

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



ESTUDIO HIDROGEOQUÍMICO DE LA CUENCA DEL RÍO CAUCAGUA, ESTADO MIRANDA

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la ilustre
Universidad central de Venezuela
por la **Br. Luisa Josefina Blanco
Boyer** como requisito para
aprobar la asignatura Proyecto
Geoquímico II y optar al Título de
Licenciada en Geoquímica

Caracas, Mayo de 2011

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



ESTUDIO HIDROGEOQUÍMICO DE LA CUENCA DEL RÍO CAUCAGUA, ESTADO MIRANDA

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la ilustre
Universidad central de Venezuela
por la **Br. Luisa Josefina Blanco
Boyer** como requisito para
aprobar la asignatura Proyecto
Geoquímico II y optar al Título de
Licenciada en Geoquímica

Caracas, Mayo de 2011

ACTA

Aprobado en nombre de la Universidad Central de Venezuela por los Miembros del Jurado Examinador.

Prof. Armando Ramírez

Tutor

Prof. Carlos Yanes

Jurado

Prof. Ramón Montero

Jurado

DEDICATORIA

A mis padres y hermanas por ser lo más grande y bonito que tengo en la vida; y a mi abuelita quien me guió y cuidó desde el cielo. Los quiero con todo mi corazón

Luisa J. Blanco Boyer

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por iluminarme y darme fuerzas para seguir adelante sin importar los obstáculos que pueden presentarse en el camino.

A la ilustre Universidad Central de Venezuela y al Instituto de Ciencias de La Tierra, por brindarme el conocimiento y los instrumentos necesarios para culminar de manera satisfactoria ésta etapa de mi vida.

Al proyecto **CDCH PG-03-7843-2009/1** “**Estudio de la evolución del grado de contaminación de la cuenca del Río Tuy durante los últimos veinte años**”

A mis padres y hermanas por el apoyo que me han brindado en todos los aspectos de mi vida, por darme aliento y esperanza a pesar de que las cosas pinten color de hormiga. Gracias por siempre estar allí. Los quiero mucho.

Al profesor Armando Ramírez por ser no solo un buen profesor y tutor, sino una excelente persona. Por comprender, apoyarme y ayudarme en poder cumplir con el sueño de graduarme como Licenciada en el momento justo y con las personas que más quiero. Gracias profe por tenerme paciencia y dedicarme todo ese tiempo en el desarrollo de éste trabajo (sin importar que fuese fin de semana o día feriado jeje).

A mi “esposito” Elis quien siempre ha estado allí en las buenas y en las malas, por siempre tener las palabras perfectas que permitían levantarme ante una situación difícil. Por tener toda la fe en mi de que lo lograría. Te amo

A Richard, por ser tan especial. No tengo suficientes palabras para agradecerte toda la ayuda que me brindaste no solo en el desarrollo de este gran sueño, sino en salir adelante en varias materias. Por ser tan buen amigo y persona, por siempre estar allí para todos sin importar nada. Por las palabras (a veces en forma de regaño) de que no pensara en forma negativa y luchara por mis metas. Nunca cambies. Te quiero mi amol.

A Nade por toda la paciencia que me tuvo al hacerle muchiiiiisimas preguntas y ayudarme tanto en el desarrollo de mi trabajo de investigación. A Khely por su apoyo, por siempre estar pendiente, por su ayuda y por todas sus locuras que me hacían sonreír. A Omi por ser una gran persona y amiga, por todo el apoyo que me brindo y sus palabras alentadoras. Son las mejores!! Las quieroooooooooo

A mis mejores amigas Eliana y Joe (las CSP) así como David, Williams y Martica por ser lo mejor de lo mejor. Por el apoyo que me han brindado en todos estos años. No tienen idea de lo mucho que los quiero amigooooos.

Gracias a todos los que de una forma u otra me han brindado su apoyo.

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en la cuenca del río Caucagua, estado Miranda, con el propósito de realizar un estudio hidrogeoquímico que permite tener una visión acerca de los procesos que controlan la composición química de los cuerpos de aguas superficiales. Para ello fue llevada a cabo la determinación de las concentraciones de las especies mayoritarias Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} y Si y P; así como también la medición de los parámetros fisicoquímicos pH, conductividad eléctrica y temperatura. Igualmente fue llevada a cabo la estimación de la tasa de meteorización y el grado de contaminación en dicha cuenca.

El plan de muestreo comprendió 16 puntos en total, 6 correspondientes al canal principal del río Caucagua y 10 a lo largo de los afluentes más importantes. Las determinaciones realizadas involucraron la alcalinidad mediante titulación ácido-base. Posteriormente, las muestras fueron filtradas en el laboratorio a través de un sistema Millipore, empleando un papel de filtro de $0,45\mu\text{m}$ para luego determinar las especies Si y P por fotolorimetría empleando un equipo Spectronic 20. Por su parte, la concentración de los cationes fueron conocidas mediante la técnica de ICP-AES y la concentración de sulfato y cloruro por cromatografía iónica.

Los resultados obtenidos indican que las concentraciones más elevadas de las especies mayoritarias analizadas están ubicadas en los afluentes no contaminados del noreste de la cuenca, tal es el caso de Araitha, Cupo y Chuspita por drenar en mayor proporción la Formación Las Mercedes; mientras que las menores concentraciones son ubicadas al noroeste de la misma, específicamente en Izcaragua, Curupao, Ingenio y Churca por drenar la Formación Las Brisas. Por otra parte, fue posible asociar que las variaciones de las tasas de disolución encontradas en este estudio hacia el noroeste de la cuenca son debidas principalmente a la distribución de precipitación-escorrentía; mientras que en los afluentes del noreste son producto de la combinación precipitación-escorrentía y litología. Por último fueron establecidas las proporciones asociadas a la tasa de disolución global de la cuenca para cada mineral, así como el aporte antrópico (ambas en $\text{Ton/Km}^2\text{-año}$).

INDICE

	pág
Introducción	1
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
Marco Teórico	
Sistema de agua natural	4
Comportamiento geoquímico de las especies químicas:	
Calcio	5
Magnesio	5
Sodio	6
Potasio	6
Cloruro	6
Nitrato	7
Sulfato	7
Bicarbonato	7
Silicio	8
Fósforo	8
Parámetros que controlan la movilidad de las especies químicas	8
Factores que controlan la composición química de las aguas	
Factores químicos	9
Factores biológicos	9
Factores geológicos	10
Factores morfológicos	10
Factores climáticos	10
Factores antrópicos	11
Contaminación de aguas superficiales	
Urbana	11
Doméstica	11
Industrial	12

Agropecuaria	12
Clasificación de las aguas según sus usos (Decreto 883)	12
Antecedentes	
Internacionales	14
Nacionales	19
Metodología	
Zona de estudio	
Ubicación	24
Precipitación	25
Temperatura y topografía	25
Sistema de drenaje	25
Características geológicas de la cuenca del río Cauçagua	26
Parte experimental	
Trabajo preliminar	30
Trabajo de campo	
Toma de muestras	30
Medidas de campo	31
Trabajo de laboratorio	
Tratamiento de muestras	32
Análisis químico de las muestras	
Determinación de la concentración de cationes	34
Determinación de la concentración de sulfato	34
Determinación de sílice disuelta	34
Determinación de la concentración de fósforo	35
Tratamiento de datos	35
Presentación y discusión de resultados	
Validación de los resultados	
Conductividad Teórica	36
Relación entres SDT y conductividad	38
Medidas de campo	

Conductividad	39
Temperatura	42
pH	42
Especies Mayoritarias	
Sodio	45
Potasio	47
Calcio	49
Magnesio	51
Silicio	51
Bicarbonato	54
Sulfato	54
Cloruro	57
Fósforo	59
Correlaciones	61
Sólidos disueltos	65
Tasa de disolución	67
Conclusiones	70
Recomendaciones	72
Referencias bibliográficas	73
Apéndice	79

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	Página
Figura 1: Ubicación del Río Caucagua desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Río Tuy, Estado Miranda, Venezuela (Tomado de Base Cartográfica de Venezuela, IGVSB).....	24
Figura 2: Precipitación promedio mensual de la cuenca del río Caucagua.....	25
Figura 3: Mapa geológico de la cuenca del río Caucagua	29
Figura 4: Mapa del río Caucagua con los puntos de muestreo en el canal principal y en sus principales afluentes	31
Figura 5: Esquema de tratamiento de las muestras, luego de ser filtradas.....	33
Figura 6: Conductividad teórica versus conductividad de campo para las aguas del río Caucagua y sus afluentes principales.	37
Figura 7: Relación de SDT con la conductividad.....	38
Figura 8: Distribución de conductividad durante los tres muestreos realizados	40
Figura 9: Distribución de temperatura durante los tres muestreos realizados.....	43
Figura 10: Distribución de pH durante los tres muestreos realizados	44
Figura 11: Distribución de sodio durante los tres muestreos realizados	46
Figura 12: Distribución de potasio durante los tres muestreos realizados	48
Figura 13: Distribución de calcio durante los tres muestreos realizados.....	50
Figura 14: Distribución de magnesio durante los tres muestreos realizados	52
Figura 15: Distribución de sílice durante los tres muestreos realizados.....	53
Figura 16: Distribución de bicarbonato durante los tres muestreos realizados	55
Figura 17: Distribución de sulfato a lo largo del río Caucagua, estado Miranda.....	56
Figura 18: Distribución de cloruro durante los tres muestreos realizados	58

