a 800 $\mu\text{S/cm}$, en algunos ríos de la Hoya Hidrográfica Occidental del Caribe (Aroa y Zazarida) y de Central del Caribe (Río Chico), que presentan una mayor concentración de sales disueltas, mientras que en otros ríos de la misma Hoya Hidrográfica, occidental del Caribe (Las Yaguas, La Empalizada, Caño El Tuque y Caño Dieguima), los valores calculados difieren significativamente de la conductividad medida en campo, alejándose relevantemente a lo observado en otros ríos con esas mismas características de aguas más mineralizadas. Esto posiblemente debido a la presencia de concentraciones importantes del anión nitrato que no fue considerado en los cálculos teóricos. El caso del río Mitare merece una consideración necesaria de resaltar, ya que aunque las cifras entre conductividad teórica y conductividad de campo también son distintas, la conductividad teórica resulto ser más alta. Dos situaciones pueden explicar esta diferencia: 1) un mecanismo de asociación entre iones favorecido por una fuerza iónica elevada que disminuye la propiedad de conducción eléctrica de los iones individuales; o 2) no haber considerado en los cálculos de la conductividad teórica la concentración de



un ión mayoritario que contribuya significativamente en la magnitud de esta variable (ej. nitrato en el caso de este estudio). La situación que controla esta diferencia puede ser confirmada a partir de la herramienta del balance iónico, la cual se discutirá a continuación.

En cuanto al balance iónico, en la Figura 5 se presenta la relación entre la concentración catiónica total (E^+) y la concentración aniónica total (E^-). Obsérvese que la relación entre ambas variables es lineal, con una pendiente igual a $1,11 \pm 0,02$ y un intercepto menor de -64 ± 26 .

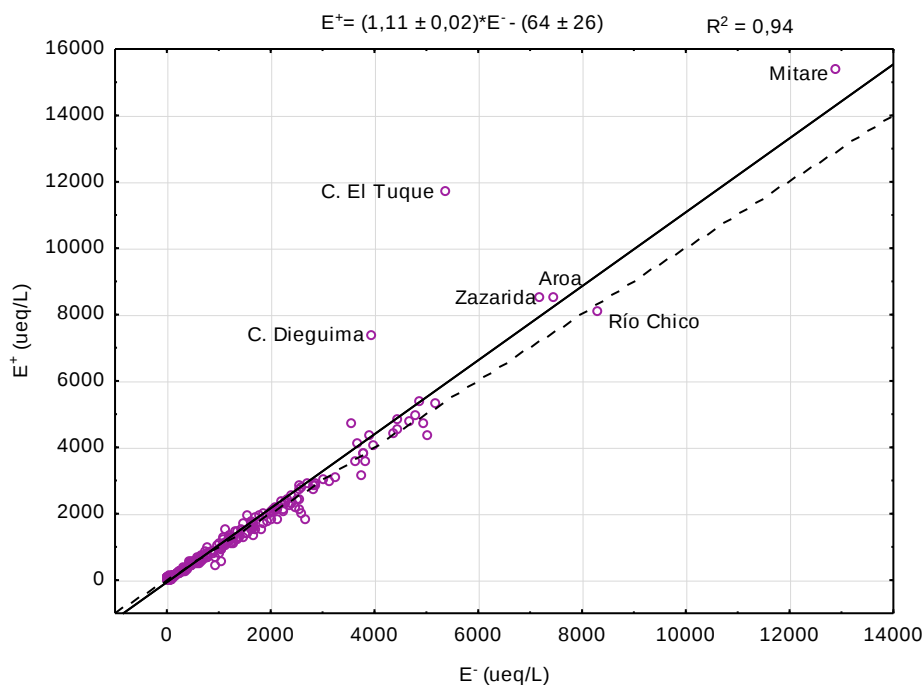


Figura 5: Gráfica de la concentración catiónica total (E^+) con respecto a la concentración aniónica total (E^-) de los ríos seleccionados.

Los ríos que se alejan de la tendencia son Mitare, Caño Dieguima, y Caño El Tuque. En estos casos la concentración catiónica total es significativamente mucho más alta que la concentración aniónica total, lo que claramente permite inferir que esta desviación se debe a no considerar en los cálculos la concentración del ión nitrato, lo que también explicaría las desviaciones observadas cuando se contrastan los valores de conductividad teórica con la medida en campo. En estos cuerpos de agua la



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



concentración de nitrato es importante, ya que sus aguas son mezcladas con agua de mar en un ambiente transicional: deltáico (río Mitare) o de llanura de inundación próximo costera (Caños Dieguima y El Tuque).

Cuando se contrastan los valores de concentración catiónica total (E^+) y la concentración aniónica total (E^-), excluyendo los valores de Mitare, Caño Dieguima y Caño El Tuque, los valores de la ecuación de la pendiente que se obtiene de la relación lineal que resulta de estas variables es de $1,01 \pm 0,007$ y un intercepto menor de $-0,19 \pm 9,93$, lo que representa una desviación entre estas variables significativamente inferior al 10%. Esto implica que los datos de los análisis químicos seleccionados pueden ser empleados confiablemente para acometer su interpretación geoquímica (Hem, 1985), y así alcanzar los objetivos propuestos en el presente estudio.

4.2. Tipos y subtipos de aguas

En las Figuras 6 y 7 se muestra la proporción de los tipos y subtipos de agua producto de la caracterización química de cada río seleccionado en este estudio y en la Tabla 1 aparece detallada esta caracterización en forma general; mientras que en el apéndice B, Tabla B.1, puede observarse detalladamente el tipo y subtipo de agua al que pertenece cada río muestreado. Nótese que se encontraron 9 tipos y 34 subtipos de agua en esta muestra estadística de los ríos de Venezuela.

En la Figura 6 puede observarse que el tipo de agua sódica bicarbonatada ($Na^+ - HCO_3^-$) es el más abundante en los ríos del país, representando el 42,0% con respecto a la muestra total. Este tipo de agua se encuentra mayormente en los ríos de las cuencas del Cuyuní y Orinoco. En estos ríos la mayor proporción de sodio y bicarbonato pueden estar asociadas a la alteración de aluminosilicatos sódicos como la albita (ecuación 9) presente en rocas ígneas y metamórficas del Escudo de Guayana, y a la contribución de este elemento por las sales cíclicas presente en las aguas de lluvia de esta región que son muy abundantes (Yanes, 1997). Por su parte, el tipo de agua cálcica bicarbonatada ($Ca^{2+} - HCO_3^-$) es el segundo más abundante, constituyendo el 33,3% de los ríos venezolanos. El mismo se encuentra mayormente en los ríos de las cuencas



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



del río Tuy, Orinoco, Lago de Maracaibo y Occidental del Caribe. La abundancia de calcio y bicarbonato en las aguas de estos ríos puede deberse a la alteración de la plagioclasa cálcica en rocas máficas y minerales carbonáticos (calcita, aragonito, siderita) presente en rocas sedimentarias y metamórficas (ecuación 2), que tienen una alta susceptibilidad de meteorización, con respecto a los minerales de aluminosilicatos, y por lo tanto la concentración y presencia de este elemento será más alta y preponderante con respecto a otros cationes. El tipo de agua sódica clorurada ($\text{Na}^+\text{-Cl}^-$) es el tercer tipo más abundante, conformando el 13,0% de los ríos muestreados, encontrándose principalmente en los ríos pertenecientes a la cuenca del Orinoco y a la cuenca Occidental del Caribe. Los altos valores de concentración para estas dos especies, en la cuenca Occidental del Caribe, probablemente se deben a la disolución de minerales evaporíticos como la halita (ecuación 1) o a procesos de evaporación que incrementa la concentración iónica en las agua y causan la precipitación de calcita e incrementa la concentración de sodio y cloruro; mientras que en la en la cuenca del Orinoco posiblemente se debe a las sales cíclicas que son transportadas por las lluvias e introducidas al sistema a través de la precipitación atmosférica.

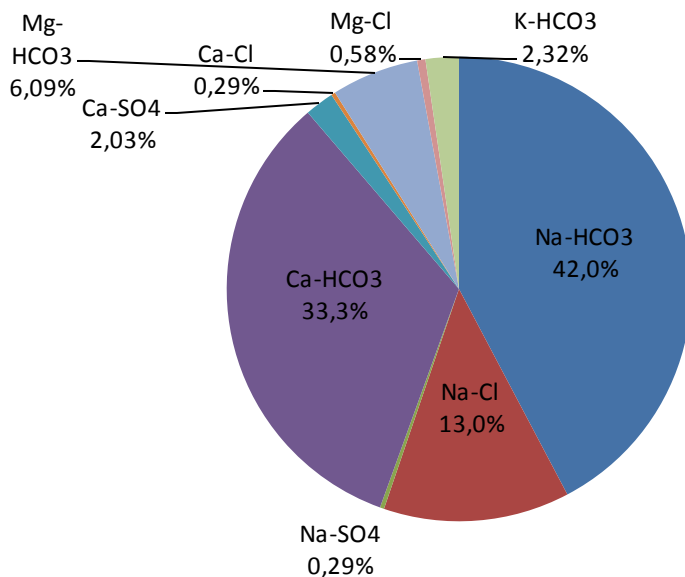


Figura 6: Tipos de agua en los ríos seleccionados.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



En cuanto al tipo de agua magnésica bicarbonatada ($\text{Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$), este es el cuarto tipo más abundante en los ríos venezolanos, encontrándose en los pertenecientes a las cuencas Central del Caribe y Orinoco, correspondiendo al 6,09% de la muestra estadística. Seguramente las altas concentraciones de magnesio y bicarbonato en estos ríos se deben a que drenan sobre litologías de rocas ultramáficas (ecuación 8).

Con respecto a los tipos de aguas más escasos de los ríos muestreados, estos corresponden a los tipos: potásica bicarbonatada ($\text{K}^+\text{-HCO}_3^-$), cálcica sulfatada ($\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$), magnésica clorurada ($\text{Mg}^{2+}\text{-Cl}^-$), cálcica clorurada ($\text{Ca}^{2+}\text{-Cl}^-$) y sódica sulfatada ($\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}$), las cuales constituyen el 2,32%, 2,03%, 0,58%, 0,29% y 0,29% respectivamente. Los ríos que poseen aguas potásicas bicarbonatadas se encuentran en la cuenca del Orinoco. Las altas concentraciones de potasio en estas aguas seguramente son causadas por la alteración del feldespato potásico presente en los granitos que afloran en muchas cuencas del Escudo de Guayana, como es el caso del Granito de Parguaza con su textura Rapakivi. El tipo de agua cálcica sulfatada se encuentra en ríos pertenecientes a las cuencas del Lago de Maracaibo, Orinoco, y Occidental del Caribe y posiblemente se deba a la disolución de minerales evaporíticos como el yeso (ecuación 12) o a procesos evaporativos característicos de climas áridos. Las aguas magnésicas cloruradas se encuentran solamente en El Danto (Cuenca del Orinoco) y en el Caño Las Yeguas (Cuenca Occidental del Caribe). Los dos últimos tipos de agua se encuentran en el río Acanan y Cinaruco (Cuenca del Orinoco) respectivamente. Estos tipos de agua minoritarios pueden estar asociadas a mezcla de aguas superficiales con aguas subterráneas derivadas de procesos de alteración o disolución de minerales presentes en rocas del subsuelo que han sufrido alteración hidrotermal u otros procesos de intercambio iónico, incluyendo la alteración de sulfuros presentes en dichas rocas como es el caso de la sódica sulfatada

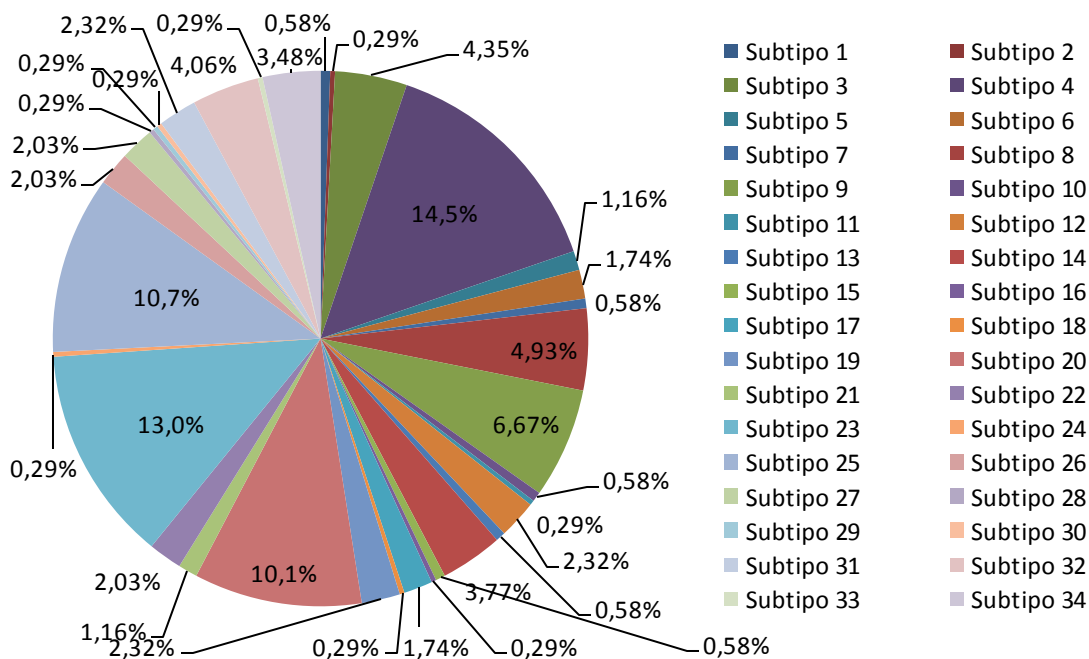
Con relación a los subtipos de agua, en la Figura 7 puede observarse que los cuatro subtipos más abundantes son los subtipos: $\text{Ca}^{2+}>\text{Mg}^{2+}>\text{Na}^+>\text{K}^+ \leftrightarrow \text{HCO}_3^->\text{Cl}^->\text{SO}_4^{2-}$ (14,5%); $\text{Na}^+>\text{Ca}^{2+}>\text{Mg}^{2+}>\text{K}^+ \leftrightarrow \text{HCO}_3^->\text{Cl}^->\text{SO}_4^{2-}$ (13,0%); $\text{Na}^+>\text{K}^+>\text{Ca}^{2+}>\text{Mg}^{2+} \leftrightarrow \text{HCO}_3^->\text{Cl}^->\text{SO}_4^{2-}$ (10,7%) y $\text{Na}^+>\text{Ca}^{2+}>\text{K}^+>\text{Mg}^{2+} \leftrightarrow \text{HCO}_3^->\text{Cl}^->\text{SO}_4^{2-}$ (10,1%). Obsérvese



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



que el calcio y el bicarbonato son los iones más abundantes. Este último presente en 18 subtipos de agua, lo que concuerda con lo observado a nivel mundial según Livingstone (1963), Drever (1988) y Meybeck (2005), ya que el bicarbonato puede provenir tanto de la alteración de carbonatos como de los silicatos (ecuaciones 2, 9, 11). No obstante, el sodio es el catión mayoritario en 17 subtipos de las aguas de río estudiadas, mientras que el calcio es el más abundante solamente en 11, a pesar de que en promedio mundial el calcio es el catión dominante en las aguas de río debido a que proviene mayormente de la alteración de rocas carbonáticas, las cuales a pesar de no ser tan abundantes con respecto a otros tipos de rocas sedimentarias y tampoco con relación a las rocas ígneas y metamórficas, poseen una relativa velocidad de alteración mas alta (Livingstone, 1963). Esta diferencia en la proporción observada puede ser causada por el alto número de muestras pertenecientes a los ríos del Escudo de Guayana, donde la litología de rocas cristalinas félsicas predomina sobre las máficas y rocas con carbonato.



*En la Tabla 1 puede observarse en detalle a cual combinación cationes-aniones corresponde cada subtipo de agua.

Figura 7: Subtipos de agua encontrados en los ríos seleccionados.



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Tabla 1: Tipos y subtipos de agua encontrados en los ríos seleccionados.

Tipos de agua	Subtipos de agua		
	No.	Cationes	Aniones
Cálcica Bicarbonatada	1	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$
	3	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
	4	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$
	6	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
	7	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$
	8	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
	9	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$
Cálcica Clorurada	2	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$
Cálcica Sulfatada	5	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$
	10	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$
	11	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$
Potásica Bicarbonatada	12	$\text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
Magnésica Bicarbonatada	14	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
	15	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$
	17	$\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
Magnésica Clorurada	13	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$
	16	$\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$
Sódica Bicarbonatada	20	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
	23	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
	24	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$
	25	$\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
	28	$\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$
	32	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
	34	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
Sódica Clorurada	18	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$
	19	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$
	21	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$
	22	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$
	26	$\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$
	27	$\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$
	30	$\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$
	31	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$
	33	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$
Sódica Sulfatada	29	$\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



De acuerdo a lo anteriormente mencionado, parece ser que la abundancia de las distintas especies en las aguas de río estudiadas está controlada principalmente por la litología de la cuenca de drenaje, la precipitación atmosférica y los procesos de evaporación, éstas últimas condicionadas por el clima de la cuenca de drenaje.

4.3. Características fisicoquímicas de las aguas de los ríos venezolanos

Para facilitar el análisis y presentación de los resultados se emplearon curvas de frecuencia acumulada con el fin de identificar las distintas poblaciones de datos que representan grupos de ríos con distribuciones diferentes ante las variables fisicoquímicas pH, conductividad y temperatura, así como con respecto a las sales disueltas totales. Debido a que los datos geoquímicos no se caracterizan por presentar distribuciones normales es conveniente emplear para el conjunto de todos los ríos seleccionados, y cada uno de los grupos identificados, la mediana en lugar del promedio, ya que esta variable estadística refleja mejor la tendencia central de los valores de las variables fisicoquímicas y químicas al no estar afectada por los valores extremos (Walpole, 1972).

4.3.1. Parámetros fisicoquímicos

Este apartado del trabajo trata sobre la descripción, análisis e interpretación de la información referente al pH, conductividad y temperatura de los ríos venezolanos seleccionados en esta investigación. Con el propósito de observar el comportamiento de las distintas variables a considerar en las aguas de los ríos venezolanos y analizar la posibilidad de su agrupación, se empleará la distribución de frecuencia acumulada de sus valores con todos los ríos seleccionados.

4.3.1.1. Temperatura

La temperatura de las aguas de los ríos estudiados osciló entre 14°C (Río Petaquire, Cuenca Occidental del Caribe) y 36°C (Río Machango; Cuenca del Lago de Maracaibo), con una mediana de 28°C. La gráfica de distribución de frecuencia acumulada de este parámetro fisicoquímico (Figura 8) muestra seis grupos o poblaciones de datos.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



El grupo 1 presenta temperaturas que varían entre 14,0 y 21,0°C, con una mediana de 20,5°C. Este grupo comprende ríos muestreados entre los 400 y 1608 m sobre el nivel mar: Los ríos pertenecientes a este grupo forman parte de las cuencas: Central del Caribe, Cuenca del Orinoco (margen derecha) y Tuy. El grupo 2 presenta temperaturas entre 21,2 y 22,3°C, y su mediana es de 22,0°C. Los ríos que conforman este grupo pertenecen a las cuencas: Central del Caribe, Cuenca del Orinoco y Cuenca del río Tuy. Estos ríos fueron muestreados a altitudes comprendidas entre los 400 y 200 m sobre el nivel del mar.

La temperatura en las aguas de los ríos del grupo 3 varió entre 22,4 y 24,7°C, con una mediana de 23,0°C. Los ríos que integran este grupo drenan sus aguas hacia la cuenca del río Tuy y del río Orinoco, y fueron muestreados en localidades ubicadas a alturas que fluctúan entre los 57 y 200 m sobre el nivel del mar.

El grupo 4 posee temperaturas comprendidas en el intervalo 24,8 a 29,0°C, con una mediana de 27,8°C. Los ríos de este grupo fueron muestreados a altitudes entre los 6 y 200 m sobre el nivel del mar, perteneciendo principalmente a las cuencas: río Orinoco (ambas márgenes), Central del Caribe, Lago de Maracaibo, Occidental del Caribe, Unare y Golfo de Paria.

En cuanto al grupo 5, estos ríos presentan temperaturas que oscilan en el intervalo de 29,1 a 32,0°C, con una mediana es 30,2°C. Los ríos que conforman este grupo forman parte principalmente de las cuencas: río Orinoco (margen izquierda), Occidental del Caribe, Central del Caribe y río Tuy. Estos ríos fueron muestreados en estaciones localizadas a alturas comprendidas entre los 11 y 100 m sobre el nivel del mar.

El grupo 6 posee temperaturas mayores a 32,3°C, con una mediana de 33,3°C. Los ríos pertenecientes a este grupo fueron muestreados a altitudes comprendidas entre 4 y 97 m sobre el nivel del mar y forman parte de las cuencas del: Lago de Maracaibo y Occidental del Caribe.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

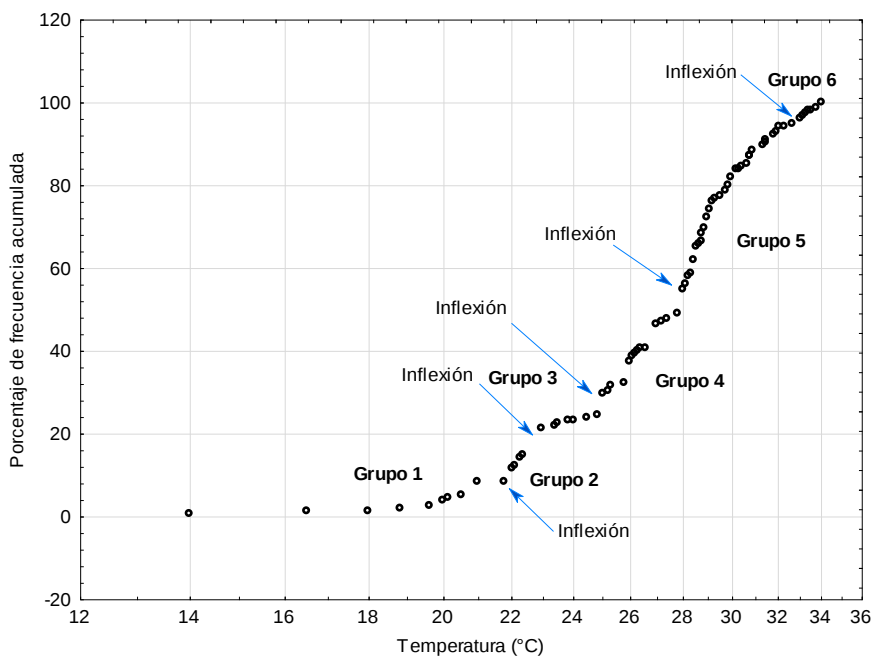


Figura 8: Distribución de frecuencia acumulada de Temperatura para los ríos de Venezuela.

Las agrupaciones descritas en función de la temperatura parecen estar mayormente controladas por el entorno físico, especialmente la altitud del punto de muestreo, encontrándose la temperatura más baja en el río Pataquire a una altitud de 1.638 m sobre el nivel del mar, mientras que la temperatura más alta se encontró en el río Machango (Lago de Maracaibo), a 3 m sobre el nivel del mar. Sin embargo, otros factores además de la altitud, están influenciando la distribución observada de este parámetro fisicoquímico, posiblemente de naturaleza climática (temperatura del aire, radiación solar) relacionado con la fecha de recolección de la muestra y del entorno físico de la cuenca (cobertura vegetal). Por ejemplo, el río Araira, el cual fue muestreado a una altura de 745 m sobre el nivel del mar, presentó una temperatura de 24,8°C, y las aguas del río Tuy a la nivel de la Colonia Tovar presentó una temperatura de 16,5°C, un poco más alta que la registrada en el río Petaquire, a pesar de encontrarse a una mayor altura.



4.3.1.2. pH

En la Figura 9 se puede observar que los valores de pH de todos los ríos considerados están comprendidos entre 4,33 y 8,53. La distribución de esta variable muestra cinco grupos o poblaciones distintas de datos, identificadas por los puntos de inflexión señalados en la curva.

El grupo 1 presenta valores que se encuentran en el intervalo de 4,33 a 5,58 unidades de pH, con una mediana de 4,91. Varios de estos ríos pueden ser clasificados como muy ácidos (pH: < 5,00) y otros como ácidos (5,00 – 5,58), de acuerdo a la escala relativa propuesta por Yanes (1997), que permite establecer una relación entre el pH y la litología de una región. Este grupo está conformado por ríos pertenecientes a la margen derecha de la cuenca del Río Orinoco y también de la cuenca del Río Cuyuní, que drenan las rocas Precámbricas del Escudo de Guayana, especialmente rocas metasedimentarias de la Provincia de Roraima. Los ríos muy ácidos (ej. Autana, Negro, Jaspe, Carrao) contienen una alta concentración de carbono orgánico disuelto (COD) y drenan sobre rocas metasedimentarias (metaconglomerados y metareniscas cuarcíferas) de la Provincia de Roraima. La mayoría de estos ríos están ubicados en la Gran Sabana, pero otros drenan sobre este mismo tipo de litología en el estado Amazonas como es el caso de la región del cerro Autana.

El grupo 2 está conformado por ríos clasificados como ácidos (pH: 5,10-6,20) que presentan un pH en el intervalo comprendido entre 5,60 a 5,99, con una mediana de 5,70, y en él se encuentran agrupados ríos tanto de la cuenca del Río Orinoco de la margen derecha que drenan sobre metareniscas feldespáticas y granitos (ej. Kukenan y Cataniapo), como del río Cuyuní donde en la cabecera afloran rocas de la Provincia de Roraima, o/y gneis, cuarcitas y granulitas del Complejo de Imataca y metavolcánicas ácidas de la Provincia de Pastora (ej. Uruy). Así como algunos ríos de la margen izquierda del Orinoco que discurren sobre la región de los Llanos, sobre sedimentos del Plio-Pleistoceno de la Formación Mesa (ej. río Tigre), y sobre los plutones graníticos que intrusionan diversas rocas cristalinas (ígneas y metamórficas) que se presentan en



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



el Escudo de Guayana (ej. río Parguaza), muy meteorizados, donde se han desarrollado gruesos perfiles de meteorización y horizontes lateríticos.

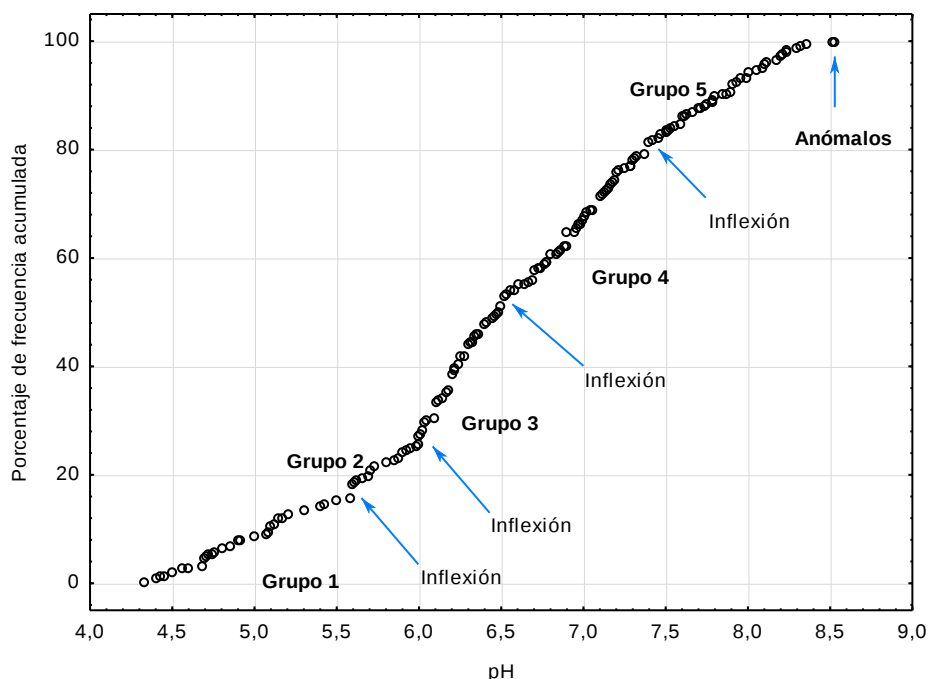


Figura 9: Distribución de frecuencia acumulada de los valores de pH para los ríos venezolanos.

El grupo 3 agrupa los ríos cuyo pH oscila entre (6,00-6,48), con una mediana de 6,20, clasificados principalmente como ácidos y muy pocos de estos con aguas ligeramente ácidas (6,20-6,96). Entre estos ríos destacan los que discurren sobre rocas cristalinas muy meteorizadas del Escudo de Guayana de la Provincia de Cuchivero y del Granito de Parguaza (ej. río Suapure), así como de la Provincia de Pastora, en la Cuenca del río Cuyuní (ej. Supamo, Venamo) y también sobre rocas metamórficas como gneises y esquistos (ej. río Frío), de la Cordillera de los Andes, composicionalmente resistentes ante los procesos de meteorización. En cambio, el grupo 4 está constituido por ríos cuyo pH oscila entre 6,50 y 7,40, con una mediana de 6,97. Los ríos de este grupo drenan sobre rocas metavolcánicas básicas de la Provincia de Pastora (ej. Yuruari y Botanamo), aunque corresponden mayormente a los que drenan la margen derecha del río Orinoco, cuyas cabezeras y parte de su curso provienen de las cordilleras de la



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Costa (ej. el río Guapo). y los Andes (ej. ríos Portuguesa y Doradas), caracterizado morfológicamente por zonas con litologías de rocas metamórficas que conforman laderas pronunciadas, paisajes de relieve alto y alargados, de alta pendiente, que favorecen el escurrimiento rápido de las aguas de lluvia y lo poca interacción con el sustrato. En ambos grupos, el pH está controlado principalmente por la poca capacidad amortiguadora del sustrato de sus cuencas de drenaje para neutralizar las aguas de lluvia ($\text{pH} < 5,45$), o la alta concentración de materia orgánica disuelta, combinado con las características geomorfológicas de sus cuencas de drenaje para regular la velocidad de interacción agua-sustrato.

Los ríos del grupo cinco presentan valores de pH entre 7,42 a 8,35, y una mediana de 7,88. Los mayores valores de pH en estos ríos coincide con la mayor capacidad tampón de la litología que afloran en sus cuencas de drenaje (esquistos cuarzo-micáceos-feldespáticos, lutitas calcareas, calizas), donde la presencia de carbonatos son los responsables de los citados valores (Yanes, 1988, Blanco, 2011; Barreto, 2006). Los dos valores anómalos corresponden al río Araira (Cuenca del río Tuy) y caño El Tuque (Cuenca Occidental del Caribe).

4.3.1.3 Conductividad

Los valores de conductividad de los ríos venezolanos seleccionados se ubican en el intervalo de 4,16 a 1425 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una mediana de 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La gráfica de distribución de frecuencia acumulada (Figura 10) permite identificar cinco poblaciones o grupos de datos, incluyendo los anómalos, aunque estos pueden ser considerados con un grupo extra (Grupo 6).

El grupo 1 presenta valores de conductividad comprendidos en el intervalo de 4,16 a 17,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una mediana de 9,19 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A este grupo de ríos pertenecen mayormente los de la cuenca del río Orinoco, que confluyen a este por la margen derecha, y que drenan sobre litologías muy resistentes al proceso de meteorización química (areniscas feldespáticas, cuarzoarenitas y conglomerados, todos metamorfoseados a bajo grado) como es el caso de la Provincia de Roraima (formaciones Uairén, Uaimapué y Matahuí), en la Gran Sabana (ej. río Caroní, cuenca



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



alta), o en la Cuenca del río Cuyuní (ej. Chicanan, Yuruán); además de los que discurren sobre sustratos altamente meteorizados, con espesos perfiles de meteorización típico del granito de Parguaza (ej. río Parguaza).

Por su parte, el grupo 2 está integrado por ríos localizados en varias cuencas hidrográficas. En primer lugar, los que drenan por la margen izquierda sobre el flanco sur-andino de la Cordillera de los Andes venezolanos y parte de los Llanos venezolanos (ej. río Apure), región caracterizada, según Gonzalez de Juana *et al.* (1980), por afloramientos de rocas sedimentarias clásticas: lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados; y rocas metasedimentarias: pizarras, filitas, metareniscas y metaconglomerados de la Formación Mucuchachí; y rocas sedimentarias: lutitas, margas y calizas de la Formación Palmarito). En segundo término, los que drenan de los Andes y Llanos colombianos (ej. Arauca). En tercer lugar, los que tienen sus cabezas Faja Piemontina externa de la Cordillera de la Costa (Faja de Cauagua-El Tinaco: peridotitas de Tinaquillo, esquistos sericíticos cuarzosos y gneises feldespáticos anfibolíticos y Faja de Villa de Cura: rocas metavolcánicas como metatobas, filitas laminadas negras, metaftanitas, metalavas básicas, piroxenitas oliviníferas y hornablendita piroxénica) que reflejan la margen izquierda y que drenan litologías por ríos de la cuenca del Lago de Maracaibo, Tuy y Cuyuní; este grupo posee conductividades en el intervalo de 18,0 a 156 $\mu\text{S/cm}$, con una mediana de 59,0 $\mu\text{S/cm}$.

El grupo 3 presenta valores de conductividad comprendidos en el intervalo de 165 a 320 $\mu\text{S/cm}$, con una mediana de 228 $\mu\text{S/cm}$, dicho grupo o población está compuesta principalmente por ríos pertenecientes al margen derecho del río Orinoco y a las cuencas del Río Tuy, Central del Caribe, Golfo de Paria, Golfo de Cariaco, Unare y Lago de Maracaibo. El cuarto grupo está formado por ríos pertenecientes a la cuenca del río Tuy y Occidental del Caribe, y presenta valores de conductividad comprendidos en el intervalo 350 a 582 $\mu\text{S/cm}$, con una mediana de 478 $\mu\text{S/cm}$. El último grupo presenta valores de conductividad en el intervalo de 827 a 1006 $\mu\text{S/cm}$ con una mediana de 960 $\mu\text{S/cm}$ y está conformado por ríos de la cuenca Occidental del Caribe.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Los valores anómalos corresponden a Caño El Tuque y al Río Mitare (Cuenca Occidental del Caribe).

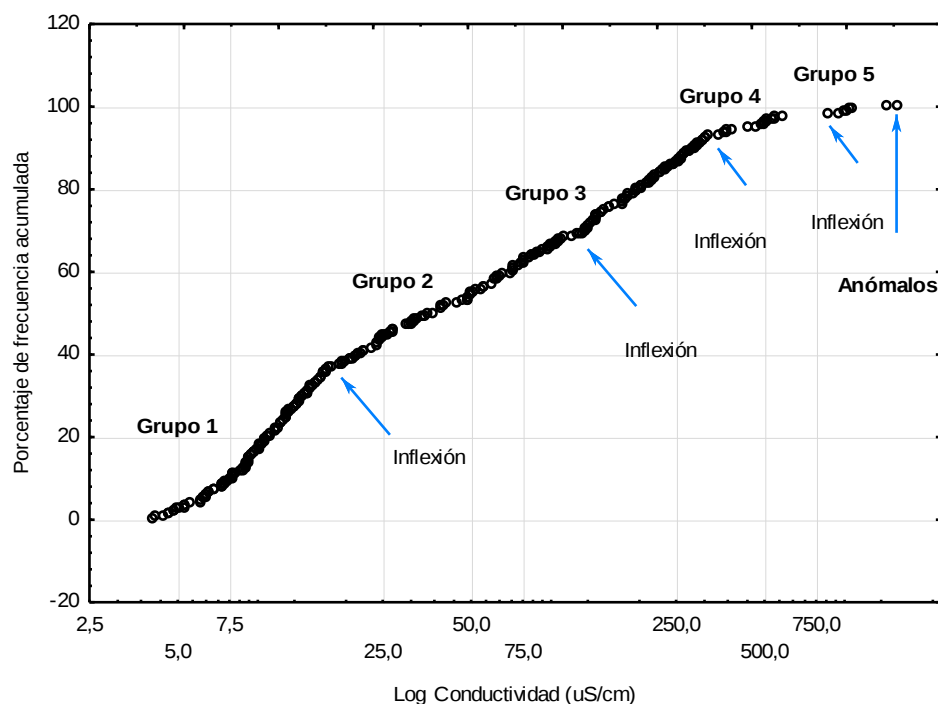


Figura 10: Distribución de frecuencia acumulada de la conductividad para los ríos venezolanos.