Figura 19: Distribución de fósforo durante los tres muestreos realizados	60
Figura 20: Correlaciones entre calcio y magnesio; y las mismas con la especie bicarbonato.....	62
Figura 21: Correlación existente entre sodio y potasio; y las mismas con cloruro	64
Figura 22: Distribución espacial de las tasas de disolución de minerales a lo largo del río Caucagua, estado Miranda	68
Figura 23: Distribución espacial de los minerales tomando en cuenta las áreas de cada una de las zonas y afluentes donde fueron recolectadas las muestras.....	68
Figura 24: Curvas de calibración de Silicio para los tres muestreos realizados	89
Figura 25: Curvas de calibración de Fósforo para los tres muestreos	90
Figura 26: Curva de calibración para los diferentes cationes medidos	91
Figura 27: Dispersión de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ para estimar el promedio de los mismos en los tres muestreos.....	92
Figura 28: Dispersión de P y SiO_2 para estimar el promedio de los mismos en los tres muestreos realizados	93
Figura 29: Relación de conductividades en los diferentes muestreos realizados.....	94
Figura 30: Curva de valoración del HCl empleado en las mediciones de alcalinidad y del AgNO_3 empleado para la determinación de cloruro	95
Figura 31: Fotografía de: a) montaje de filtración de muestras; b) equipo de absorción atómica; c) cromatógrafo iónico y d) espectrofotómetro Spectronic 20	97

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO	Página
Tabla 1: Clasificación de las aguas según sus usos (Decreto 883)	13
Tabla 2: Valores de SDT y conductividad teórica en las aguas del río Caucagua.....	80
Tabla 3: Conductividades iónicas equivalentes de los iones en solución acuosa a 25°C	80
Tabla 4: Valores de los parámetros fisicoquímicos medidos en el río Caucagua, durante las tres salidas de campo	81
Tabla 5: Valores obtenidos de cationes en los tres muestreos realizados.....	81
Tabla 6: Resultados de silicio (expresado como SiO ₂) obtenidos.....	82
Tabla 7: Valores obtenidos de aniones en los tres muestreos realizados.....	82
Tabla 8: Resultados obtenidos de fósforo en el río Caucagua, estado Miranda	83
Tabla 9: Valores obtenidos del aporte de los aerosoles marinos para las distintas especies estudiadas	83
Tabla 10: Valores obtenidos del aporte de litología para las distintas especies estudiadas.....	84
Tabla 11: Valores obtenidos del aporte atmosférico para las distintas especies estudiadas.....	84
Tabla 12: Tasas de disolución de especies y en función de toneladas de mineral alterado por área de la subcuenca, en un período determinado	85
Tabla 13: Tasas de disolución de las especies estudiadas; así como en función de toneladas de mineral alterado en un período determinado	85

Tabla 14: Aporte de sílice por parte de la disolución de albita y ortosa.....	85
Tabla 15: Valores de las áreas, precipitación y escorrentía estimadas que fueron estimadas para la cuenca del río Cauagua, estado Miranda (Ramírez, 1990)	86
Tabla 16: Aporte de las especies estudiadas por parte de las actividades antrópicas .	86
Tabla 17: Comparación de conductividad con trabajos previos	87
Tabla 18: Comparación de los resultados obtenidos por Cova (1996) y éste trabajo de investigación, en cuanto a los cationes.....	87
Tabla 19: Comparación de sílice con trabajos previos (Cova, 1996)	88
Tabla 20: Comparación de aniones con trabajos previos (Cova, 1996)	88
Tabla 21: Valores para la relación de las sales marinas (Yanes, 1988).....	96



INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas son ecosistemas que contienen recursos naturales básicos como el agua, el suelo, la vegetación y la fauna (Parra, 2009). Las mismas son definidas como aquellas conformadas por una red de drenaje superficial, para luego formar el escurrimiento de un río y conducir sus aguas a un río más grande o hacia otro sistema principal, como los son lago o mar (Luque, 2003).

Los ríos son cuerpos de agua de gran importancia ecológica, ya que en éstos conviven una gran cantidad de especies, entre las que encontramos organismos fotosintéticos como las algas, musgos y plantas acuáticas; así como diversas cantidades y tipos de peces (Seoáñez, 2000). Los mismos representan un porcentaje muy bajo en la distribución de aguas de nuestro planeta (0,0002%). Sin embargo, los ríos tienen importantes usos que incluyen el abastecimiento de agua para consumo humano o para regadío, la navegación, la pesca y la obtención de energía hidroeléctrica (Sabater y Elosgi, 2009). Por otra parte, constituyen el medio de transporte más importante de los productos del proceso de meteorización y de las actividades antrópicas a los océanos. En consecuencia es considerado que factores como litología, a través de la composición mineralógica de las rocas y las actividades antrópicas (industrial, doméstica y agropecuaria) pueden ejercer una fuerte influencia en la composición química de las aguas de los ríos (Li y Yang, 2010). Dicha composición revela la naturaleza de la meteorización y una variedad de otros procesos naturales y antrópicos en una escala total de la cuenca. Las principales especies químicas de las aguas de los ríos también proveen una importante visión en los ciclos biogeoquímicos globales de elementos en el sistema continente-océano-atmósfera (Chen *et al.*, 2002).

En ese sentido, en las últimas décadas numerosos estudios han cuantificado la carga de sólidos disueltos a lo largo de diversos ríos para determinar la tasa de meteorización química (Hurwitz *et al.*, 2010); con la finalidad de tener conocimiento del período durante el cual ocurre la meteorización en una cuenca de determinada área (González *et al.*, 2004).



En la actualidad, la rápida industrialización tiene el potencial para ayudar a conseguir una variedad de objetivos sociales; pero tal crecimiento indiscriminado ha creado enormes problemas ambientales; a saber: cambio climático, agotamiento de la biodiversidad, destrucción de fuentes naturales, alteración ambiental y extinción de especies. Los países desarrollados tienen mayor capacidad de regular el impacto ambiental producido por estas actividades (Suthar *et al.*, 2009). No obstante, países en vías de desarrollo no cuentan con dicha capacidad. Venezuela es un ejemplo de ello, por lo que presenta una diversidad de cuencas afectadas por la intervención del hombre; como la de los ríos Yaracuy, Neverí, Manzanares, Turbio, Tocuyo y Tuy (Rojas, 1983; Andara, 1993; Yanes, 1980).

El río Caucagua es uno de los principales afluentes contaminantes del río Tuy; siendo éste último de vital importancia debido a que atraviesa gran parte de la región nor-central de Venezuela, sirviendo como fuente de abastecimiento de agua para uso doméstico, industrial y agropecuario; además de ser el principal tributario de la cuenca del Mar Caribe (Ramírez, 1984).

Estudios previos sobre el río Caucagua demuestran que el mismo sufre un deterioro progresivo de sus aguas debido a que está situado en una zona del país la cual presenta un rápido desarrollo poblacional e industrial (Cova, 1996). En el mismo, son descargadas las aguas residuales de varias cochineras situadas entre Guarenas y Boca de Caucagua; además de las aguas cloacales e industriales provenientes de las poblaciones encontradas en los Valles de Guarenas y Guatire (Yanes, 1980). Sin embargo, no hay información actualizada acerca de los cambios que han ocurrido últimamente en el grado de contaminación de la cuenca.

Mediante el estudio hidrogeoquímico, puede llegar a conocerse los diferentes procesos que ocurren en un sistema o zona determinada (Alonso, 2010). Es importante para definir la calidad natural del agua, su evolución en el tiempo y en el espacio; así como también permite establecer, mediante balances o ecuaciones, la procedencia de los elementos y compuestos, el material que los suministra, la tasa a las que varían sus



concentraciones, sus relaciones mutuas y lo que controla su presencia en una cuenca (Osorio *et al.*, 2003).

Al estimar el grado de contaminación actual del río Caucaagua, y las diferentes fuentes causantes de ello, podrán determinarse la calidad de agua y los usos que ésta pueda tener; y de éste modo contribuir en el beneficio de la sociedad.

Con lo expuesto anteriormente, en el siguiente trabajo de investigación fue diseñado un plan de estudio de la composición química de las aguas del río Caucaagua; proponiéndose los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- ✓ Estimar la tasa de meteorización química y el grado de contaminación de la cuenca del río Caucaagua, estado Miranda.

Objetivos específicos:

- ✓ Determinar la variación en la concentración de Ca, Mg, Na, K, Si, P, Cl⁻, SO₄²⁻ y HCO₃⁻ en los sólidos disueltos de la cuenca del río Caucaagua.
- ✓ Estudiar la variación de los parámetros físico-químicos: pH, conductividad eléctrica y temperatura en las aguas de la cuenca del río Caucaagua.
- ✓ Estimar la tasa de meteorización química en la cuenca del río Caucaagua, estado Miranda.
- ✓ Estimar el grado de contaminación en la cuenca del río Caucaagua, estado Miranda.