4.3.1.4. Sales disueltas

En la Figura 11 se muestra la relación entre la conductividad y las sales disueltas. Obsérvese la relación lineal entre ambas variables, con una pendiente igual a $0,06 \pm 0,0008$ y un intercepto de $-0,83 \pm 3,07$. Por consiguiente, al medir la conductividad en cualquiera de estos ríos es posible obtener un valor de la concentración de sales disueltas en sus aguas con una incertidumbre inferior al 10%. Las ligeras desviaciones alrededor de la línea pueden ser debidas al catión o anión que esté en mayor concentración y defina el tipo de agua, ya que las conductividades específicas de cada uno de estos son distintas.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

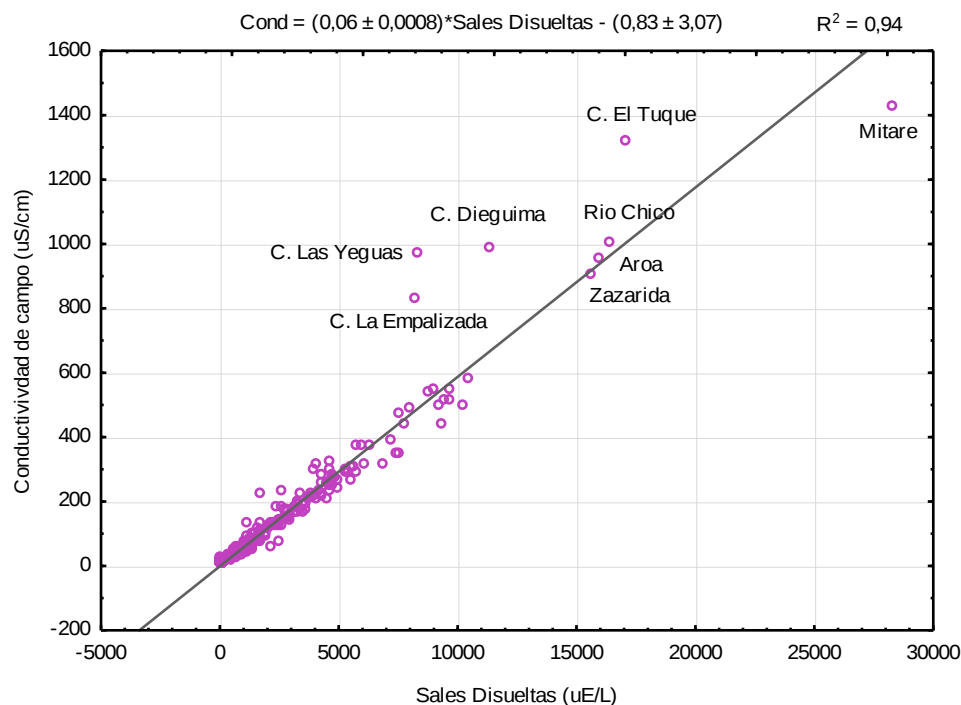


Figura 11: Gráfica de la conductividad con respecto a las sales disueltas de los ríos venezolanos.

Debido a esta relación entre conductividad y sales disueltas, la distribución de frecuencia acumulada de las sales disueltas en los ríos seleccionados (Figura 12), muestra el mismo número (6) de poblaciones o grupos de ríos. El primer grupo de ríos presenta concentraciones en el intervalo de 24,4 a 76,3 $\mu\text{mol/L}$ con una mediana de 50,8 $\mu\text{mol/L}$. El segundo grupo presenta concentraciones de sales disueltas entre 76,6 y 165,2 $\mu\text{mol/L}$, con una mediana igual a 106,3 $\mu\text{mol/L}$. Estos dos grupos están conformados principalmente por ríos pertenecientes al margen derecho de la cuenca del río Orinoco y a la cuenca del río Cuyuní.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

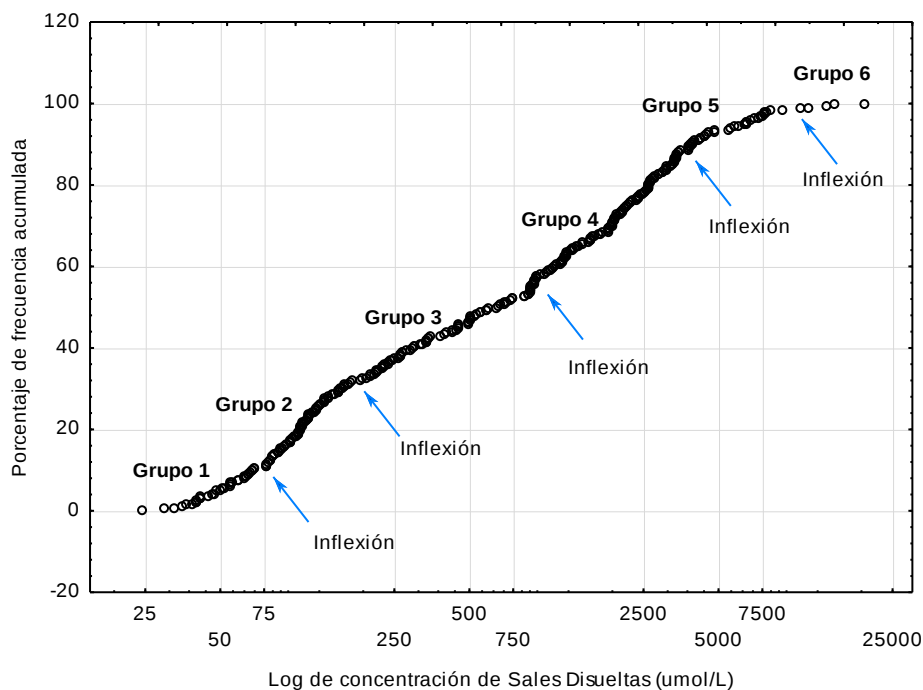


Figura 12: Distribución de frecuencia acumulada de Sales disueltas para los ríos seleccionados.

El tercer grupo presenta concentraciones comprendidas en el intervalo de 169,2 a 1699,8 $\mu\text{mol/L}$, con una mediana de 649,9 $\mu\text{mol/L}$. Con respecto al cuarto grupo, este presenta concentraciones de sales disueltas en el intervalo de 1792,1 a 4850,0 $\mu\text{mol/L}$, con una mediana de 2661,5 $\mu\text{mol/L}$. El tercer grupo está conformado principalmente por ríos pertenecientes al margen izquierdo del Orinoco, Lago de Maracaibo, Río Tuy, Central del Caribe, Río Unare, Golfo de Cariaco y Golfo de Paria; mientras que el cuarto grupo, este está constituido principalmente por ríos de la cuenca Occidental del Caribe, Lago de Maracaibo, y Río Tuy.

El quinto grupo presenta concentraciones entre los 5462,6 $\mu\text{mol/L}$ y 8037,0 $\mu\text{mol/L}$, con una mediana de 6631,5 $\mu\text{mol/L}$; mientras que el grupo anómalo presenta concentraciones entre 9044,2 $\mu\text{mol/L}$ y 19319,4 $\mu\text{mol/L}$ con una mediana de 12496,3 $\mu\text{mol/L}$. Este último grupo está constituido por los ríos de la cuenca Occidental del Caribe más Río Chico; mientras que el grupo de los anómalos está conformado por caño El Tuque y el río Mitare. Los ríos del grupo 5 y de los anómalos pertenecen a la



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



cuenca Occidental del Caribe, en un sector de la misma caracterizada por un clima árido, con precipitaciones por debajo de la evapotranspiración, lo que ocasiona precipitación de sales de carbonato e incremento en la concentración de sodio, cloruro, magnesio o sulfato; así como por el río Chico perteneciente a la Cuenca Central del Caribe donde debido a las características de la región favorece el proceso de mezcla entre agua fresca y agua marina.

La distribución de las distintas concentraciones de sales disueltas, en estos grupos, está controlada principalmente por la litología, el ambiente tectónico y el clima, ya que las menores concentraciones (primer y segundo grupo) las presentan los ríos de la cuenca del Cuyuní y los del margen derecho de la cuenca del Orinoco, que drenan sobre litologías resistentes al proceso de meteorización y regiones donde se han desarrollado gruesos perfiles de meteorización a través del tiempo geológico, bajo un régimen tectónicamente estable, lo que origina una deficiencia en sales disueltas (Stallard, 1985a; Yanes y Ramírez, 1988).

En cambio los ríos que presentan las mayores concentraciones de sales disueltas se encuentran ubicados en regímenes tectónicamente activos, el cual origina un aumento en la concentración de sales disueltas (Stallard, 1985b), así como en cuencas que presentan litologías carbonáticas y minerales evaporíticos, en regiones de fuerte aridez, que son más susceptibles a la alteración frente a los agentes de meteorización (Stallard y Edmond, 1983).

4.4. Distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos y especies mayoritarias

La distribución espacial de las variables fisicoquímicas, así como de los componentes mayoritarios de la muestra de ríos venezolanos fueron analizadas tomando en consideración la principales cuencas hidrográficas de Venezuela de las vertientes del Mar Caribe y del Océano Atlántico, empleando el procedimiento estadístico no paramétrico de cajas gráficas. Este permite comparar varios grupos de datos simultáneamente mediante los principales elementos estadísticos descriptivos de una



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



distribución como son: la mediana, los cuartiles, la asimetría de la dispersión y los valores anómalos.

En el Apéndice B, tablas B.2, B.3 y B.4 se presentan las medianas, los valores mínimos y máximos para las distintas variables en las cuencas hidrográficas estudiadas. Así mismo, se complementa el análisis con mapas de distribución espacial, atendiendo a los grupos de ríos con similares características hidrogeoquímicas establecidos en la etapa seis de la metodología, con el propósito de representar la distribución de cada una de las variables consideradas en los objetivos del trabajo.

Es necesario puntualizar que para la interpretación de los datos de la distribución espacial esta se hizo, por conveniencia, en función de los estudios de Yanes (1988) y Yanes (1997), de tal forma que la cuenca del Orinoco fue separada en margen izquierda y margen derecha, ya que esta distinción permite una mejor visualización de las diferencias encontradas entre los ríos que drenan ambas márgenes.

4.4.1. Temperatura

El comportamiento de la temperatura y su distribución espacial en las aguas de los ríos seleccionados, de las principales cuencas hidrográficas del país, se muestran en la Figura 13 y en la Figura 14. En la primera figura puede observarse que las temperaturas medidas más frecuentes oscilaron entre 25°C y 31° C, presentándose temperatura mínima (14°C, río Petaquire) en la cuenca Central del Caribe y máxima (34°C) en las cuencas de Maracaibo (río Machango) y Occidental del Caribe (río Maticora).

La distribución de la temperatura más uniformes se observa en la margen izquierda de la cuenca del Orinoco donde las localidades de muestreo corresponden a altitudes muy poco variables, ya que estos ríos drenan sobre los llanos venezolanos, con alturas que no superan los 300 m; mientras que la cuenca del río Tuy y la cuenca del Lago de Maracaibo mostraron las mayores dispersiones debido a que varios de los ríos drenan sobre zonas con distintos relieves y altitudes, que determinan el clima.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

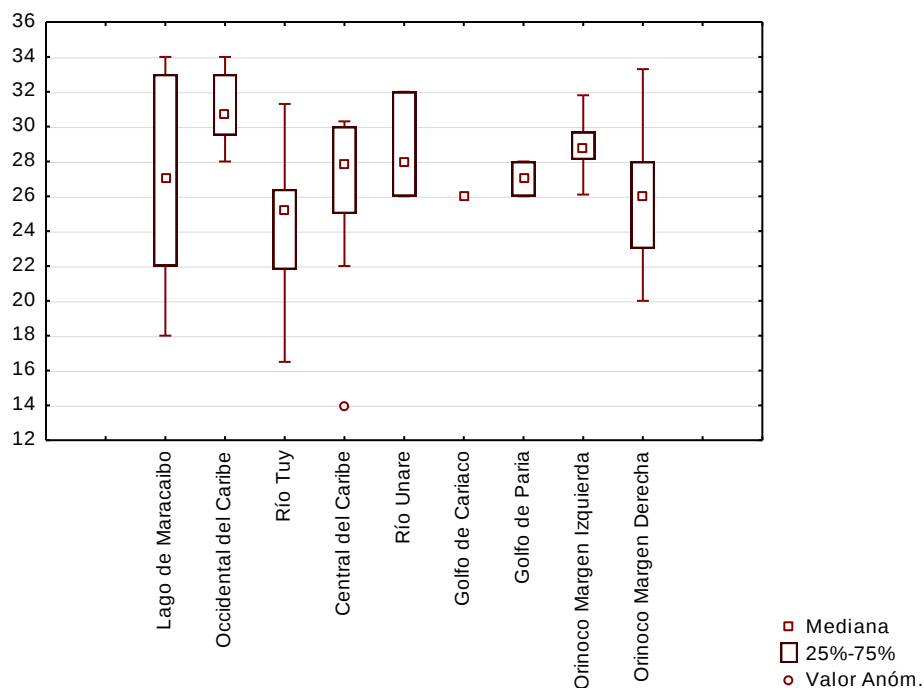


Figura 13: Variabilidad geográfica de la Temperatura (°C) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

Las temperaturas mas bajas se observan en los ríos que drenan sobre las cordilleras de los Andes y de la Costa, así como la Sierra de Perija; en cambio las temperaturas más altas se observan en los ríos que discurren sobre las llanuras próximo costeras y la extensa región de los Llanos de la Cuenca del Orinoco por su margen izquierda (Figura 14). Por consiguiente, debido a lo anteriormente mencionado puede asegurarse que la variación espacial de la temperatura de las aguas de los ríos venezolanos depende de las condiciones morfoclimáticas y la altitud del punto de muestreo.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

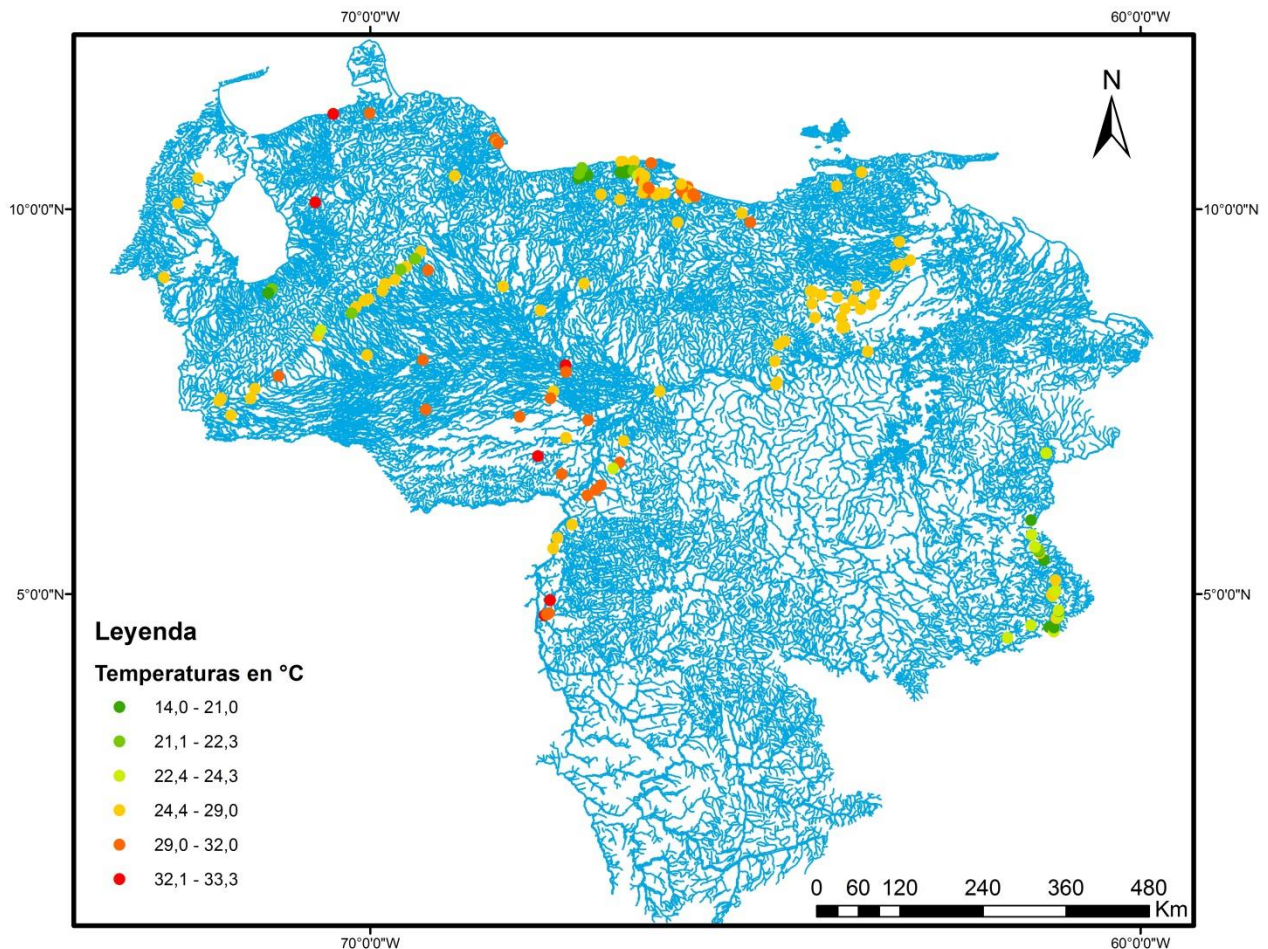


Figura 14: Distribución espacial de la temperatura en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

4.4.2. pH

Las Figuras 15 y 16 presentan el comportamiento del pH y su distribución espacial en los ríos de las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

En la Figura 15 se puede notar que los valores de pH de los ríos de la vertiente del Mar Caribe son similares entre sí, con valores de la mediana alcalinos, de acuerdo a la escala relativa empleada por Yanes (1997); es decir, oscilando entre 7,40 y 7,90. Los ríos que presentan una mayor dispersión del pH de sus aguas forman parte de la cuenca Central del Caribe, y en menor proporción la del Lago de Maracaibo y río Unare.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

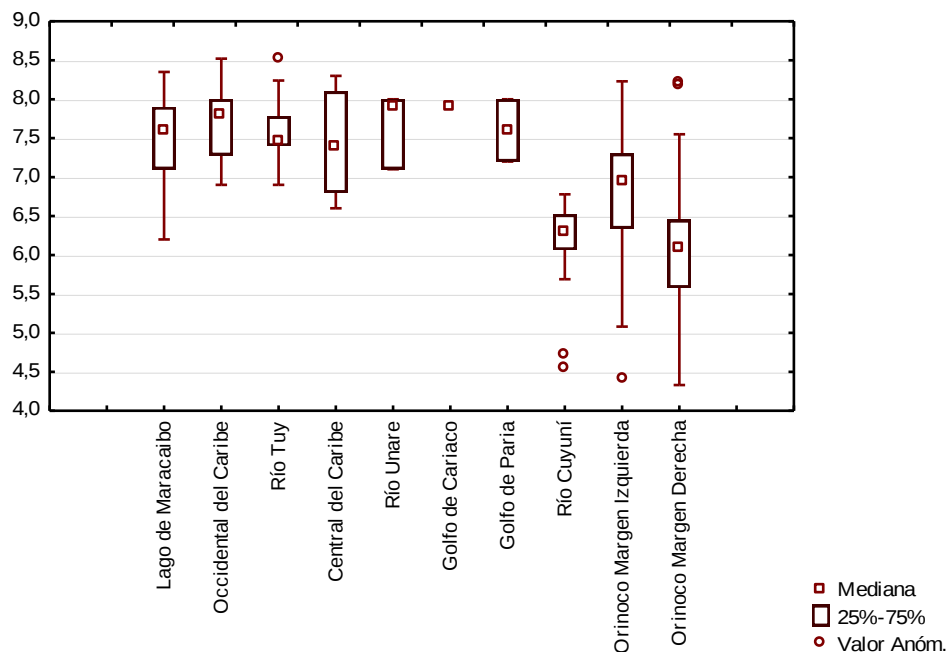


Figura 15: Variabilidad geográfica del pH en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

La dispersión de los datos es un reflejo de la complejidad litológica de la cuenca, donde pueden aflorar rocas de diferente capacidad tampón, con una extensión de afloramiento variable, desde rocas cristalinas o sedimentarias siliciclásticas, con una alta proporción de aluminosilicatos y muy poca cantidad de minerales carbonáticos, o ausentes; o de rocas sedimentarias o metamórficas (mármoles o vetas de calcita) con una proporción abundante o mayoritaria de carbonatos. En cuanto al valor anómalo observado en la cuenca del Río Tuy, este corresponde al río Araira (8,53), que drena sobre rocas carbonáticas (Blanco, 2011).

Así mismo se puede observar una significativa diferencia entre los valores de pH de los ríos de la vertiente del Mar Caribe y los de la cuenca del río Orinoco. Los últimos son ligeramente ácidos, variando su mediana entre 6,95 y 6,10. Igualmente, los ríos de la margen derecha del Orinoco muestran cifras relativamente altas, con una mediana de 6,95, aunque siguen siendo ligeramente ácidos; y algunos donde sus cabezeras discurren de la Cordillera de los Andes (Uribante, 7,93; Masparro, 7,87) son alcalinos. Estas diferencias se deben principalmente a que los ríos pertenecientes a las cuencas



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



del norte de país y a la margen izquierda del Orinoco drenan litologías que presentan una mayor proporción de rocas con capacidad tampón (rocas carbonáticas), por lo tanto se puede asegurar que el patrón de distribución del pH en los ríos de Venezuela está controlado mayormente por la litología de su cuenca de drenaje, siendo la dispersión de los datos un reflejo de la complejidad litológica de la cuenca.

Los dos valores anómalos y muy ácidos ($\text{pH} < 5,0$) observados en la cuenca del Cuyuní corresponden a los ríos Yurúan (4,52) y Hacha (4,56), los cuales presentan estos valores debido a que drenan sobre sustratos con muy poca capacidad tampón, drenando parcialmente sobre la Provincia de Roraima y con una alta concentración de materia orgánica disuelta (Morantes, 1997). Esto mismo ocurre en el río Kuyumarapa (4,40) y Sipapo (4,74) en los ríos de la Cuenca del Orinoco, margen derecha, o en la margen izquierda del Orinoco con el río Morichal San Pedro (4,40), los cuales presentan una alta concentración de carbono orgánico disuelto (COD).

Al observar la distribución espacial de los valores de pH (Figura 16) queda claro que los ríos muy ácidos se ubican sobre la Gran Sabana o en el Cerro Autana, donde afloran rocas metasedimentarias (metaconglomerados y metaareniscas cuarcíferas) de la Provincia de Roraima, o sobre sedimentos clásticos (poco o no consolidados) de los Llanos venezolanos con alta proporción de cuarzo. Todos con una alta concentración de materia orgánica disuelta, drenando sobre grandes planicies de bajo relieve. Por consiguiente, el pH de estos ríos está controlado por una combinación de factores, donde destaca la poca capacidad amortiguadora del sustrato de sus cuencas de drenaje, la alta concentración de materia orgánica disuelta y las características geomorfológicas de sus cuencas.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

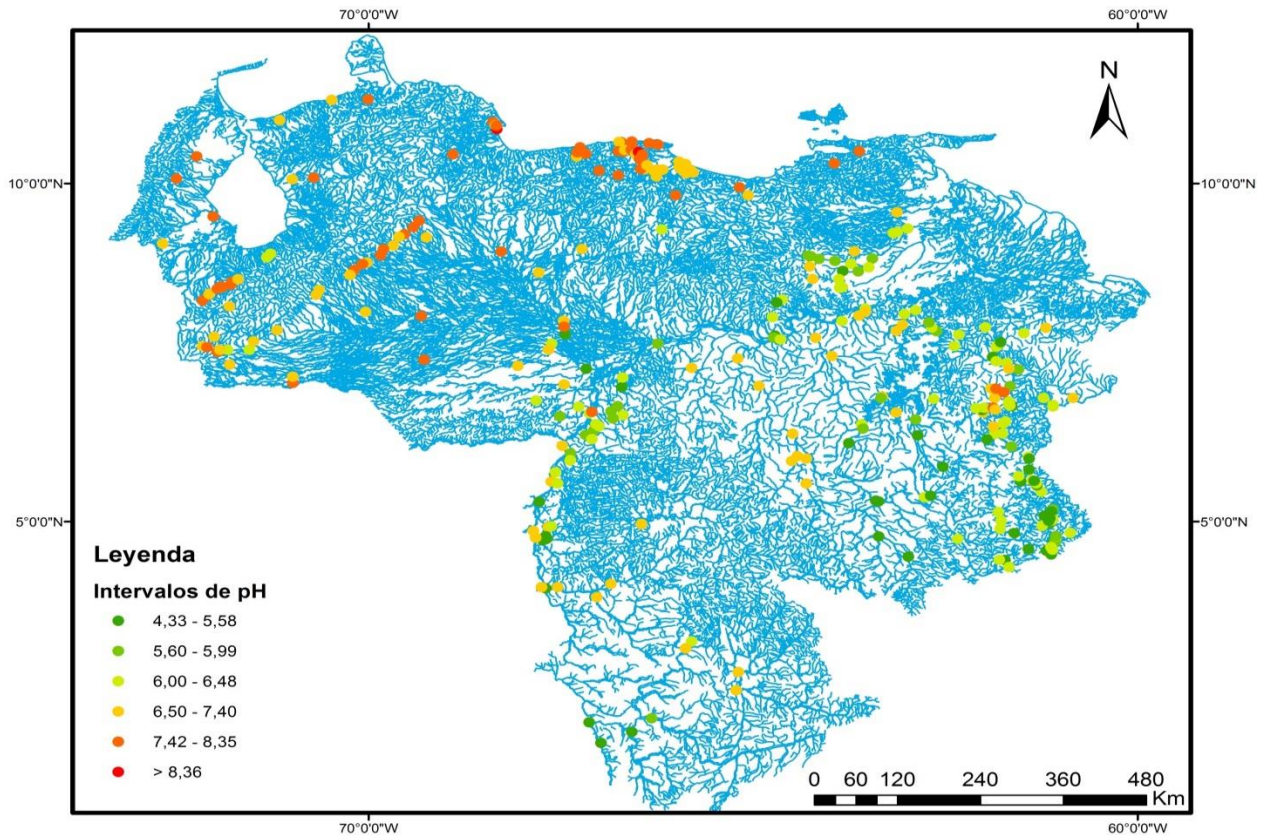


Figura 16: Distribución espacial de pH en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

Los ríos ácidos (6,20 – 5,10) drenan sobre las rocas metasedimentarias de Roraima en la Gran Sabana y el estado Amazonas, metasedimentarias de los Andes, los granitos o granitoides del Escudo de Guayana y los Andes venezolanos, y los sedimentos clásticos muy cuarzosos y poco consolidados o no consolidados de los Llanos venezolanos, con una baja capacidad de neutralización.

Los ríos que son ligeramente alcalinos (7,10 a 7,32) y ligeramente ácidos (6,20 a 6,96) drenan mayormente sobre las rocas del Escudo de Guayana (Provincias de Imataca, Pastora y Cuchivero) muy meteorizadas y cubiertas por gruesos perfiles de meteorización, o sobre rocas metamórficas o sedimentarias de las cordilleras de los Andes y de la Costa, que muestran una mayor capacidad de neutralización (gneises, esquistos-micáceos-feldespáticos, anfibolitas, riodacitas, areniscas (arcosas, litoareniscas). En estos casos, el pH de estos ríos pudiese ser consecuencia de un



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



proceso de mezcla de aguas que provienen de varias litologías con diferente capacidad amortiguadora, condicionado por la presencia de minerales máficos y pequeña proporción de carbonatos. Los ríos de aguas alcalinas ($\text{pH} > 7,20$) drenan sobre rocas máficas-ultramáficas de la Provincia de Pastora (gabro-basalto-piroxenita y dunita) en el Escudo de Guayana; calizas y arcillas calcáreas del sistema cretácico de los Andes venezolanos y rocas máficas y ultramáficas de la Cordillera de la Costa (Faja de Villa de Cura y volcánicas del Grupo de Villa de Cura y rocas metasedimentarias (mármoles). En conclusión, los altos valores de pH son producto de la mayor proporción de minerales con una alta capacidad de neutralización (ej. calcita, piroxeno y olivino).

4.4.3. Conductividad y sales disueltas

En cuanto al comportamiento de la conductividad y las sales disueltas en las principales cuencas hidrográficas del país, estas se presentan en las Figuras 17 y 19. Su presentación y discusión se hará simultáneamente, ya que ambas variables están directamente relacionadas en su comportamiento debido a que son reflejo de las especies iónicas aportadas por el proceso de meteorización química dentro de la cuenca de drenaje, la precipitación atmosférica, la vegetación o la mezcla con aguas marinas. Nótese que la conductividad y la salinidad varían en tres órdenes de magnitud entre cuencas. En general se pueden diferenciar tres conjuntos de datos. Dos de los más altos valores de conductividad y sales disueltas en la vertiente del Mar Caribe y los otros más bajos en la Vertiente del Océano Atlántico.

En la vertiente del Mar Caribe, los ríos de la cuenca Occidental del Caribe conforman un grupo con valores de la mediana de conductividad y de sales disueltas de $950 \mu\text{S/cm}$ y 376 mg/L , respectivamente. Los valores más altos ($1425 \mu\text{S/cm}$ y 987 mg/L) corresponden al río Mitare, el cual drena sobre rocas sedimentarias (areniscas calcáreas, lutitas calcáreas, calizas) de la Cuenca de Falcón (Gonzales de Juana *et al.*, 1980) y tiene zonas de mezclas con agua de mar en la llanura costera cercano al Delta de este río (Figura 18).

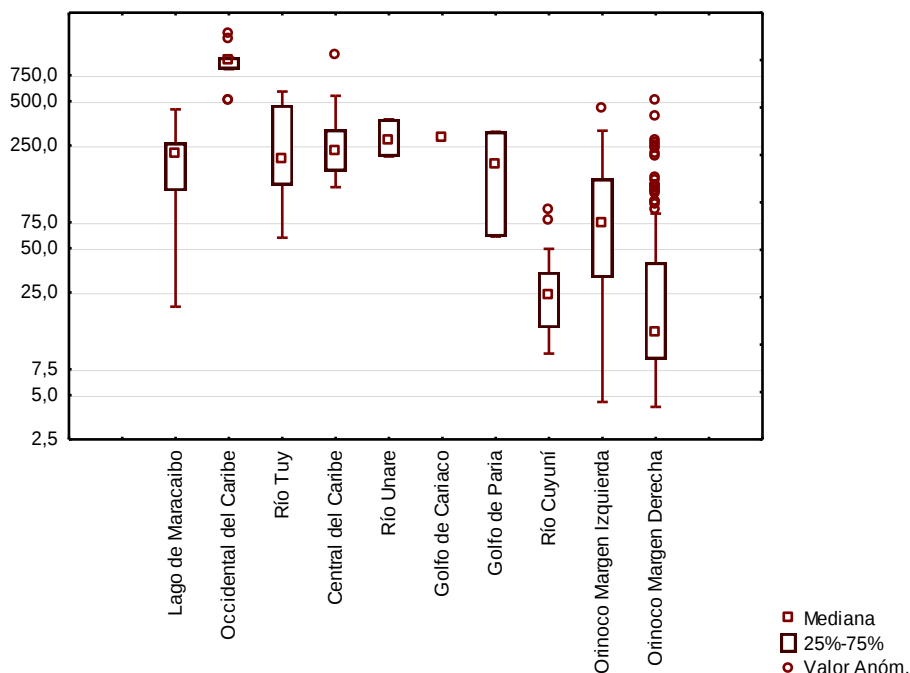


Figura 17: Variabilidad geográfica de la Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

El otro grupo de ríos pertenece al resto de las otras cuencas hidrográficas de la Vertiente del Mar Caribe, con valores de conductividad cuya mediana oscila entre 185 y 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de sales disueltas entre 119 y 180 mg/L. La mayor dispersión se observa en los ríos de la cuenca del Río Tuy debido a la mayor diversidad litológica por donde discurren esos ríos. En las Figura 18 y 20 se puede observar que los valores más altos de conductividad y sales disueltas se ubican espacialmente en los ríos de las cuencas de Falcón, Lago de Maracaibo, del Río Tuy y del Río Unare, que drenan sobre rocas sedimentarias con alta susceptibilidad de meteorización (areniscas calcareas, lutitas calcareas, calizas). Los valores más bajos corresponden a los ríos que drenan los granitos, gneises, y rocas metasedimentarias (esquistos y filitas cuarzo-micáceas-feldespáticas) de las cordilleras de los Andes y la Costa y Sierra de Perija.

En cuanto a los valores anómalos de los ríos localizados en la Vertiente del Mar Caribe, específicamente en la cuenca Occidental del Caribe, corresponden a los ríos Maticora, Upire, Mitare y al caño El Tuque. Los bajos valores de conductividad y de concentración



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



de sales disueltas posiblemente se deban a un efecto de dilución, ya que el muestreo se realizó durante la época de lluvia.

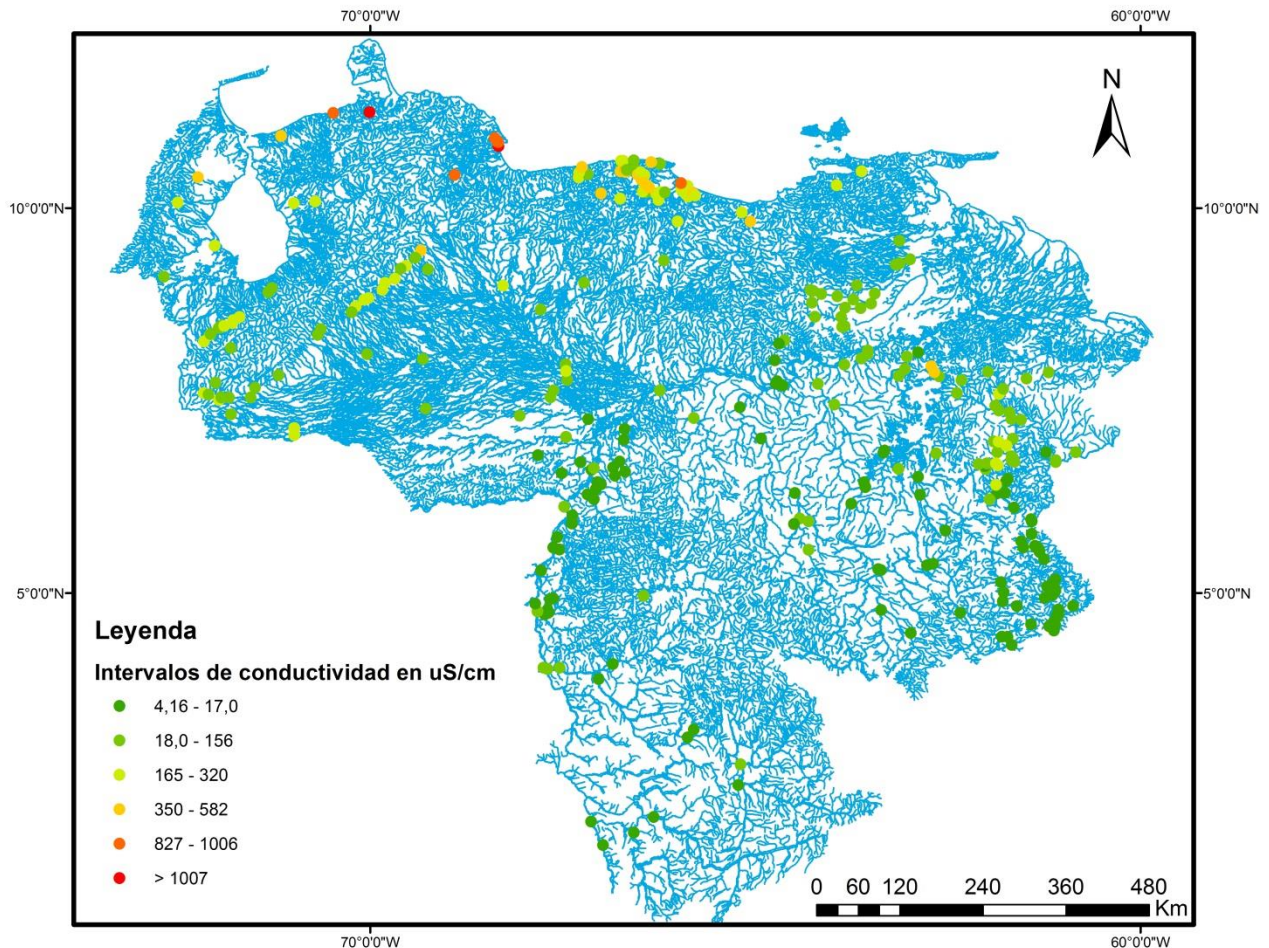


Figura 18: Distribución espacial de la conductividad en las aguas de los ríos de Venezuela.

Los valores de conductividad y sales disueltas de los ríos de la Vertiente del Océano Atlántico, la cuenca del río Orinoco, muestran valores de conductividad cuya mediana oscila entre 13,5 y 72,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de sales disueltas entre 6,36 y 47,9 mg/L. La mayor dispersión se observa en los ríos del grupo de la margen derecha del Orinoco, que también presenta el mayor número de valores anómalos (Figuras 17 y 19). Cuando se observa la distribución de estos ríos geográficamente se encuentra que su posición coincide con la localización de la unidad litoestratigráfica de Imataca; además es una de las zonas del Escudo de Guayana que presenta bajo valores de precipitación total



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



media anual, que oscilan entre 1500 y 1200 mm (Yanes (1996)). Los valores más altos de conductividad (499 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y de sales disueltas (323 mg/L) corresponden al río Agua Turbia, que drena sobre esta provincia. En cambio los mas bajos (4,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y (0,83 mg/L) lo presenta el río Pacheco, en la Gran Sabana (Figuras 18 y 20). Los ríos que presentan las conductividades y sales disueltas más bajas son los que drenan sobre las rocas graníticas de Supamo, el granito de Parguaza o que han sido mezclados con una alta proporción de aguas que provienen de estas litologías o de la Provincia de Roraima, como es el caso del río Hacha (23,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 1,75 mg/L). En cambio los que presentan los valores más altos son los que drenan sobre el cinturón de rocas verdes (e.j. río Yocoima 245 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 168 mg/L).

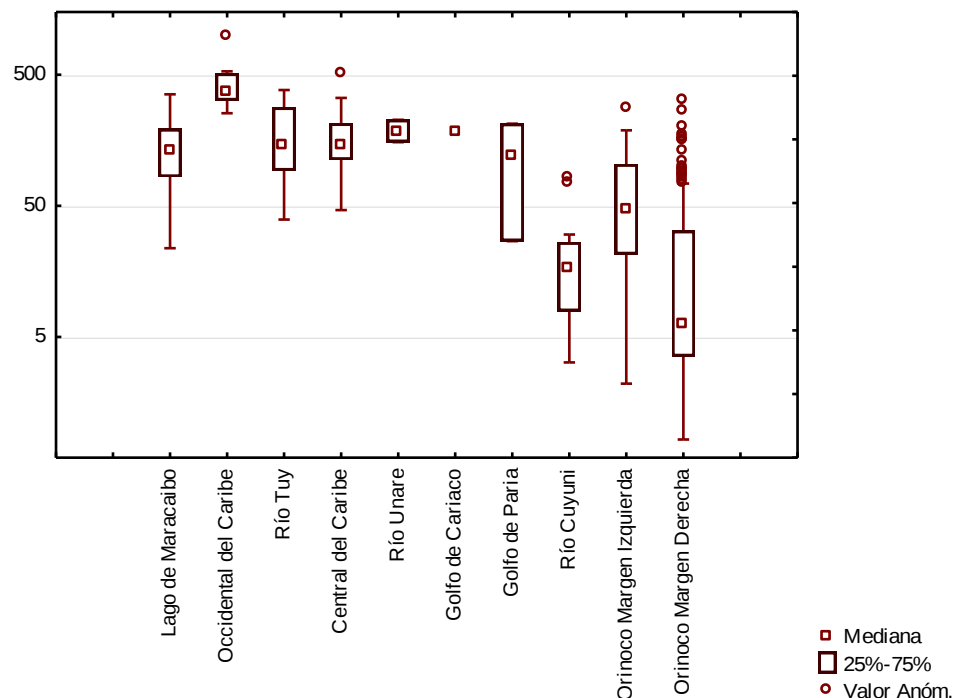


Figura 19: Variabilidad geográfica de sales disueltas (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

Es así como los valores anómalos encontrados en la cuenca del Cuyuní, corresponden a los ríos Yuruarí y Botanamo, los cuales, así como los ríos con valores anómalos en la margen derecha del Orinoco, drenan el Cinturón de rocas verdes y el Complejo de Supamo, por lo que estos valores altos de conductividad y sales disueltas se deben a la



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



mayor susceptibilidad de meteorización de las rocas máficas y ultramáficas de la región; así como a la actividad hidrotermal que han sufrido las rocas de la región mencionada (Yanes, 1997, Morantes, 1997; Vargas, 1993).

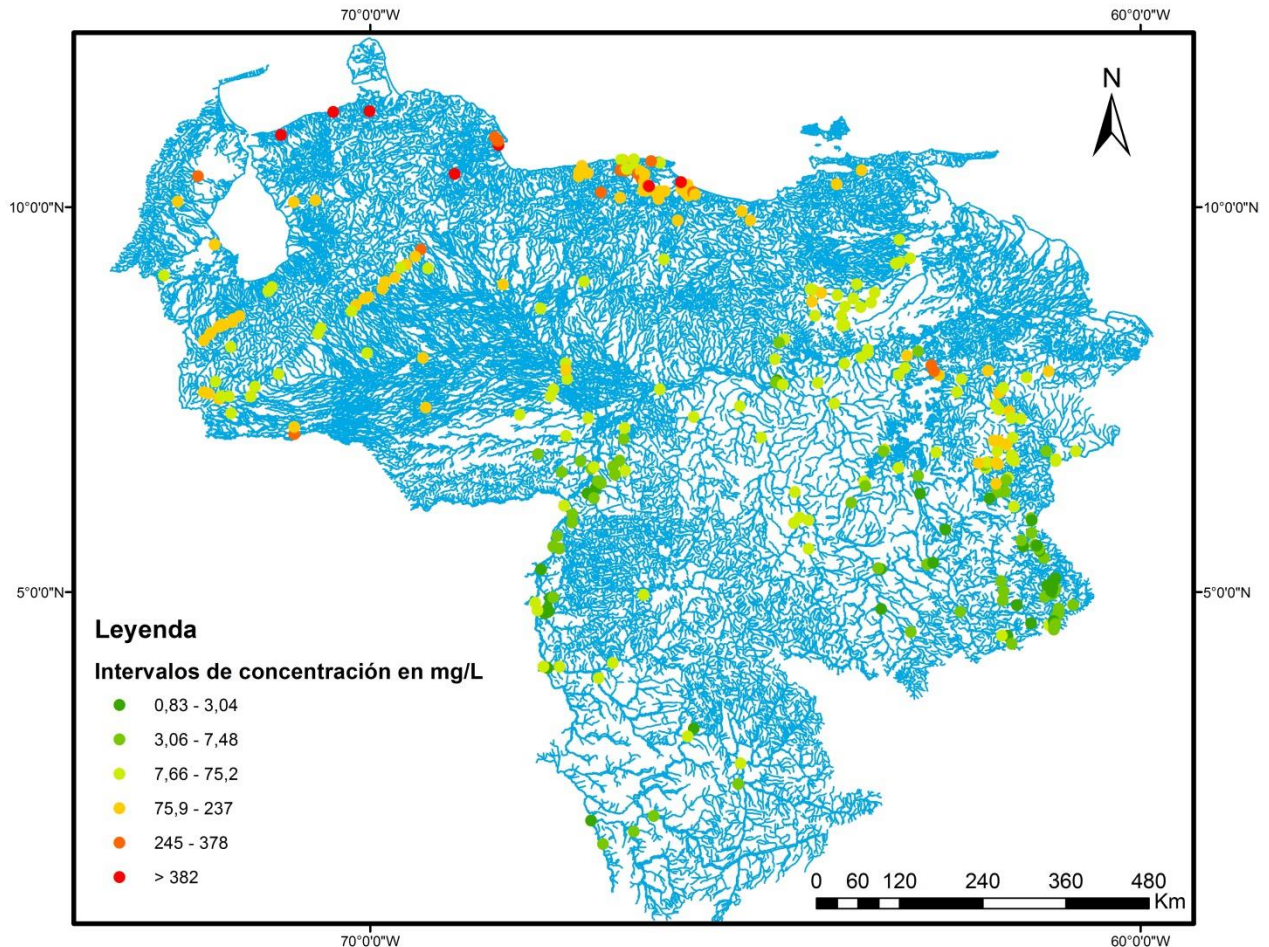


Figura 20: Distribución espacial de las sales disueltas en los ríos de Venezuela.

Por su parte, el conjunto de ríos que conforman la cuenca del Orinoco en la margen izquierda, cuyas medianas de conductividad ($72,9 \mu\text{S}/\text{cm}$) y sales disueltas ($47,9 \text{ mg}/\text{L}$) son relativamente más altas, con una dispersión también más alta debido a la mayor diversidad de litologías presente en sus cuencas de drenaje. Varios de estos ríos drenan de la Cordillera de los Andes cuyas rocas contienen minerales carbonáticos y evaporíticos, los cuales son muy solubles, aumentando la concentración de sales disueltas en sus aguas; pero también discurren sobre los Llanos venezolanos



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



caracterizados por contener sedimentos poco o no consolidados con una alta proporción de resistatos (ej. cuarzo) en sus extensas sabanas y un clima de altas temperaturas, muy caluroso. El valor anómalo observado en esta cuenca corresponde al río Guache que presenta un alto valor de conductividad ($440 \mu\text{S}/\text{cm}$;) y de sales disueltas ($279 \text{ mg}/\text{L}$). Este drena la formación Guache, caracterizada por la presencia de margas y esquistos calcáreos.

Por todo lo anterior, la variación espacial de la conductividad y sales disueltas está controlada por la litología, el ambiente tectónico y las condiciones morfolimáticas presente en las distintas cuencas hidrográficas del país. Los valores más elevados de estas variables se consiguen en los ríos de las cuencas ubicadas en regímenes tectónicamente activos, así como en cuencas donde afloran litologías carbonáticas y minerales evaporíticos, los cuales son más susceptibles a alterarse frente a los agentes de meteorización y originan un aumento en la concentración de sales disueltas. Por su parte, los valores más bajos de conductividad y sales disueltas se encuentran en regiones tectónicamente estables, donde ocurren rocas cristalinas y metasedimentarias intensamente meteorizadas y se favorece el desarrollo de grandes perfiles de meteorización, así como en regiones que presentan grandes extensiones cubiertas de sedimentos poco o no consolidados con una alta proporción de resistatos (Yanes 1997; Yanes y Ramírez, 1988; Stallard, 1985b; Stallard y Edmond, 1983).

4.4.4 Sílice Disuelta

La concentración de sílice disuelta en los ríos seleccionados se encuentra comprendida en el intervalo de ND (por debajo del límite de detección) a $63,5 \text{ mg}/\text{L}$, con una mediana de $8,7 \text{ mg}/\text{L}$, lo que lo convierte en la segunda especie más abundante en la muestra estadística de las aguas de los ríos venezolanos. Con respecto a su variación geográfica, de acuerdo a la cuenca hidrográfica que ocupe el río en cuestión, esta se presenta en las Figuras 21 y su variabilidad espacial en la Figura 22.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

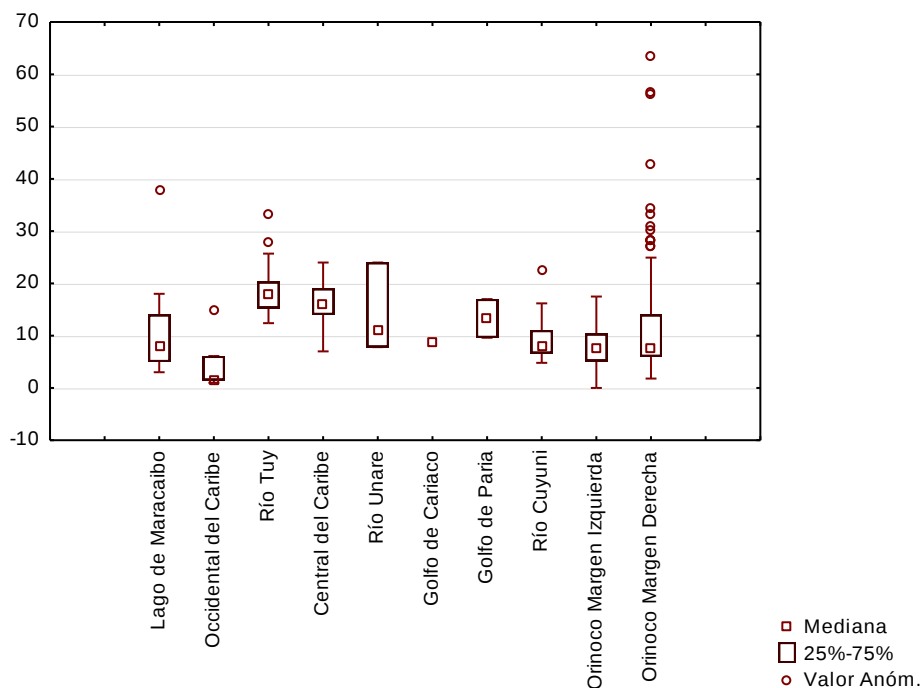


Figura 21: Variabilidad geográfica de la sílice disuelta (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

En la Figura 21 puede observarse que las menores concentraciones de sílice disuelta las presentan los ríos seleccionados en la muestra estadística de este estudio que pertenecen a la cuenca Occidental del Caribe, con una mediana igual a 1,60 mg/L; mientras que las mayores concentraciones de esta especie se encuentra en la cuenca del Río Tuy, con una mediana igual a 17,9 mg/L. La variabilidad de esta especie está relacionada con la meteorización preferencial de los minerales formadores de rocas; es decir, con la presencia de sustratos más o menos susceptibles a la meteorización. Por lo que las mayores concentraciones de sílice disuelta encontradas en la cuenca del Río Tuy pueden estar asociadas a la disolución de minerales aluminosilicatos o rocas cristalinas con una textura más propicia para su alteración (volcánicas, filitas y esquistos) o una composición mineralógica más susceptible a su meteorización (minerales máficos, o sílice amorfa); mientras que los bajos valores de esta especie en la cuenca Occidental del Caribe, seguramente se deban a la abundancia de calizas y evaporitas en dicha cuenca hidrográfica.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

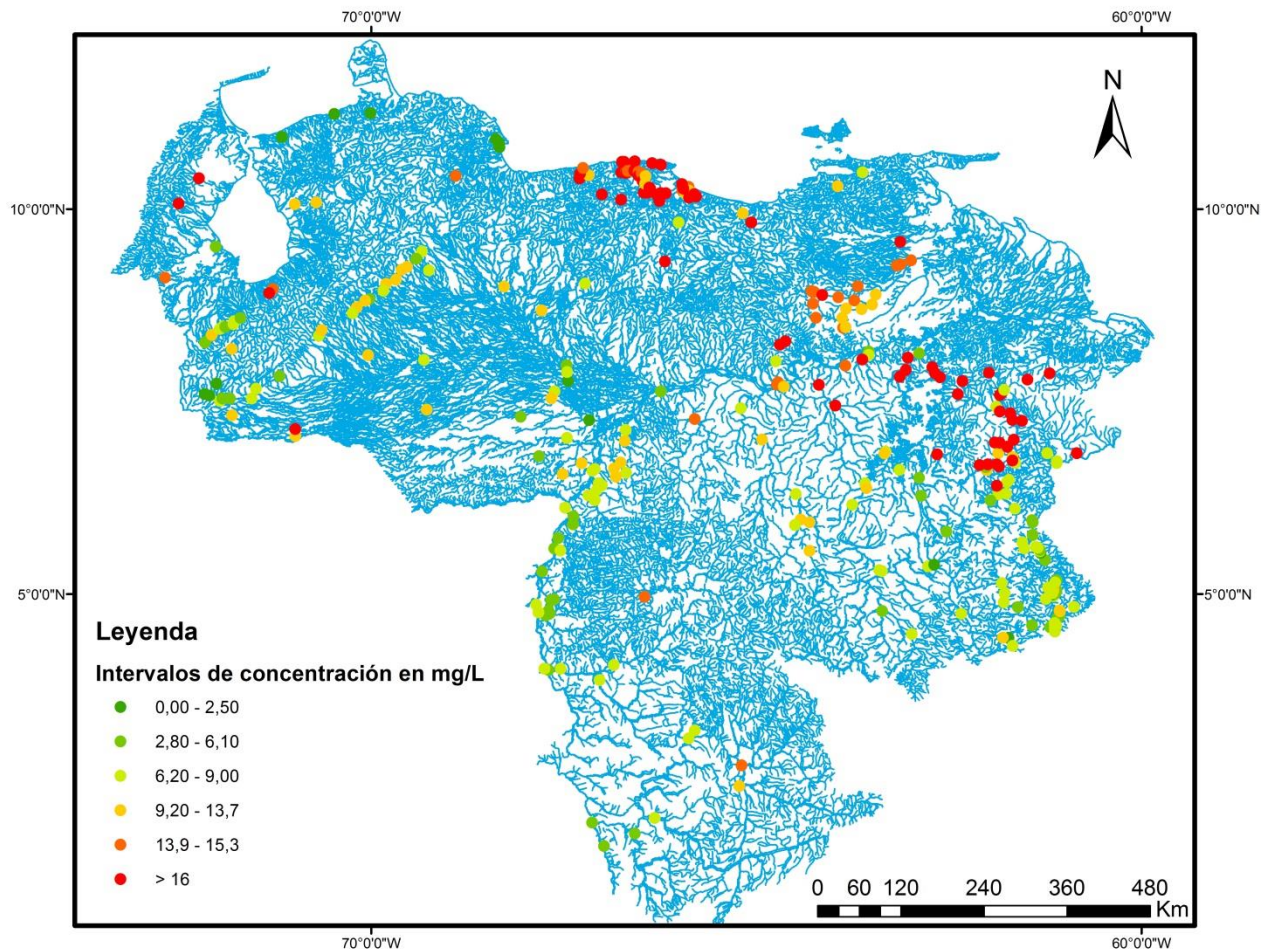


Figura 22: Distribución espacial de la sílice disuelta en los ríos de Venezuela.

En cuanto a las concentraciones anómalas de sílice disuelta: la obtenida en la cuenca del Lago de Maracaibo corresponde al río Zulia (38,0 mg/L); los presentados en la cuenca Occidental del Caribe, río Aroa (15,0 mg/L), y los del Tuy, ríos Cuira (33,0 mg/L) y Súcuta (28,0 g/mL). Una posible explicación de estas elevadas concentraciones es la disolución de la sílice amorfa. Por su parte los valores anómalos encontrados en la margen derecha del Orinoco y en el Cuyuní (Río Yuruari) se deben a la alteración de minerales ferromagnesianos presentes en las litologías de rocas máficas y ultramáficas sobre la cual drenan estos ríos o de sílice amorfa.



4.4.5. Calcio

Las concentraciones de calcio en los ríos seleccionados están comprendidas en el intervalo de 0,02 mg/L a 202 mg/L, con una mediana de 1,60 mg/L. Esta especie es la cuarta más abundante en las aguas de la muestra estadística de los ríos del país, y el segundo catión más abundante.

La variación por cuenca hidrográfica de este catión en las aguas de ríos del país y su distribución espacial se presentan en las Figuras 23 y 24. Obsérvese como los ríos pertenecientes a la cuenca Occidental del Caribe presentan las mayores concentraciones de este catión, con una mediana igual a 58,0 mg/L; mientras que las aguas de los ríos la margen derecha del Orinoco presentan las menores concentraciones, con una mediana de 0,40 mg/L. También es notorio que las cuencas del norte del país se diferencian de las del sur al presentar mayores concentraciones de este catión.

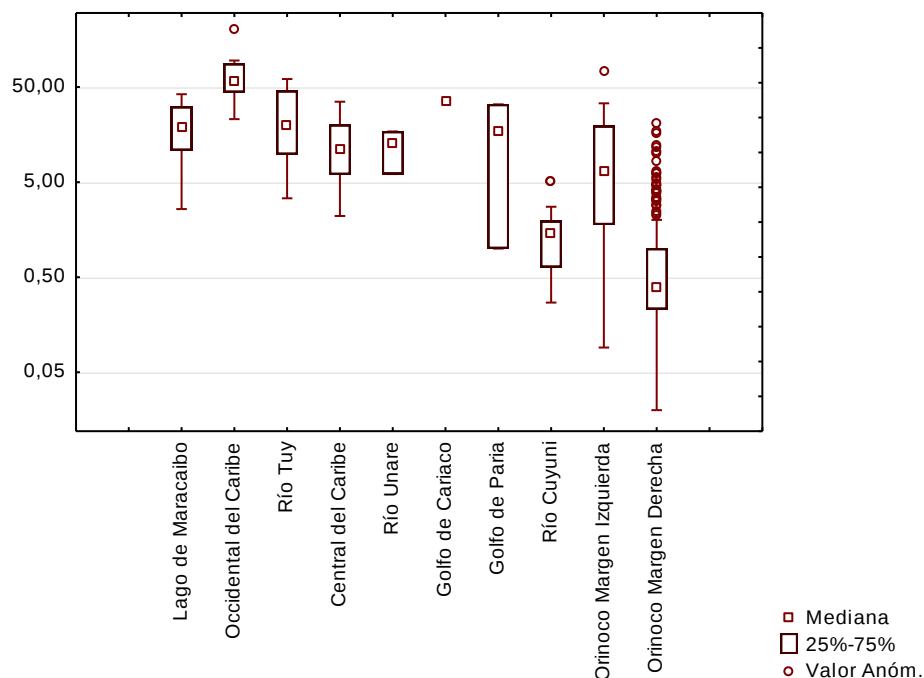


Figura 23: Variabilidad geográfica del calcio (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Sin embargo, la margen izquierda del Orinoco se distingue de la derecha, presentando concentraciones más similares a las de las cuencas del norte de Venezuela, con una mediana igual a 6,44 mg/L. Esta variación en la concentración de calcio en las aguas de los ríos seleccionados está controlada por la litología de la cuenca de drenaje o por mezcla con agua marina.

La concentración más alta de calcio en los ríos seleccionados, corresponde al río Mitare (202 mg/L), el cual puede ser debido a la alteración de minerales carbonáticos o a la mezcla de sus aguas con agua marina, así como un aporte extra de calcio por parte de la alteración de minerales evaporíticos (ej. yeso). Por su parte, el río Guache (72,3 mg/L), perteneciente a la margen izquierda de la cuenca del Orinoco, presenta la segunda mayor concentración de calcio de los ríos estudiados, dicha concentración se debe a que este río drena la formación Guache, caracterizada por la presencia de margas y esquistos calcáreos.

En cuanto al resto de las concentraciones anómalas observadas en la figura 23, las correspondientes a la cuenca del Cuyuní (Río Botanamo) y a la margen derecha del Orinoco (Figura 24) por consecuencia de la alteración de rocas máficas y ultramáficas que poseen alto contenido de plagioclasa ($An > 50$), o influencia influencia de aguas salobres por mezcla (Morantes, 1997).



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

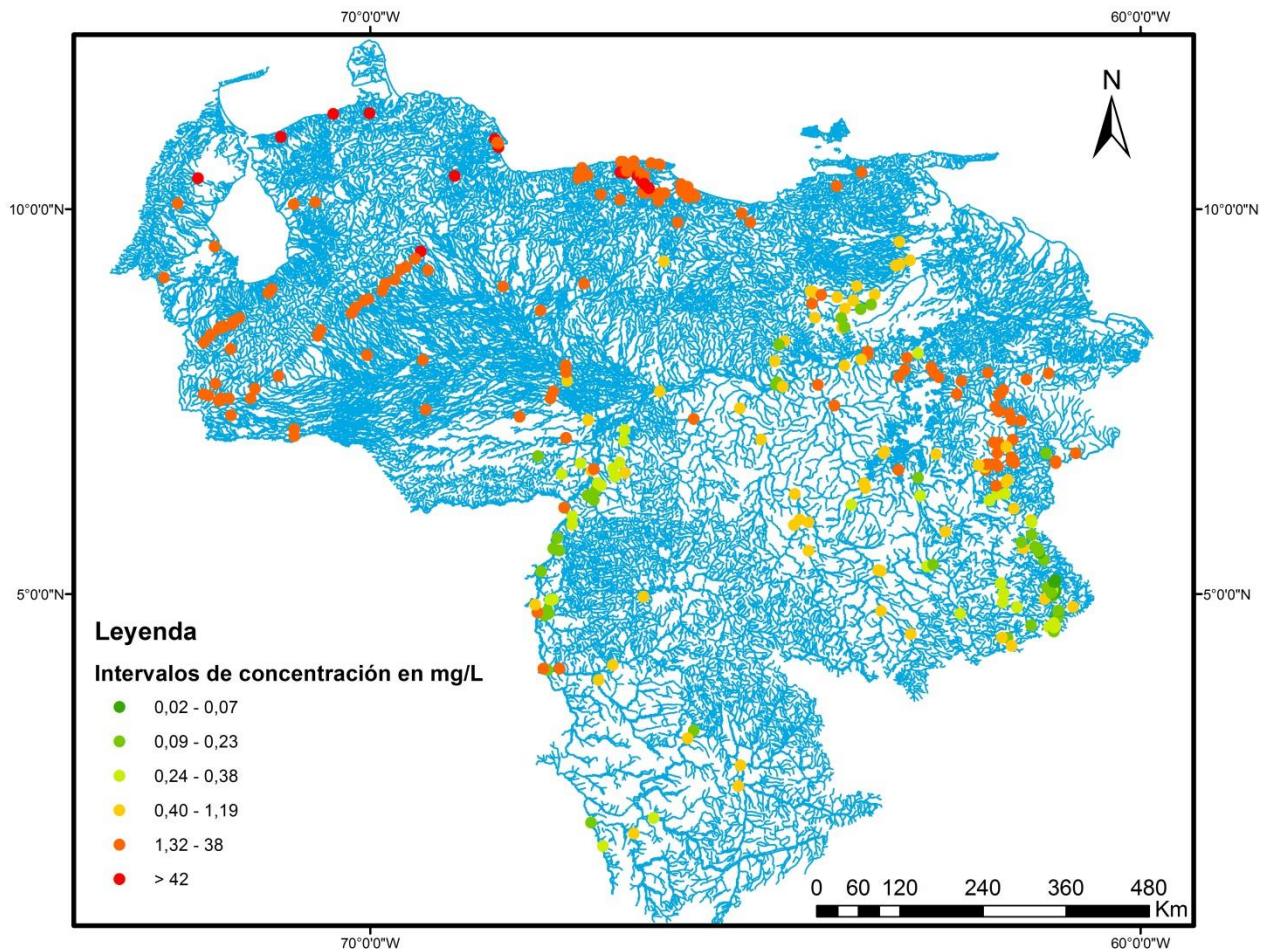


Figura 24: Distribución espacial del calcio en los ríos de Venezuela.

4.4.6 Magnesio

Las concentraciones de magnesio en los ríos seleccionados oscilan en el intervalo de ND a 46,0 mg/L, con una mediana de 0,80 mg/L, por lo que es la séptima especie más abundante en las aguas de los ríos de Venezuela, y el cuarto catión más importante.

En la figura 25 se puede observar que en el caso de este catión se presenta una diferencia significativa entre las concentraciones de los ríos pertenecientes a la vertiente del Mar Caribe y a los de la vertiente del Océano Atlántico. Es notorio que los valores más elevados se encuentran en la cuenca Occidental del Caribe, la cual presenta una mediana igual a 24,0 mg/L; y las menores en el margen derecho del



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Orinoco y en la cuenca del Cuyuní, las cuales presentan medianas de 0,15 y 0,33 mg/L, respectivamente. Esta diferencia puede estar asociada a la litología de la cuenca de drenaje y al régimen de meteorización a la que está expuesta controlado por el ambiente tectónico, y a una posible mezcla de sus aguas con agua de mar.

De igual forma, en la figura 26 puede apreciarse que la margen izquierda del Orinoco presenta concentraciones de magnesio mayores a las concurrentes en la margen derecha de dicha cuenca y en la del Cuyuní, con una mediana de 1,50 mg/L.

La concentración más alta de magnesio en los ríos seleccionados, la presenta el río Mitare (48,0 mg/L), correspondiente a la cuenca Occidental del Caribe, lo cual puede deberse a que este río refleja la alteración de minerales carbonáticos (calcita alta en magnesio o dolomita) o a la mezcla de sus aguas con agua marina.

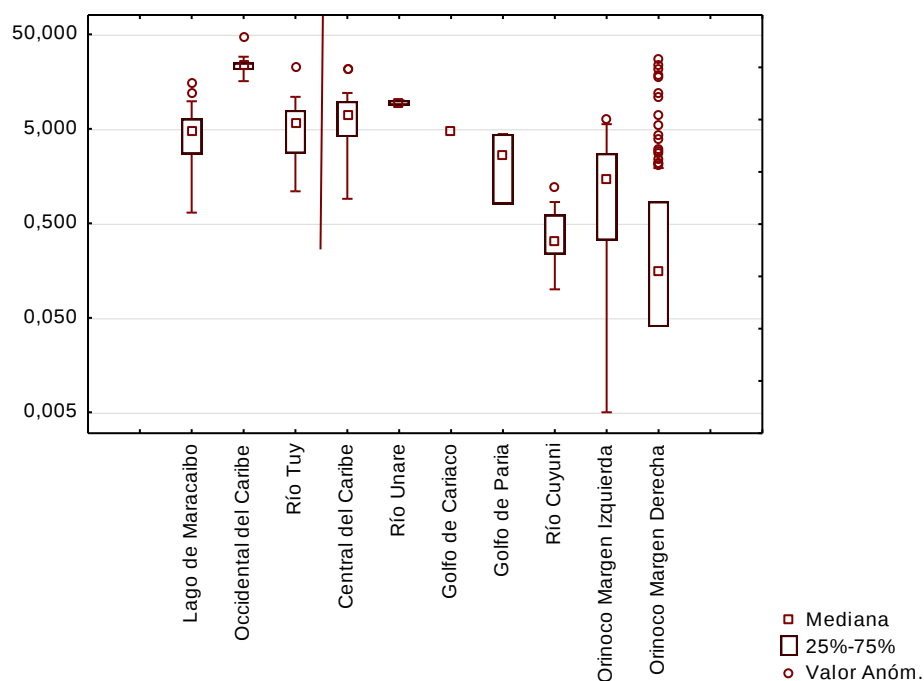


Figura 25: Variabilidad geográfica del magnesio (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

En relación a las otras concentraciones anómalas observadas en la Figura 25, las correspondientes a la cuenca Central del Caribe responden a quebrada San Ignacio (21,0 mg/L) y a Río Chico (21,4 mg/L), estas concentraciones posiblemente estén



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



asociadas a la alteración química de minerales carbonáticos. Los dos valores de la cuenca del Lago de Maracaibo que corresponden a los ríos Machango (12 mg/L) y Misoa (15 mg/L). Sin embargo la información geológica no es suficiente para explicar esta concentración. La correspondiente a la cuenca del río Tuy corresponde al río Guare (22,3 mg/L), el cual posee una alta concentración de magnesio debido a que en su cuenca de drenaje afloran peridotitas serpentinizadas de la zona de lomas de hierro (Zambrano, 1970). Por su parte en la cuenca del Cuyuní y en la margen derecha del Orinoco (Figura 26) los valores de concentración anómalas se deben a que tales ríos drenan cuerpos máficos y ultramáficos, como piroxenitas, metaperidotitas y metagabros, cuya susceptibilidad de alteración es alta comparada con las rocas cristalinas félsicas, donde el magnesio se encuentra en bajas proporciones (Yanes, 1997; Morantes, 1997).

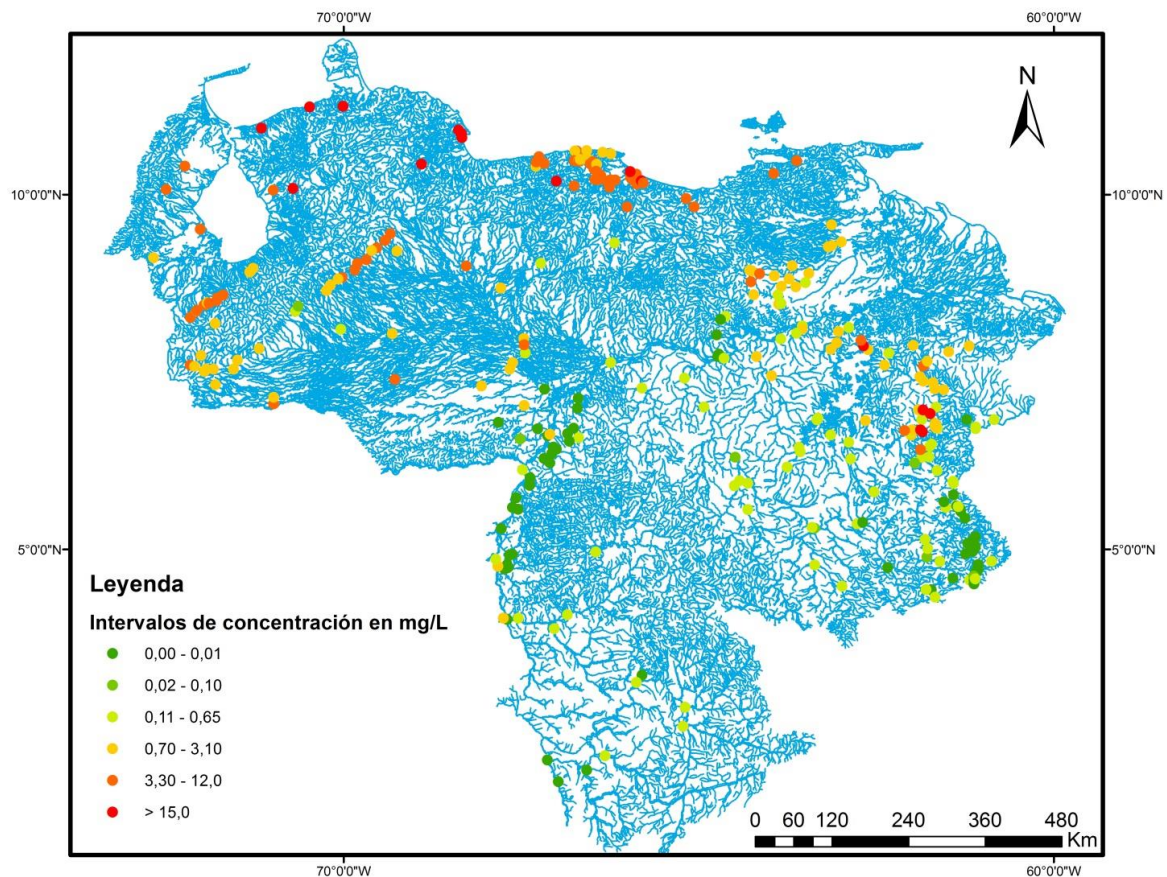


Figura 26: Distribución espacial del magnesio en los ríos de Venezuela.



4.4.7 Sodio

Las concentraciones de sodio en los ríos seleccionados están comprendidas en el intervalo de 0,10 mg/L a 119 mg/L, con una mediana de 2,20 mg/L. Este elemento es la tercera especie más abundante en la muestra estadística de este estudio, y el primer catión.

La variación de este catión en las aguas de ríos de las distintas cuencas del país se presenta en las figuras 27, y su localización geográfica en la figura 28. Al igual que el patrón observado para el magnesio y las sales disueltas, el comportamiento del sodio es similar. Los ríos de las cuencas hidrográficas del norte de Venezuela presentan mayores concentraciones de este catión que las aguas de la vertiente del Océano Atlántico.

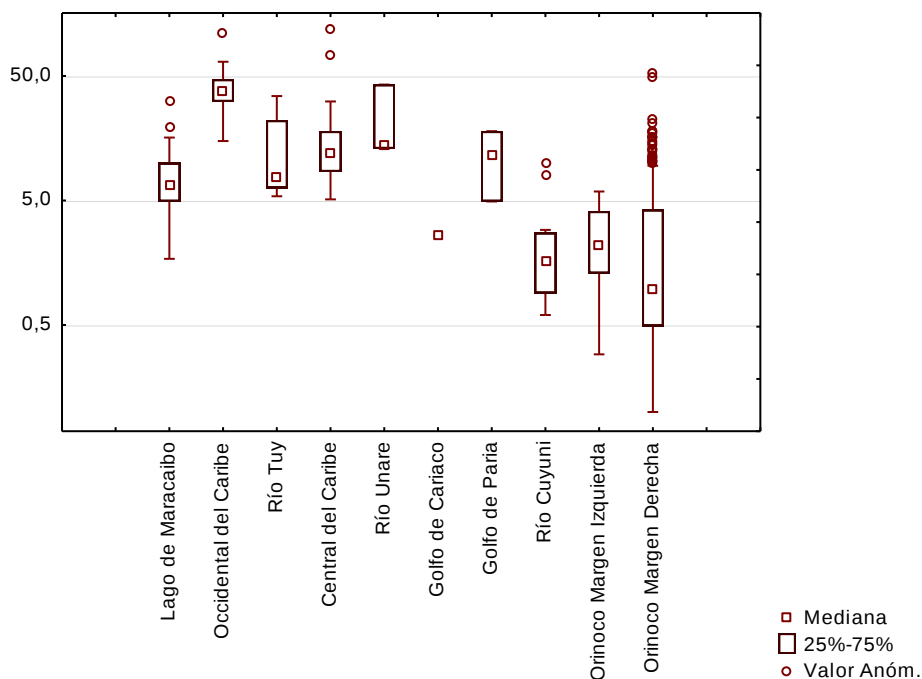


Figura 27: Variabilidad geográfica del sodio (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

La cuenca Occidental del Caribe muestra la mediana más alta (38 mg/L) con respecto a las cuencas del Golfo de Cariaco (11,5 mg/L) y río Unare (14,0 mg/L); mientras que las aguas de los ríos de la margen derecha del Orinoco presentan las menores



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



concentraciones, con valores de la mediana igual a 1,65 mg/L, 2,25 mg/L y 0,97 mg/L para los ríos de las cuencas de Cuyuni, margen izquierda del Orinoco y Margen derecha del Orinoco, respectivamente. Obsérvese que los valores más altos, especialmente los anómalos, se localizan en las zonas de mayor aridez al norte de Venezuela y sobre las rocas de las Provincias de Imataca y Pastora donde ocurren las menores precipitaciones y hay evidencias de alteración hidrotermal y metasomatismo. Por consiguiente, estas variaciones pueden estar asociadas a la litología de sus cuencas de drenaje, y al régimen de meteorización a la que están expuestas condicionado por el ambiente tectónico, y a una posible mezcla de sus aguas con agua de mar bajo una condición climática de baja precipitación atmosférica.