MARCO TEÓRICO

El marco teórico está conformado por dos aspectos principales, a saber: fundamentos teóricos y antecedentes. El primero de ellos abarca lo relacionado con las fases que constituyen un sistema de agua natural, el comportamiento geoquímico de los elementos estudiados y los factores que controlan dicha composición química de los ríos; así como también los aspectos más importantes de la contaminación de aguas superficiales. El segundo aspecto está relacionado con los antecedentes, tanto nacionales como internacionales, más relevantes que sirvieron de sustento al presente trabajo de investigación.

Sistema de agua natural

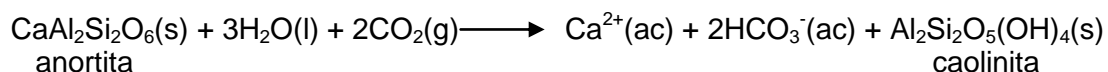
El estudio o caracterización de un sistema de agua natural comprende las tres fases principales que constituyen a los ríos como lo son material disuelto, sólidos suspendidos y sedimentos de fondo (Sabater y Elosegí, 2009). La interacción de éstos tres componentes juega un papel importante en las reacciones químicas y biológicas que ocurren en el sistema; determinando su composición y características fisicoquímicas (Rodríguez, 1994). El criterio utilizado para agrupar el material disuelto y suspendido es operacional (Yanes, 1988). Por convención, está considerado que todas aquellas sustancias que pasan a través de una membrana de filtro de 0,45 μm son sólidos disueltos; en cambio, lo que queda retenido sobre el filtro son denominados sólidos suspendidos (APHA, 1975).

Los sólidos disueltos están constituidos principalmente por sustancias químicas inorgánicas (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) y orgánicas en solución (ácidos fúlvicos y húmicos), junto con aquellas que están en forma coloidal (sílice, óxidos de Al y Fe). Éstas especies tienen diferentes orígenes, encontrándose entre las más importantes las siguientes: meteorización química de las rocas presente en la cuenca de drenaje, precipitación atmosférica, descomposición de la biomasa e intervención antrópica (Yanes, 1988).

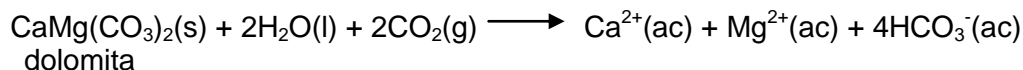
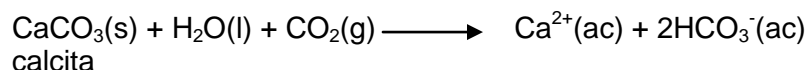


A continuación está presente la discusión sobre el comportamiento geoquímico de las especies Ca, Mg, Na, K, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Si y P; las cuales fueron estudiadas en éste trabajo.

- *Calcio*: el calcio presente en las aguas de los ríos proviene mayoritariamente de la meteorización de carbonatos, sulfatos y silicatos, ya que es un componente común de los minerales presentes en éstas rocas. La principal fuente de éste elemento son los feldespatos, en especial las plagioclasas con alto contenido de anortita. Los feldespatos conforman aproximadamente el 60% del contenido mineralógico de las rocas ígneas y pueden descomponerse al meteorizarse según la siguiente reacción (Hem, 1959):



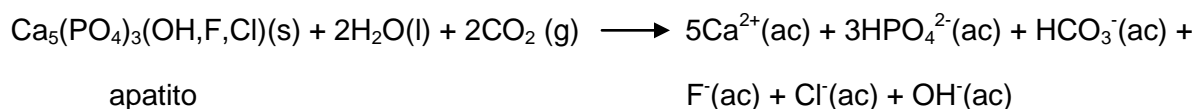
Por su parte, los carbonatos como calcita, dolomita o aragonito, pueden meteorizarse de acuerdo a las reacciones presentes a continuación:



Así mismo, el yeso y la anhidrita son los principales minerales que contribuyen al aporte de calcio a las aguas naturales; tal como puede observarse a través de la reacción:



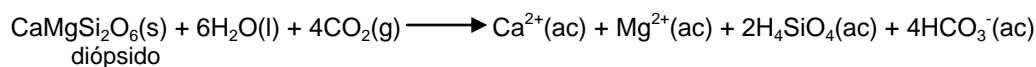
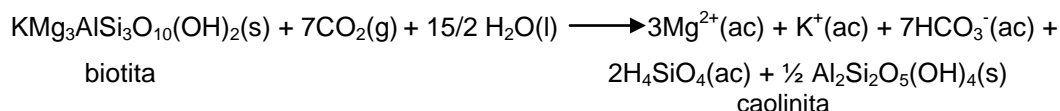
Otras fuentes minoritarias de calcio en las aguas de los ríos son el apatito y la fluorita; como ejemplo, el apatito es alterado según la reacción (Velásquez, 2000):



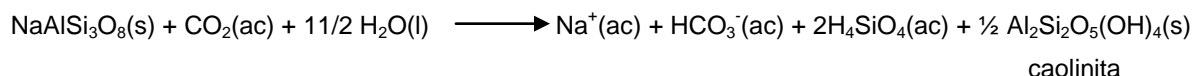
- *Magnesio*: está principalmente en los silicatos ferromagnesianos presentes en las rocas ígneas ultramáficas. Entre ellos están el olivino y la augita; también en algunos minerales característicos de rocas ácidas e intermedias como son la biotita y la



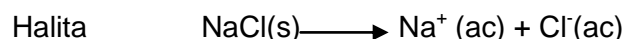
hornblenda; además en las rocas metamórficas forma parte de minerales como serpentina, talco, diópsido y tremolita. Los silicatos de magnesio son alterados por el agua en presencia de $\text{CO}_2(\text{g})$ movilizándolo al magnesio en solución (Velásquez, 2000):



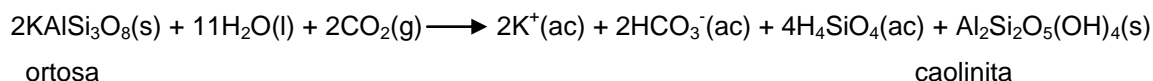
- *Sodio*: el sodio presente en las aguas de los ríos es aportado principalmente por la meteorización de las plagioclasas. Una reacción química que ejemplifica dicho proceso, está a continuación (Velásquez, 2000):



Por otra parte, el sodio también puede provenir del ciclaje de sales de sodio presente en los sedimentos evaporíticos (Velásquez, 2000)



- *Potasio*: la mayor fuente del potasio a las aguas de los ríos es derivado de la meteorización de los silicatos, principalmente los feldespatos potásicos (ortosa, sanidina, adularia y microclino) y algunas micas como la muscovita. Un ejemplo de ello, es la reacción presentada a continuación (Velásquez, 2000)



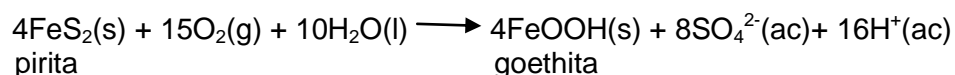
- *Cloruro*: es un anión minoritario o traza en muchas rocas ígneas, por lo que su contribución a la carga disuelta de los ríos va a ser relativamente baja cuando es comparada a las que pueden aportar las rocas evaporíticas. Entre los minerales de origen ígneo, el cloruro está asociado principalmente a varios silicatos como la sodalita ($\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{Cl}$) y el apatito. La principal fuente de cloruro 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 (Velásquez, 2000). La concentración de Cl^- en



aguas de superficie no contaminadas está situada alrededor de 20-40 mg/L, e incluso menos. El Cl⁻ junto con fosfatos y nitritos, es un indicador típico de contaminación residual doméstica vertida a un cauce natural (Marín, 2003). La concentración promedio de cloruro en el agua de mar es de aproximadamente 19.353 mg/l (González, 1982).

- *Nitrato*: es la especie aniónica menos abundante. Su principal aporte proviene de la descomposición de la materia orgánica. La actividad bacteriana produce la ruptura de los compuestos orgánicos presentes en la materia orgánica en descomposición y luego son transformados en amonio (NH₄⁺); el cual es nitrificado por la misma acción bacteriana, transformándolo a NO₃⁻ en los suelos e incorporado posteriormente a las aguas de los ríos. Además, el nitrato también puede ser aportado por la atmósfera (Auge, 2004). Los gases como N₂, N₂O son transformados en NO₃⁻ por la acción del hombre, al preparar las tierras para la siembra y quemando la cobertura vegetal de los suelos. Posteriormente, éste nitrato llega a los ríos a través de la precipitación atmosférica (Velásquez, 2000).

- *Sulfato*: los sulfuros son la principal fuente de sulfato a las aguas de aquellos ríos que drenan sobre rocas ígneas. Éstos minerales son oxidados durante el proceso de meteorización, produciendo sulfatos solubles que son transportados por las aguas. La reacción de oxidación de la pirita muestra el proceso de alteración y aporte de ésta especie a las aguas, según Hem (1959):

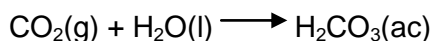


Otros minerales que aportan sulfato a las aguas de río son el yeso y la anhidrita, los cuales están en las secuencias sedimentarias asociadas con los ambientes restringidos y de origen marino. Finalmente, la actividad humana también puede ser una fuente importante de éste anión a las aguas de los ríos (Velásquez, 2000). El yeso es soluble en agua y puede producir sulfato con concentraciones mayores a 1000 mg/L (Faust, 1998).