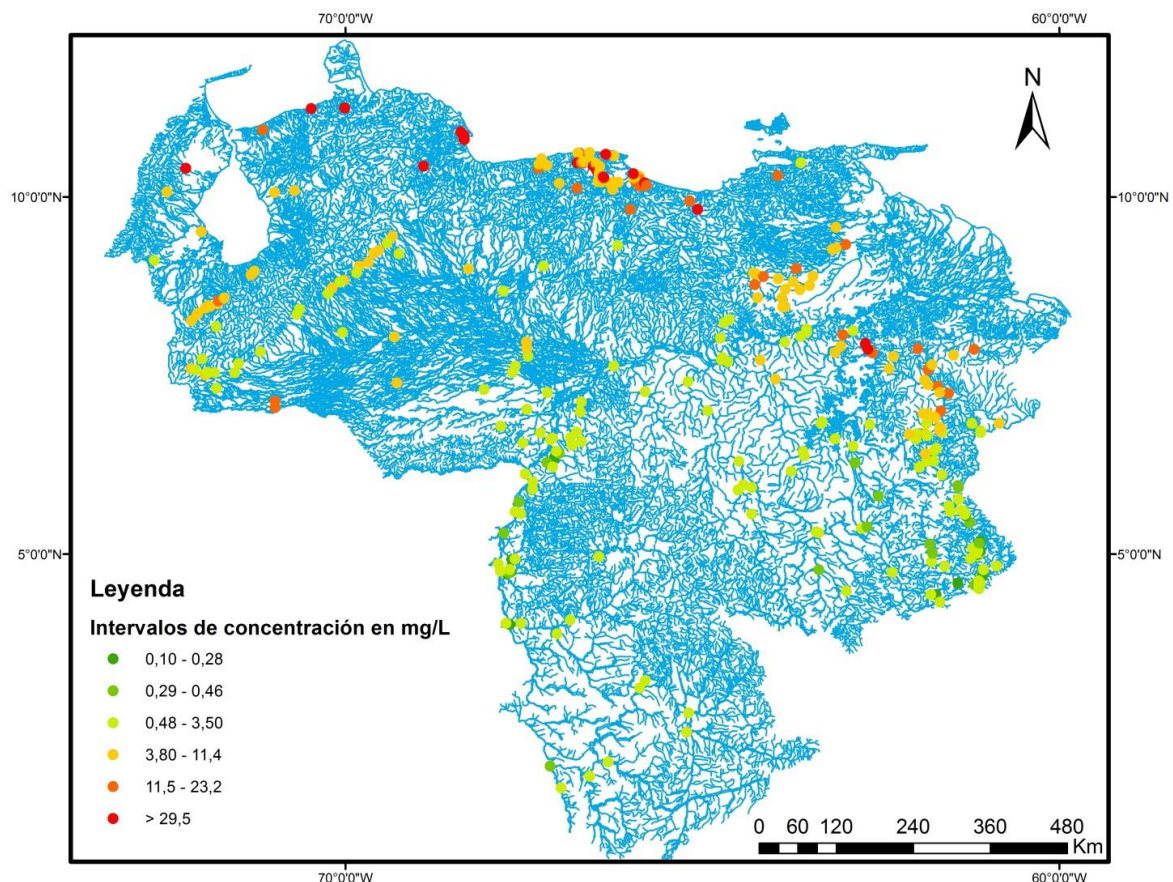


Figura 28: Distribución espacial del sodio en los ríos de Venezuela.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Las concentraciones anómalas de esta especie que se pueden observar en la figura 28 correspondientes a la cuenca del Lago de Maracaibo pertenecen ambas al río El Palmar (19,5 y 32,0 mg/L), en el cual dicha concentración podría indicar que se tiene un posible aporte de sodio por parte de aerosoles marinos.

Por su parte el valor anómalo encontrado la cuenca Occidental del Caribe corresponde al caño El Tuque (110 mg/L), el cual presenta mezcla con agua de mar a nivel de su desembocadura (Barreto, 2006). Los pertenecientes a la cuenca Central del Caribe son los ríos Chico (119 mg/L) y Carao (75,0 mg/L), ambos presentan aporte extra de sodio por aerosoles marinos; los de la cuenca del Cuyuní son los ríos Yuruarí (9,90 mg/L) y Botanamo (8,10 mg/L), los cuales así como los encontrados en la margen derecha del Orinoco, poseen altas concentraciones de sodio debido a que las aguas de estos ríos pueden estar mezclándose con aguas salobres que se ubican en la zona de falla del Güri (Yanes, 1997).

4.4.8. Potasio

Las concentraciones de potasio en los ríos seleccionados están comprendidas en el intervalo de 0,05 mg/L a 26,0 mg/L, con una mediana de 1,00 mg/L, lo que lo convierte en la sexta especie más abundante de la muestra estadística de las aguas de los ríos venezolanos, y el tercer catión más abundante.

La distribución espacial de este catión se presenta en las Figuras 29 y 30. En la Figura 29 se puede apreciar que el potasio presenta un comportamiento muy similar al del sodio. Desde un punto de vista espacial las menores concentraciones de potasio se encuentran en los ríos pertenecientes a la cuenca del Cuyuní, con una mediana igual a 0,50 mg/L, mientras que las concentraciones más altas la presenta la cuenca Occidental del Caribe, con una mediana de 6,00 mg/L. Tal distribución espacial es controlada por la disolución de aluminosilicatos, especialmente de los feldespatos de potasio.

Con respecto a las concentraciones anómalas que se visualizan en la figura 29, la encontrada en la cuenca del Lago de Maracaibo corresponde al río Onía (4,10 mg/L);



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



sin embargo la información geológica no es suficiente para descifrar la fuente extra de potasio que provoca su concentración (Reyes, 1999). Las concentraciones mayores a 2,50 mg/L encontradas en la cuenca del Cuyuní (ríos Yuruari y Botanamo) y en la margen derecha del Orinoco, se deben a que estos ríos drenan rocas que han sufrido alteración sericitica (Vargas, 1993; Morantes, 1997). Con respecto a Río Chico (cuenca Central del Caribe), el cual presenta una concentración de potasio mayor a 5,00 mg/L; todas sus concentraciones catiónicas están influenciadas por una mezcla de sus aguas con agua de mar.

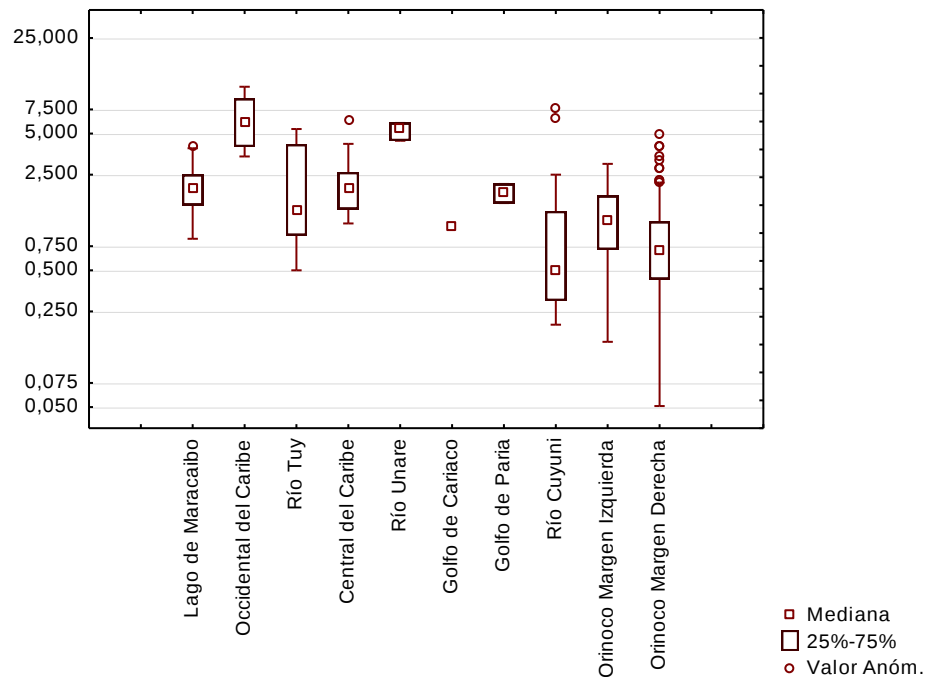


Figura 29: Variabilidad geográfica del potasio (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

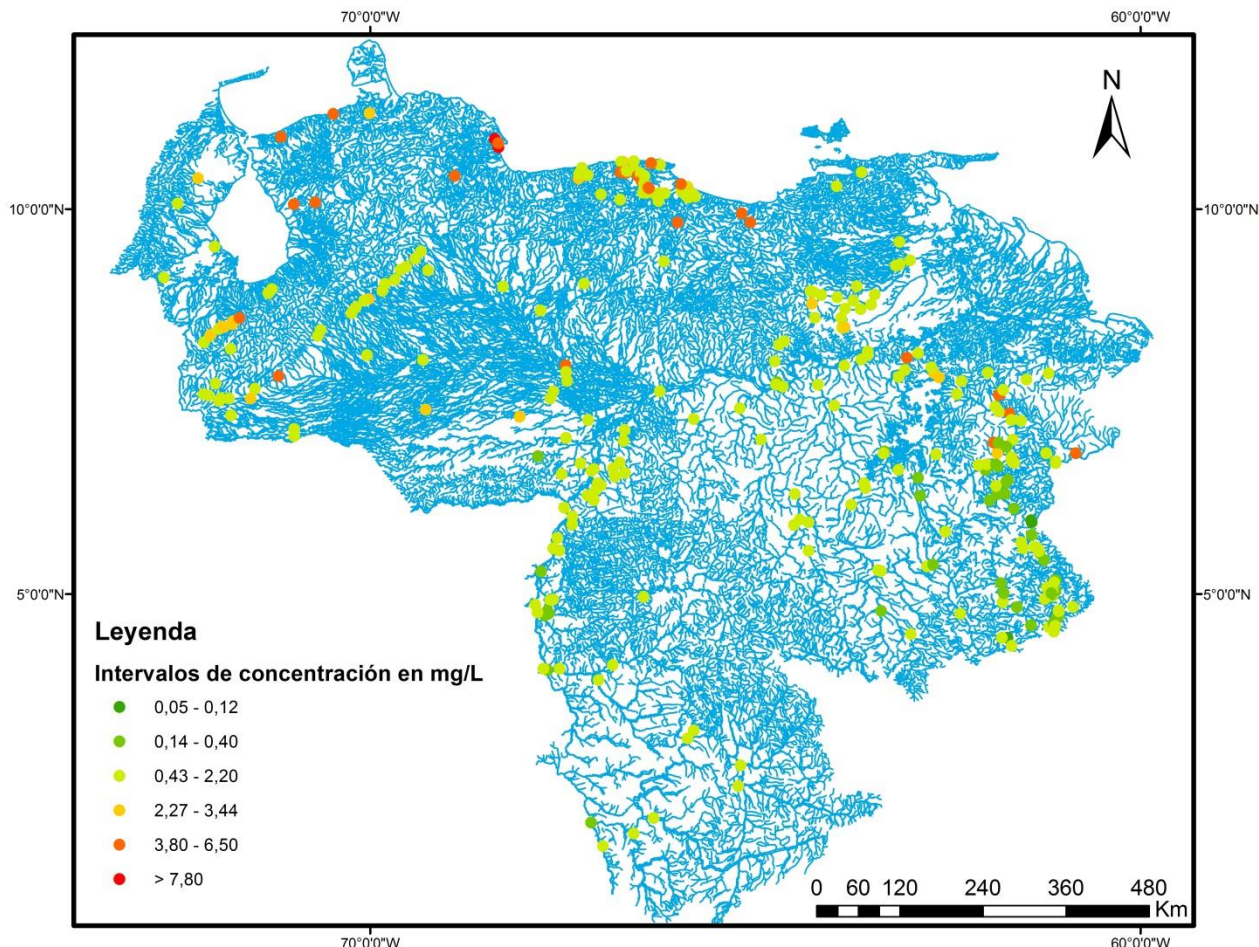


Figura 30: Distribución espacial del Potasio en los ríos de Venezuela.

4.4.9. Cloruro

En cuanto a este anión, su concentración en las aguas de los ríos seleccionados varía entre 0,06 y 219 mg/L, con una mediana de 1,20 mg/L, lo que lo hace la quinta especie más abundante en las aguas de los ríos nacionales.

Como se ilustra en la Figura 31, se observa una marcada diferencia entre las concentraciones de cloruro en las cuencas del sur y norte de Venezuela, a excepción de la cuenca del Lago de Maracaibo, la cual presenta concentraciones similares a las cuencas del sur del país, con una mediana igual a 2,30 mg/L. Por su parte la cuenca Occidental del Caribe presenta la mayor concentración de este anión con una mediana de 58,0 mg/L; mientras ambos márgenes de la cuenca del Orinoco (derecha e



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



izquierda), así como la cuenca del Cuyuní presentan las concentraciones más bajas con medianas de 1,20 y 0,53 mg/L, correspondientemente. Esta distribución espacial observada en las figuras 31 y 32 está controlada principalmente por la precipitación atmosférica, o la mezcla con aguas marinas, y en menor proporción por la alteración de minerales evaporíticos en la cuenca de drenaje.

La mayor concentración de cloruro en los ríos seleccionados pertenece a Río Chico (219 mg/L), correspondiente a la cuenca Central del Caribe, el cual presenta mezcla de sus aguas con agua marina. Con respecto al resto de las concentraciones anómalas, la perteneciente a la cuenca Occidental del Caribe responde al caño El Tuque (129 mg/L), el cual presenta mezcla con agua de mar a nivel de su desembocadura (Barreto, 2006).

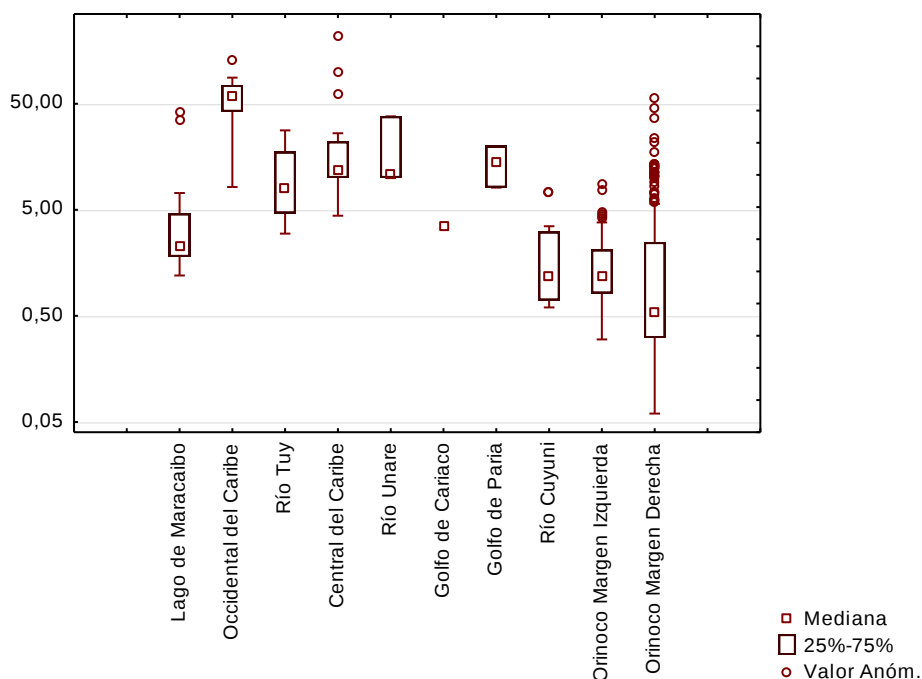


Figura 31: Variabilidad geográfica del cloruro (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

Por su parte las otros dos concentraciones anómalas en la cuenca Central del Caribe las corresponden a la quebrada San Ignacio (62,2 mg/L) y al río Carao (99,0 mg/L) en los que el aporte de cloruro viene dado por el aerosol marino. Con respecto a la cuenca del Cuyuní, los ríos Yuruarí (7,20 mg/L) y Botanamo (7,40 mg/L), así como los ríos con



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



concentraciones anómalas de cloruro en la margen derecha del Orinoco, éstos presentan tales concentraciones, debido posiblemente a manantiales que afloran al norte de la represa del Güri, donde se observa la precipitación de sales en suelos (Yanes, 1997). Otra posible explicación es la mezcla de aguas de origen profundo con aguas superficiales que son menos mineralizadas, asociadas a la falla de Güri (Morantes, 1997).

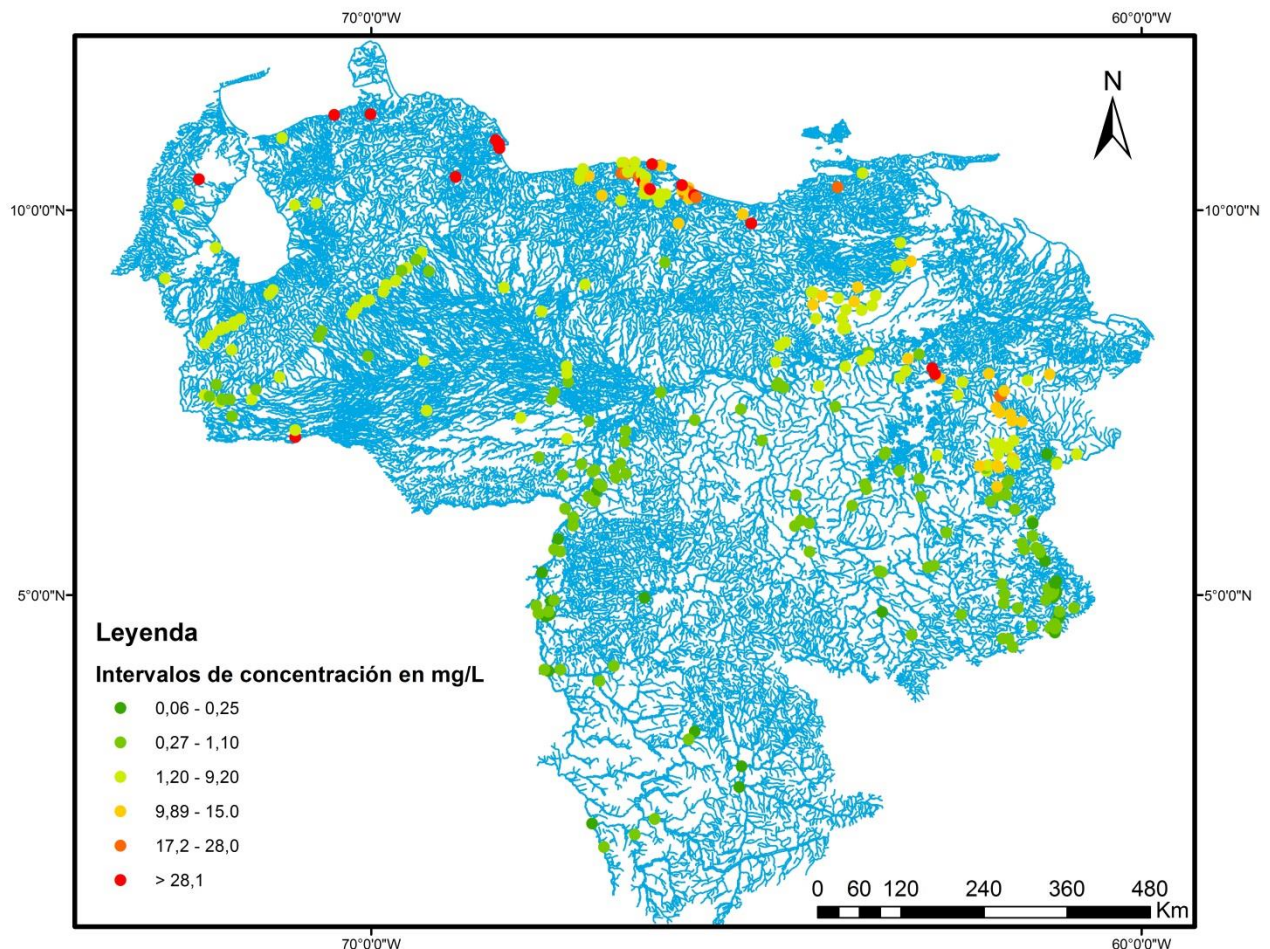


Figura 32: Distribución espacial del cloruro en los ríos de Venezuela.



4.4.10. Sulfato

Las concentraciones de este anión en las aguas de los ríos venezolanos oscilan entre ND y 200,0 mg/L, con una mediana de 0,56 mg/L, siendo la octava especie en abundancia en las aguas de la muestra estadística de los ríos de Venezuela.

En las Figuras 33 y 34 se observa como nuevamente, los ríos de las cuencas del norte se diferencia de los de las cuencas del sur, observándose también una diferencia entre los ríos de la margen izquierda y derecha del Orinoco. Los ríos de la margen derecha de la cuenca del río Orinoco y los de la cuenca del Cuyuní los que presentan las menores concentraciones de sulfato, con medianas iguales a 0,24 y 0,22 mg/L respectivamente; mientras que la cuenca Occidental del Caribe presenta una mediana igual 47,0 mg/L, exhibiendo las concentraciones más altas de este anión.

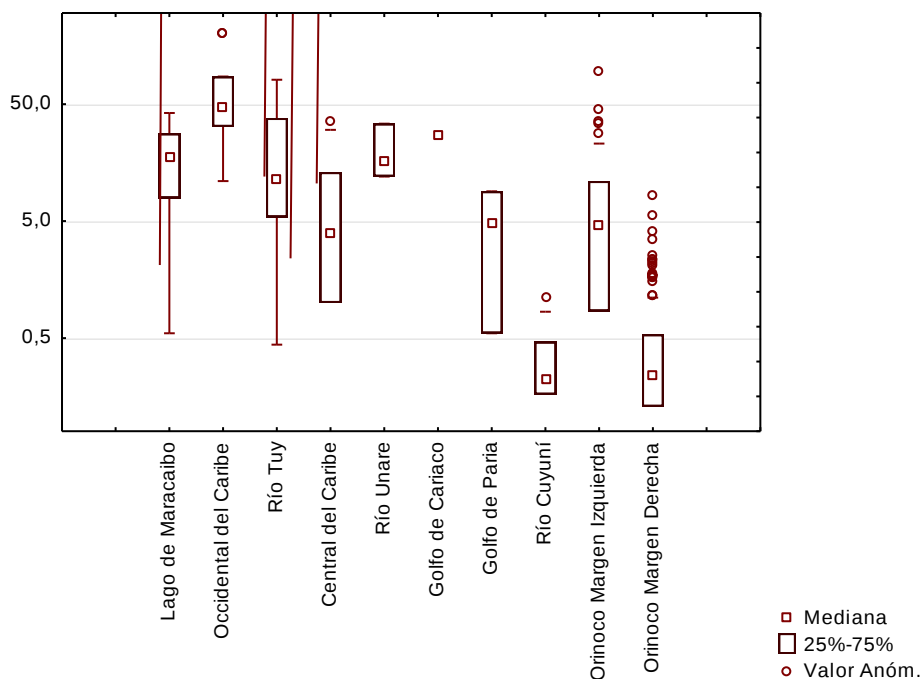


Figura 33: Variabilidad geográfica del sulfato (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

Esta distribución espacial está controlada por la litología presente en las distintas cuencas hidrográficas del país, así como por la mezcla con aguas marinas;



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



correspondiendo las mayores concentraciones de sulfato a las cuencas en las que existe disolución de minerales evaporíticos (yeso) o influencia del aerosol marino.

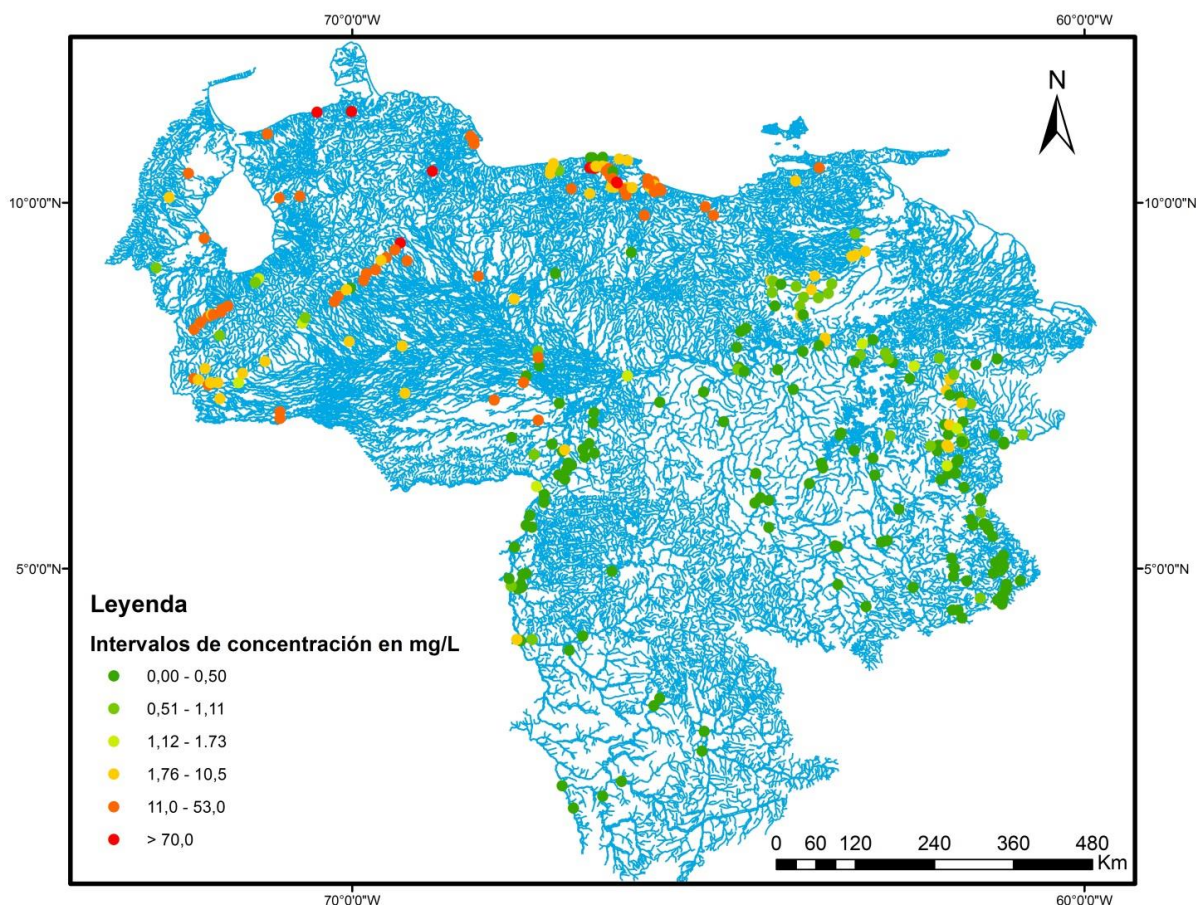


Figura 34: Distribución espacial del sulfato en los ríos de Venezuela.

Con respecto a las concentraciones anómalas observadas en la figura 33, las correspondientes a la cuenca Occidental del Caribe son los ríos Mitare (200 mg/L), Aroa (119 mg/L) y Zazarida (86,0 mg/L); dichas concentraciones posiblemente se deban a la alteración de yeso o la mezcla con agua de mar. Para la quebrada San Ignacio, perteneciente a la cuenca Central del Caribe, la alta concentración está asociada a los aerosoles marinos; mientras que los valores anómalos en las cuencas del Cuyuní y en la margen derecha de la cuenca del Orinoco posiblemente se deban a la alteración de la pirita, la cual está asociada a procesos de piritización que han afectado las rocas máficas en varios sectores de la región producto del proceso de alteración hidrotermal



(González de Juana, *et al.*, 1980; Vargas 1993; Morantes, 1997). Por su parte, las concentraciones anómalas de sulfato obtenidas en los ríos de la margen izquierda del Orinoco (río Guache, Tucupido, Portuguesa y Guanare) posiblemente estén relacionadas con la disolución de minerales como piritita, o yeso o anhidrita (Velásquez, 2000).

4.4.11. Bicarbonato

La concentración de bicarbonato en las aguas de los ríos seleccionados se encuentra comprendida en el intervalo de ND a 460 mg/L, con una mediana de 15,00 mg/L, siendo la especie más abundante en las aguas de los ríos venezolanos.

En las Figuras 35 y 36 se presenta la distribución espacial de esta especie. Como se observa en la figura 35, se puede notar una diferencia significativa entre las concentraciones de bicarbonato entre las cuencas del norte y sur del país.

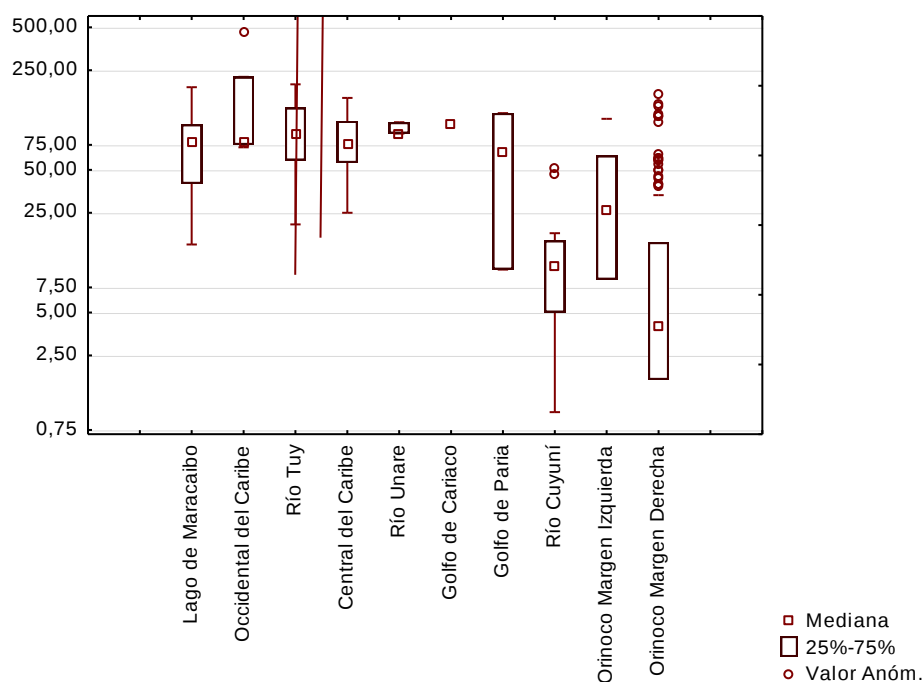


Figura 35: Variabilidad geográfica del bicarbonato (mg/L) en las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Dicha variación está controlada por la disolución de calizas y dolomitas, la hidrólisis de silicatos catalizada por el CO_2 atmosférico, así como por la disolución del CO_2 atmosférico o del suelo con el agua superficial; encontrándose las concentraciones más altas de este anión en la cuenca del Lago de Maracaibo, la cual presenta una mediana igual a 79,0 mg/L.

En relación a las concentraciones anómalas observadas en la figura 35, las concentraciones más altas de la cuenca del Cuyuní y de la margen derecha del Orinoco corresponden a ríos cuyo aporte extra de bicarbonato viene dado por disolución de vetas de carbonatos. En cuanto a la concentración anómala de este anión en la cuenca Occidental del Caribe, dicha concentración corresponde al río Mitare, el cual presenta mezcla con agua de mar.

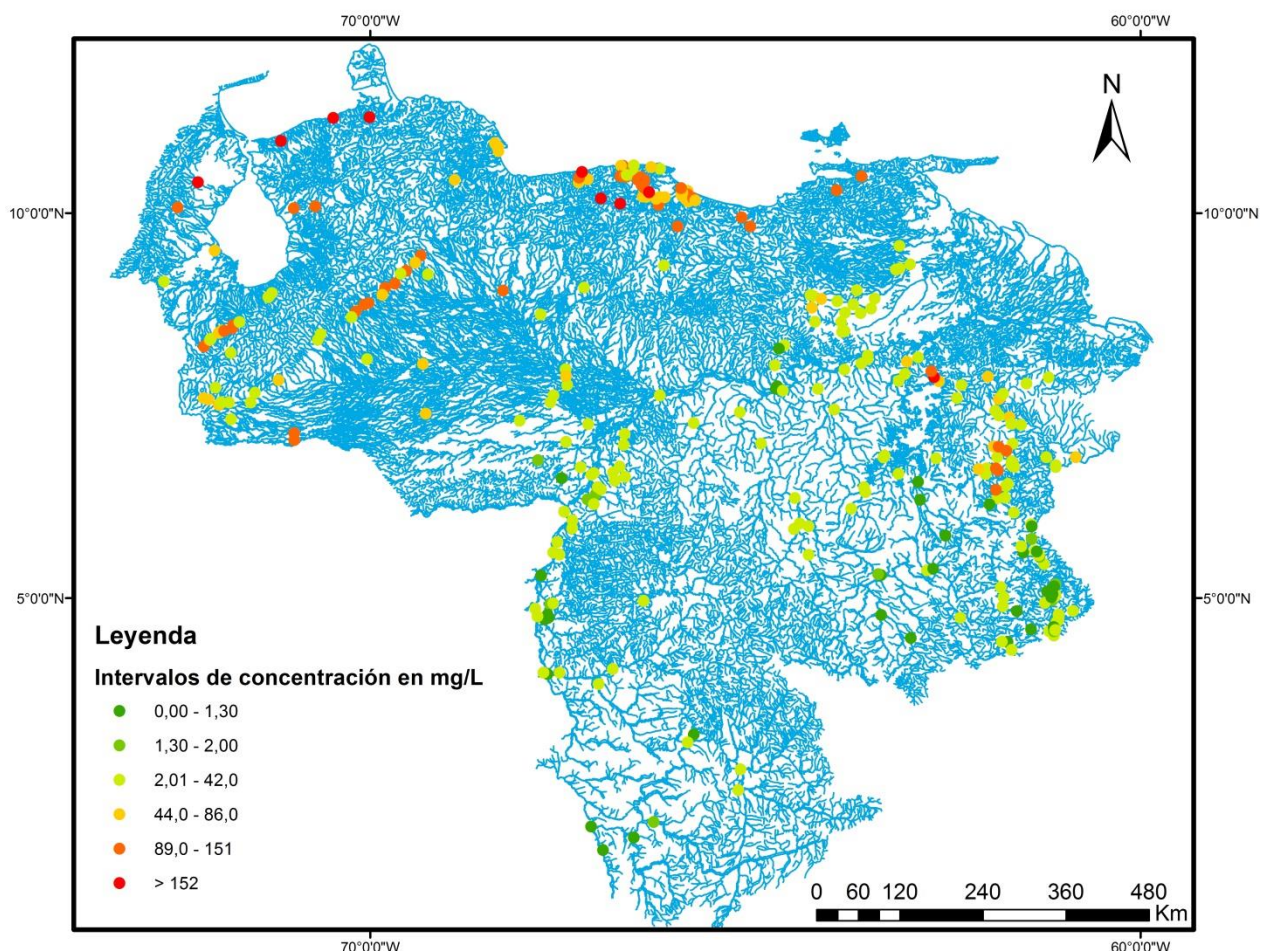


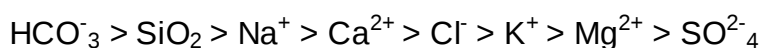
Figura 36: Distribución espacial del bicarbonato en los ríos de Venezuela.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



A continuación se presentará un breve resumen sobre las características geoquímicas de las aguas de los ríos de Venezuela. Estas aguas se caracterizan por presentar concentraciones de sales disueltas comprendidas en el intervalo de 0,83 a 987,4 mg/L, conductividades entre 4,16 y 1425 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y valores de pH entre 4,33 y 8,53. El orden de abundancia de los elementos en las aguas, considerando el valor de la mediana estimada para los ríos estudiados, es el siguiente:



Este orden de abundancia es consecuencia de la complejidad geológica de las distintas regiones de Venezuela y de los diversos factores que controlan la composición química de sus aguas superficiales, los cuales principalmente son: la litología y su susceptibilidad de alteración química en la cuenca de drenaje, el ambiente morfotectónico y el clima. Esto queda evidenciado con la abundancia del calcio en cuencas cuyas aguas drenan sobre calizas o la disolución de minerales de carbonato de calcio en vetas, matriz o cemento (Lago de Maracaibo, Occidental del Caribe, Río Tuy, Golfo de Cariaco y Golfo de Paria); mientras que en las cuencas cuyos ríos no presentan aporte de calcio por parte de este proceso el catión más abundante es el sodio debido a la alteración de aluminosilicatos y evaporitas. Las menores concentraciones de sales disueltas en los ríos pertenecientes a la cuenca del Cuyuní y en los ríos de la margen derecha del Orinoco, los cuales se encuentran en zonas tectónicamente estables, en comparación a las altas concentraciones de especies disueltas características de los ríos pertenecientes al resto de las cuencas del país, las cuales se encuentran en zonas tectónicamente activas, confirman esta conclusión.

4.5. Comportamiento Geoquímico de los elementos mayoritarios y procesos asociados con su origen

A continuación se establecerán algunas relaciones relevantes entre las especies químicas bajo estudio, de acuerdo a su comportamiento geoquímico, con el fin de inferir la influencia de la litología y otros factores que usualmente controlan la composición química de las aguas de los ríos. Igualmente se analizará el comportamiento de los



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



parámetros fisicoquímicos medidos en campo, principalmente la conductividad, la cual puede ayudar a analizar el comportamiento de las especies químicas en el sistema. Antes de comenzar, es necesario aclarar que por conveniencia para la interpretación de los datos en función de los estudios de Yanes (1988) y Yanes (1997), la cuenca del Orinoco fue separada en margen izquierda y margen derecha, ya que esta distinción permite una mejor visualización de las diferencias encontradas entre los ríos que drenan de ambos márgenes.

Debido a que las variaciones químicas en las aguas de los ríos se deben en gran parte a la litología sobre la cual están drenando, así como a que las rocas están constituidas mayormente por aluminosilicatos y la meteorización química de estos es la principal fuente de aporte de sílice al sistema, gráficos de sílice disuelta con relación a las sales disueltas pueden ayudar a determinar la o las fuentes de aporte de las especies disueltas. Por lo tanto, en la Figura 37 se graficó la relación entre el logaritmo de la concentración de sílice disuelta y el logaritmo de la concentración de sales disueltas, atendiendo a la cuenca a la que pertenece cada río seleccionado; en dicha figura, nótese que se encontraron 6 grupos distintos de ríos, los cuales están constituidos por ríos pertenecientes a distintas cuencas hidrográficas del país, estos grupos de ríos coinciden con los determinados mediante el empleo de la distribución de frecuencia acumulada.

Con respecto a los grupos determinados mediante esta relación, el grupo I está conformado por ríos pertenecientes a la margen derecha de la cuenca del Orinoco y del Cuyuní. Este grupo presenta bajas concentraciones de sílice disuelta y de sales disueltas, lo cual puede indicar que las especies aportadas a estos ríos posiblemente provengan de la alteración de silicatos muy resistentes a procesos de meteorización química y una solubilidad muy baja. El grupo II posee concentraciones de sílice disuelta y de sales disueltas de bajas a intermedias. Dicho grupo está constituido por ríos pertenecientes a las cuencas Cuyuní y Orinoco (en su mayoría margen derecha). Las especies aportadas a estos ríos posiblemente provengan de la alteración de silicatos, así como de sílice amorfa, la cual es más soluble que el cuarzo. El grupo III presenta



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



concentraciones intermedias de sílice disuelta y concentraciones de sales disueltas de intermedias a elevadas; los ríos que conforman este grupo pertenecen a las cuencas: Cuyuní, Orinoco (en su mayoría margen izquierda), Río Unare, Río Tuy, Golfo de Cariaco, Golfo de Paria, Lago de Maracaibo y Central del Caribe y Occidental del Caribe; las especies aportadas a estos ríos posiblemente provengan de la alteración de: carbonatos, sulfatos, minerales evaporíticos y sílice amorfa.

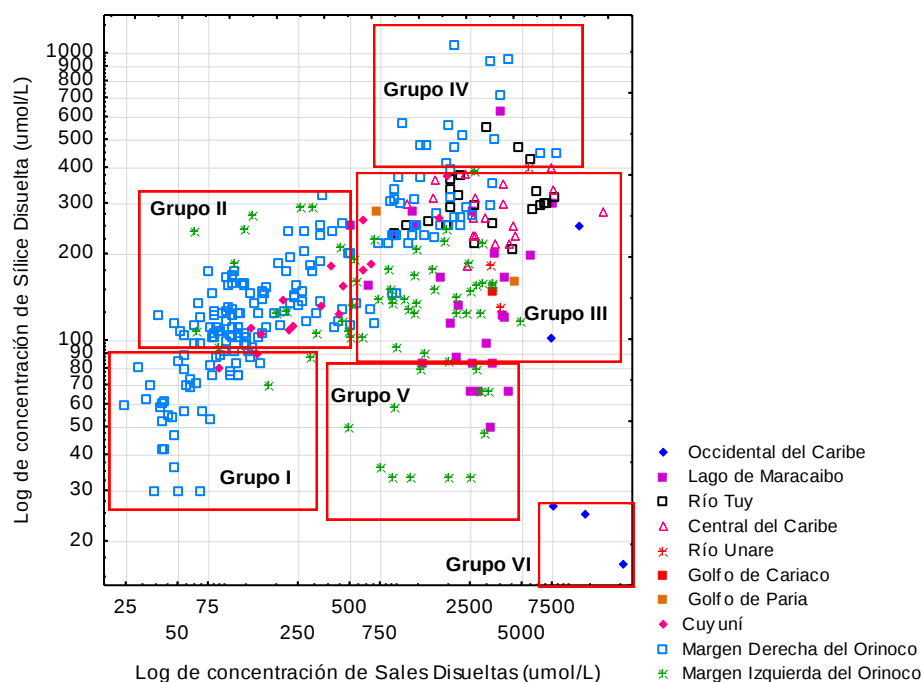


Figura 37: Relación entre sílice disuelta y sales disueltas en las principales cuencas de Venezuela.

En cuanto al grupo IV, este está conformado por ríos pertenecientes a las cuencas: Orinoco (en mayoría margen derecha), Cuyuní Río Tuy, Río Unare, Lago de Maracaibo, Central Caribe. Estos ríos presentan altas concentraciones de sílice disuelta y concentraciones intermedias de sales disueltas, por lo que se puede inferir que las especies aportadas a las aguas de estos ríos provienen de la alteración de rocas máficas y ultramáficas, sílice amorfa, además pueden presentarse vetas de minerales más solubles, los cuales aumentan la concentración de sales disueltas. En sí, las especies aportadas a los ríos de la margen derecha de la cuenca del Orinoco y del



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Cuyuní que forman parte de este grupo provienen de la alteración de minerales ferromagnesianos presentes en la litología sobre la cual estos ríos drenan sus agua (Morantes, 1997). El grupo V presenta bajas concentraciones de sílice disuelta y concentraciones intermedias de sales disueltas, lo cual puede indicar que las especies aportadas a las aguas de estos ríos, los cuales forman parte del margen izquierdo del Orinoco y de la cuenca del Lago de Maracaibo, provienen de la alteración de silicatos poco solubles y minerales carbonáticos o evaporíticos. El grupo VI está conformado por ríos pertenecientes a la cuenca Occidental del Caribe, y presentan muy bajas concentraciones de sílice disuelta y concentraciones muy elevadas de sales disueltas, lo cual indica que las especies aportadas a las aguas de estos ríos provienen principalmente de la alteración de minerales carbonáticos o evaporíticos.

Con el propósito de determinar si el aporte de sílice disuelta a los ríos seleccionados proviene principalmente de la alteración de aluminosilicatos, se graficó la relación $\text{SiO}_2/\Sigma +$ para los ríos bajo estudio, considerando la cuenca hidrográfica a la que pertenecen (Figura 38). Como se puede visualizar en la figura, esta relación para las aguas de los ríos pertenecientes a las cuencas del norte del país, así como para la de los ríos del margen izquierda del Orinoco, se alejan de la linealidad entre la concentración de sílice disuelta y la concentración catiónica total, lo que indica que el aporte de las especies iónicas en las aguas de estos ríos no proviene solamente de la alteración de aluminosilicatos, sino de una mezcla de aguas que están en contacto con rocas metasedimentarios o sedimentarias que contienen carbonatos, pirita o yeso. En este sentido la relación $\text{SiO}_2/\Sigma +$ para los ríos de las cuencas del norte y del margen izquierdo del Orinoco es muy baja, lo que indica que las altas concentraciones de especies iónicas se deben a la mayor solubilidad de los carbonatos y sulfatos presentes en las cuencas de drenaje de esos ríos; contrario a lo que se observa en la cuenca del Cuyuní y en la margen derecha del Orinoco, donde la tendencia es lineal y la relación $\text{SiO}_2/\Sigma +$ es alta, indicando aporte por alteración de aluminosilicatos.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela

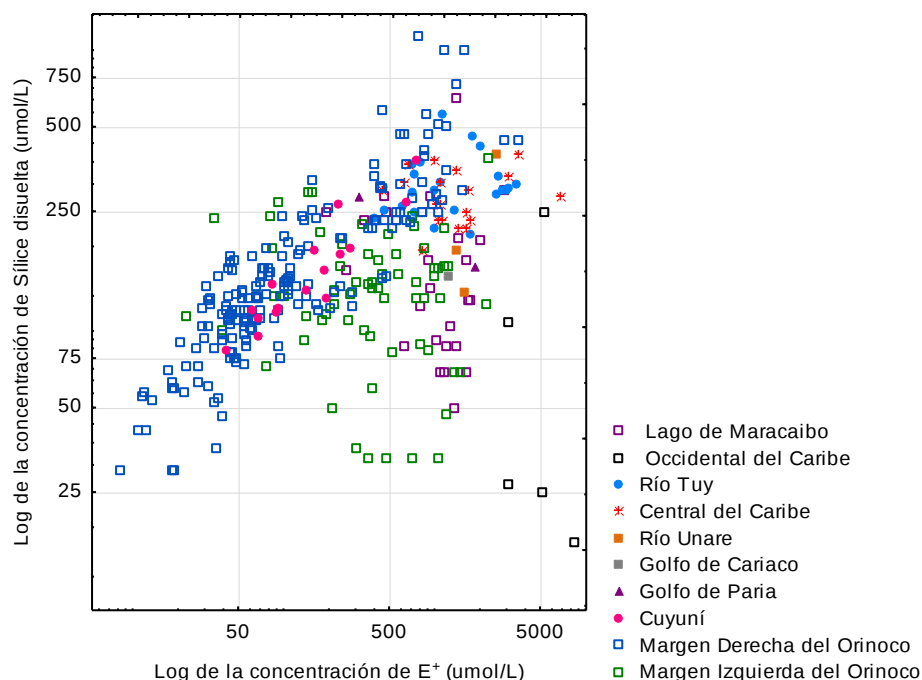


Figura 38: Relación entre sílice disuelta y concentración catiónica total (E+) para las principales cuencas de Venezuela

Por su parte, para confirmar la posible fuente de calcio a partir de la alteración de calcita o argonito, en las distintas cuencas del país y así poder comprender su distribución espacial, se gráfico la relación entre calcio y bicarbonato para los ríos seleccionados, considerando la cuenca hidrográfica a la cual pertenecen (Figura 39). Nuevamente se ha realizado la separación de los ríos del margen derecho y margen izquierdo de la cuenca del Orinoco debido a las diferencias observadas anteriormente entre los ríos de las dos márgenes.

La relación molar $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ para los ríos de la cuenca del Lago de Maracaibo presenta una pendiente muy cercana a la correspondiente a la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ para la alteración de la calcita ($m=0,5$), esto permite inferir que en las aguas de los ríos de esta cuenca existe aporte de calcio y bicarbonato por alteración de este mineral. Sin embargo, algunos ríos de esta cuenca se alejan de la tendencia para la alteración de la calcita, lo que indica que existe otra fuente adicional de calcio a las aguas de los ríos de esta cuenca, la cual puede ser la alteración de plagioclasa cálcica ($\text{An}>50$), algún otro



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



aluminosilatos que contenga calcio y que este presente en rocas máficas o intermedias, o la meteorización química de yeso o anhidrita en rocas evaporíticas.

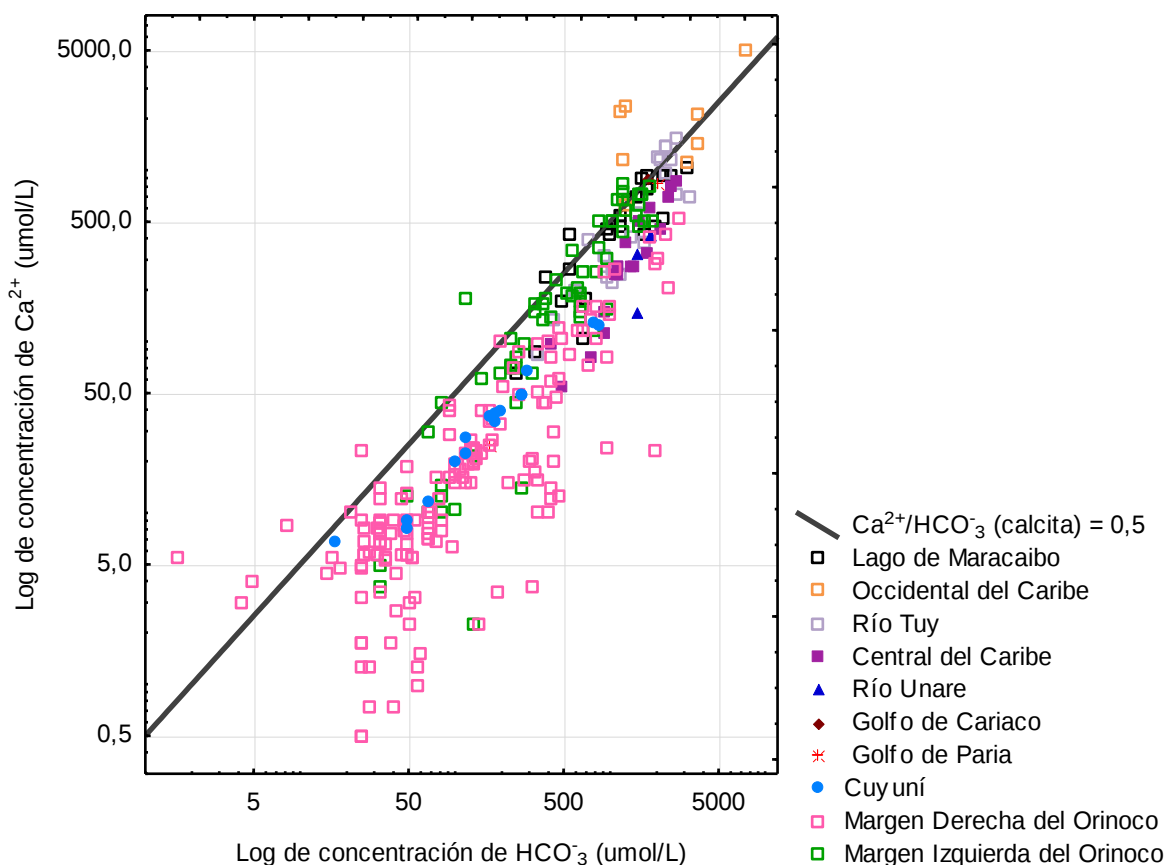


Figura 39: Relación entre calcio y bicarbonato para las principales cuencas hidrográficas de Venezuela.

La pendiente de la relación molar $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ para las aguas de los ríos de la cuenca Occidental del Caribe es idéntica a la pendiente de la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ para la alteración de la calcita ($m=0,5$), esto permite afirmar que en las aguas de los ríos de esta cuenca el calcio proviene de la alteración de calizas con calcita o aragonito. Sin embargo, los caños Dieguima y El Tuque así como los ríos Aroa, Mitare y Zazarida se alejan sobre la tendencia de la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ para la calcita, lo que sugiere una fuente extra de este catión a las aguas de estos ríos, posiblemente a la alteración de yeso de rocas evaporíticas. En cuanto a la cuenca del Golfo de Paria y a la cuenca del río Tuy, la relación molar entre el calcio y el bicarbonato poseen pendientes muy



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



cercanas a la correspondiente a la relación para la alteración de la calcita, lo cual indica que en estas aguas existe aporte de calcio y bicarbonato por alteración de este mineral. Sin embargo, algunos ríos de la cuenca del Tuy (río Guare y río Súcuta) se alejan por encima de la tendencia, indicando que hay una fuente adicional de calcio a las aguas de estos ríos, que no proviene de la alteración de carbonatos, posiblemente de minerales de rocas máficas o ultramáficas.

Con respecto a la cuenca Central del Caribe y la cuenca del Río Unare, el calcio aportado a las aguas de sus ríos parece no estar controlado por una fuente carbonática, posiblemente este calcio provenga de la alteración de plagioclasas con alto contenido de calcio. Por su parte, el calcio aportado al río Cariaco (Golfo de Cariaco) sí proviene de una fuente carbonática, observándose que el punto correspondiente a este río se encuentra justamente en la línea de tendencia de la alteración de la calcita.

La relación molar $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ para la cuenca del río Cuyuní y del Orinoco también se muestra en la figura 39. En ella se puede observar que los ríos de la margen izquierda de la cuenca del río Orinoco se encuentran muy cerca de la línea de tendencia de la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ para la alteración de la calcita, lo que puede confirmar el aporte de calcio a las aguas de estos ríos por la alteración de las calizas y rocas metasedimentarias ubicadas en los Andes venezolanos, mientras que los ríos de la margen derecha y del Cuyuní están alejados de esta tendencia, ambos con una pendiente mucho menor a la correspondiente a la alteración de la calcita. Por lo tanto, se puede sugerir que a diferencia de la margen izquierda del Orinoco, el aporte de calcio a las aguas de los ríos de la margen derecha de esta cuenca y a los ríos de la cuenca del Cuyuní no está controlado por una fuente carbonática, sino posiblemente por la alteración de aluminosilicatos de calcio, característicos de rocas máficas y ultramáficas, principalmente del cinturón de rocas verdes de la Provincia de Pastora. De igual forma existen ríos pertenecientes a la cuenca del Orinoco los cuales se alejan sobre la tendencia correspondiente a la alteración de la calcita, indicando una posible fuente extra de calcio a las aguas de estos ríos.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Con el propósito de determinar la fuente de magnesio a las aguas de los distintos ríos seleccionados y poder comprender su distribución espacial a nivel regional, se graficó la relación magnesio versus bicarbonato para los ríos seleccionados, en función de sus respectivas cuencas (Figura 40).

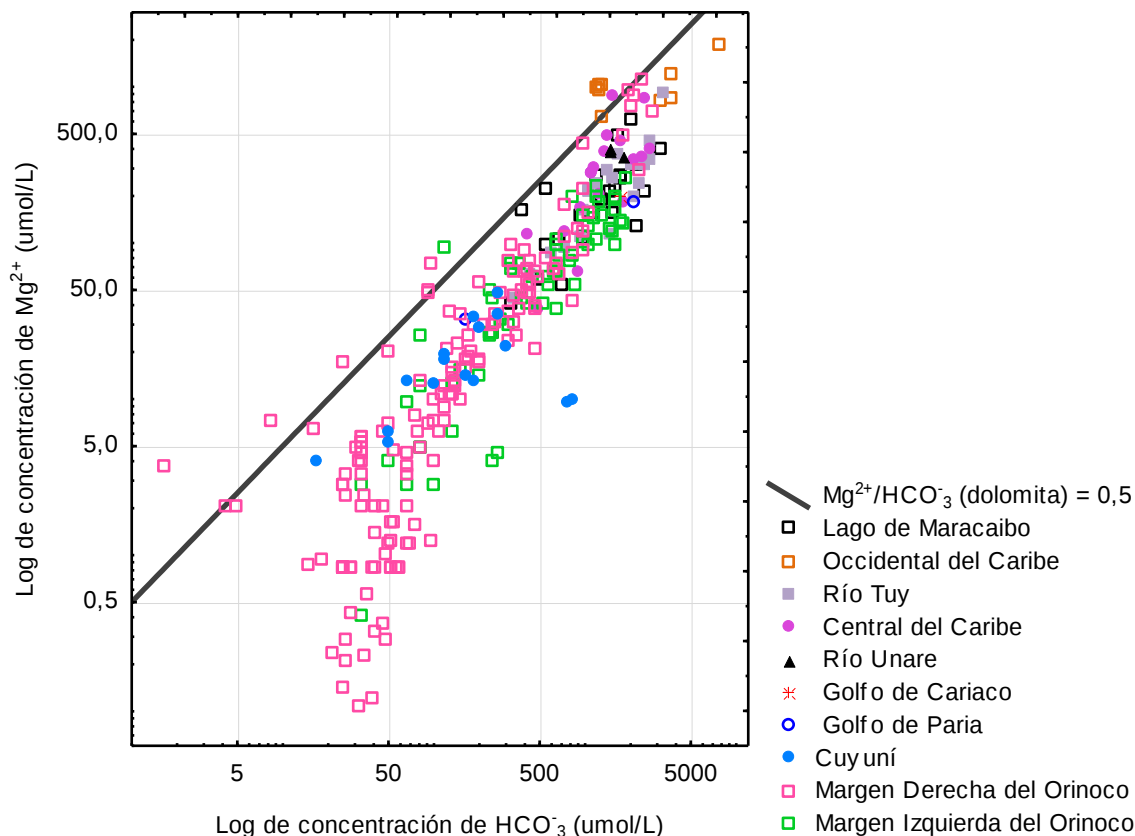


Figura 40: Relación entre el magnesio y el bicarbonato para las principales cuencas de Venezuela.

Como se puede observar en la figura 40, la mayoría de los puntos correspondientes a los ríos seleccionados se encuentran por debajo de la línea de tendencia perteneciente a la alteración de carbonato de magnesio, por lo que se puede inferir que el aporte de magnesio a las aguas de estos ríos está controlado principalmente por una fuente no carbonática, posiblemente de aluminosilicatos. No obstante, la quebrada Las Yeguas (Cuenca Occidental del Caribe) parece presentar un importante aporte de magnesio por parte de la alteración de minerales carbonáticos; mientras que el caño El Tuque, y los



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



ríos Aroa y Zazarida se alejan sobre la recta correspondiente a la alteración de carbonato de magnesio, indicando un aporte extra de magnesio a sus aguas, posiblemente de otro mineral evaporítico alto en magnesio.

De igual forma, mediante la figura 40, se puede asegurar que el magnesio aportado a las aguas de los ríos de la cuenca del Cuyuní y a la mayoría de los ríos del Orinoco no provienen de una fuente carbonática, sino de la alteración de aluminosilicatos característicos de rocas máficas y ultramáficas; sin descartar que en la cuenca del Orinoco exista otra fuente adicional de magnesio a sus aguas.

Ahora bien, para determinar la fuente de sodio a las aguas de los ríos seleccionados y así comprender el patrón de distribución de esta especie, se gráfico la relación entre el sodio y el cloruro (Figura 41), atendiendo a la cuenca hidrográfica a la cual pertenece cada uno de los ríos. En esta figura se observa que los ríos pertenecientes a la cuenca del Lago de Maracaibo presentan una tendencia hacia valores altos de sodio y valores menores de cloruro, encontrándose alejados de la línea de tendencia perteneciente a la alteración de minerales evaporíticos y aerosol marino. Esto puede indicar que el aporte de sodio a las aguas de esta cuenca proviene de la alteración de aluminosilicatos que contengan sodio, principalmente de plagioclasa ($An < 50$) como la albita.

Por su parte, las aguas de los ríos de la cuenca Occidental del Caribe presentan un aporte importante de sodio y cloruro proveniente de la alteración de evaporitas, así como un aporte adicional de este catión por otra fuente; mientras que algunos ríos de la cuenca Central Caribe presentan aporte de sodio y cloruro por aerosol marino (quebrada San Ignacio, río Chico, río Petaquire), otros por alteración de minerales evaporíticos (río Aricagua y Caño Amarillo), y otros presentan sodio aportado a sus aguas por la de plagioclasa sódica. En cuanto a la cuenca del Golfo de Paria y la cuenca del Golfo de Cariaco, el sodio aportado a las aguas de sus ríos proviene de la alteración de minerales evaporíticos, aunque el río San Juan parece poseer una fuente extra de este catión, posiblemente alteración de albita.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



La cuenca del río Unare y la cuenca del río Tuy, como la del Lago de Maracaibo, no presentan aporte de sodio por parte de alteración de minerales evaporíticos o aerosol marino, por lo tanto el aporte de esta especie a las aguas de los ríos de estas cuencas está controlado por la disolución de plagioclasa sódica.

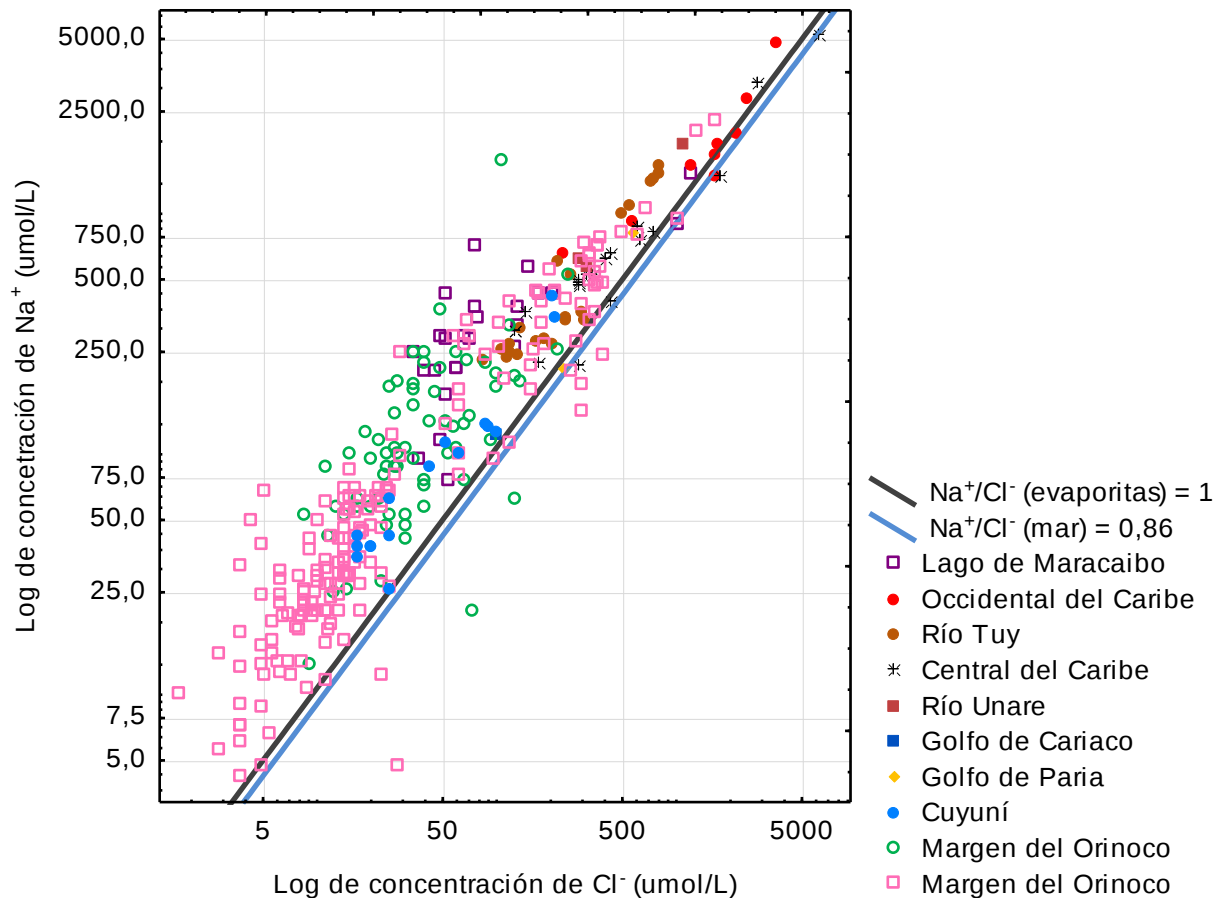


Figura 41: Relación entre el sodio y cloruro para las principales cuencas de Venezuela.

Igualmente en la figura 41 se puede visualizar que las muestras de aguas para los ríos pertenecientes a la cuenca del Cuyuní y del Orinoco (ambos márgenes) presentan una tendencia distinta a la marcada por la pendiente de la relación Na^+/Cl^- para los aerosoles marinos y para la alteración de los minerales evaporíticos, por lo tanto se asegura que el aporte de sodio a estos ríos está controlado por la alteración de aluminosilicatos.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



En cuanto al potasio, se gráfico la relación entre este catión y el bicarbonato con el objeto de entender su fuente y distribución en las aguas de los ríos venezolanos, en función a la cuenca hidrográfica a la que pertenecen, dicha relación se muestra en la Figura 42. En esta figura se visualiza como los ríos pertenecientes a la cuenca del Orinoco (ambos márgenes) y del Cuyuní siguen una tendencia líneal, lo cual permite inferir que el potasio aportado a las aguas de estos ríos proviene de la meteorización de silicatos, especialmente de los feldespatos potásicos (ortosa, sadinita, o microclino).

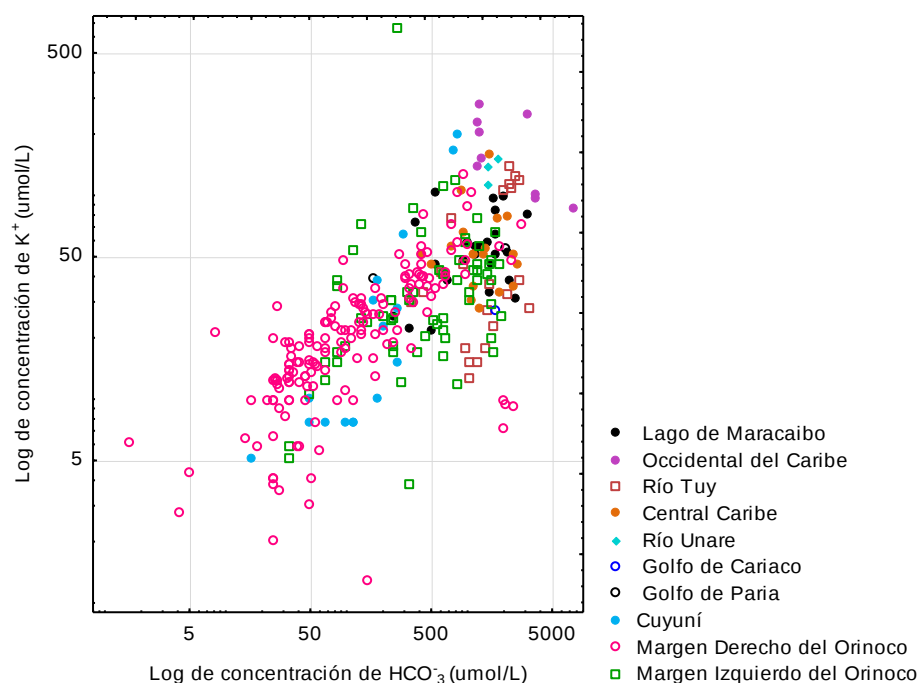


Figura 42: Relación entre el potasio y bicarbonato para las principales cuencas de Venezuela.

Por su parte, las cuencas del norte de Venezuela presentan una tendencia hacia valores altos de potasio, lo que puede sugerir que en las aguas de los ríos de estas cuencas existe un aporte extra de potasio de minerales evaporíticos.



4.6. Grupos de ríos con características hidrogeoquímicas similares y sus valores de referencia, en función de las especies mayoritarias

Los valores de referencia de las especies mayoritarias presentes en las aguas de los ríos seleccionados fueron estimados mediante el método estadístico iterativo 2σ propuesto por Matschullat *et al.* (2000), con una ligera modificación. Cálculándose a partir de la mediana y la desviación estándar de los elementos mayoritarios de un conjunto de datos perteneciente a cada grupo o población de ríos identificada y separada mediante la curva de frecuencia acumulada de sales disueltas totales (Figura 12). A partir de este método, así como de la distribución espacial de las especies disueltas estudiadas y el grado de mineralización de las aguas, se lograron establecer seis grupos de ríos, considerándose los valores de referencia para dichas especies:

Grupo 1: Caracterizados por presentar principalmente un tipo de agua Na^+/Cl^- , pH menores a 5,58 y concentraciones de sales disueltas entre 0,83 a 3,04 mg/L; con los siguientes valores de referencia de concentraciones de: sílice disuelta ($2,00 \pm 0,60$ mg/L), calcio ($0,05 \pm 0,04$ mg/L), magnesio (ND), sodio ($0,20 \pm 0,12$ mg/L), potasio ($0,08 \pm 0,06$ mg/L), cloruro ($0,17 \pm 0,08$ mg/L), sulfato ($0,15 \pm 0,18$ mg/L) y bicarbonato (ND). Los ríos pertenecientes a este grupo drenan sobre rocas muy poco susceptibles a la meteorización, como lo son las rocas de la provincia de Roraima.

Grupo 2. Constituido por ríos que poseen aguas principalmente de tipo $\text{K}^+ - \text{HCO}_3^-$, $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ y $\text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$, valores de pH menores a 6,00 y concentraciones de sales disueltas entre 3,06 a 7,48 mg/L, con los siguientes valores de referencia de concentraciones de: sílice disuelta ($4,87 \pm 1,96$ mg/L), calcio ($0,17 \pm 0,10$ mg/L), magnesio ($0,03 \pm 0,02$ mg/L), sodio ($0,37 \pm 0,12$ mg/L), potasio ($0,30 \pm 0,16$ mg/L), cloruro ($0,47 \pm 0,24$ mg/L), sulfato ($0,65 \pm 0,28$ mg/L) y bicarbonato ($1,50 \pm 0,16$ mg/L). Los ríos que conforman este grupo pertenecen tanto a la margen derecha del Orinoco, donde drenan sobre metareniscas feldespáticas y granitos, como a la cuenca del Cuyuní, donde en la cabecera afloran rocas de la Provincia de Roraima, o/y gneis, cuarcitas y granulitas del Complejo de Imataca y metavolcánicas ácidas de la Provincia de Pastora. Así como



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



algunos ríos de la margen izquierda del Orinoco que discurren sobre la región de los Llanos, sobre sedimentos del Plio-Pleistoceno de la Formación Mesa, y sobre los plutones graníticos que intrusionan diversas rocas cristalinas (ígneas y metamórficas) que se presentan en el Escudo de Guayana, muy meteorizados, donde se han desarrollado gruesos perfiles de meteorización y horizontes lateríticos.

Grupo 3. Integrado por ríos que se caracterizan por presentar principalmente aguas de tipo $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$, $\text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$, pH menores a 6,48 y concentraciones de sales disueltas entre los 7,66 y los 75,23 mg/L, con los siguientes valores de referencia de concentraciones de: sílice disuelta ($7,4 \pm 1,54$ mg/L), calcio ($0,34 \pm 0,09$ mg/L), magnesio ($0,12 \pm 0,04$ mg/L), sodio ($0,62 \pm 0,20$ mg/L), potasio ($0,82 \pm 0,58$ mg/L), cloruro ($1,80 \pm 0,82$ mg/L), sulfato ($1,11 \pm 0,36$ mg/L) y bicarbonato ($3,00 \pm 1,54$ mg/L). En este grupo se encuentran los que discurren sobre rocas cristalinas muy meteorizadas del Escudo de Guayana de la Provincia de Cuchivero y del Granito de Parguaza, así como de la Provincia de Pastora, en la Cuenca del río Cuyuní, y también sobre rocas metamórficas como gneises y esquistos, de la Cordillera de los Andes, composicionalmente resistentes ante los procesos de meteorización.

Grupo 4. Conformado por ríos que presentan aguas de tipo $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$, $\text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ principalmente, valores de pH menores a 7,40 y concentraciones de sales disueltas entre 75,9 y 236 mg/L, con los siguientes valores de referencia de concentraciones de: sílice disuelta ($10,6 \pm 2,60$ mg/L), calcio ($0,60 \pm 0,34$ mg/L), magnesio ($1,17 \pm 0,60$ mg/L), sodio ($5,80 \pm 2,44$ mg/L), potasio ($2,80 \pm 4,58$ mg/L), cloruro ($10,8 \pm 1,60$ mg/L), sulfato ($3,40 \pm 2,88$ mg/L) y bicarbonato ($63,0 \pm 21,0$ mg/L). Los ríos de este grupo drenan sobre rocas metavolcánicas básicas de la Provincia de Pastora, aunque corresponden mayormente a los que drenan la margen derecha del río Orinoco, cuyas cabezeras y parte de su curso provienen de las cordilleras de la Costa y los Andes, caracterizado morfológicamente por zonas con litologías de rocas metamórficas que conforman laderas pronunciadas, paisajes de relieve alto y alargados, de alta pendiente, que favorecen el escurrimiento rápido de las aguas de lluvia y lo poca interacción con el sustrato.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela



Grupo 5. Constituido por ríos que poseen principalmente aguas de tipo $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$, $\text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$, pH menores a 8,50 y concentraciones de sales disueltas entre 244 y 376 mg/l, con los siguientes valores de referencia de concentraciones de: sílice disuelta ($14,5 \pm 1,00$ mg/L), calcio ($2,65 \pm 2,04$ mg/L), magnesio ($4,40 \pm 1,48$ mg/L), sodio ($14,2 \pm 4,28$ mg/L), potasio ($4,11 \pm 0,40$ mg/L), cloruro ($21,8 \pm 6,54$ mg/L), sulfato ($16,5 \pm 9,80$ mg/L) y bicarbonato ($97,0 \pm 14,0$ mg/L). Los ríos que constituyen este grupo drenan litologías que poseen una alta capacidad tampón (esquistos cuarzo-micáceos-feldespáticos, lutitas calcareas, calizas), donde la presencia de carbonatos son los responsables de los citados valores.

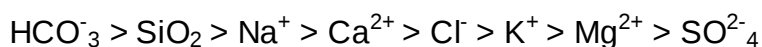
Grupo 6. Integrado por ríos que se caracterizan por presentar aguas de tipo $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$, valores de pH mayores a 8,50 y concentraciones de sales disueltas mayores a 387 mg/L, con los siguientes valores de referencia de concentraciones de: sílice disuelta ($17,5 \pm 2,12$ mg/L), calcio ($45,9 \pm 10,4$ mg/L), magnesio ($21,5 \pm 6,82$ mg/L), sodio ($31,5 \pm 3,46$ mg/L), potasio ($9,00 \pm 2,62$ mg/L), cloruro ($57,5 \pm 31,8$ mg/L), sulfato ($78,9 \pm 10,6$ mg/L) y bicarbonato ($190 \pm 50,6$ mg/L). Este grupo está conformado por ríos cuyas aguas presentan mezcla con agua de mar.



CONCLUSIONES

1) El tipo de agua $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ es el más abundante en los ríos estudiados de Venezuela, mientras que el subtipo de aguas más abundante es el subtipo $\text{Ca}^{2+}>\text{Mg}^{2+}>\text{Na}^+>\text{K}^+ \leftrightarrow \text{HCO}_3^->\text{Cl}^->\text{SO}_4^{2-}$.