- *Bicarbonato*: es una de las especies químicas aniónicas más importantes encontradas en las aguas de los ríos, siendo el principal agente regulador del pH de las



aguas naturales. Su presencia es debido principalmente al aporte atmosférico del $\text{CO}_2(\text{g})$:



Las otras fuentes de bicarbonato en las aguas de los ríos son las rocas carbonáticas, por medio de la meteorización de minerales carbonáticos como la dolomita y la calcita; además puede ser aportado como producto de la meteorización de diversos silicatos (Velásquez, 2000).

- *Silicio*: tiene una concentración aproximada de 14 mg/L en aguas subterráneas y superficiales (APHA, 1995). Éste lo podemos encontrar en prácticamente todas las rocas (silicatos, feldespatos), siendo los de más alta solubilidad aquellos de Na y K disueltos durante el proceso de meteorización de las rocas. El Si en agua corresponde a dos estados: sílice coloidal o disuelta (ácido silícico) (Marín, 2003).

- *Fósforo*: éste ocurre en la naturaleza casi exclusivamente como PO_4^{3-} ; siendo el apatito la forma mineral más común. En aguas es el producto final de la disociación del ácido fosfórico H_3PO_4 la cual ocurre en cuatro pasos, donde las cuatro especies participantes son H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} y PO_4^{3-} ; las cuales dependerán del pH del medio. El estimado del PO_4^{3-} inorgánico disuelto en las aguas de río tiene un promedio de 10 $\mu\text{g/L}$ y como P disuelto total alrededor de 25 $\mu\text{g/L}$ (Hem 1985). Por otra parte, el P también puede provenir del uso de fertilizantes en las actividades agropecuarias (Auge, 2004).

Los parámetros que permiten la movilidad de todas éstas especies químicas son el pH, Eh, conductividad eléctrica y temperatura, principalmente. El *pH* puede controlar la solubilidad de las especies químicas y en campo permite identificar posibles descargas de efluentes ácidos y/o básicos al cuerpo de agua causados por la introducción directa de especies tanto orgánicas como inorgánicas. El *Eh* es una medida indirecta de las condiciones oxidantes y/o reductoras del ambiente y puede identificar de forma indirecta el grado de contaminación, especialmente orgánica. La *conductividad eléctrica* tiene



mucha importancia en el campo porque es un buen criterio del grado de homogenización y mezcla de un cuerpo de agua; además en algunos casos puede indicar el grado de contaminación inorgánica de especies iónicas disueltas en el agua. En cuanto a la temperatura, afecta la solubilidad de gases (especialmente oxígeno) y todas las reacciones bioquímicas y químicas que pueden presentarse en un ambiente dado (Yanes, 1980).

Por otra parte, la composición química tanto de las especies disueltas como la del material suspendido de los ríos está dominada por una serie de factores químicos, biológicos, morfológicos, climáticos y antrópicos. Algunos de ellos pueden ser más importantes que los otros en una situación específica, pero generalmente están superpuestos de una manera compleja y hacen difícil su estudio en forma individual. En pocas palabras, todos ellos actúan conjuntamente, aunque su importancia relativa varía según las características y la situación del sistema fluvial estudiado (Yanes, 1988).

Entre los factores químicos, los más importantes son el potencial iónico y la solubilidad mineral. Ésta última está controlada por el pH y el Eh del sistema, principalmente (Rodríguez, 1994). Los elementos con bajo potencial iónico (como Na, Ca y Mg), 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).

En cuanto a los factores biológicos, el tipo y la cantidad de cobertura vegetal es el factor biológico de mayor importancia ya que si es abundante estabiliza el terreno, disminuyendo la escorrentía; lo cual implica mayor cantidad de sólidos disueltos totales y menor concentración de sólidos suspendidos transportados por los ríos. Por otra parte las raíces poseen un efecto significativo ya que toman los nutrientes de las rocas, disgregando las mismas al atravesarlas; dejándolas con mayor susceptibilidad ante el proceso de meteorización (Gibbs, 1967).



Entre los factores geológicos, los más resaltantes son el ambiente tectónico y la litología. El ambiente tectónico, si es muy activo, promueve el transporte total disuelto y suspendido. La litología es un factor determinante que a través de la composición mineralógica, precisan su comportamiento frente a los distintos agentes que actúan en el proceso de meteorización. La litología determina el contenido de las especies mayoritarias en la fase disuelta (Meybeck, 1981).

Los factores morfológicos engloban el relieve y una forma elemental del mismo como es la pendiente. La morfología es el factor más importante que incrementa la erosión y por ende el transporte de material suspendido. No obstante, los ríos que discurren zonas de alto relieve y fuerte pendiente presentan un mayor contenido de sólidos disueltos cuando se les compara con regiones de similar descarga específica; atribuyéndole varias explicaciones a dicha observación (Gibbs, 1967).

El clima influye directa e indirectamente en las características fisicoquímicas de los ríos. Directamente lo realiza a través de los procesos de evaporación y dilución. Cuando el aporte de agua es pequeño, las aguas son más concentradas por el proceso de evaporación; aumentando así la salinidad y la conductividad, siendo las especies mayoritarias más abundantes. Cuando el aporte de agua es grande, la salinidad y la conductividad disminuyen debido a un proceso de dilución. La influencia indirecta es efectuada por intermedio de la erosión y la meteorización ya que estos dos procesos condicionan el transporte total disuelto y suspendido, y ellos a su vez están afectados por el clima. Por lo tanto, cualquier factor climático que favorezca o no la meteorización o erosión, afectará las características fisicoquímicas de las aguas (Yanes, 1988).

Otro de los factores que determina la composición química de las aguas de río es la precipitación atmosférica. La alta precipitación produce un aumento en el caudal del río, trayendo como consecuencia una disminución en la concentración de los diferentes elementos químicos presentes en las aguas; junto con el aumento de la cantidad de sólidos suspendidos. Por otro lado, las aguas de lluvia también pueden influir en la composición de las aguas de un río, de una forma indirecta, por intermedio del agua de 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 también con respecto a modificaciones de la composición de las fases sólidas y disueltas; así como también los tiempos de residencia de los diferentes elementos en el ciclo geoquímico. La densidad de población puede ser usada como indicadora de la presencia de contaminantes sobre la concentración de ciertas especies, tales como: Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- y PO_4^{3-} en los ríos (Ramírez, 1984).

Contaminación de aguas superficiales:

La contaminación viene siendo la alteración de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del agua por la acción de procesos naturales o artificiales que producen resultados indeseables. Las características físicas más comunes son: temperatura, pH, turbidez, olor y color; mientras que las químicas son: sólidos disueltos totales, tipo y concentración aniónica, tipo y concentración catiónica y otros compuestos solubles. Por otra parte, entre las características biológicas tenemos la modificación de la composición biológica natural, ya sea introduciendo nuevos organismos o eliminando los existentes (Auge, 2004).

La contaminación más frecuente es la artificial y puede ser clasificada de acuerdo al sitio donde es producida la actividad que la genera: urbana, doméstica, industrial y agropecuaria (Auge, 2004).

Urbana: los más comunes son los vertidos domésticos, residuos de los escapes de motores, pérdidas en las redes cloacales, lixiviados de basuras o rellenos sanitarios, humos y desechos líquidos, sólidos y semisólidos de la industria (Auge, 2004).

Doméstica: vertidos de jabones, detergentes, materia orgánica (alimentos, fecal, basura en general). Cuando la comunidad no dispone de desagües cloacales, el resultado es la generación de ambientes propicios para la reproducción bacteriana y la formación de NH_3 , NO_2^- y NO_3^- (Auge, 2004).



Industrial: contaminación de la atmósfera por la eliminación de humos y otros compuestos gaseosos y del suelo y el agua por vertidos líquidos, sólidos y semisólidos. Además por la infiltración de los contaminantes atmosféricos que precipitan por sí solos o son arrastrados por la lluvia. La industria produce la gama más numerosa y variada de contaminantes (Auge, 2004).

Agropecuaria: asociado al empleo de plaguicidas y fertilizantes para mejorar la productividad. Los primeros (organoclorados u organofosforados), son altamente tóxicos. Los fertilizantes contienen materia nitrogenada, fósforo y potasio. La materia nitrogenada es oxidada a NO_3^- (muy soluble, estable y móvil), mientras que el fósforo, el potasio y sus derivados son fijados con facilidad por las partículas arcillosas del suelo. Otra contaminación en éste ámbito, es la producida por las heces del ganado en corrales que concentran altas cargas de materia orgánica, incrementando el tenor de NO_3^- (Auge, 2004).

En 1995 el estado establece un decreto (el 883 de la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.021), denominado: “*Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*” mediante el cual las aguas pueden ser clasificadas en varios tipos y subtipos dependiendo del uso que tengan las mismas; así como también los posibles acondicionamientos a realizar en ellas (Ver Tabla 1).