2) El orden de abundancia de las especies mayoritarias presentes en las aguas de los ríos venezolanos, considerando el valor de la mediana estimada para los ríos estudiados es la siguiente:



La elevada concentración de sílice disuelta con respecto a las demás especies, indica que en las cuencas del país el grado de meteorización química es intenso, característico de un clima tropical.

3) La alta variación observada en el pH, en términos de su distribución espacial, reflejan la diversa y compleja distribución litológica de Venezuela. Las variaciones de pH son producto de la presencia en menor o mayor proporción en las rocas, de la cuenca, de minerales con una alta capacidad de neutralización de las aguas de lluvia, lixiviados de la vegetación, así como producto de la hidrólisis de los silicatos, aluminosilicatos y sulfuros de las mismas.

4) La variación espacial de la concentración de los elementos mayoritarios, conductividad y sales disueltas está controlada por la litología, el ambiente tectónico y las condiciones morfolimáticas presente en las distintas cuencas hidrográficas del país. Los valores más elevados de estas variables se consiguen en los ríos de las cuencas ubicadas en regímenes tectónicamente activos, así como en cuencas donde afloran litologías carbonáticas y minerales evaporíticos. Por su parte, los valores más bajos de conductividad y sales disueltas se encuentran en regiones tectónicamente estables, donde ocurren rocas cristalinas y metasedimentarias intensamente meteorizadas y se favorece el desarrollo de grandes perfiles de meteorización, así como en regiones que



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



presentan grandes extensiones cubiertas de sedimentos poco o no consolidados con una alta proporción de resistatos

5) El grado de mineralización de las aguas, así como la distribución espacial de las especies disueltas determinadas, permite proponer seis grupos de ríos, considerando los valores de referencia para los cationes, aniones y sílice disuelta:

Grupo 1: Caracterizados por presentar principalmente un tipo de agua Na^+/Cl^- , pH menores a 5,58 y concentraciones de sales disueltas entre 0,83 a 3,04 mg/L; con los siguientes valores de referencia de concentraciones de: sílice disuelta ($2,00 \pm 0,60$ mg/L), calcio ($0,05 \pm 0,04$ mg/L), magnesio (ND), sodio ($0,20 \pm 0,12$ mg/L), potasio ($0,08 \pm 0,06$ mg/L), cloruro ($0,17 \pm 0,08$ mg/L), sulfato ($0,15 \pm 0,18$ mg/L) y bicarbonato (ND). Los ríos pertenecientes a este grupo drenan sobre rocas muy poco susceptibles a la meteorización, como lo son las rocas de la provincia de Roraima.

Grupo 2. Constituido por ríos que poseen aguas principalmente de tipo $\text{K}^+ - \text{HCO}_3^-$, $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ y $\text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$, valores de pH menores a 6,00 y concentraciones de sales disueltas entre 3,06 a 7,48 mg/L, con los siguientes valores de referencia de concentraciones de: sílice disuelta ($4,87 \pm 1,96$ mg/L), calcio ($0,17 \pm 0,10$ mg/L), magnesio ($0,03 \pm 0,02$ mg/L), sodio ($0,37 \pm 0,12$ mg/L), potasio ($0,30 \pm 0,16$ mg/L), cloruro ($0,47 \pm 0,24$ mg/L), sulfato ($0,65 \pm 0,28$ mg/L) y bicarbonato ($1,50 \pm 0,16$ mg/L). Los ríos que conforman este grupo pertenecen tanto a la margen derecha del Orinoco, donde drenan sobre metareniscas feldespáticas y granitos, como a la cuenca del Cuyuní, donde en la cabecera afloran rocas de la Provincia de Roraima, o/y gneis, cuarcitas y granulitas del Complejo de Imataca y metavolcánicas ácidas de la Provincia de Pastora. Así como algunos ríos de la margen izquierda del Orinoco que discurren sobre la región de los Llanos, sobre sedimentos del Plio-Pleistoceno de la Formación Mesa, y sobre los plutones graníticos que intrusionan diversas rocas cristalinas (ígneas y metamórficas) que se presentan en el Escudo de Guayana, muy meteorizados, donde se han desarrollado gruesos perfiles de meteorización y horizontes lateríticos.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Grupo 3. Integrado por ríos que se caracterizan por presentar principalmente aguas de tipo $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, pH menores a 6,48 y concentraciones de sales disueltas entre los 7,66 y los 75,23 mg/L, con los siguientes valores de referencia de concentraciones de: sílice disuelta ($7,4\pm1,54$ mg/L), calcio ($0,34\pm0,09$ mg/L), magnesio ($0,12\pm0,04$ mg/L), sodio ($0,62\pm0,20$ mg/L), potasio ($0,82\pm0,58$ mg/L), cloruro ($1,80\pm0,82$ mg/L), sulfato ($1,11\pm0,36$ mg/L) y bicarbonato ($3,00\pm1,54$ mg/L). En este grupo se encuentran los que discurren sobre rocas cristalinas muy meteorizadas del Escudo de Guayana de la Provincia de Cuchivero y del Granito de Parguaza, así como de la Provincia de Pastora, en la Cuenca del río Cuyuní, y también sobre rocas metamórficas como gneises y esquistos, de la Cordillera de los Andes, composicionalmente resistentes ante los procesos de meteorización.

Grupo 4. Conformado por ríos que presentan aguas de tipo $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ principalmente, valores de pH menores a 7,40 y concentraciones de sales disueltas entre 75,9 y 236 mg/L, con los siguientes valores de referencia de concentraciones de: sílice disuelta ($10,6\pm2,60$ mg/L), calcio ($0,60\pm0,34$ mg/L), magnesio ($1,17\pm0,60$ mg/L), sodio ($5,80\pm2,44$ mg/L), potasio ($2,80\pm4,58$ mg/L), cloruro ($10,8\pm1,60$ mg/L), sulfato ($3,40\pm2,88$ mg/L) y bicarbonato ($63,0\pm21,0$ mg/L). Los ríos de este grupo drenan sobre rocas metavolcánicas básicas de la Provincia de Pastora, aunque corresponden mayormente a los que drenan la margen derecha del río Orinoco, cuyas cabezas y parte de su curso provienen de las cordilleras de la Costa y los Andes, caracterizado morfológicamente por zonas con litologías de rocas metamórficas que conforman laderas pronunciadas, paisajes de relieve alto y alargados, de alta pendiente, que favorecen el escurrimiento rápido de las aguas de lluvia y lo poca interacción con el sustrato.

Grupo 5. Constituido por ríos que poseen principalmente aguas de tipo $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, pH menores a 8,50 y concentraciones de sales disueltas entre 244 y 376 mg/l, con los siguientes valores de referencia de concentraciones de: sílice disuelta ($14,5\pm1,00$ mg/L), calcio ($2,65\pm2,04$ mg/L), magnesio ($4,40\pm1,48$ mg/L), sodio ($14,2\pm4,28$ mg/L), potasio ($4,11\pm0,40$ mg/L), cloruro ($21,8\pm6,54$ mg/L), sulfato



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



($16,5 \pm 9,80$ mg/L) y bicarbonato ($97,0 \pm 14,0$ mg/L). Los ríos que constituyen este grupo drenan litologías que poseen una alta capacidad tampón (esquistos cuarzo-micáceos-feldespáticos, lutitas calcareas, calizas), donde la presencia de carbonatos son los responsables de los citados valores.

Grupo 6. Integrado por ríos que se caracterizan por presentar aguas de tipo Ca^{2+} - HCO_3^- , valores de pH mayores a 8,50 y concentraciones de sales disueltas mayores a 387 mg/L, con los siguientes valores de referencia de concentraciones de: sílice disuelta ($17,5 \pm 2,12$ mg/L), calcio ($45,9 \pm 10,4$ mg/L), magnesio ($21,5 \pm 6,82$ mg/L), sodio ($31,5 \pm 3,46$ mg/L), potasio ($9,00 \pm 2,62$ mg/L), cloruro ($57,5 \pm 31,8$ mg/L), sulfato ($78,9 \pm 10,6$ mg/L) y bicarbonato ($190 \pm 50,6$ mg/L). Este grupo está conformado por ríos cuyas aguas presentan mezcla con agua de mar.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



RECOMENDACIONES

- 1) Ampliar el estudio, aumentando el número de ríos y haciendo el análisis en función del área de la cuenca, con el fin de precisar mejor el aporte de componentes químicos y las características hidrogeoquímicas de las aguas en función del ambiente geológico y climático.
- 2) Promover el monitoreo continuo de los cuerpos de aguas superficiales de Venezuela, de tal forma de crear una base de datos, que permita evaluar el impacto de las actividades antrópicas en los ríos, caños y quebradas con el paso del tiempo, estableciendo esta investigación como punto de partida y comparación.
- 3) Establecer programas de monitoreo y seguimiento ambiental de los ríos por cuenca de drenaje, con la participación de equipos multidisciplinarios, entes gubernamentales y comunitarios, con el objetivo de garantizar la conservación y el buen manejo de estos cuerpos de agua.
- 4) Comenzar la organización sistematizada de la información existente sobre los ríos venezolanos, de forma tal que sus características fisicoquímicas y composicionales permitan inferir las condiciones actuales de las cuencas hidrográficas del país.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamson, A.W., 1979. Química física. Editorial Reverte SA., 663p.
- Albarède, F., 2009. *Geochemistry: An Introduction* (2ª ed.). Cambridge University Press, 355p.
- Andrade, M.M., Coimbra, A.M., Seyler, P., Veloso, C.A., 2009. *Hidroquímica de Río Solimoes na regioao entre Manacapure e Alvaraes-Amazonas-Brasil*. Acta Amazonica, 39 (4), 943-952.
- APHA., 1995. *Standard Methods of Examination of Water and Wastewater* (20va ed). American Public Health Association (FAO). Washington.
- Arias, F. G., 2012. *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica* (5ta ed). Fideas G. Arias Odón.
- Astíz, S., 2012. *Deterioro del recurso agua en el río Cataniapo, Amazonas, Venezuela*. Tecnología y Ciencias del Agua, III (3), 5-20.
- Barreto, M.G., 2006. *Estudio hidrogeoquímico de las aguas superficiales de la zona costera comprendida entre las bocas de los ríos Yaracuy y Tocuyo, Estado Falcón, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela. 119p.
- Bernardo, L.M., 1995. *Estudio de las aguas de los Ríos que drenan sobre las rocas del complejo de Cuchivero*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela. 135p.
- Blanco, L., 2011. *Estudio hidrogeoquímico de la cuenca del río Caucagua, estado Miranda*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela. 97p.
- Brownlow, A., 1996. *Geochemistry* (2ª ed.). Nueva Jersey: Prentice, Hall. 580p.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Burguera, J., Burguera, M. y Rivas, P., 1986. *Estudio de la contaminación del río Albarregas*. Acta Científica Venezolana, 37, 657-666.

Butz, S., 2004. *Science of Earth Systems*. Estados Unidos; Delmar Learning, 661p.

Callejón, A., 1985. Estudio de la geoquímica de la contaminación de las cuencas de los ríos Tigre y Caris, estados Anzoátegui y Monagas. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Postgrado en Geoquímica. UCV, Caracas, Venezuela.

Chen, J., Wang, F., Xia, X. y Zhang, L., 2002. *Major element chemistry of the Changjiang (Yangtze River)*. Chemical Geology, 187, 231 – 255.

Denecke, E.J., 2007. *Earth Science-The Physical Setting* (3^a ed.). Nueva York: Barron's, 775p.

Dietrich, W. E., Day, G. M. Day, y Parker, G. 1999. *The Fly River, Papua New Guinea: Inferences about floodplain sedimentation and fate of sediment, in Varieties of Fluvial Form*. Nueva York: John Wiley. 345-376p.

Dómenech, X., 2006. *Química Ambiental de Sistemas Terrestres*. Barcelona, España: Editorial Reverté, 237p.

Drever, 1988. *The geochemistry of natural waters*. 2nd. Ed. Prentice Hall, Englewood Cliff, N.J. 437p.

Drever, J., 1994. *The effect of land plants on weathering rates of silicate minerals*. Geochim. Et Cosmochim. Acta, 58, 2325-2332.

Dudgeon, D., 2008. *Tropical Stream Ecology*. Hong Kong, China: Elsevier, 324p.

EDELCA., 1984. *Caracterización de la Cuenca Caroní-Paragua*. C.V.G. Electrificación del Caroní, Informe Interno. Versión Preliminar, 205p.

Edmond, J.M., Palmer, M.R., Measures, C.I., Grant, B., Stallard, R.F., 1995. *Fluvial Geochemistry and Denudation Rate of the Guyana Shield*. Geochem. Cosmochem. Acta 59, 3301-3325.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Ewel, J. y Madriz, A., 1968. *Zonas de vida de Venezuela*. MAC, Dirección de Investigación Ed Sucre. Caracas, 265p.

FAO. 2015. [On-line]. AQUASTAT website. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

FAO., 2009. *Guía para la elaboración de planes de manejo de microcuencas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). San Marcos, Guatemala. 68p.

Faure, G., 1998. *Principles and Applications of Geochemistry* (2ª ed.). Nueva Jersey: Prentice Hall, 625p.

Franzinelli, E., Igreja, H., 2002. *Modern sedimentation in the lower Negro river, Amazonas State, Brazil*. Geomorphology, 259-272.

Fundambiente., 2006. *Recursos hídricos de Venezuela*. Serie de Publicaciones del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y la Fundación de Educación Ambiental, 167p.

Galuska, A., 2007. *A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland*. Environmental Geology, 52 (5), 861-870.

Gambino, E.F., 1987. *Caracterización geoquímica en ríos que drenan la Gran Sabana*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela.

Garrels, R.M. y Christ, C.L., 1965. *Solutions, minerals, and equilibria* (1ra ed.). Nueva York: Harper & Row. 450p.

Gibbs, R., 1967. *The Geochemistry of the Amazon River System, The factor that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids*. Geological Society of America Bulletin, 78 (10), 1203-1232.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Gifford, C., 2005. *Looking at landscapes: Weathering and Erosion*. Londres, Inglaterra: Evans Brothers Limited, 47p.

González de Juana, C., Iturralde, J. y Picard, X., 1980. *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Ediciones FONINVES. 1001p.

González de Juana, C., Muños, N.G. y Vigali, M., 1968. *On the geology of the Eastern Paria (Venezuela)*. Trans. Fourth Caribbean Geol. Conf., Port of Spain, 25-29.

González, A., 2013. *Estudio de la calidad de agua de afluentes al humedal costero Laguna de Tacarigua, Edo. Miranda, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela. 209p.

Gough, L.P., 1993. *Understanding our fragile environment lessons from geochemical studies*. US Geological Survey, Circular 1105, 1-34.

Gurumurthy, G.P. y Tripi, M., 2015. *Geochemical Perspectives on River Water of the Tropical Basins, Southwestern India*. En Ecosystems. Ramkumar, M., Kumaraswamy K. y Mohanraj, R (Ed) Environmental Management of River Basin (pp 329-353). India: Springer.

Hem, J., 1985. *Study and Interpretation of the chemical characteristics of Natural Water*. (3ª ed.). USA. U. S. Geological Survey. 210p.

Hernández, N., 2011. *Estudio geoquímico de los sólidos disueltos de la cuenca del Río Tuy*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela. 121p.

Kabata-Pendias, A. y Pendias, H., 1992. *Trace elements in soils and plants* (2ª ed.). Boca Raton, Florida: CR Press, 365p.

Konhauser, K.O., Fyfe, W.S y Kronberg B.I., 1994. *Multi-element chemistry of some Amazonian waters and soils*. Chemical Geology, 111 (1-4), 155-175.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Latrubesse, E., Franzinelli, E., 2002. *The Holocene alluvial plain of the middle Amazon river, Brazil*. Geomorphology 44 (3-4), 241-257.

Latrubesse, E., Rance, A., 2000. *Neotectonic influence on tropical rivers of southwestern Amazon during the late Quaternary: the Moa and Ipixuna river basins, Brazil*. Quaternary International, 72, 67-72.

Latrubesse, E.M., Stevaux, J.C. y Sinha, R., 2005. *Tropical Rivers*. Geomorphology. 70 (3-4), 187–206.

Leet, L. y Judson S., 1984. *Fundamentos de geología física*. México, Limusa. 450p.

Léxico Estratigráfico de Venezuela, 2015. Disponible en: <http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm>, versión: 2011 (última revisión: 20/04/2016).

Li, S. y Zhang, Q., 2008. *Geochemistry of the upper Han River basin, China, 1: Spatial distribution of major ion compositions and their controlling factors*. Applied Geochemistry 23, 3535–3544.

Livingstone, D.A., 1963. *Chemical composition of rivers and lakes*. Data of Chemistry: U.S. Geol. Survey Prof Paper 440 Ct, G, 1-64.

Marín, R., 2003. *Fisicoquímica y Microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y Control de Calidad de Aguas*. Editorial Díaz de Santos S.A. Primera edición. Madrid, 336p.

Martínez, Z., Castillo, R., Novo, I., Díaz-Martín, D., Lizaraz, A. y Gallardo, J., 2013. *Situación de los Recursos Hídricos en Venezuela: Hacia una gestión integrada* (2ª ed.). Caracas: AveAgua & GWP Sudamérica, 76p.

Matschullat, J., Ottenstein, R., Reimann, C., 2000. Geochemical background – can we calculate it?. Environmental Geology, 39 (9), p. 990-1000.

Medina, E. y Barboza F., 2006. *Lagunas costeras del Lago de Maracaibo: distribución, estatus y perspectivas de conservación*. Ecotropicos 19: 128-139.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Meybeck, M., 1979. *Concentrations des eaux fluviales en elements majeurs et apports en solution aux oceans*. Rev. Geol. Dyn. Geogr. Phys, 21 (3), 215-246.

Meybeck, M., 1981. *Pathways of mayor elements from land to ocean through rivers*. En J.M Martin, J.D. Burton y D. Eisma (Ed). River input to ocean system, Rome. (pp. 18-30) Unesco-unep-Scor Workshop.

Meybeck, M., 1987. *Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved load*. American Journal of Science, 287. 401-428.

Meybeck, M., 2005. Global occurrence of major elements in rivers. En: Ed. J.I. Drever. Surface and groundwaters, weathering, and soils. Treatise on Geochemistry, Vol. 5. 2da Edition. Eds. K.K. Turekian, H.D. Holland, Elsevier Science., p. 207-223.

Mogollón, J., 1995. Influence of sampling strategy, lithology, vegetation and rainfall on metal background concentrations in sediment of tropical Tuy River basin, Venezuela. Chemical Geology, 121, 263-272.

Mogollón, J., Colina, J. y Bifano, C., 1987. *Geoquímica de la contaminación de dos cuencas hidrográficas de Venezuela*. Interciencia, 12 (2).

Monroe, J., Wicander, R. y Pozo, M., 2008. *Geología Dinámica y Evolución de la Tierra* (4ª ed.). Madrid, España: Paraninfo. 744p.

Montero, R.L., 2006. *Estudio geoquímico de las aguas subterráneas de la Cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela*. Facultad De Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela, 335p.

Morantes, J.M., 1997. *Estudio hidrogeoquímico en la cuenca del Cuyuní, Estado Bolívar, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela. 138p.

MPPA., 2010. Bases para el Plan Nacional de gestión integral de las aguas. Documento borrador. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Caracas, Venezuela.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Oki, K., Kanae S., 2006. *Global Hydrological Cycles and World Water Resources*. Science, 313, 1068-1072.

Okuda, T., Benítez-Álvarez, J., Bonilla, J. y Cedeño, G., 1978. *Características hidrográficas del golfo de Cariaco, Venezuela*. Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente, 17 (1-2), 69-88.

Picard, X., 1968. Geología de la Cuenca de Santa Lucía, Ocumare del Tuy. Boletín de Geología N°19, Caracas, 296p.

Raj, N. y Azeez P., 2009. *Spatial and temporal variation in surface water chemistry of a tropical river, the river Bharathapuzha, India*. Current Science, 96 (2), 245-251.

Ramírez, A., 1980. Contaminación geoquímica: aguas y sedimentos. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 91p.

Ramírez, A., 1984. *Hidrogeoquímica de la Cuenca del Río Tuy*. Trabajo de Ascenso. Instituto de Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 61p.

Ramkumar, M., Kumaraswamy, K. y Mohanraj, R., 2015. *Environmental Management of River Basin Ecosystems*. India: Springer. 760p.

Ramonell, C.G., Amsler, M., Toniolo, H., 2002. *Shifting modes of the Panamá river thalweg in its middle/lower reach*. Zeitschrift für Geomorphologie, 129, 129-142.

Reyes, M.C., 1999. *Estudio hidrogeoquímico de las aguas de los Ríos del Estado Táchira, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela., 131p.

Rodríguez, G. 1994. *Estudio hidrogeoquímico de las cuencas de los ríos Autana y Cataniapo, estado Amazonas*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela. 119p.

Roldán, G., 2003. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Editorial Universidad de Antioquia. Primera edición. Colombia, 142p.



Variación espacial de los parámetros físicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Rose, A.W., Hawkes, H.E., Webb, J.S., 1979. *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press, London, 657p.

Sabater, S. y Elosegí, A., 2009. *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Bilbao, España: Fundación BBVA, 447p.

Salimen, R. y Gregorauskiene, V., 2000. *Considerations regarding the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial material in areas differing in basic geology*. Applied Geochemistry, 15 (5), 647-653.

Saunders, J. y Lewis, W., 1989. *Transport of major solutes and the relationship between solute concentrations and discharge in the Apure River, Venezuela*. Biogeochemistry, 8, 101-113.

Siegel, F., 2002. *Environmental geochemistry of potentially toxic metals*. Berlín, Alemania: Springer.

Skoulikidis, N. T., 1993. *Significance evaluation of factors controlling river water composition*. Environmental Geology, 22, 178-185.

Spencer, R., Stubbins, A. y Gaillardet, J., 2014. *Geochemistry of the Congo River, Estuary and Plume*. En T. Bianchi, M. Allison y W. Cai (Ed), Biogeochemical Dynamics at Major River-Coastal Interfaces (pp 554-583). Cambridge University Press.

Stallard, R.F. y Edmond, J. M., 1981. *Geochemistry of the Amazon I. Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge*. Journal of Geophysical Research, 86, 9844-9858.

Stallard, R.F. y Edmond, J. M., 1983. *Geochemistry of the Amazon II. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load*. Journal of Geophysical Research, 88 (C4), 9671-9688.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



- Stallard, R.F. y Edmond, J. M., 1987. *Geochemistry of the Amazon: 3. Weathering chemistry and limits to dissolved inputs*. Journal of Geophysical Research, 92 (C8), 8293–8302.
- Stallard, R.F., 1985a. *Rivers Chemistry Geology, Geomorphology and soils in the Amazon and Orinoco Basins*. E.J.I. Drever. D. Reidel Publ. Co. Dordrecht, Holland, 293-317.
- Stallard, R.F., 1985b. *Weathering and erosion in the humid tropics*. En A. Leman, y M. Meybeck (Ed) Physical and Chemical weathering in Geochemical Cycles (pp 225-246). Dordrecht, Holland, 225-246.
- Stallard, R.F., 1998. *Terrestrial sedimentation and the carbon cycle: Coupling weathering and erosion to carbon burial*. Global biogeochemical cycles, 12 (2), 231-257.
- Stallard, R.F., Koehnken, L. y Johnson J., 1991. *Weathering Processes and the composition of inorganic material transported through the Orinoco River System, Venezuela and Colombia*. Geoderma, 51, 133-165.
- Stumm, W., y Morgan, J.J., 1981. *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters* (2ª ed.). Wiley, 780p.
- Syvitski, J., Cohen, S., Kettner, A. y Brakenridge, R., (2014). *How important and different are tropical rivers*. Geomorphology, 227, 5-17.
- Vargas, M.J., 1993. *Estudio químico y mineralógico de yacimientos auríferos en la región del Callao, estado Bolívar*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela. 100p.
- Varol, M., Gökot B., Bekleyen, A. y Şen B., 2013. *Geochemistry of the Tigris River basin, Turkey: Spatial and seasonal variations of major ion compositions and their controlling factors*. Quaternary International, 304, 22-32.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



- Velásquez, L.P., 2000. *Hidrogeoquímica de los ríos que drenan los llanos Venezolanos*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela, 108p.
- Viers, J., Dupré, B., Braun, J., Deerd, S., Angeletti, B., Ngoupayou, J.N., Micherd, A., 2000. *Major and trace elements abundances and strontium isotopes in the Nyong basin rivers (Cameroon): constraints on chemical weathering processes and elements transport mechanisms in humid tropical environments*. Chemical Geology, 169, p. 211-241.
- Walpole, R.E., 1972. Myers, R.H., Probability and statistics for engineers and scientists the Macmillan Company, N.Y., 506p.
- Wedepohl, K.H., 1969. Handbook of Geochemistry. Berlín: Springer. 442p.
- Yanes, C. y Ramírez, A., 1988. *Estudio Geoquímico de grandes ríos venezolanos*. Sociedad de Ciencia Naturales, Tomo XLVIII, núm. 130.
- Yanes, C., 1980. *Estudio geoquímico de la cuenca del río Tuy-II (Al, Si, Cu, Zn, P y Mo)*. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 105p.
- Yanes, C., 1988. *Hidrogeoquímica del río Paragua y sus afluentes en el tramo la Paragua-Estación hidrometeorológica de Auraima*. Trabajo de Ascenso, Instituto de Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 199p.
- Yanes, C., 1997. Estudio geoquímico regional de los ríos del Escudo de Guayana. Tesis doctoral. Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Escuela de Geología y Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 313p.
- Yuretich, R., Knapp, E. y Irvine, V., 1993. *Chemical denudation and weathering mechanisms in central Massachusetts, USA*. Chemical Geology, 107 (3-4), 345-347.



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Zambrano, F., 1999. *Caracterización geoquímica de las aguas subterráneas en el estado Táchira. Trabajo especial de grado*. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 209p.

Zambrano, S., 1970. *Estudio Fisiográfico Regional de la Cuenca del Río Tuy*. Boletín de Geología. N° 21. Caracas, 206p.

Zinck, A., 1982. *Ríos de Venezuela*. Cuadernos Lagoven, Caracas, 63p.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



APÉNDICES



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Apéndice A: Ubicación de los puntos de muestreo

Tabla A.1: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de los ríos seleccionados, con la fuente bibliográfica de procedencia de la información.

Río / Qda. / Caño	Cuenca Hidrográfica	Referencia	Latitud (N)	Longitud (W)
Uricu	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°37'09"	62°00'19"
Yurúan Pre-Supamo	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°39'27"	62°01'04"
Supamo	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°41'04"	62°05'45"
Mochila	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°41'31"	61°59'22"
Muinca	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°50'18"	61°51'13"
Yuruarí	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°45'27"	61°39'13"
Yurúan	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°43'09"	61°38'19"
Hacha	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°13'22"	61°57'13"
Urúy	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°06'63"	61°38'18"
Chivao	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°18'39"	61°45'13"
Chicanán	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°28'09"	61°44'04"
Cuyuní (Pre-Chicanán)	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°29'31"	61°42'55"
Cuyuní (Pre-Yurúan)	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°42'55"	61°38'31"
Cuyuní (Pre-Venamo)	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°44'04"	61°05'45"
Venamo	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°42'39"	61°05'45"
Botanomo	CUYUNÍ	Morantes, 1997	06°50'18"	60°50'04"
El Palmar	LAGO DE MARACAIBO	Montero, 2006	07°03'31"	70°58'54"
Zulia	LAGO DE MARACAIBO	Montero, 2006	07°09'02"	70°58'51"
Maniapure	ORINOCO	Bernardo, 1995	06°59'48"	66°42'12"
Suapure	ORINOCO	Bernardo, 1995	06°42'58"	66°45'25"
Trapichote	ORINOCO	Bernardo, 1995	06°38'18"	66°50'43"
Villacos	ORINOCO	Bernardo, 1995	06°25'08"	67°00'00"
Ore	ORINOCO	Bernardo, 1995	06°21'35"	67°04'03"
Parguaza	ORINOCO	Bernardo, 1995	06°17'25"	67°10'32"
Pavón	ORINOCO	Bernardo, 1995	05°54'40"	67°22'42"
Cataniapo	ORINOCO	Bernardo, 1995	05°44'04"	67°34'03"
Cuao	ORINOCO	Bernardo, 1995	04°55'33"	67°39'43"
Autana	ORINOCO	Bernardo, 1995	04°45'24"	67°40'32"
Sipapo	ORINOCO	Bernardo, 1995	04°43'47"	67°44'03"
Villacos	ORINOCO	Bernardo, 1995	06°25'08"	67°00'00"
Cataniapo	ORINOCO	Bernardo, 1995	05°44'04"	67°34'03"
Autana	ORINOCO	Rodríguez, 1994	Desembocadura	
Cataniapo	ORINOCO	Rodríguez, 1994	Desembocadura	
Colonia Tovar	TUY	Hernández, 2011	10°24'20"	67°17'27"
Río Guare	TUY	Hernández, 2012	10°11'54"	67°00'05"
Río Súcuta	TUY	Hernández, 2013	10° 07'41"	66°45'08"
Río Taguaza	TUY	Hernández, 2014	10°13'08"	66°24'44"
Río Cuira	TUY	Hernández, 2015	10°06'45"	66°15'14"
Panaquire	TUY	Hernández, 2016	10°12'54"	66°14'26"
Qda. Yaguapo	TUY	Hernández, 2017	10°13'16"	66°27'35"
Qda. Urba	TUY	Hernández, 2018	10°11'32"	66°17'07"



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice A

Tabla A.1: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de los ríos seleccionados, con la fuente bibliográfica de procedencia de la información.

Río / Qda. / Caño	Cuenca Hidrográfica	Referencia	Latitud (N)	Longitud (W)
Río Sapo	TUY	Hernández, 2019	10°12'48"	66°10'21"
Caño Dieguima	OCCIDENTAL DEL CARIBE	Barreto, 2006	10°55'04'	68°22'44"
Caño El Tuque	OCCIDENTAL DEL CARIBE	Barreto, 2006	10°48' 41"	68°19'54"
Caño Las Yeguas	OCCIDENTAL DEL CARIBE	Barreto, 2006	10°52'10"	68°20'49"
Caño La Empalizada	OCCIDENTAL DEL CARIBE	Barreto, 2006	10°51' 48"	68°20'07"
Tigre	ORINOCO	Callejón, 1985	08°56'32"	64°16'46"
Tigre	ORINOCO	Callejón, 1985	08°56'01"	64°14'57"
Tigre	ORINOCO	Callejón, 1985	08°53'22"	64°08'24"
Tigre	ORINOCO	Callejón, 1985	08°51'36"	63°55'50"
Tigre	ORINOCO	Callejón, 1985	08°49'15"	63°43'27"
Tigre	ORINOCO	Callejón, 1985	08°53'52"	63°26'46"
Tigre	ORINOCO	Callejón, 1985	09°20'29"	62°59'08"
Areo	ORINOCO	Callejón, 1985	08°42'42"	63°49'54"
Areo	ORINOCO	Callejón, 1985	08°42'24"	63°37'48"
Areo	ORINOCO	Callejón, 1985	08°45'58"	63°29'35"
Chive	ORINOCO	Callejón, 1985	09°00'12"	63°40'41"
Oritupamo	ORINOCO	Callejón, 1985	09°02'01"	63°29'02"
Ñato	ORINOCO	Callejón, 1985	09°17'14"	63°07'23"
Aribi	ORINOCO	Callejón, 1985	09°16'23"	63°10'21"
Caris	ORINOCO	Callejón, 1985	08°46'43"	64°15'35"
Caris	ORINOCO	Callejón, 1985	08°27'53"	63°52'07"
Moquete	ORINOCO	Callejón, 1985	08°35'43"	64°13'19"
La Canoa	ORINOCO	Callejón, 1985	08°35'31"	63°52'54"
Icabaru	ORINOCO	Gambino, 1987	ND	ND
Cantarrana	ORINOCO	Gambino, 1987	04°26'16"	61°43'16"
Chaberú	ORINOCO	Gambino, 1987	04°36'06"	61°24'58"
Guara	ORINOCO	Gambino, 1987	ND	ND
Maurak	ORINOCO	Gambino, 1987	04°34'35"	61°10'49"
San Antonio	ORINOCO	Gambino, 1987	04°31'09"	61°07'06"
Lan Dante	ORINOCO	Gambino, 1987	04°34'27"	61°07'14"
Guara	ORINOCO	Gambino, 1987	04°41'55"	61°05'07"
Kat	ORINOCO	Gambino, 1987	04°41'38"	61°05'07"
Uari	ORINOCO	Gambino, 1987	04°42'48"	61°04'08"
Santa Teresa	ORINOCO	Gambino, 1987	ND	ND
Kukenan	ORINOCO	Gambino, 1987	04°43'23"	61°03'32"
Kakoparu	ORINOCO	Gambino, 1987	04°47'03"	61°03'18"
Mapuri	ORINOCO	Gambino, 1987	04°47'32"	61°03'33"
Tarenken	ORINOCO	Gambino, 1987	04°58'47"	61°08'15"
Maa Dee	ORINOCO	Gambino, 1987	04°59'49"	61°08'55"
Karomata	ORINOCO	Gambino, 1987	05°00'03"	61°08'46"
Kuyumerapa	ORINOCO	Gambino, 1987	05°00'31"	61°08'26"
Maranpan	ORINOCO	Gambino, 1987	05°00'49"	61°07'21"



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice A

Tabla A.1: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de los ríos seleccionados, con la fuente bibliográfica de procedencia de la información.

Río / Qda. / Caño	Cuenca Hidrográfica	Referencia	Latitud (N)	Longitud (W)
Arapan	ORINOCO	Gambino, 1987	05°00'52"	61°07'17"
Kur	ORINOCO	Gambino, 1987	05°01'52"	61°06'20"
Tupinerel	ORINOCO	Gambino, 1987	05°03'07"	61°05'53"
Kama	ORINOCO	Gambino, 1987	05°24'51"	61°13'13"
Uro	ORINOCO	Gambino, 1987	05°26'50"	61°14'44"
Kau	ORINOCO	Gambino, 1987	05°11'15"	61°05'58"
Ana Uaia	ORINOCO	Gambino, 1987	05°32'30"	61°18'22"
Sacaica	ORINOCO	Gambino, 1987	05°33'51"	61°18'51"
Wui	ORINOCO	Gambino, 1987	05°34'37"	61°18'45"
Kamoiran	ORINOCO	Gambino, 1987	05°37'07"	61°21'59"
Aponwao	ORINOCO	Gambino, 1987	05°46'29"	61°24'25"
Aponwao	ORINOCO	Gambino, 1987	05°46'41"	61°24'19"
El Danto	ORINOCO	Gambino, 1987	05°58'02"	61°24'52"
Piscurí	ORINOCO	Reyes, 1999	07°32'44"	71°49'40"
Doradas	ORINOCO	Reyes, 1999	07°32'57"	71°56'04"
Lobaterita	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°09'59"	72°16'30"
Grita	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°12'56"	72°16'02"
Zulia	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°31'45"	72°20'39"
Quinimarí	ORINOCO	Reyes, 1999	07°36'03"	72°09'22"
Uribante	ORINOCO	Reyes, 1999	07°35'00"	72°05'44"
Chururú	ORINOCO	Reyes, 1999	07°44'23"	72°00'09"
Grita (Grita)	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°09'16"	72°00'56"
Carira	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°16'31"	72°09'30"
Umuquena	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°21'23"	72°04'31"
Caqueteria	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°22'07"	72°04'3"
La Blanca	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°22'16"	72°03'53"
Pajitas	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°27'02"	71°57'43"
Boconó	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°28'54"	71°54'58"
San Mateo	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°28'38"	71°53'19"
Escalante	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°30'46"	71°47'00"
Guarurís	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°32'59"	71°46'28"
Onía	LAGO DE MARACAIBO	Reyes, 1999	08°35'34"	71°41'32"
El Guapo	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	González, 2013	10°15'01"	65°57'27"
El Guapo	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	González, 2013	10°17'40"	65°52'27"
Santa Bárbara	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	González, 2013	10°12'40"	65°55'16"
Caño Amarillo	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	González, 2013	10°14'58"	65°52'18"
Madre Casañas	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	González, 2013	10°16'15"	65°56'32"
Qda Lagunon	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	González, 2013	10°09'19"	65°52'11"
Qda San Ignacio	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	González, 2013	10°11'59"	65°48'12"
Qda Chaguaramal	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	González, 2013	10°10'15"	65°46'38"
Río Chico	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	González, 2013	10°19'47"	65°57'36"
Cinaruco	ORINOCO	Valásquez, 2000	06°33'49"	67°30'33"



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice A

Tabla A.1: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de los ríos seleccionados, con la fuente bibliográfica de procedencia de la información.

Río / Qda. / Caño	Cuenca Hidrográfica	Referencia	Latitud (N)	Longitud (W)
La Pica	ORINOCO	Valásquez, 2000	06°48'00"	67°49'05"
Capanaparo	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°02'11"	67°27'16"
Arauca	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°32'55"	67°39'16"
Doradas	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°32'44"	71°55'38"
Uribante	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°30'49"	71°57'33"
Chirgua	ORINOCO	Valásquez, 2000	09°2'19"	67°13'14"
Tiznado	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°41'27"	67°46'55"
Caño Caracol	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°58'47"	67°27'33"
Apure	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°53'27"	67°27'16"
Payara	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°38'11"	67°37'05"
Sinaruco	ORINOCO	Valásquez, 2000	06°33'49"	67°30'33"
Yuquita (C. Turumba)	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°46'22"	67°26'27"
Apure	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°02'46"	69°18'28"
Morador	ORINOCO	Valásquez, 2000	09°15'16"	69°31'38"
Portuguesa	ORINOCO	Valásquez, 2000	09°05'27"	69°40'22"
Guanare	ORINOCO	Valásquez, 2000	09°02'11"	69°48'00"
Boconó	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°50'11"	70°01'05"
Masparro	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°49'05"	70°04'22"
La Yuca	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°43'38"	70°11'03"
Santo Domingo	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°39'16"	70°14'11"
Santo Domingo	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°39'16"	70°14'11"
Masparro	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°49'05"	70°04'22"
Apure	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°02'46"	69°18'28"
Santa Bárbara	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°50'11"	71°11'03"
Matiyure	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°24'00"	69°16'22"
Apure	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°53'27"	67°27'16"
Caño Bucaral	ORINOCO	Valásquez, 2000	09°12'41"	69°14'36"
Arauca	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°32'55"	67°39'16"
Cunaviche	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°18'33"	68°03'16"
Cunavichito	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°15'49"	67°09'57"
Capanaparo	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°02'11"	67°27'16"
Cinaruco	ORINOCO	Valásquez, 2000	06°33'49"	67°30'33"
Orinoco	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°38'11"	66°14'11"
Orinoco	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°09'17"	63°32'11"
Orinoco	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°38'11"	66°14'11"
San Carlos	ORINOCO	Valásquez, 2000	09°00'00"	68°16'22"
Guache	ORINOCO	Valásquez, 2000	09°27'25"	69°20'11"
Tucupido	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°56'44"	69°50'11"
Uribante	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°30'49"	71°57'33"
Doradas	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°32'44"	71°55'38"
Navay	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°32'44"	71°32'44"



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice A

Tabla A.1: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de los ríos seleccionados, con la fuente bibliográfica de procedencia de la información.

Río / Qda. / Caño	Cuenca Hidrográfica	Referencia	Latitud (N)	Longitud (W)
Caparo	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°40'22"	71°29'27"
Socopó	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°19'38"	71°48'00"
Acequia	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°21'33"	70°40'30"
El Paguey	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°06'33"	70°02'11"
Caris	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°28'22"	63°50'11"
Orinoco	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°09'17"	63°32'11"
Guacupa	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°17'27"	64°37'05"
Ature	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°01'38"	64°44'36"
Morichal San Pedro	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°45'22"	64°42'50"
Manapire (Afluente)	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°43'38"	64°43'38"
Quebradón	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°14'44"	54°41'27"
Orinoco	ORINOCO	Valásquez, 2000	07°38'11"	66°14'11"
Manapire	ORINOCO	Valásquez, 2000	09°19'38"	66°10'55"
Yauná (Yaunó)	ORINOCO	Valásquez, 2000	09°21'41"	69°24'33"
Guasdo	ORINOCO	Valásquez, 2000	09°13'14"	69°36'00"
Canagua	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°26'03"	70°38'11"
Santo Domingo	ORINOCO	Valásquez, 2000	08°39'16"	70°14'11"
Acanan	ORINOCO	Yanes, 1997	05°49'04"	62°31'35"
Agua Blanca	ORINOCO	Yanes, 1997	07°49'14"	62°36'38"
Agua Fria	ORINOCO	Yanes, 1997	04°47'28"	61°03'21"
Agua Sucia	ORINOCO	Yanes, 1997	07°47'34"	61°28'24"
Aponguaó	ORINOCO	Yanes, 1997	05°36'00"	61°30'55"
Aponguaó	ORINOCO	Yanes, 1997	04°50'18"	61°36'00"
Ariza	ORINOCO	Yanes, 1997	05°05'13"	61°12'07"
Aro	ORINOCO	Yanes, 1997	07°43'20"	64°11'00"
Atabapo	ORINOCO	Yanes, 1997	04°01'09"	67°41'42"
Autana	ORINOCO	Yanes, 1997	04°47'27"	67°41'42"
Aza	ORINOCO	Yanes, 1997	06°51'27"	63°19'09"
Caballape	ORINOCO	Yanes, 1997	07°21'13"	61°41'45"
Carapo	ORINOCO	Yanes, 1997	07°27'12"	63°58'09"
Carapo	ORINOCO	Yanes, 1997	05°42'40"	52°32'00"
Carichapo	ORINOCO	Yanes, 1997	07°52'23"	61°11'19"
Caroni	ORINOCO	Yanes, 1997	04°54'00"	61°47'00"
Caroni	ORINOCO	Yanes, 1997	04°45'00"	62°20'00"
Caroni	ORINOCO	Yanes, 1997	05°22'00"	62°46'00"
Caroni	ORINOCO	Yanes, 1997	06°31'00"	62°53'00"
Caroni	ORINOCO	Yanes, 1997	08°08'00"	62°53'01"
Carrao	ORINOCO	Yanes, 1997	06°17'00"	62°51'21"
Caruay	ORINOCO	Yanes, 1997	05°01'10"	61°46'16"
Caruay	ORINOCO	Yanes, 1997	05°08'58"	61°48'26"
Casiquiare	ORINOCO	Yanes, 1997	01°53'41"	66°34'32"



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice A

Tabla A.1: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de los ríos seleccionados, con la fuente bibliográfica de procedencia de la información.

Río / Qda. / Caño	Cuenca Hidrográfica	Referencia	Latitud (N)	Longitud (W)
Caspon	ORINOCO	Yanes, 1997	06°58'38"	61°54'06"
Cataniapo	ORINOCO	Yanes, 1997	05°34'19"	67°32'20"
Caura	ORINOCO	Yanes, 1997	05°34'10"	64°18'20"
Caura	ORINOCO	Yanes, 1997	05°56'20"	64°18'20"
Caura	ORINOCO	Yanes, 1997	05°58'30"	64°25'15"
Caura	ORINOCO	Yanes, 1997	06°18'25"	64°29'0"
Caura	ORINOCO	Yanes, 1997	07°00'50"	64°55'10"
Caura	ORINOCO	Yanes, 1997	07°25'03"	65°11'42"
Chicanan	ORINOCO	Yanes, 1997	06°27'39"	61°44'32"
Chiguao	ORINOCO	Yanes, 1997	06°37'17"	63°08'14"
Chivao	ORINOCO	Yanes, 1997	06°18'20"	61°51'14"
Claro	ORINOCO	Yanes, 1997	07°54'57"	63°03'12"
Corumo	ORINOCO	Yanes, 1997	07°15'14"	61°32'43"
Cuao	ORINOCO	Yanes, 1997	04°56'18"	67°37'10"
Cuchivero	ORINOCO	Yanes, 1997	07°16'40"	65°47'40"
Cunaguaro	ORINOCO	Yanes, 1997	07°52'53"	61°58'37"
Cunucunuma	ORINOCO	Yanes, 1997	03°14'03"	65°47'40"
Curiapo	ORINOCO	Yanes, 1997	07°58'17"	63°50'22"
Cuspa	ORINOCO	Yanes, 1997	07°00'42"	61°39'14"
Cuyuni	ORINOCO	Yanes, 1997	06°42'50"	61°38'00"
Cza. Mala	ORINOCO	Yanes, 1997	07°37'37"	61°48'12"
El Danto	ORINOCO	Yanes, 1997	05°56'24"	61°24'26"
Erebato	ORINOCO	Yanes, 1997	05°54'15"	64°29'40"
Espiritu	ORINOCO	Yanes, 1997	08°04'34"	63°01'35"
Guainia	ORINOCO	Yanes, 1997	02°02'18"	67°07'42"
Guaviare	ORINOCO	Yanes, 1997	04°02'18"	67°44'52"
Hacha	ORINOCO	Yanes, 1997	06°13'22"	61°57'13"
Icabarú	ORINOCO	Yanes, 1997	04°20'00"	61°40'00"
Ichum	ORINOCO	Yanes, 1997	04°47'08"	63°21'46"
Jaspe	ORINOCO	Yanes, 1997	05°03'20"	61°08'12"
Kama	ORINOCO	Yanes, 1997	05°05'30"	61°12'28"
Kamoairan	ORINOCO	Yanes, 1997	05°36'36"	61°20'32"
Karum	ORINOCO	Yanes, 1997	05°15'15"	63°21'53"
Kukenan	ORINOCO	Yanes, 1997	04°36'36"	61°14'14"
Kukenan	ORINOCO	Yanes, 1997	04°26'26"	60°52'08"
La Laja	ORINOCO	Yanes, 1997	06°31'31"	61°52'21"
Macorumo	ORINOCO	Yanes, 1997	07°24'24"	61°49'58"
Maniapure	ORINOCO	Yanes, 1997	07°18'18"	66°41'30"
Miamo	ORINOCO	Yanes, 1997	07°35'35"	61°46'40"
Miamo	ORINOCO	Yanes, 1997	07°24'24"	61°52'47"
Muinca	ORINOCO	Yanes, 1997	06°54'54"	61°52'22"



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice A

Tabla A.1: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de los ríos seleccionados, con la fuente bibliográfica de procedencia de la información.

Río / Qda. / Caño	Cuenca Hidrográfica	Referencia	Latitud (N)	Longitud (W)
Negro	ORINOCO	Yanes, 1997	01°60'60"	66°58'30"
Ocamo	ORINOCO	Yanes, 1997	02°55'55"	65°11'20"
Ore	ORINOCO	Yanes, 1997	06°37'37"	67°07'29"
Orinoco	ORINOCO	Yanes, 1997	03°50'50"	65°52'30"
Orinoco	ORINOCO	Yanes, 1997	03°20'20"	67°01'45"
Orinoco	ORINOCO	Yanes, 1997	04°14'14"	67°32'13"
Orinoco	ORINOCO	Yanes, 1997	04°05'05"	67°49'27"
Orinoco	ORINOCO	Yanes, 1997	06°50'50"	67°28'38"
Orinoco	ORINOCO	Yanes, 1997	06°49'49"	67°05'36"
Orinoco	ORINOCO	Yanes, 1997	08°42'42"	63°32'13"
Oris	ORINOCO	Yanes, 1997	06°45'45"	63°35'5"
Orocopiche	ORINOCO	Yanes, 1997	08°13'13"	63°37'16"
Oronota	ORINOCO	Yanes, 1997	07°12'12"	62°22'38"
Pacheco	ORINOCO	Yanes, 1997	05°27'27"	61°06'54"
Padamo	ORINOCO	Yanes, 1997	02°41'41"	65°13'04"
Pao	ORINOCO	Yanes, 1997	07°00'00"	64°38'18"
Paragua	ORINOCO	Yanes, 1997	05°00'00"	63°24'00"
Paragua	ORINOCO	Yanes, 1997	04°19'19"	62°58'38"
Paragua	ORINOCO	Yanes, 1997	06°00'00"	63°20'00"
Paragua	ORINOCO	Yanes, 1997	06°00'00"	63°34'00"
Parguaza	ORINOCO	Yanes, 1997	06°35'35"	67°05'34"
Parupa	ORINOCO	Yanes, 1997	05°42'42"	61°32'31"
Pavoni	ORINOCO	Yanes, 1997	06°55'55"	67°22'21"
Piedra de la Virgen	ORINOCO	Yanes, 1997	ND	ND
Portahuena	ORINOCO	Yanes, 1997	05°54'54"	67°22'23"
Pozo Azul	ORINOCO	Yanes, 1997	04°43'43"	61°7'23"
Qda. Seca	ORINOCO	Yanes, 1997	07°32'32"	62°40'28"
Qda. Verde	ORINOCO	Yanes, 1997	06°25'25"	61°50'10"
Retumbo	ORINOCO	Yanes, 1997	07°07'07"	62°42'33"
Riecito	ORINOCO	Yanes, 1997	07°18'18"	62°19'08"
Siapa	ORINOCO	Yanes, 1997	02°45'45"	66°19'00"
Simonera	ORINOCO	Yanes, 1997	06°27'27"	67°15'54"
Sipapo	ORINOCO	Yanes, 1997	05°00'00"	67°46'36"
Suapure	ORINOCO	Yanes, 1997	06°59'59"	66°41'8"
Supamo	ORINOCO	Yanes, 1997	06°04'04"	62°05'45"
Supamo	ORINOCO	Yanes, 1997	06°26'26"	62°38'56"
Tocoma	ORINOCO	Yanes, 1997	07°41'41"	63°07'61"
Tonoro	ORINOCO	Yanes, 1997	06°01'10"	63°45'00"
Trapichote	ORINOCO	Yanes, 1997	06°01'01"	66°49'16"
Uaiparu	ORINOCO	Yanes, 1997	04°26'26"	61°06'07"
Uairen	ORINOCO	Yanes, 1997	04°26'28"	61°47'40"



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice A

Tabla A.1: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de los ríos seleccionados, con la fuente bibliográfica de procedencia de la información.

Río / Qda. / Caño	Cuenca Hidrográfica	Referencia	Latitud (N)	Longitud (W)
Uriman	ORINOCO	Yanes, 1997	05°14'14"	62°41'13"
Ventuari	ORINOCO	Yanes, 1997	04°10'10"	66°50'50"
Ventuari	ORINOCO	Yanes, 1997	04°17'17"	66°26'50"
Vichada	ORINOCO	Yanes, 1997	04°09'09"	67°51'17"
Villacoa	ORINOCO	Yanes, 1997	06°00'00"	67°02'30"
Yocoima	ORINOCO	Yanes, 1997	06°55'55"	61°50'45"
Yocoima	ORINOCO	Yanes, 1997	06°11'11"	61°44'03"
Yuruan	ORINOCO	Yanes, 1997	06°29'29"	61°39'32"
Yuruani	ORINOCO	Yanes, 1997	05°05'05"	61°09'06"
Yuruari	ORINOCO	Yanes, 1997	07°34'34"	61°50'03"
Yuruari	ORINOCO	Yanes, 1997	06°07'07"	61°40'02"
Yuruari	ORINOCO	Yanes, 1997	07°00'00"	61°40'14"
Yuruari	ORINOCO	Yanes, 1997	06°31'31"	61°40'16"
Petaquire	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	Dato Original	10°26'45"	67°10'23"
El Limón	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	Dato Original	10°27'59"	67°17'04"
Chichiriviche	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	Dato Original	10°32'30"	67°14'45"
Maramita	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	Dato Original	ND	ND
Aricagua	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	Dato Original	10°34'55"	66°13'59"
Carao	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	Dato Original	10°36'13"	66°20'55"
Chorrerón	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	Dato Original	ND	ND
Camurí Grande	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	Dato Original	10°37'13"	66°42'54"
Los Caracas	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	Dato Original	10°37'36"	66°34'24"
Naiguata	CUENCA CENTRAL DEL CARIBE	Dato Original	10°37'12"	66°44'28"
Aroa	OCCIDENTAL DEL CARIBE	Dato Original	10°26'15"	68°53'46"
Upire	OCCIDENTAL DEL CARIBE	Dato Original	ND	ND
Mitare	OCCIDENTAL DEL CARIBE	Dato Original	11°15'06"	70°00'09"
Zazarida	OCCIDENTAL DEL CARIBE	Dato Original	11°14'37"	70°28'29"
Maticora	OCCIDENTAL DEL CARIBE	Dato Original	10°56'35"	71°09'06"
Caucagua 1	TUY	Blanco,2011	10°29'04"	66°44'54"
Izcaragua	TUY	Blanco,2011	10°28'56"	66°41'25"
Caucagua 2	TUY	Blanco,2011	10°28'29"	66°41'12"
Curupao	TUY	Blanco,2011	10°30'07"	66°39'55"
Ingenio	TUY	Blanco,2011	10°30'25"	66°34'49"
Churca	TUY	Blanco,2011	10°29'24"	66°31'36"
Caucagua 3	TUY	Blanco,2011	10°26'25"	66°31'31"
Araira	TUY	Blanco,2011	10°28'27"	66°29'11"
Caucagua 4	TUY	Blanco,2011	10°22'22"	66°28'24"
Chuspita	TUY	Blanco,2011	10°26'07"	66°26'09"
Chuspita 2	TUY	Blanco,2011	10°20'08"	66°26'27"
Caucagua 5	TUY	Blanco,2011	10°17'14"	66°23'07"
Caucagua 6	TUY	Blanco,2011	10°16'38"	66°22'34"



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Continuación Apéndice A

Tabla A.1: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de los ríos seleccionados, con la fuente bibliográfica de procedencia de la información.

Río / Qda. / Caño	Cuenca Hidrográfica	Referencia	Latitud (N)	Longitud (W)
Las Tapias	LAGO DE MARACAIBO	Yanez, 1981	08°11'20"	71°48'11"
Qda. Pantanito	LAGO DE MARACAIBO	Yanez, 1981	ND	ND
Apon	LAGO DE MARACAIBO	Yanez, 1981	10°04'41"	72°29'38"
Machango	LAGO DE MARACAIBO	Yanez, 1981	10°04'08"	70°59'06"
Misoa	LAGO DE MARACAIBO	Yanez, 1981	10°05'38"	70°42'29"
Palmar	LAGO DE MARACAIBO	Yanez, 1981	10°24'25"	72°13'48"
Catatumbo	LAGO DE MARACAIBO	Yanez, 1981	9°07'01"	72°40'19"
Tucani	LAGO DE MARACAIBO	Yanez, 1981	08°58'05"	71°16'12"
Frio	LAGO DE MARACAIBO	Yanez, 1981	08°54'58"	71°19'05"
Guere	UNARE	Yanez, 1981	09°49'55"	65°03'40"
Tamanaco	UNARE	Yanez, 1981	09°49'59"	66°00'18"
Guanipa	GOLFO DE PARIA	Yanez, 1981	09°34'55"	63°07'30"
San Juan	GOLFO DE PARIA	Yanez, 1981	10°18'18"	63°56'28"
Cariaco	GOLFO DE CARIACO	Yanez, 1981	10°29'02"	63°37'05"
Unare	UNARE	Yanez, 1981	09°57'11"	65°10'23"

ND=No determinado.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Apéndice B: Datos fisicoquímicos y de composición química de las aguas de los ríos seleccionados

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(μSg/cm)		(mg/L)		Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Uricu	ND	24,0	6,52	17,2	28,1	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Yurúan Pre-Supamo	ND	12,7	4,72	5,93	11,3	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Supamo	ND	26,8	6,18	19,9	29,2	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Mochila	ND	37,3	6,24	26,4	42,3	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Muinca	ND	49,5	6,55	30,2	41,4	Ca>Na>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	6
Yuruarí	ND	91,3	6,78	82,3	105	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Yurúan	ND	31,4	6,34	26,3	36,9	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Hacha	ND	23,9	4,56	3,2	8,00	Na>Ca>Mg>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	21
Uruy	ND	13,3	5,69	9,23	17,5	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Chivao	ND	9,60	6,03	5,41	12,1	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Chicanán	ND	11,5	6,10	6,49	12,8	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Cuyuní (Pre-Chicanán)	ND	15,7	6,18	10,4	17,0	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Cuyuní (Pre-Yurúan)	ND	15,4	6,52	10,7	17,5	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Cuyuní (Pre-Venamo)	ND	23,9	6,48	15,5	23,4	Ca>Na>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	6
Venamo	ND	18,7	6,41	18,9	26,3	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Botanomo	ND	76,6	6,53	75,2	91,4	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
El Palmar	ND	318	7,42	262	274	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Zulia	ND	233	6,88	193	231	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Maniapure	28,4	12,9	5,58	4,81	15,2	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Suapure	31,8	14,2	5,87	4,72	14,8	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Trapichote	23,5	11,2	5,73	4,25	14,1	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Villacos	31,8	11,2	6,85	3,63	12,4	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Ore	30,4	7,20	5,85	2,82	9,62	K>Na>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	K-HCO ₃	12
Parguaza	30,7	9,10	5,65	3,04	10,2	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Pavoní	28,7	6,10	6,10	3,17	11,3	Ca>Na>K>Mg	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	7
Cataniapo	30,7	9,60	6,52	3,08	8,98	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Cuao	32,7	9,30	6,58	2,95	8,85	Ca>Na>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	6
Autana	31,9	14,7	4,91	1,86	5,36	Ca>Na>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	6
Sipapo	33,3	13,7	4,74	1,96	5,66	Ca>Na>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	6
Villacos	29,2	11,4	6,40	4,05	11,5	K>Na>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	K-HCO ₃	12
Cataniapo	25,3	7,40	6,14	3,76	8,96	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Autana	30,8	7,70	5,07	1,22	5,42	Na>K>Ca>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	27
Cataniapo	26,2	6,10	6,76	4,32	10,3	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Colonia Tovar	16,5	184	6,90	92,7	112	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Río Guare	24,7	351	8,10	282	307	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14
Río Súcuta	26,3	311	8,00	237	265	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Río Taguaza	29,3	134	7,40	94,2	114	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Río Cuira	ND	212	7,40	153	186	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Panaquire	26,4	184	7,40	93,0	111	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14
Qda. Yaguapo	25,2	170	7,60	105	127	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Qda. Urba	25,3	189	7,20	137	154	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Río Sapo	25,8	133	6,90	92,8	115	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Caño Dieguima	29,5	990	8,05	318	318	Na>Ca>Mg>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	21



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Caño El Tuque	33,8	1318	8,52	467	467	Na>Ca>Mg>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	21
Caño Las Yeguas	28,2	970	7,28	254	254	Mg>Na>Ca>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Mg-Cl	16
Caño La Empalizada	30,7	827	8,00	268	268	Na>Mg>Ca>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	31
Tigre	25,0	40,0	5,70	37,5	51,5	Na>Mg>K>Ca	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	34
Tigre	27,0	40,0	5,70	37,1	51,1	Na>Mg>K>Ca	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	34
Tigre	27,0	70,0	5,80	93,9	110	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Tigre	26,0	50,0	5,90	47,3	62,3	Na>Mg>K>Ca	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	34
Tigre	2,06	60,0	6,40	45,4	60,4	Na>Mg>K>Ca	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	33
Tigre	28,0	40,0	5,90	41,9	54,9	Na>Mg>K>Ca	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	34
Tigre	27,0	60,0	6,00	49,8	63,8	Na>Mg>Ca>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	31
Areo	27,0	30,0	4,50	35,2	48,2	Na>Mg>K>Ca	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	34
Areo	28,0	25,0	5,60	20,4	32,4	Na>Mg>K>Ca	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	34
Areo	28,0	24,0	6,20	19,7	31,7	Na>Mg>K>Ca	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	34
Chive	27,0	80,0	6,90	63,9	78,9	Na>Mg>K>Ca	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	34
Oritupamo	27,0	130	6,30	69,9	84,9	Na>Mg>Ca>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	31
Ñato	27,0	50,0	6,40	47,4	61,4	Na>Mg>K>Ca	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	34
Aribi	26,0	40,0	6,00	36,6	50,6	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Caris	29,0	60,0	6,50	78,3	93,3	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Caris	28,0	50,0	6,40	47,5	61,5	Na>Mg>K>Ca	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	34
Moquete	27,0	30,0	6,50	37,8	51,8	Na>Mg>K>Ca	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	34
La Canoa	29,0	35,0	6,30	31,1	44,1	Na>Mg>K>Ca	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	34
Icabarú	23,0	13,3	6,20	9,59	20,0	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Cantarrana	23,0	8,55	4,90	1,44	3,20	Na>Ca>Mg>K	Cl>SO4>HCO3	Na-Cl	22
Chaberú	23,0	10,5	4,90	2,30	5,70	Na>Ca>K>Mg	Cl>SO4>HCO3	Na-Cl	19
Guara	21,0	11,8	5,00	3,55	13,1	Na>K>Ca>Mg	Cl>HCO3>SO4	Na-Cl	26
Maurak	20,0	10,8	5,50	7,48	12,5	K>Na>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	K-HCO3	12
San Antonio	23,0	8,40	4,70	4,77	11,0	Na>K>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	25
Lan Dante	20,0	10,8	4,80	4,59	12,0	Na>K>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	25
Guara	23,0	8,74	4,50	3,39	8,29	Ca>Na>K>Mg	HCO3>Cl>SO4	Ca-HCO3	6
Kat	26,0	4,86	5,40	4,73	10,2	Na>K>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	25
Uari	28,0	4,16	5,70	3,06	7,16	K>Na>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	K-HCO3	12
Santa Teresa	22,0	5,30	5,60	2,07	4,57	Na>K>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	25
Kukenan	23,0	7,80	5,60	3,77	7,17	Na>Ca>K>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	20
Kakoparu	21,0	5,05	6,10	4,77	11,8	K>Na>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	K-HCO3	12
Mapuri	23,0	5,35	5,00	4,85	11,6	Na>Ca>K>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	20
Tarenken	23,0	7,22	4,90	3,10	9,80	Na>K>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	25
Maa Dee	23,0	7,85	5,60	3,41	11,0	Na>Ca>K>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	20
Karomata	28,0	5,55	4,70	2,07	4,57	Na>K>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	25
Kuyumerapa	26,0	14,2	4,40	3,41	5,21	Na>K>Ca>Mg	Cl>HCO3>SO4	Na-Cl	26
Maranpan	25,0	5,32	5,30	2,28	5,58	Na>K>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	25
Arapan	26,0	4,85	5,60	2,38	7,48	K>Na>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	K-HCO3	12
Kur	25,0	7,64	6,30	5,23	9,73	Na>K>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	25
Tupinerel	23,0	4,95	6,00	4,23	7,43	Na>K>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	25
Kama	23,0	9,85	6,20	4,80	11,5	Na>K>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	25



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(μSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Uro	21,0	6,07	6,30	4,40	9,70	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Kau	25,0	4,68	5,60	2,61	6,81	K>Na>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	K-HCO ₃	12
Ana Uaia	25,0	6,32	4,90	2,39	4,19	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Sacaica	21,0	10,1	5,80	6,11	14,2	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Wui	22,0	8,66	6,00	5,55	11,6	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Kamoiran	24,0	10,4	6,20	4,90	12,3	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Aponwao	21,0	8,65	5,60	4,09	9,59	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Aponwao	23,0	8,78	4,70	4,30	8,80	Na>Ca>K>Mg	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	18
El Danto	21,0	11,7	6,00	5,50	11,3	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14
Piscurí	ND	40,3	6,46	24,3	27,3	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Doradas	ND	62,8	7,15	45,5	47,5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Lobaterita	ND	292	8,32	219	223	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Grita	ND	255	8,09	177	182	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Zulia	ND	226	7,37	127	131	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Quinimarí	ND	171	7,14	132	134	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Uribante	ND	127	7,60	99,2	101	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Chururú	ND	93,3	6,99	58,8	60,8	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Grita (Grita)	ND	166	7,75	124	129	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Carira	ND	247	7,95	179	182	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Umuquena	ND	214	8,35	145	149	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Caqueteria	ND	111	6,77	63,4	68,4	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
La Blanca	ND	123	6,60	82,9	92,9	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO>Cl	Ca-SO ₄	11



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Pajitas	ND	156	7,90	110	118	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Boconó	ND	140	7,66	96,9	104	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
San Mateo	ND	223	7,99	161	167	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Escalante	ND	286	7,59	199	206	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Guaruríes	ND	301	7,71	200	207	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Onía	ND	182	7,04	111	116	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl	Ca-SO ₄	5
El Guapo	29,2	171	7,10	123	137	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14
El Guapo	30,3	167	6,70	119	133	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14
Santa Bárbara	30,0	235	6,70	147	160	Mg>Na>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	17
Caño Amarillo	27,8	265	6,70	180	193	Mg>Na>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	17
Madre Casañas	29,7	190	6,60	121	137	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14
Qda Lagunon	28,5	167	7,20	120	139	Mg>Na>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	17
Qda San Ignacio	30,0	544	7,20	332	352	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14
Qda Chaguaramal	30,2	274	6,90	175	193	Mg>Na>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	17
Río Chico	27,8	1006	6,80	508	525	Na>Mg>Ca>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	31
Cinaruco	30,6	11,7	6,52	8,02	15,5	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
La Pica	33,1	6,11	6,22	3,59	9,25	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Capanaparo	31,4	54,1	5,92	29,4	35,5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Arauca	30,9	64,4	6,02	38,8	41,0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Doradas	22,3	ND	ND	37,4	45,8	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Uribante	28,5	ND	ND	161	163	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Chirgua	28,2	34,5	6,66	23,4	31,3	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Tiznado	27,8	94,8	7,16	58,4	68,5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Caño Caracol	32,3	95,3	6,55	61	65,8	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Apure	29,2	127	6,88	81,4	90,4	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Payara	28,1	41,5	6,02	25,3	31,4	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Sinaruco	30,2	4,50	5,43	3,00	9,4	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Yuquita (C. Turumba)	ND	23,1	5,50	12,4	12,4	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Apure	30,9	84,0	7,19	52,7	61,1	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Morador	27,4	298	7,50	154	164	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Portuguesa	28,1	205	7,21	185	195	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Guanare	24,5	261	7,85	188	198	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Boconó	26,1	170	6,96	138	142	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Masparro	25,2	148	7,30	127	134	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
La Yuca	26,6	192	8,23	147	156	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Santo Domingo	23,8	97,0	7,52	79,1	89,7	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Santo Domingo	27,2	128	7,10	94,0	109	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Masparro	29,0	166	7,87	127	138	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Apure	30,0	148	7,79	110	119	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Santa Bárbara	29,1	119	6,80	72,1	77,5	Ca>Mg>K>Na	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	1
Matiyure	31,8	125	7,61	85,5	98,8	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Na-HCO ₃	24
Apure	29,7	193	7,51	128	136	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Caño Bucaral	29,8	75,6	6,73	46,9	55,2	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Arauca	29,1	76,3	7,02	43,8	54,4	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Cunaviche	29,8	75,5	6,64	47,6	51,1	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Cunavichito	29,1	12,0	5,17	9,80	10,1	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Capanaparo	29,0	98,6	6,52	46,5	55,4	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO>Cl	Ca-SO ₄	5
Cinaruco	31,5	12,2	5,98	3,68	14,8	Na>K>Ca>Mg	SO ₄ >Cl>HCO ₃	Na-SO ₄	29
Orinoco	33,5	40,0	7,16	24,9	31,3	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Orinoco	33,4	25,6	ND	15,6	21,9	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Orinoco	ND	52,3	6,76	61,4	69,0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
San Carlos	28,3	315	7,95	154	167	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Guache	28,4	440	8,11	279	286	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO>Cl	Ca-SO ₄	5
Tucupido	28,3	281	8,10	163	170	Ca>Mg>K>Na	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	1
Uribante	28,2	174	7,93	107	115	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Doradas	28,4	61,8	6,97	48,2	53,8	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Navay	28,5	55,2	6,47	41,2	49,2	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Caparo	28,5	88,5	6,83	61,2	68,6	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Socopó	28,4	40,1	6,95	26,7	36,3	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Acequia	28,5	32,2	6,99	20,7	27,7	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
El Paguey	28,4	45,4	6,97	25,6	37,0	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Caris	28,8	50,2	6,45	25,2	38,7	Na>K>Mg>Ca	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	30
Orinoco	28,8	32,6	6,31	14,8	20,0	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO>Cl	Ca-SO ₄	5
Guacupa	28,6	21,8	6,34	11,8	29,3	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Ature	28,7	16,0	6,01	8,67	16,2	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Morichal San Pedro	28,8	6,38	4,40	2,21	16,5	Na>Ca>K>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	19



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Manapire (Afluente)	28,9	13,1	5,61	4,26	18,8	Na>K>Ca>Mg	Cl>SO4>HCO3	Na-Cl	27
Quebradón	28,9	14,3	5,08	4,37	20,7	Na>K>Ca>Mg	Cl>SO4>HCO3	Na-Cl	27
Orinoco	29,0	18,2	5,99	8,32	12,5	Ca>Na>Mg>K	HCO3>SO4>Cl	Ca-HCO3	9
Manapire	ND	23,1	6,10	10,5	28,0	Na>K>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	25
Yauná (Yaunó)	22,3	148	7,89	101	106	Ca>Mg>Na>K	HCO3>SO4>Cl	Ca-HCO3	4
Guasdo	22,1	82,1	7,29	60,7	73,1	Ca>Mg>Na>K	HCO3>SO4>Cl	Ca-HCO3	4
Canagua	22,4	25,3	6,86	22,0	34,6	Ca>Na>K>Mg	HCO3>SO4>Cl	Ca-HCO3	7
Santo Domingo	22,3	70,3	7,15	64,9	73,0	Ca>Mg>Na>K	HCO3>SO4>Cl	Ca-HCO3	4
Acanan	ND	11,2	4,80	2,13	6,40	Ca>Mg>Na>K	Cl>SO4>HCO3	Ca-Cl	2
Agua Blanca	ND	133	5,60	85,2	113	Na>Ca>Mg>K	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	23
Agua Fria	ND	6,47	5,90	4,29	13,6	Na>K>Ca>Mg	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	25
Agua Sucia	ND	81,4	6,30	61,5	90,0	Na>Ca>Mg>K	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	23
Aponguaó	ND	9,12	5,10	2,63	8,76	Na>Ca>Mg>K	Cl>SO4>HCO3	Na-Cl	22
Aponguaó	ND	7,31	5,15	1,93	6,32	Na>Ca>Mg>K	Cl>SO4>HCO3	Na-Cl	22
Ariza	ND	32,5	6,90	15,4	30,6	Na>Ca>Mg>K	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	23
Aro	ND	69,2	7,32	43,9	62,0	Na>Ca>Mg>K	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	23
Atabapo	ND	18,0	4,33	0,83	4,37	Na>K>Ca>Mg	Cl>SO4>HCO3	Na-Cl	27
Autana	ND	12,1	4,68	1,29	4,89	Na>Ca>K>Mg	Cl>SO4>HCO3	Na-Cl	19
Aza	ND	15,7	6,70	10,8	19,3	Na>Ca>Mg>K	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	23
Caballape	ND	125	6,10	101	118	Na>Ca>Mg>K	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	23
Carapo	ND	92,1	6,70	46,6	81,0	Na>Ca>Mg>K	HCO3>Cl>SO4	Na-HCO3	23
Carapo	ND	16,0	4,45	1,74	7,03	Na>Ca>Mg>K	Cl>SO4>HCO3	Na-Cl	22



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Carichapo	ND	116	6,74	75,9	109	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Caroni	ND	8,38	6,36	4,36	10,5	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Caroni	ND	8,84	6,24	4,32	12,0	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Caroni	ND	8,74	6,27	4,32	11,6	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Caroni	ND	7,74	5,95	3,04	7,55	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Caroni	ND	8,95	6,03	5,95	11,6	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Carrao	ND	11,8	4,75	1,48	4,73	Na>Ca>Mg>K	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	22
Caruay	ND	7,68	6,10	3,78	10,2	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Caruay	ND	6,64	6,10	3,72	10,4	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Casiquiare	ND	13,2	4,71	3,37	7,88	Na>Ca>K>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	19
Caspon	ND	120	7,12	87,6	107	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Cataniapo	ND	6,01	6,45	5,11	11,2	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Caura	ND	21,6	7,02	15,4	26,7	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Caura	ND	19,3	7,10	13,1	24,0	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Caura	ND	18,3	7,20	13,8	24,3	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Caura	ND	13,9	7,10	9,87	18,0	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Caura	ND	15,2	6,98	10,9	20,3	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Caura	ND	16,5	6,90	12,2	21,1	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Chicanan	ND	11,5	6,10	5,18	11,5	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Chiguao	ND	21,3	6,50	14,8	22,3	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Chivao	ND	9,56	6,03	7,38	14,0	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Claro	ND	61,5	7,10	40,0	60,0	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Corumo	ND	102	5,70	72,7	97,7	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Cuao	ND	6,67	6,21	5,42	11,3	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Cuchivero	ND	24,4	6,96	18,0	32,3	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Cunaguaro	ND	123	6,30	80,9	104	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Cunucunuma	ND	6,24	6,40	1,47	8,38	Na>K>Ca>Mg	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	26
Curiapo	ND	24,8	6,25	14,5	28,4	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Cuspa	ND	73,2	5,90	51,0	73,3	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Cuyuni	ND	20,3	5,30	18,4	26,1	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Cza. Mala	ND	149	6,20	108	125	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
El Danto	ND	7,08	5,10	1,28	4,41	Mg>Ca>Na>K	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Mg-Cl	13
Erebato	ND	15,8	6,69	8,77	16,4	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Espiritu	ND	134	6,25	92,7	124	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Guainia	ND	11,9	4,60	0,89	5,76	Na>K>Ca>Mg	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	26
Guaviare	ND	36,0	7,13	25,1	31,9	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Hacha	ND	23,9	4,56	1,75	6,50	Na>Ca>K>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	19
Icabarú	ND	13,0	6,12	6,51	12,8	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Ichum	ND	10,0	4,70	1,69	4,51	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >Cl>HCO ₃	Ca-SO ₄	10
Jaspe	ND	8,28	5,10	2,52	12,9	Na>K>Ca>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	27
Kama	ND	10,1	5,15	2,54	8,85	Na>K>Ca>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	27
Kamoairan	ND	9,52	5,20	2,42	9,81	Na>K>Ca>Mg	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	26
Karum	ND	9,98	5,12	2,68	8,80	Na>Ca>K>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	19
Kukenan	ND	7,12	6,20	6,90	15,7	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Kukenan	ND	7,10	6,25	6,75	14,3	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
La Laja	ND	240	8,17	176	219	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14
Macorumo	ND	207	6,17	132	150	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Maniapure	ND	12,5	6,35	7,66	15,1	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Miamo	ND	55,5	5,15	29,3	38,1	Na>Mg>Ca>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	31
Miamo	ND	55,2	5,20	31,5	40,3	Na>Mg>Ca>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	31
Muinca	ND	214	7,30	161	182	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14
Negro	ND	10,8	4,70	3,18	8,17	Na>K>Ca>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	27
Ocamo	ND	26	6,50	12,2	26,6	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Ore	ND	9,11	6,03	6,88	13,0	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Orinoco	ND	15,4	6,80	12,9	19,9	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Orinoco	ND	13,0	6,89	11,2	19,7	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Orinoco	ND	20,9	7,00	16,3	24,5	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Orinoco	ND	27,5	7,00	21,2	28,1	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Orinoco	ND	27,0	7,25	19,4	26,1	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Orinoco	ND	47,0	7,55	33,8	40,7	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Orinoco	ND	49,0	7,40	32,3	40,0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Oris	ND	14,0	6,30	8,96	15,7	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Orocopiche	ND	24,4	6,52	14,8	34,1	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Oronota	ND	69,8	6,25	46,3	65,0	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Pacheco	ND	4,20	5,40	1,22	8,55	Na>K>Ca>Mg	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	26
Padamo	ND	15,6	6,50	7,44	16,6	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Pao	ND	14,5	6,10	8,90	20,1	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Paragua	ND	15,0	5,50	5,82	14,5	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Paragua	ND	11,1	5,40	3,08	10,7	Na>Ca>Mg>K	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	22
Paragua	ND	12,6	5,60	4,89	14,4	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Paragua	ND	12,9	5,65	4,90	14,3	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Parguaza	ND	8,60	6,01	5,07	11,7	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Parupa	ND	6,28	6,03	3,76	10,2	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Pavoni	ND	8,78	5,62	6,22	11,4	K>Na>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	K-HCO ₃	12
Piedra de la Virgen	ND	20,4	6,21	12,9	25,2	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Portahuena	ND	8,98	6,12	6,15	11,7	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Pozo Azul	ND	4,65	6,05	1,75	8,00	Na>Ca>K>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	19
Qda. Seca	ND	499	6,24	323	350	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Qda. Verde	ND	265	8,21	198	254	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14
Retumbo	ND	391	5,80	261	288	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Riecito	ND	48,9	6,20	36,1	54,4	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Siapa	ND	15,7	5,90	5,21	14,0	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Simonera	ND	11,9	6,03	5,71	15,1	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Sipapo	ND	10,9	4,85	1,08	4,80	Na>Ca>K>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	19
Suapure	ND	14,2	6,22	11,0	19,4	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Supamo	ND	143	6,40	88,5	152	Mg>Na>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	17
Supamo	ND	27,3	6,45	18,3	33,6	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Tocoma	ND	50,9	7,10	37,6	56,1	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Tonoro	ND	10,0	5,15	4,77	11,1	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Trapichote	ND	11,2	5,73	4,86	14,8	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Uaiparu	ND	7,82	6,09	4,19	12,1	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Uairen	ND	13,8	6,10	10,2	21,8	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Uriman	ND	15,0	4,43	1,55	3,71	Na>Ca>Mg>K	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl	22
Ventuari	ND	16,1	7,10	12,3	20,5	Na>Ca>K>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	20
Ventuari	ND	19,7	6,60	10,2	24,6	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Na-HCO ₃	28
Vichada	ND	17,0	7,05	11,4	19,3	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Villacoa	ND	10,0	6,33	7,20	15,5	Na>K>Ca>Mg	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	25
Yocoima	ND	245	7,20	168	199	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14
Yocoima	ND	258	7,45	155	211	Mg>Na>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	17
Yuruan	ND	31,0	6,34	24,9	33,0	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Yuruani	ND	8,80	5,0	1,60	8,09	Na>K>Ca>Mg	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	26
Yuruari	ND	81,8	6,20	50,6	79,0	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Yuruari	ND	86,0	6,17	61,7	75,4	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Yuruari	ND	104	6,90	63,2	79,9	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Yuruari	ND	70,6	6,17	41,8	64,1	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Petaquire	14,0	140	8,30	112	123	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
El Limón	22,0	220	8,30	154	170	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Chichiriviche	22,0	370	8,20	223	238	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Maramita	25,0	310	8,20	213	227	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Aricagua	ND	130	7,80	61,2	83,2	Na>Mg>Ca>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	31



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Carao	30,2	350	8,10	245	269	Na>Ca>Mg>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	21
Chorrerón	26,0	230	8,10	97,2	120	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Camurí Grande	27,0	320	7,80	183	204	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Los Caracas	25,0	130	7,60	46,4	64,4	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Naiguata	25,0	220	7,40	66,9	85,9	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Aroa	28,0	950	7,90	511	526	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >Cl>HCO ₃	Ca-SO ₄	10
Upire	32,0	513	6,90	357	363	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Mitare	30,0	1425	7,80	987	988	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Zazarida	33,0	900	7,40	530	531	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Maticora	34,0	500	7,00	376	378	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Caucagua 1	19,6	549	7,70	326	344	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Izcaragua	18,8	134	7,47	89,0	104	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Caucagua 2	20,5	487	7,63	292	309	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Curupao	20,1	75,3	7,17	49,4	64,5	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Ingenio	22,1	101	7,53	66,2	81,9	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Churca	21,8	59	7,47	39,3	53,5	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	23
Caucagua 3	23,4	469	7,40	280	300	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Araira	24,8	294	8,53	171	186	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Caucagua 4	29,3	536	7,78	321	339	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Chuspita	26,1	198	8,24	130	143	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Chuspita 2	28,5	377	8,20	227	240	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Caucagua 5	31,3	514	7,47	342	360	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.1: Datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como tipo y subtipo de agua.