Por otro lado, las aguas de éste estudio pueden catalogarse como aguas servidas. Esto de acuerdo a las normas COVENIN 2634-89 que las define como aquellas aguas, que habiéndose aprovechado para varios usos, han quedado impurificadas. Las mismas están compuestas fundamentalmente por líquidos y desechos provenientes del urbanismo y edificios comerciales; pudiéndose incluir aguas industriales, aguas de lluvia, subterráneas o superficiales. El río Cauagua recoge todos los afluentes que traen aguas de actividades domésticas, comerciales, industriales y agropecuarias de poblaciones como Guarenas y Guatire (Falcón de Ruiz, 2007).



Tabla 1: Clasificación de las aguas según sus usos (Decreto 883)

Tipo	Subtipo	Características
Tipo 1: Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.	1A	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes
	1B	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
	1C	Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.
Tipo 2: Aguas destinadas a usos agropecuarios.	2A	Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
	2B	Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.
Tipo 3		Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.
Tipo 4: Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.	4A	Aguas para el contacto humano total.
	4B	Aguas para el contacto humano parcial.
Tipo 5		Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable
Tipo 6		Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.
Tipo 7		Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente



Antecedentes

A continuación están citadas algunas investigaciones llevadas a cabo en diversas partes del mundo, que fueron de gran utilidad y sirvieron de referencia importante para el momento de la interpretación de los resultados de éste trabajo.

El comportamiento químico de los elementos mayoritarios (Ca, Mg, Na, K, HCO_3 , SO_4 , Cl y Si) en las aguas de la ciudad de Changjiang (Río Yangtze) fueron estudiados, basado en un continuo monitoreo de datos en 191 estaciones en la cuenca de drenaje por los períodos 1958-1990 (Chen *et al*, 2002). Los resultados muestran que la concentración de los sólidos disueltos totales (SDT) del Changjiang varía en un orden de magnitud en toda la cuenca. Por el contrario, los SDT en el canal principal varían solo ligeramente en diferentes temporadas con un factor de variación menor que 2. La química de elementos mayoritarios del Changjiang está controlada principalmente por la meteorización de las rocas, con el anión HCO_3 y el catión Ca dominando la composición de iones mayoritarios, debido a la abundancia de rocas carbonáticas en la cuenca. Una tendencia al incremento fue observada en la concentración de sulfato y, en menor medida, cloruro en el Changjiang; una firma de considerables impactos antropogénicos (por ejemplo, deposición ácida). El estudio también indica que el Changjiang aporta grandes cantidades de SDT al mar, superada por el Amazonas en el mundo; además de que la meteorización de minerales silicatos juega un papel menos importante en la determinación de la química de elementos mayoritarios.

Otro estudio en la química de elementos mayoritarios durante tres períodos diferentes fue llevado a cabo en las cabeceras del sistema fluvial de Yamuna (Dalai *et al*, 2002), constituido por el río Yamuna y sus tributarios en el Himalaya. Esto con la finalidad de determinar la significancia relativa de la meteorización de silicatos, carbonatos y evaporitas en la contribución para la composición de iones mayoritarios; demanda de CO_2 vía meteorización de silicatos; y los factores reguladores de la meteorización química de silicatos en la cuenca. Los resultados muestran que la abundancia de Ca, Mg y alcalinidad, los cuales cuentan en la mayoría de los SDT, son derivados principalmente de carbonatos. Muchas de los tributarios en las zonas bajas de la



cuenca de Yamuna están sobresaturadas con calcita. La meteorización de silicatos no muestra ser intenso en la cuenca, evidenciado por varias relaciones de Si con Na y K en las aguas. En general, las aguas son medianamente alcalinas; los silicatos contribuyen en un promedio de 25% para cationes totales en la cuenca y el resto proviene de carbonatos, evaporitas y fosfatos.

En Antioquia, Colombia, es efectuado un balance geoquímico para la cuenca alta del río Medellín, Cordillera Central (Osorio y col, 2003). Para ello, realizaron ensayos químicos y físicos en muestras de agua de lluvia y de escorrentía recolectadas aproximadamente cada 15 días entre los años 2000 y 2001. Encontraron un equilibrio en las concentraciones de los iones de dicho río tanto en la temporada seca como en la húmeda. Toman en cuenta la precipitación como la entrada de solutos y la escorrentía como la salida de los mismo; esto para llevar a cabo el cálculo del balance geoquímico de la cuenca. Los resultados de ese balance arrojan que la cantidad de solutos que salen del área de estudio en la escorrentía es mayor a la cantidad de soluto que entraron originalmente en la lluvia (escorrentía aporta 88% de los principales sólidos disueltos). También llevan a cabo el cálculo de la tasa de meteorización y la medición de diversos parámetros como caudal, pH, temperatura, potencial redox, conductividad, alcalinidad y dureza total. Por último, observaron que la sumatoria total del promedio de cationes en la aguas del río Medellín es inferior a los promedio mundiales.

Otro trabajo realizado en Colombia (García y Hermelin, 2004) involucra el cálculo preliminar de la tasa de meteorización del Batolito Antioqueño. Para ello utilizaron datos obtenidos previamente mediante el análisis de la composición química de las aguas superficiales de cuatro cuencas con áreas diferentes. Los cálculos fueron hechos con el método basado en la pérdida de componentes en solución utilizando diferentes valores de solutos. Debido a que el valor de los sólidos disueltos utilizados no incluyen los sólidos disueltos aguas debajo de la toma de muestra, consideran que los valores obtenidos para las tasas de meteorización son probablemente menores que los valores reales. A pesar de que emplean tres casos diferentes para el cálculo de la tasa de meteorización, consideran tentativamente que los datos obtenidos más confiable es el caso en el cual tomaron en cuenta la sílice para estimar dicha tasa.



Una nueva investigación es llevada a cabo en el río Yangtze (Qin *et al*, 2006), pero ésta vez en uno de sus principales tributarios ubicado hacia las cabeceras; como es el caso del Min Jiang. El objetivo principal fue estudiar la meteorización física y química del mismo, a través de la determinación de los elementos mayoritarios en un muestreo realizado mensualmente durante el 2001. Entre los resultados encontrados es que el río Min Jiang es alcalino y tiene una alta carga disuelta comparado con otros ríos del mundo; así como también que la meteorización de carbonatos es la dominante y la meteorización de silicatos y disolución de evaporitas tiene una importancia en ciertas zonas. La tasa de denudación química medida fue de 115 ton/km²/año para el Min Jiang, siendo más alta que la del promedio de la cuenca del río Yangtze (85 ton/km²/año). Las concentraciones de sulfato, cloruro y calcio son significativamente elevadas en los ríos cercanos a la población de la cuenca Sichuan.

La tasa de meteorización de silicatos y sus factores controladores fue un estudio realizado en la cuenca del río Hong, China (Moon *et al*, 2007) mediante el reporte de la composición de elementos mayoritarios y los isótopos de Sr en 43 muestras de los tributarios Da, Lo y del canal principal Thao/Hong; abarcando las estaciones de verano e invierno. Llevan a cabo la cuantificación de los aportes de lluvia, evaporitas, carbonatos y reservorios de silicatos usando los modelos avanzado o sencillo y el inverso y observando la robustez de los resultados. El mejor estimado del espacio promedio de la tasa de meteorización de silicatos en la presente cuenca es de 170x10³ mol/km²/año en verano y 51x10³ mol/km²/año en invierno. También es calculado el índice de saturación y el balance de carga normalizado. La carga disuelta del río Hong es predominantemente originada de la meteorización de carbonatos (55-97%) más que de la meteorización de silicatos (1-40%).

El estudio de la distribución espacial de la composición de los iones mayoritarios y de los factores controladores, fueron realizados en la cuenca superior del Río Han, China (Li *et al*, 2008). Un total de 292 muestras fueron tomadas en 47 sitios a lo largo del río durante el período de 2005 a 2006, para el análisis de Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺; así como también Si, Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica y Sólidos Disueltos Totales. Los procesos geoquímicos y antropogénicos fueron cuantificados



mediante el uso de una matriz de correlación y un análisis de componentes principales. Los resultados revelaron que las aguas están escasamente alcalinas, con bajo potencial iónico, y todos los iones mostraron una notable variación espacial. Las menores concentraciones de soluto fueron observadas en las zonas con alta cobertura vegetal y las mayores concentraciones de Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} están en sitios cercanos a los establecimientos industriales. La composición de los iones mayoritarios está dominada por HCO_3^- y Ca^{2+} , controlada principalmente por la meteorización de las rocas. También concluyen que puede haber un posible enriquecimiento de NO_3^- en un futuro cercano.

Mensualmente, muestras de agua fueron recolectadas en la cuenca del río Xijiang, al Sur de China (Gao *et al*, 2008) para analizar la concentración de iones mayoritarios (Ca, Mg, K, Na, HCO_3 , SO_4 , Cl, NO_3), sílice disuelta, y sólidos disueltos totales (SDT) en la estación hidrológica Wuzhou; desde Marzo del 2005 a Abril del 2006. Los análisis estequiométricos fueron aplicados para trazar fuente de iones mayoritarios y estimar la demanda de CO_2 de la meteorización química de las rocas. Los resultados demuestran que la meteorización química de rocas carbonáticas y de silicatos dentro de la cuenca de drenaje es la principal fuente de sustancias químicas disueltas en el río Xijiang. La demanda de CO_2 de la meteorización química de las rocas en zonas subtropicales húmedas regula el nivel de CO_2 atmosférico y constituye una parte significativa del consumo de carbono global. La concentración de los cationes en el sistema fluvial, originados por la meteorización química, son inducidos principalmente por ácido carbónico; y en menor proporción por ácido sulfúrico y por la disolución de yeso y precipitados de al dentro de la cuenca de drenaje.

Una nueva investigación es realizada en la Meseta Tibetan (Huang *et al*, 2009) para determinar la calidad de agua en cuatro ríos (Salween, Mekong, Yangtze y Yarlung Tsangpo); mediante el estudio de iones mayoritarios y elementos trazas en las cabeceras de los mismos. Los resultados mostraron que el contenido de sales disueltas en esos ríos de Tibetan fueron relativamente altos comparado con las aguas de otras partes del mundo. La composición química de los cuatro ríos fue similar, con Ca^{2+} y HCO_3^- como iones dominantes. La excepción fue el río Yangtze en la Meseta, el cual



está enriquecido en Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y Li debido a la meteorización de silicatos, seguido por la fuerte evaporación causada por el balance negativo del agua, disolución de evaporitas en la captación y algunos drenajes de lagos salinos. La concentración de metales pesados (Cu, Co, Cr, Ni, Cd, Pb y Hg) y As y NH_4^+ fueron generalmente bajos en todo el río. Los impactos antropogénicos en la calidad de los ríos fueron identificados en pocas locaciones de la cuenca de los ríos Mekong y Yarlung Tsangpo. Generalmente, la principal variación espacial en la composición química de esos ríos fue encontrada por ser gobernada esencialmente por diferencias en variación geológica y el ambiente climático regional. El cambio climático es uno de los principales factores determinantes en las características químicas de las aguas.

Recientemente, un nuevo trabajo fue realizado en la cuenca Xijiang, al sur de China, con el fin de evaluar la meteorización inferida de la química de las aguas fluviales (Sun, 2010). El muestreo incluyó 13 sitios envolviendo la parte baja del río y 3 tributarios; para determinar los patrones espaciales de la química de las aguas fluviales y para cuantificar la tasa de meteorización de carbonatos y silicatos de la roca base. Los resultados indican que los iones mayoritarios en el sistema del río Xijiang están dominados por Ca^{2+} y HCO_3^- con altas concentraciones de sólidos disueltos totales, característico de los drenajes desarrollados en regiones típicas carbonáticas. La precipitación es el primer factor más importante que controla la tasa de meteorización en la cuenca, aunque aumentando la temperatura y el tiempo de interacción agua-roca podría ser una contribución positiva para el entendimiento de la meteorización química.

Un estudio de los flujos de soluto en los ríos que reflejan meteorización hidrotermal activa fue llevado a cabo en Yellowstone, Estados Unidos (Hurwitz *et al.*, 2010). Los datos de la química de las aguas y de descarga fueron recolectados periódicamente a través de un año entero y permitieron limitar el flujo de solutos anuales y distinguir entre la meteorización a baja temperatura y los componentes de flujo hidrotermal. Los sólidos disueltos totales de la zona en estudio, durante todo el año 2007, fueron de 93 $\text{ton/km}^2/\text{año}$. La tasa de meteorización química a baja temperatura (17 $\text{ton/km}^2/\text{año}$), calculada en el supuesto de que todo el Cl^- es de origen termal, puede incluir un



componente de las reacciones de hidrólisis inducidas por el ascenso de CO_2 de las profundidades en lugar del CO_2 atmosférico.

En cuanto a las investigaciones realizadas en Venezuela, pueden citarse algunos trabajos representativos de este tipo de estudio.

En primera instancia están los grandes proyectos realizados en el río Tuy; donde el primero de ellos integra el estudio geoquímico de la cuenca de dicho río a través de la determinación de la concentración de Fe, Mn, Cr, Cl, Na, Hg, Al, Si, Cu, Zn, Mo, P, Co, Pb, Ag, F, I, HCO_3^- , Ni, K, Br, V, Ni, Mg, Cd, H_2S , CN^- y SO_4^{2-} ; así como de los parámetros físico-químicos: pH, conductividad eléctrica, Eh y temperatura. La toma de muestra es llevada a cabo en dos períodos (invierno y verano), con un total de 51 muestras recolectadas de aguas y sedimentos (Angulo; Colina; Del Giudice; Rodríguez y Yanes, 1980). Los resultados indicaron que las zonas entre El Consejo–Guayas y Araguaita–Boca de Paparo son las que presentan el mayor grado de contaminación por descargas industriales y cloacales, respectivamente; viéndose reflejado en los altos valores de elementos como Al, Si, Cu, Zn, Mo y P. Por otro lado, la zona comprendida entre La Llanera–El Consejo es la menos alterada, presentando las concentraciones más bajas de Cu, Zn, Al, Mo y P; además de el mayor Eh. También encontraron que los aportes del río Guaire y Caucaagua son los que más influyen en el deterioro considerable de la calidad de agua del río Tuy. Por el contrario, la parte que va desde Cúa hasta Lagartijos es la que ofrece el mejor poder de autopurificación debido a los efectos diluyentes de los ríos Guare, Trama, Súcuta y Ocumarito.

Otro trabajo realizado en el río Tuy es sobre la influencia geoquímica, ejercida por el mismo, en el Mar Caribe (Arrieché, 1980). El estudio es llevado a cabo mediante la determinación en laboratorio de Ca, Mg, Na, K, Cl, Sr, S, Zn, Cu y Pb; y de las medidas realizadas en campo de los parámetros conductividad o salinidad, temperatura, pH, Eh, oxígeno disuelto y alcalinidad que permitieron delimitar la extensión de la zona de estudio. Los análisis dieron como resultado que el área marina influenciada por el río Tuy es de aproximadamente 20 kilómetros cuadrados.



La determinación de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- y HCO_3^- en la fase de los sólidos disueltos es otro estudio llevado a cabo en la cuenca del río Tuy (Cazaña y Pineda, 1983); con la finalidad de establecer el grado de contaminación existentes en las aguas de dicha cuenca, teniendo como referencia las concentraciones de los elementos antes nombrados en afluentes no contaminados del río. El muestreo es realizado entre la Hacienda Buen Paso (estado Aragua) y Boca de Paparo (estado Miranda); determinándose en campo los parámetros como conductividad y temperatura. De acuerdo a los resultados obtenidos de las determinaciones en campo y en el laboratorio, la zona de mayor contaminación es la comprendida entre El Consejo y Tácata debido principalmente a la actividad industrial de la zona. Los aportes de los ríos Guaire y Caucaagua, y de la quebrada Guayas, presentan un alto grado de contaminación deteriorando las aguas del río Tuy. Mientras que los ríos Taguaza y Cuira mejoran las aguas del río en estudio.

El estudio de la composición química promedio natural de las aguas, su interacción con la litología drenada y el cálculo de la carga transportada por dicho río fue otro trabajo de investigación llevado a cabo en la cuenca del río Tuy (Ramírez, 1984); esto con el objetivo de determinar el grado de alteración y la forma de transporte de los elementos. Para ello son agrupados los resultados alcanzados en los trabajos anteriores sobre dicho río (1980 y 1982); obteniendo que las especies PO_4^{3-} , Fe, Al, Mn, Cu, Zn y Ni son transportadas preferiblemente en los sólidos suspendidos y en forma adsorbida, debido a su relación con los procesos de sedimentación. Las altas y bajas relaciones de Ca/Na y Ca/Mg indican que en la hacienda Buen Paso la litología drenada correspondió a calcita y en el río Tiara hubo disolución de minerales ferromagnesianos; respectivamente. Debido a una mayor densidad poblacional, las actividades industriales y agropecuarias aumentan; siendo alto el grado de contaminación de la cuenca.

Posteriormente, la misma cuenca (Río Tuy) fue seleccionada para conducir un estudio hidrogeoquímico (Ramírez, 1990) con el objetivo principal de establecer la tasa de meteorización química anual para diferentes litologías bajo diferentes regímenes de precipitación y escorrentía. Dicha información es útil para tener un mejor entendimiento de los procesos llevados a cabo en condiciones tropicales. Las especies Na, K, Ca, Mg,



Si, Fe, Al, Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- fueron determinadas en las muestras de agua del río mediante diversas técnicas; además de la identificación de los minerales presente en las muestras de sedimentos. Las diferencias en las tasas de meteorización son principalmente debido a la distribución de precipitación-escorrentía (en la cuenca sur) y al producto de la combinación de litología y precipitación-escorrentía (en la cuenca norte). Fueron observadas las diferencias litológicas en ambas subcuencas mediante el estudio de las aguas y de los sedimentos.