Río / Qda. / Caño	Temp Agua	Cond. Camp.	pH	Sales Disueltas	SDT	Clasificación según tipo y subtipo de agua			
	°C	(µSg/cm)		(mg/L)	(mg/L)	Cationes	Aniones	Tipo	Suptipo
Caucagua 6	31,3	582	7,31	382	400	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	9
Las Tapias	ND	20,0	7,31	30,4	39,7	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Qda. Pantanito	ND	30,0	7,40	23,8	38,8	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Apon	28,0	180	7,70	130	147	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Machango	34,0	260	7,10	167	179	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Mg-HCO ₃	15
Misoa	33,0	290	7,60	194	204	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Mg-HCO ₃	15
Palmar	27,0	440	7,90	354	372	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Catatumbo	25,0	60,0	7,30	43,7	57,7	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	3
Tucani	22,0	70,0	6,20	59,6	74,6	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Frio	18,0	70,0	6,20	55,2	72,2	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14
Guere	32,0	376	7,10	226	250	Na>Mg>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Na-HCO ₃	32
Tamanaco	28,0	270	8,00	180	188	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Guanipa	28,0	60,0	7,20	26,9	43,9	Na>Mg>Ca>K	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl	31
San Juan	26,0	310	8,00	211	221	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-HCO ₃	8
Cariaco	26,0	280	7,90	180	189	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃	4
Unare	26,0	210	7,90	153	164	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃	14

ND=No determinado.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Continuación Apéndice B

Tabla B.2: Valores mínimo (V mín.), máximo (V máx.) y medianas de los datos fisicoquímicos de las aguas de los ríos seleccionados, así como de sales disueltas y sílice disuelta en las principales cuencas de Venezuela.

Cuenca	pH			Conductividad (uS/cm)			Temperatura (°C)			Sales Disueltas (mg/L)			Sílice Disuelta (mg/L)		
	Mediana	V mín.	V máx.	Mediana	V mín.	V máx.	Mediana	V mín.	V máx.	Mediana	V mín.	V máx.	Mediana	V mín.	V máx.
Lago de Maracaibo	7,59	6,20	8,35	214	20,0	440	27,0	18,0	34,0	130	23,8	354	8,00	3,00	37,8
Occidental del Caribe	7,80	6,90	8,52	950	500	1425	31,0	28,0	34,0	376	254	987	1,60	1,00	15,0
Río Tuy	7,47	6,90	8,53	198	59,0	582	25,0	17,0	31,0	145	39,3	382	17,9	12,4	33,1
Central del Caribe	7,40	6,60	8,30	230	130	1006	28,0	14,0	30,0	147	46,4	508	17,0	11,0	24,0
Río Unare	7,90	7,10	8,00	270	210	376	28,0	26,0	32,0	180	153	226	11,0	7,80	24,0
Golfo de Cariaco	7,90	7,90	7,90	280	280	280	26,0	26,0	26,0	180	180	180	8,90	8,90	8,90
Golfo de Paria	7,60	7,20	8,00	185	60,0	310	27,0	26,0	28,0	119	26,9	211	13,3	9,60	17,0
Cuyuní	6,29	4,56	6,78	23,9	9,60	91,3	-	-	-	16,3	3,20	82,3	8,10	4,80	22,7
Margen Izquierda del Orinoco	6,95	4,40	8,23	72,9	4,50	440	29,0	22,0	34,0	47,9	2,21	279	7,60	0,00	23,1
Margen Derecha del Orinoco	6,10	4,33	8,21	13,5	4,16	499	26,0	20,0	33,0	6,36	0,83	323	7,81	1,80	63,5

Para la cuenca del Cuyuní no se obtuvieron datos de temperatura.

V mín. = Valor mínimo.

V máx. = Valor máximo.



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Continuación Apéndice B

Tabla B.3: Valores mínimo (V mín.), máximo (V máx.) y medianas de los cationes mayoritarios en las principales cuencas de Venezuela.

Cuenca	Calcio (mg/L)			Magnesio (mg/L)			Sodio (mg/L)			Potasio (mg/L)		
	Mediana	V mín.	V máx.	Mediana	V mín.	V máx.	Mediana	V mín.	V máx.	Mediana	V mín.	V máx.
Lago de Maracaibo	19,0	2,6	42,0	4,70	0,65	15,0	6,70	1,70	32,0	2,00	0,85	4,10
Occidental del Caribe	58,0	23,0	202	24,0	16,0	46,0	38,0	15,0	110	6,00	3,40	11,0
Río Tuy	19,6	3,38	60,7	5,84	1,09	22,30	7,82	5,40	34,5	1,38	0,50	5,39
Central del Caribe	11,0	2,20	35,0	12,0	5,10	119	12,0	5,10	119	2,00	1,10	6,20
Río Unare	13,0	6,08	17,1	9,30	8,90	10,00	14,0	13,0	42,7	5,51	4,43	5,98
Golfo de Cariaco	36,3	36,3	36,3	4,80	4,80	4,80	2,60	2,60	2,60	1,06	1,06	1,06
Golfo de Paria	16,9	1,00	32,9	2,60	0,80	4,40	11,5	4,90	18,0	1,85	1,55	2,14
Cuyuní	1,45	0,27	5,16	0,33	0,10	1,19	1,65	0,60	9,90	0,50	0,20	7,80
Margen Izquierda del Orinoco	6,44	0,09	72,3	1,50	0,01	6,40	2,25	0,29	36,0	1,18	0,15	26,00
Margen Derecha del Orinoco	0,40	0,02	21,3	0,15	0,00	27,6	0,97	0,10	52,9	0,70	0,05	5,00

V mín. = Valor mínimo.

V máx. = Valor máximo.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Continuación Apéndice B

Tabla B.4: Valores mínimo (V mín.), máximo (V máx.) y medianas de los cationes mayoritarios en las principales cuencas de Venezuela.

Cuenca	Cloruro (mg/L)			Sulfato (mg/L)			Bicarbonato (mg/L)		
	Mediana	V mín.	V máx.	Mediana	V mín.	V máx.	Mediana	V mín.	V máx.
Lago de Maracaibo	2,30	1,20	42,0	18,0	0,55	42,0	79,0	15,0	190
Occidental del Caribe	58,0	8,20	129	47,0	11,0	200	78,0	72,0	460
Río Tuy	8,10	2,98	28,0	11,6	0,00	80,8	90,6	20,7	199
Central del Caribe	12,0	4,40	219	4,00	0,00	36,0	75,0	25,0	160
Río Unare	11,0	10,0	38,0	16,0	12,0	34,0	90,0	90,0	108
Golfo de Cariaco	3,55	3,55	3,55	27,0	27,0	27,0	105	105	105
Golfo de Paria	14,1	8,10	20,0	4,78	0,55	9,00	67,5	10,0	125
Cuyuní	1,20	0,60	7,40	0,22	0,00	1,10	10,5	1,00	51,0
Margen Izquierda del Orinoco	1,20	0,30	8,80	4,55	0,00	96,0	26,1	0,00	114
Margen Derecha del Orinoco	0,53	0,06	57,5	0,24	0,00	8,26	4,02	0,00	170

V mín. = Valor mínimo.

V máx. = Valor máximo.



Apéndice C: Cálculos teóricos de la validación de los resultados geoquímicos obtenidos

A continuación se ejemplifican los cálculos realizados para la estimación de la conductividad ideal (conductividad teórica), como para el balance de carga necesarios para la validación de los datos obtenidos.

La conductividad teórica se determinó mediante la siguiente expresión:

$$CT = \sum U_i * C_i$$

Dónde: U_i es la conductividad teórica equivalente ($\mu S * L/cm * mg$) a 25°C.

C_i es la concentración de las diferentes especies iónicas disueltas (mg/L).

A continuación, como ejemplo se determinará la conductividad teórica del río Uricu (Morantes, 1997)

$$CT = \sum ([Mg^{2+}] + [Ca^{2+}] * 3,00 + [Na^+] * 2,17 + [K^+] * 1,89 + [HCO_3^-] * 0,74 + [Cl^-] * 2,14 + [SO_4^{2-}] * 1,67) \text{ mg/L} * \mu S * L/cm * mg$$

$$CT = \sum (12,67 + 11,62) = 24,29 \mu S/cm$$

El valor determinado en campo para esta muestra es de 24 $\mu S/cm$, inferior al teórico.

Con respecto al balance iónico, este se estimó a partir de la siguiente expresión:

$$\%BI = \frac{\sum + - \sum -}{\sum + - \sum -} * 100$$

Dónde: $\sum + = [Mg^{2+}] + [Ca^{2+}] + [Na^+] + [K^+]$

$\sum - = [HCO_3^-] + [Cl^-] + [SO_4^{2-}]$

Continuación Apéndice C



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Al calcular este valor para la muestra Uricu (Morantes, 1997):

$$\%BI(uricu) = \frac{228,9 - 226,0 \mu\text{eq/L}}{228,9 - 226,0 \mu\text{eq/L}} * 100 = 0,6 \%$$

Tabla C.1: Valores de conductividad de campo e ideal, suma de cationes, suma de aniones y balance iónico de los ríos seleccionados.

Río / Qda. / Caño	Cond. Ideal	Cond. Camp.	Cationes (Σ^+)	Aniones (Σ^-)	NBI
	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Eq/L}$)	($\mu\text{Eq/L}$)	
Uricu	24,3	24,0	229	226	0,62
Yurúan Pre-Supamo	15,6	12,7	80,9	78,1	1,73
Supamo	28,7	26,8	256	266	-1,84
Mochila	38,4	37,3	328	371	-6,13
Muinca	42,4	49,5	367	395	-3,72
Yuruarí	108	91,3	903	1062	-8,12
Yurúan	37,1	31,4	320	357	-5,44
Hacha	15,4	23,9	53	44,5	8,64
Urúy	13,3	13,3	117	120	-1,40
Chivao	8,30	9,6	77,1	69,0	5,60
Chicanán	9,62	11,5	92,3	82,5	5,56
Cuyuní (Pre-Chicanán)	14,3	15,7	130	136	-2,22
Cuyuní (Pre-Yurúan)	14,9	15,4	138	139	-0,11
Cuyuní (Pre-Venamo)	21,0	23,9	194	193	0,32
Venamo	26,8	18,7	245	239	1,16
Botanomo	98,5	76,6	795	997	-11,3
El Palmar	387	318	3162	3734	-8,30
Zulia	246	233	2047	2580	-11,51
Maniapure	7,30	12,9	52,8	62,7	-8,53
Suapure	6,79	14,2	56,0	58,4	-2,14
Trapichote	6,52	11,2	51,9	51,9	-0,02
Villacos	5,09	11,2	44,3	44,3	-0,02
Ore	4,39	7,20	33,9	33,9	-0,02
Parguaza	5,09	9,10	37,2	37,2	-0,02
Pavoní	5,26	6,10	40,9	40,9	-0,01
Cataniapo	4,49	9,60	37,6	37,6	-0,02
Cuao	4,10	9,30	35,4	35,4	-0,02
Autana	7,10	14,7	23,6	23,6	-0,02
Sinapo	8,11	12,7	24,2	24,2	-0,02

Continuación Apéndice C

Tabla C. 1: Valores de conductividad de campo e ideal, suma de cationes, suma de aniones y balance iónico de los ríos seleccionados.



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Río / Qda. / Caño	Cond. Ideal	Cond. Camp.	Cationes (Σ^+)	Aniones (Σ^-)	NBI
	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Eq/L}$)	($\mu\text{Eq/L}$)	
Villacos	5,82	11,4	49,2	49,2	-0,02
Cataniapo	5,29	7,40	45,2	45,2	-0,02
Autana	5,61	7,70	32,3	9,05	56,25
Cataniapo	5,76	6,10	49,1	52,4	-3,23
Colonia Tovar	151	184	1561	1118	16,5
Río Guare	391	351	3600	3826	-3,04
Río Súcuta	321	311	2954	3124	-2,79
Río Taguaza	131	134	1209	1249	-1,62
Río Cuira	216	212	1861	2125	-6,62
Panaquire	128	184	1156	1258	-4,23
Qda. Yaguapo	142	170	1295	1407	-4,16
Qda. Urba	196	189	1703	1867	-4,59
Río Sapo	131	133	1108	1290	-7,58
Caño Dieguima	666	990	7410	3925	30,74
Caño El Tuque	1016	1318	11699	5369	37,09
Caño Las Yeguas	494	970	4757	3566	14,32
Caño La Empalizada	499	827	4370	3894	5,76
Tigre	58,2	40,0	521	521	0,00
Tigre	57,8	40,0	514	514	0,00
Tigre	134	70,0	1264	1264	0,00
Tigre	72,6	50,0	656	656	0,00
Tigre	76,0	60,0	655	655	0,00
Tigre	63,0	40,0	568	568	0,00
Tigre	82,6	60,0	715	715	0,00
Areo	60,8	30,0	465	465	0,00
Areo	29,9	25,0	268	268	0,00
Areo	31,0	24,0	272	272	0,00
Chive	98,3	80,0	884	884	0,00
Oritupamo	146	130	1162	1162	0,00
Ñato	67,6	50,0	626	626	0,00
Aribi	59,7	40,0	514	514	0,00
Caris	116,8	60,0	1071	1071	0,00
Caris	68,4	50,0	629	629	0,00
Moquete	49,5	30,0	480	480	0,00
La Canoa	41,0	35,0	390	390	0,00
Icabaru	12,5	13,3	106	117	-4,73

Continuación Apéndice C

Tabla C. 1: Valores de conductividad de campo e ideal, suma de cationes, suma de aniones y balance iónico de los ríos seleccionados.



**Variación espacial de los parámetros físicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Río / Qda. / Caño	Cond. Ideal	Cond. Camp.	Cationes (Σ^+)	Aniones (Σ^-)	NBI
	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Eq/L}$)	($\mu\text{Eq/L}$)	
Cantarrana	7,21	8,55	23,8	20,8	6,73
Chaberú	8,86	10,5	27,8	39,2	-17,0
Guara	10,8	11,8	95,9	26,2	57,1
Maurak	10,4	10,8	69,9	97,2	-16,4
San Antonio	12,8	8,40	50,6	59,8	-8,33
Lan Dante	13,1	10,8	76,2	48,1	22,6
Guara	16,5	8,74	46,5	45,6	0,98
Kat	8,03	4,86	41,5	72,8	-27,4
Uari	3,81	4,16	18,6	42,9	-39,5
Santa Teresa	3,20	5,30	13,4	30,2	-38,4
Kukenan	4,63	7,80	15,0	58,1	-58,9
Kakoparu	5,57	5,05	34,9	63,2	-28,8
Mapuri	10,6	5,35	69,0	57,0	9,48
Tarenken	8,96	7,22	53,0	30,2	27,5
Maa Dee	6,23	7,85	59,6	35,7	25,1
Karomata	9,34	5,55	13,6	30,2	-37,9
Kuyumerapa	18,8	14,2	9,47	67,0	-75,2
Maranpan	4,25	5,32	13,8	33,6	-41,8
Arapan	3,83	4,85	22,8	30,2	-13,9
Kur	6,33	7,64	49,1	67,1	-15,5
Tupinerel	4,33	4,95	15,9	63,8	-60,1
Kama	6,12	9,85	49,9	60,3	-9,41
Uro	5,05	6,07	34,8	59,9	-26,4
Kau	4,02	4,68	24,3	33,6	-16,1
Ana Uaia	7,43	6,32	21,0	34,0	-23,7
Sacaica	9,08	10,1	73,2	78,6	-3,58
Wui	8,30	8,66	62,1	76,0	-10,0
Kamoiran	7,69	10	67,1	61,2	4,58
Aponwao	7,09	8,65	48,8	57,6	-8,30
Aponwao	14,0	8,78	52,2	63,1	-9,42
El Danto	9,53	11,7	100	67,0	19,9
Piscurí	35,2	40,3	337	305	4,90
Doradas	68,2	62,8	660	565	7,71
Lobaterita	317	292	2874	2860	0,25
Grita	263	255	2408	2296	2,38
Zulia	193	226	1793	1629	4,80

Continuación Apéndice C

Tabla C. 1: Valores de conductividad de campo e ideal, suma de cationes, suma de aniones y balance iónico de los ríos seleccionados.



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Río / Qda. / Caño	Cond. Ideal	Cond. Camp.	Cationes (Σ^+)	Aniones (Σ^-)	NBI
	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Eq/L}$)	($\mu\text{Eq/L}$)	
Quinimarí	207	171	1883	1710	4,83
Uribante	142	127	1320	1255	2,52
Chururú	89,5	93,3	875	719	9,78
Grita (Grita)	192	166	1942	1548	11,30
Carira	276	247	2468	2334	2,81
Umuquena	221	214	2043	1850	4,94
Caqueteria	100	111	996	776	12,4
La Blanca	147	123	1299	1093	8,62
Pajitas	169	156	1530	1423	3,62
Boconó	140	140	1342	1207	5,30
San Mateo	241	223	2188	2086	2,37
Escalante	308	286	2845	2548	5,50
Guarurís	307	301	2773	2606	3,12
Onía	197	182	1693	1487	6,48
El Guapo	188	171	1696	1679	0,51
El Guapo	180	167	1589	1652	-1,93
Santa Bárbara	229	235	2113	2049	1,54
Caño Amarillo	271	265	2413	2545	-2,66
Madre Casañas	184	190	1659	1654	0,15
Qda Lagunon	183	167	1628	1664	-1,09
Qda San Ignacio	561	544	4733	4932	-2,06
Qda Chaguaramal	279	274	2418	2500	-1,67
Río Chico	1010	1006	8093	8314	-1,34
Cinaruco	10,8	11,7	102	98,9	1,39
La Pica	5,39	6,11	47	47,5	-0,55
Capanaparo	46,9	54,1	420	381	4,86
Arauca	60,5	64,4	526	523	0,25
Doradas	ND	ND	520	470	4,97
Uribante	ND	ND	2113	2099	0,31
Chirgua	31,8	34,5	290	307	-2,95
Tiznado	79,9	94,8	686	791	-7,08
Caño Caracol	83,4	95,3	742	787	-2,96
Apure	112	127	985	1056	-3,48
Payara	31,3	41,5	277	322	-7,62
Sinaruco	5,02	4,50	27	41,8	-21,89
Yuguita (C Turumba)	17,5	23,1	141	161	-6,82

Continuación Apéndice C

Tabla C. 1: Valores de conductividad de campo e ideal, suma de cationes, suma de aniones y balance iónico de los ríos seleccionados.



**Variación espacial de los parámetros físicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Río / Qda. / Caño	Cond. Ideal	Cond. Camp.	Cationes (Σ^+)	Aniones (Σ^-)	NBI
	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Eq/L}$)	($\mu\text{Eq/L}$)	
Apure	71,4	84,0	629	687	-4,41
Morador	220	298	2030	1979	1,28
Portuguesa	252	205	1832	2659	-18,41
Guanare	268	261	2165	2552	-8,19
Boconó	176	170	1556	1808	-7,49
Masparro	158	148	1333	1677	-11,4
La Yuca	203	192	1760	1927	-4,53
Santo Domingo	108	97,0	904	1056	-7,76
Santo Domingo	130	128	1128	1240	-4,71
Masparro	168	166	1523	1633	-3,50
Apure	150	148	1300	1451	-5,47
Santa Bárbara	90,8	119	566	1059	-30,4
Matiyure	112	125	1044	1103	-2,75
Apure	186	193	1731	1622	3,23
Caño Bucaral	73,5	75,6	609	639	-2,39
Arauca	70,2	76,3	612	581	2,61
Cunaviche	73,6	75,5	594	644	-3,99
Cunavichito	15,1	12,0	97,1	134	-16,1
Capanaparo	89,8	98,6	727	650	5,60
Cinaruco	8,17	12,2	96	31,4	50,5
Orinoco	35,7	40,0	289	340	-8,11
Orinoco	ND	25,6	218	190	6,82
Orinoco	78,2	52,3	449	934	-35,0
San Carlos	226	315	2070	1995	1,87
Guache	482	440	4153	3674	6,12
Tucupido	262	281	2108	2245	-3,14
Uribante	159	174	1488	1359	4,53
Doradas	65,2	61,8	574	627	-4,46
Navay	59,1	55,2	566	508	5,44
Caparo	86,0	88,5	803	783	1,30
Socopó	37,5	40,1	366	331	5,00
Acequia	29,7	32,2	295	248	8,66
El Paguey	37,2	45,4	342	323	2,91
Caris	42,6	50,2	345	362	-2,34
Orinoco	25,5	32,6	206	207	-0,15
Guacuna	18,7	21,8	173	147	8,02

Continuación Apéndice C

Tabla C. 1: Valores de conductividad de campo e ideal, suma de cationes, suma de aniones y balance iónico de los ríos seleccionados.



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Río / Qda. / Caño	Cond. Ideal	Cond. Camp.	Cationes (Σ^+)	Aniones (Σ^-)	NBI
	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Sg/cm}$)	(uEq/L)	(uEq/L)	
Ature	13,5	16,0	115	116	-0,22
Morichal San Pedro	18,5	6,38	37,1	33,3	5,42
Manapire (Afluente)	9,6	13,1	88,5	47,7	30,0
Quebradón	12,2	14,3	101	45,7	37,7
Orinoco	13,3	18,2	116	107	4,11
Manapire	16,4	23,1	170	117	18,6
Yauná (Yaunó)	162	148,0	1505	1301	7,25
Guasdo	84,8	82,1	787	788	-0,09
Canagua	28,1	25,3	248	280	-6,00
Santo Domingo	91,0	70,3	691	917	-14,0
Acanan	10,9	11,2	78,0	10,8	75,7
Agua Blanca	119	133	1064	1136	-3,26
Agua Fria	6,11	6,47	49,2	54,2	-4,84
Agua Sucia	83,5	81,4	822	774	3,01
Aponguaó	9,0	9,12	84,6	18,6	64,0
Aponguaó	7,1	7,31	63,9	13,1	66,0
Ariza	20,5	32,5	208	186	5,58
Aro	57,3	69,2	548	550	-0,18
Atabapo	18,2	18,0	23,5	6,60	56,1
Autana	10,1	12,1	35,8	10,3	55,3
Aza	14,5	15,7	139	135	1,53
Caballape	141	125	1252	1355	-3,96
Carapo	60,2	92,1	609	574	2,96
Carapo	16,6	16,0	59,0	10,7	69,3
Carichapo	115	116	1111	989	5,80
Caroni	6,87	8,38	65,2	52,2	11,1
Caroni	6,87	8,84	64,6	52,0	10,8
Caroni	6,93	8,74	67,0	51,0	13,6
Caroni	5,89	7,74	61,2	33,2	29,7
Caroni	8,77	8,95	75,8	75,4	0,26
Carrao	9,75	11,8	48,1	10,7	63,6
Caruay	5,99	7,68	58,0	44,4	13,3
Caruay	5,76	6,64	54,0	44,4	9,76
Casiquiare	14,5	13,2	112	18,8	71,3
Caspon	124	120	1219	1087	5,72
Cataniano	6.84	6.01	56.4	63.0	-5.53

Continuación Apéndice C

Tabla C. 1: Valores de conductividad de campo e ideal, suma de cationes, suma de aniones y balance iónico de los ríos seleccionados.



Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la composición química, en función de los elementos mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de Venezuela



Río / Qda. / Caño	Cond. Ideal	Cond. Camp.	Cationes (Σ^+)	Aniones (Σ^-)	NBI
	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Sg/cm}$)	(uEq/L)	(uEq/L)	
Caura	20,4	21,6	185	196	-2,94
Caura	17,7	19,3	165	165	0,12
Caura	17,9	18,3	156	178	-6,59
Caura	13,3	13,9	119	126	-2,77
Caura	14,8	15,2	136	137	-0,59
Caura	16,0	16,5	141	158	-5,62
Chicanan	8,14	11,5	80,6	61,8	13,2
Chiguao	20,0	21,3	198	181	4,43
Chivao	10,0	9,6	92	93,4	-0,76
Claro	54,5	61,5	509	513	-0,39
Corumo	110	102	1045	964	4,02
Cuao	7,59	6,67	62,0	68,0	-4,62
Cuchivero	23,6	24	214	232	-4,08
Cunaguaro	120	123	1092	1102	-0,47
Cunucunuma	3,41	6,24	48,0	6,20	77,1
Curiapo	21,5	24,8	179	201	-5,79
Cuspa	73,5	73,2	718	653	4,74
Cuyuni	28,8	20,3	270	232	7,57
Cza. Mala	159	149	1401	1503	-3,51
El Danto	6,31	7,08	53,4	7,60	75,1
Erebato	13,2	15,8	133	102	13,1
Espiritu	138	134	1305	1202	4,11
Guainia	10,8	11,9	31,3	2,80	83,6
Guaviare	35,3	36,0	322	322	0,00
Hacha	13,7	23,9	55,3	11,9	64,6
Icabarú	10,5	13,0	106	74,0	17,8
Ichum	11,0	10,0	53,9	12,1	63,3
Jaspe	8,28	8,28	71,4	16,2	63,0
Kama	7,90	10,1	76,4	12,8	71,3
Kamoairan	7,70	9,52	75,2	16,0	64,9
Karum	8,67	10,0	76,2	20,2	58,1
Kukenan	9,6	7,12	86,6	84,8	1,05
Kukenan	9,30	7,10	80,0	85,6	-3,38
La Laja	259	240	2579	2391	3,77
Macorumo	209	207	1943	1786	4,21
Maniapure	11,1	12,5	108	89,8	9,11

Continuación Apéndice C

Tabla C. 1: Valores de conductividad de campo e ideal, suma de cationes, suma de aniones y balance iónico de los ríos seleccionados.



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Río / Qda. / Caño	Cond. Ideal	Cond. Camp.	Cationes (Σ^+)	Aniones (Σ^-)	NBI
	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Eq/L}$)	($\mu\text{Eq/L}$)	
Miamo	61,4	55,5	545	432	11,5
Miamo	65,1	55,2	563	473	8,69
Muinca	230	214	2090	2229	-3,22
Negro	14,0	10,8	102	19,4	67,99
Ocamo	16,2	26,0	171	137	11,0
Ore	9,18	9,11	77,4	83,6	-3,85
Orinoco	17,1	15,4	158	159	-0,32
Orinoco	14,7	13,0	136	136	0,00
Orinoco	21,7	20,9	201	201	-0,05
Orinoco	28,5	27,5	268	268	0,07
Orinoco	26,6	27,0	243	245	-0,41
Orinoco	47,6	47,0	433	435	-0,23
Orinoco	54,8	49,0	440	461	-2,33
Oris	12,3	14,0	116	110	2,75
Orocopiche	21,9	24,4	190	199	-2,31
Oronota	70,4	69,8	687	601	6,71
Pacheco	3,93	4,20	34,4	5,60	72,0
Padamo	9,8	15,6	100	83,9	8,56
Pao	11,8	14,5	102	116	-6,61
Paragua	12,8	15,0	147	53,8	46,4
Paragua	8,54	11,1	96,4	22,2	62,6
Paragua	9,01	12,6	92,6	51,0	29,0
Paragua	8,98	12,9	91,6	52,0	27,6
Parguaza	7,05	8,60	61,8	59,8	1,64
Parupa	5,64	6,28	51,2	44,8	6,67
Pavoni	8,61	8,78	65,2	76,5	-7,97
Piedra de la Virgen	18,2	20,4	176	168	2,47
Portahuena	7,86	8,98	62,4	77,3	-10,67
Pozo Azul	4,35	4,65	54,0	12,3	62,9
Qda. Seca	510	499	4859	4432	4,60
Qda. Verde	287	265	2902	2687	3,85
Retumbo	395	391	3595	3611	-0,22
Riecito	50,4	48,9	507	445	6,51
Siapa	9,11	15,7	91,2	57,8	22,4
Simonera	7,05	11,9	50,0	76,0	-20,6
Sipapo	7,29	10,9	31,1	6,80	64,1

Continuación Apéndice C

Tabla C. 1: Valores de conductividad de campo e ideal, suma de cationes, suma de aniones y balance iónico de los ríos seleccionados.



**Variación espacial de los parámetros físicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Río / Qda. / Caño	Cond. Ideal	Cond. Camp.	Cationes (Σ^+)	Aniones (Σ^-)	NBI
	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Sg/cm}$)	(uEq/L)	(uEq/L)	
Suapure	14,5	14,2	124	138	-5,57
Supamo	132	143	1247	1249	-0,10
Supamo	30,8	27,3	263	262	0,19
Tocoma	52,9	50,9	525	473	5,19
Tonoro	10,1	10,0	76,4	54,6	16,6
Trapichote	6,95	11,2	51,4	62,2	-9,51
Uaiparu	6,85	7,82	68,0	48,4	16,8
Uairen	14,6	13,8	136	125	4,13
Uriman	16,5	15,0	44,5	13,30	54,0
Ventuari	16,0	16,1	151	148	0,94
Ventuari	13,2	19,7	126	122	1,45
Vichada	15,2	17,0	144	144	-0,07
Villacoa	9,2	10,0	77,6	88,0	-6,28
Yocoima	241	245	2261	2347	-1,86
Yocoima	216	258	2142	2144	-0,05
Yuruan	34,7	31,0	322	322	0,06
Yuruani	6,46	8,80	46,8	13,0	56,5
Yuruari	81,7	81,8	760	689	4,89
Yuruari	96,6	86,0	844	871	-1,60
Yuruari	103	104	894	898	-0,23
Yuruari	60,2	70,6	533	567	-3,07
Petaquire	158	140	1410	1533	-4,19
El Limón	203	220	1819	2028	-5,44
Chichiriviche	302	370	2908	2841	1,16
Maramita	295	310	2758	2804	-0,84
Aricagua	104	130	885	898	-0,71
Carao	455	350	3801	3780	0,27
Chorrerón	142	230	1281	1342	-2,32
Camurí Grande	244	320	2182	2471	-6,20
Los Caracas	61,0	130	540	616	-6,63
Naiguata	89,0	220	824	882	-3,38
Aroa	1027	950	8551	7442	6,94
Upire	552	513	4959	4784	1,79
Mitare	1650	1425	15430	12895	8,95
Zazarida	915	900	8502	7174	8,47
Maticora	564	500	5377	4859	5.06

Continuación Apéndice C

Tabla C. 1: Valores de conductividad de campo e ideal, suma de cationes, suma de aniones y balance iónico de los ríos seleccionados.



**Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y de la
composición química, en función de los elementos
mayoritarios, en los ríos prístinos o cuasi-prístinos de
Venezuela**



Río / Qda. / Caño	Cond. Ideal	Cond. Camp.	Cationes (Σ^+)	Aniones (Σ^-)	NBI
	($\mu\text{Sg/cm}$)	($\mu\text{Sg/cm}$)	(uEq/L)	(uEq/L)	
Caucagua 1	535	549	4570	4421	1,65
Izcaragua	124	134	1152	1142	0,42
Caucagua 2	479	487	4096	3962	1,67
Curupao	74,3	75,3	667	657	0,77
Ingenio	99,1	101	893	883	0,55
Churca	59,0	59,0	532	526	0,55
Caucagua 3	437	469	3841	3770	0,94
Araira	264	294	2339	2290	1,06
Caucagua 4	508	536	4441	4343	1,12
Chuspita	178	198	1664	1680	-0,49
Chuspita 2	342	377	3052	3001	0,85
Caucagua 5	563	514	4817	4668	1,57
Caucagua 6	618	582	5327	5175	1,45
Las Tapias	41,7	20,0	387	393	-0,73
Qda. Pantanito	32,9	30,0	283	319	-5,96
Apon	171	180	1555	1694	-4,28
Machango	249	260	2368	2184	4,03
Misosa	287	290	2717	2567	2,84
Palmar	533	440	4376	5030	-6,96
Catatumbo	59,9	60,0	578	550	2,49
Tucani	77,2	70,0	713	759	-3,10
Frio	71,1	70,0	673	707	-2,45
Guere	369	376	3123	3256	-2,08
Tamanaco	260	270	2346	2387	-0,86
Guanipa	45,7	60,0	368	404	-4,59
San Juan	311	310	2840	2802	0,68
Cariaco	268	280	2347	2385	-0,79
Unare	226	210	2093	2036	1,36