Un trabajo de investigación basado en el estudio hidrogeoquímico de los ríos Autana y Cataniapo es llevado a cabo mediante la determinación de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , sílice disuelta y sólidos suspendidos; además de las medidas de pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura (Rodríguez, 1994). El objetivo fue analizar las variaciones espaciales y temporales de los parámetros físicoquímicos antes nombrados, las variables químicas de dichos ríos para establecer las diferencias y semejanzas entre un río de aguas negras (Autana) y claras (Cataniapo) y estimar la intensidad del proceso de meteorización que afecta a las rocas que afloran en esas cuencas. Los resultados indicaron que el pH de las aguas del río Autana es menor que las del río Cataniapo, y sus aguas son ligeramente más diluidas; mientras que la conductividad del río Autana es significativamente más alta que la del río Cataniapo. Las características físicoquímicas de estos ríos está controlada por la disolución de los feldespatos alcalinos y el cuarzo (constituyentes mayoritarios de las rocas y sedimentos encontrados en la cuenca).

Con el propósito de tener una visión de los procesos que controlan la composición química de los cuerpos de aguas superficiales, es llevado a cabo un estudio hidroquímico de los ríos Manzanares (estado Sucre) y Mitare (estado Falcón) mediante la determinación sobre los niveles de concentración de especies mayoritarias como Na, K, Ca, Mg, Si, Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- (Álvarez, 1995). Los resultados obtenidos indicaron que ambos ríos presentan la siguiente secuencia relativa de concentración de cationes: $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$, mientras que la secuencia de aniones varía en $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ y $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ para los ríos Manzanares y Mitare respectivamente; siendo menor la concentración de Cl^- en ambos ríos. Los resultados también demuestran que las



mayores concentraciones son presentadas en épocas donde los caudales de los ríos son bajos (sequía) y las menores concentraciones cuando las precipitaciones son más abundantes (época de lluvia).

El único trabajo documentado en el río Caucaagua, estado Miranda (Cova, 1996) fue realizado con la finalidad de conocer las concentraciones de los iones mayoritarios Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} ; HCO_3^- y sílice disuelta; y tener información sobre los factores que controlan la composición química de las aguas. Los resultados indicaron que la concentración de los iones mayoritarios, en los ríos no contaminados de la cuenca, es dominada por la litología que drenan. Por otro lado, en los ríos contaminados y en el canal principal del río Caucaagua, la composición química del agua está controlada no sólo por la litología sino también por las actividades antrópicas (agricultura, doméstica, industrial, entre otras) llevadas a cabo en sus alrededores. Tal contaminación es corroborada mediante la presencia de elementos como N y P; además de las características físicas de los afluentes y el canal principal.

Un estudio hidrogeoquímico de las aguas de los ríos del estado Táchira-Venezuela (Reyes, 1999) es llevado a cabo con el objeto de establecer la relación existente entre la litología que aflora en la región y la composición química de sus aguas. Realizaron la captación de 23 muestras de agua y la medición en campo de parámetros físico-químicos como pH, conductividad y alcalinidad. Posteriormente el trabajo de laboratorio comprendió el análisis químico de especies mayoritarias (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} y sílice disuelta), elementos trazas (B, Sr, Ba, Li, Fe, Mn, Al, Rb, Cu, Co, Pb, Zn y Ni) y cuantificación de los sólidos suspendidos. Los resultados obtenidos indican que las aguas de los ríos del estado Táchira están caracterizados por presentar altas concentraciones de sólidos suspendidos y diferentes pH y conductividad, en comparación con los ríos que drenan el Escudo de Guayana. También concluyen que la meteorización química de carbonatos y evaporitas son las que controlan las características químicas de las aguas de estos ríos; y que la distribución de cloruro está controlada por el aporte antrópico.



Otro trabajo de investigación dirigido a la hidrogeoquímica, es el realizado en los ríos que drenan los llanos venezolanos (Velásquez, 2000) con la finalidad de estudiar las variaciones espaciales en la composición química de sus aguas en relación a la concentración de las especies Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} y SiO_2 disuelta; y de sólidos suspendidos. Las labores de campo comprendieron la toma de 89 muestras y la medición de pH, conductividad y temperatura. Los resultados indican que la concentración de las especies analizadas depende directamente de la variación estacional de las lluvias en la región, con valores altos en el período seco y valores bajos en temporada de lluvia. La concentración de sólidos suspendidos presenta los valores más bajos durante la estación lluviosa, donde predomina el proceso erosivo de las rocas. La distribución espacial de las especies refleja que la litología presente en la región es el factor más influyente en la composición química de sus aguas.

Un estudio de las variaciones espacial y temporal de parámetros fisicoquímicos (pH, Eh, temperatura, salinidad y conductividad), componentes químicos en las aguas superficiales (K , Na , Ca , Mg , Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^-) y la cuantificación de los sólidos suspendidos totales (Barreto, 2006) fue llevado a cabo en una zona próximo-costera del estado Falcón. Para ello captaron 71 muestras de agua en dos períodos de muestreo. Los resultados arrojaron amplios intervalos en las concentraciones de las especies estudiadas, como consecuencia de la diversidad en las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua en la región y de los procesos que controlan sus características geoquímicas. Concluyen que el 78% del total de los sólidos disueltos totales, viene siendo por contribución de cloruro y sodio.



METODOLOGÍA

La metodología seguida en este estudio, abarca la descripción general de la zona, tales como ubicación, geología y sus aspectos más importantes; así como y la parte experimental que comprendió el trabajo de campo y de laboratorio empleada en éste trabajo de investigación

ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del río Caucaagua está ubicada en la región nor-central del estado Miranda, Venezuela. El curso principal de este río recorre aproximadamente unos 75 km desde su nacimiento en la montaña de Izcaragua (Municipio Ambrosio Plaza, estado Miranda), específicamente en la Quebrada Bóquira, hasta su desembocadura en el Río Tuy (Cova, 1996). Dicha cuenca tiene un área aproximada de 804 km² y es considerada una de las cuencas más amplias pertenecientes al río Tuy, luego del río Guaire. Está ubicada a unos 55 m.s.n.m (Falcón de Ruiz, 2007) (Ver Figura 1).

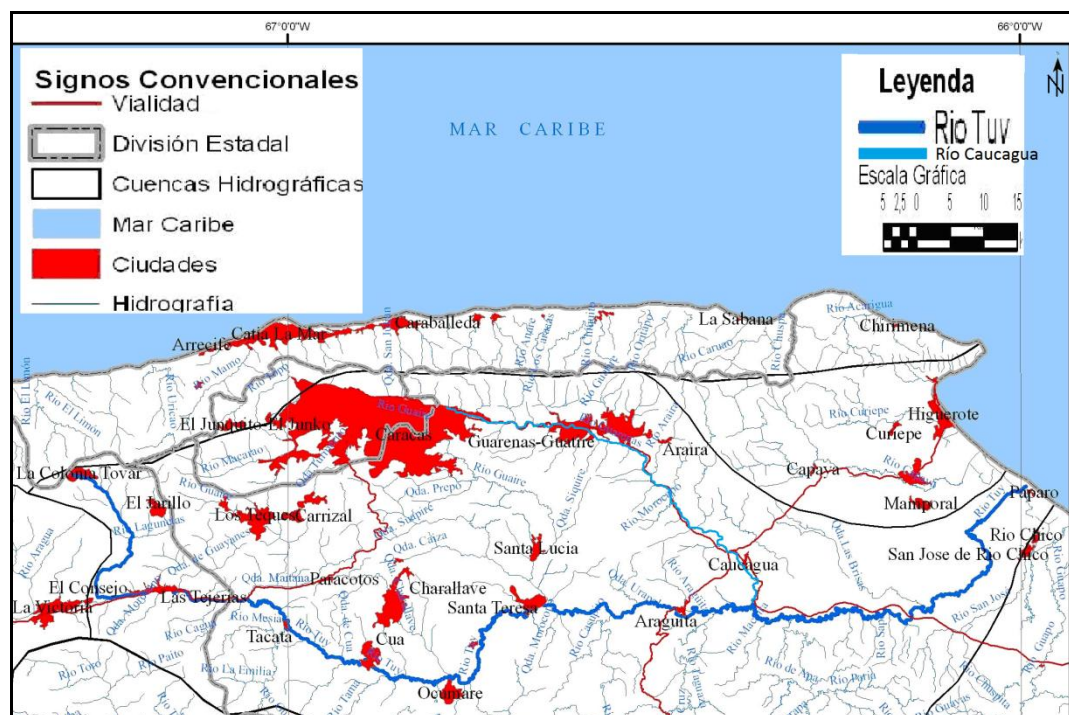


Figura 1: Ubicación del Río Caucaagua desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Río Tuy, Estado Miranda, Venezuela (Tomado de Base Cartográfica de Venezuela, IGVSB).



La precipitación media anual de la cuenca del río Caucaagua varía de 1500 mm a 2000 mm aproximadamente, siendo su régimen del tipo monzónico, con un corto período de sequía de 2 a 3 meses, que comprende los meses de Febrero y Marzo, con precipitaciones menores a 60 mm por mes (Ver Figura 2). La estación lluviosa entre los meses de Junio y Diciembre, presenta dos picos de precipitación que coinciden con las posiciones solsticiales del sol (Julio y Diciembre) (Falcón de Ruiz, 2007). Éste tipo de precipitación sostiene una vegetación herbácea.

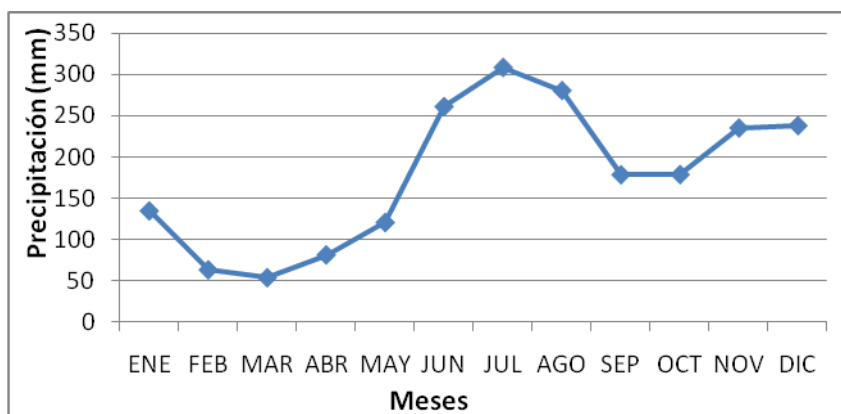


Figura 2: Precipitación promedio mensual de la cuenca del río Caucaagua.

El área que corresponde a la cuenca del río Caucaagua está caracterizada por una topografía plana, donde el río Caucaagua o río Grande ha depositado a través de los años un gran volumen de sedimentos. Los piedemontes de los conjuntos montañosos laterales que bordean la llanura de Barlovento y áreas montañosas al Norte de la población de Caucaagua, permiten que la temperatura media anual sea superior a 18°C, con temperaturas medias regionales que van de 24°C a 28°C y una oscilación media anual de 2°C a 4°C. (Falcón de Ruiz, 2007).

En otro orden de ideas, bajo el programa de “Saneamiento y recuperación de la cuenca del río Tuy”, adscrito a la Dirección General Sectorial de Planificación y Ordenamiento Ambiental del Ministerio del Ambiente (1988), fue llevado a cabo el ordenamiento de la cuenca hidrográfica del río Tuy y de la región de Barlovento, a través del inventario de ríos y quebradas que integran la cuenca del río Caucaagua. El mismo indica que dicha cuenca está integrada por 6 ríos principales, 46 tributarios de segundo y de tercer



orden, y otros 67 de menor envergadura; que por su carácter intermitente, pero no menos importante, participan en la dinámica del caudal del río que más tarde desemboca en el río Tuy, en Boca de Caucagua (Falcón de Ruiz, 2007).

Características geológicas de la cuenca del río Caucagua: en la zona de estudio encontramos rocas pertenecientes a los Grupos Caracas y Post Caracas; las cuales forman parte de la Cordillera de la Costa, y por tanto del sistema montañoso de la Cordillera del Caribe. Con respecto a la geología local, las formaciones drenadas por el río Caucagua están descritas a continuación:

Formación Peña de Mora:

En general, la unidad está constituida por gneises de grano fino a medio, augengneises gruesos y bandeados, algunas cuarcitas delgadas, esquistos cuarzo-muscovítico y ocasionalmente anfibolitas; en algunos lugares se observa desarrollo de mármoles delgados. La composición mineralógica promedio de los gneises de grano fino a medio consta de plagioclasa, albita a oligoclasa sódica, 40%; cuarzo, 25%; muscovita, 10%; epidoto, 8%; clorita, 8%; biotita, 5%; y cantidades menores de opacos, circón, apatito, pirita, granate, calcita, turmalina, titanita y anfíbol, 4%. Por otra parte, los augengneises tienen cuarzo, 35%; plagioclasa (albita a oligoclasa sódica), 25%; microclino, 20%; muscovita, 8%; epidoto, 5% y biotita, clorita, opacos, granate, circón y apatito como accesorios, 7%; como composición mineralógica promedio. Los gneises biotíticos de grano fino están caracterizados por tener la siguiente composición mineralógica promedio: plagioclasa, 25%; biotita, 13%; epidoto, 12%; muscovita, 10%; clorita, 8%; y cantidades menores de opacos, apatito, calcita y granate, 32%. (Gonzalez de Juana *et al.*, 1980). La Formación Peña de Mora está presente al Norte de la cuenca del río Caucagua, siendo el río Izcaragua y el río Curupao los que drenan mayor área de dicha unidad de rocas. Otros ríos drenan ésta formación, pero en menor área, como es el caso de los ríos Guatire y Araira.



Formación Las Mercedes

La unidad está caracterizada en forma general, por rocas que presentan textura esquistosa, buena foliación y grano medio a fino; su color es gris oscuro con color de meteorización gris parduzco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo 40% en cristales anhedrales con textura de mosaico, comúnmente dispuestos en bandas con la mica; muscovita, 20% en cristales subhedrales de hábito alargado en bandas lepidoblástica, a veces con clivaje corrugado; calcita, 23% con cristales anhedrales y macla polisintética de forma intersticial o en vetas; clorita con colores de birrefringencia anómalos; grafito, 5%; óxidos de hierro, escaso epidoto y ocasionalmente plagioclasa, 12%. (Gonzalez de Juana *et al.*, 1980). La Formación Las Mercedes está presente tanto en la parte Norte como en la parte Sur del canal del río Cauçagua. Los ríos que drenan ésta litología son: Curupao, Izcaragua, Guatire y en menor proporción están los ríos Araira, Cupo y Chuspita.

Formación Las Brisas

En la región de Caracas, consiste principalmente en esquistos y gneises cuarzo-feldespático-micáceos, esquistos cuarzo-sericítico-grafitosos con lentes, bloques y bandas de mármoles oscuros. Generalmente se encuentran capas de gneis microclínico-calcáreo asociadas con los cuerpos calcáreos. Hacia el Este, la litología distintiva consiste en esquistos cuarzo-feldespático-micáceos, esquistos y gneises grafitosos, desarrollos ocasionales de mármoles dolomíticos, esquistos verdes y cuerpos dispersos de anfibolita. La composición mineralógica promedio es cuarzo, 25%; plagioclasa tipo oligoclasa sódica, 25%, muscovita, 15%; biotita, 5%; feldespato potásico, 5%; calcita, 5%; clorita, 4%; epidoto, 2%; y cantidades menores de opacos, grafito, circón, anfibolita, apatito, turmalina, granate, titanita y piritita, 14% (Gonzalez de Juana *et al.*, 1980). La Formación Las Brisas está presente al Norte y al Sur de la cuenca del río Cauçagua. Los ríos que drenan dicha unidad en menor proporción son Izcaragua, Curupao y Cupo; y en mayor proporción están los ríos Araira y Chuspita.

Formación Chuspita

La Formación toma su nombre del río Chuspita, estado Miranda, donde aflora una buena sección parcial. Otros afloramientos de importancia pueden observarse en las



quebradas Onoto y Morocopo, en cortes de la carretera Guatire-Caucaagua. Las rocas que componen la unidad son metaconglomerados y metareniscas cuarzosas de grano grueso y color gris oscuro, en capas de hasta 3m de espesor, que constituyen el 45% de la Formación. El resto está compuesto en un 50% de filitas calcáreo-grafitosas similares a las de la Formación Las Mercedes y mármoles grafitosos. Algunas de las metareniscas cuarzosas son notablemente micáceas, con muscovita y clorita intercaladas. Casi todas contienen pirita, que localmente puede ser abundante, y turmalina (Gonzalez de Juana y *col.*, 1980). La presente Formación está ubicada tanto en el flanco izquierdo como en el flanco derecho del canal principal del río Caucaagua, y aflora tanto en el río Cupo como en el río Chuspita.

Formación Urape

Ésta unidad está compuesta de filitas clorítico-sericíticas, metareniscas con capas delgadas con ftanita y fragmentos líticos y metaconglomerados líticos con cantos de rocas volcánicas y metamórficas. Las filitas constituyen el 60% de la Formación y no son calcáreas. La mineralogía de éstas filitas, al igual que las filitas negras, consta de sericita y clorita en una matriz cuarzo-feldespática de grano muy fino. Los minerales accesorios de la metareniscas incluyen pirita, circón, turmalina y apatito (Gonzalez de Juana y *col.*, 1980). La Formación está drenada por el río Chuspita y la misma es ubicada tanto en el margen izquierdo como en el margen derecho del río Caucaagua.

Formación Guatire

Consiste en gravas y conglomerados en capas de más de 1m de espesor, que pasan progresivamente a arenas, limos laminados y arcillas hacia el centro de la cuenca. Hay presencia de seis secuencias de conglomerados e intercalaciones de arenas y limos. Hacia el suroeste de la zona hay mayor proporción de carbonato de calcio, con capas de calizas, margas y conglomerados cementados; y hacia el centro de la cuenca, encontramos espesas capas de arcillas laminares. La mineralogía presente en la Formación está caracterizada principalmente por cuarzo, calcita, caolinita y clorita (Gonzalez de Juana y *col.*, 1980). La Formación Guatire está únicamente drenada por el río Guatire y la encontramos tanto en la parte Norte como en la parte Sur del río Caucaagua.



En el mapa mostrado a continuación (Ver Figura 3), puede observarse de manera general y esquemática la distribución de las Formaciones a lo largo de la cuenca del río Caucagua.

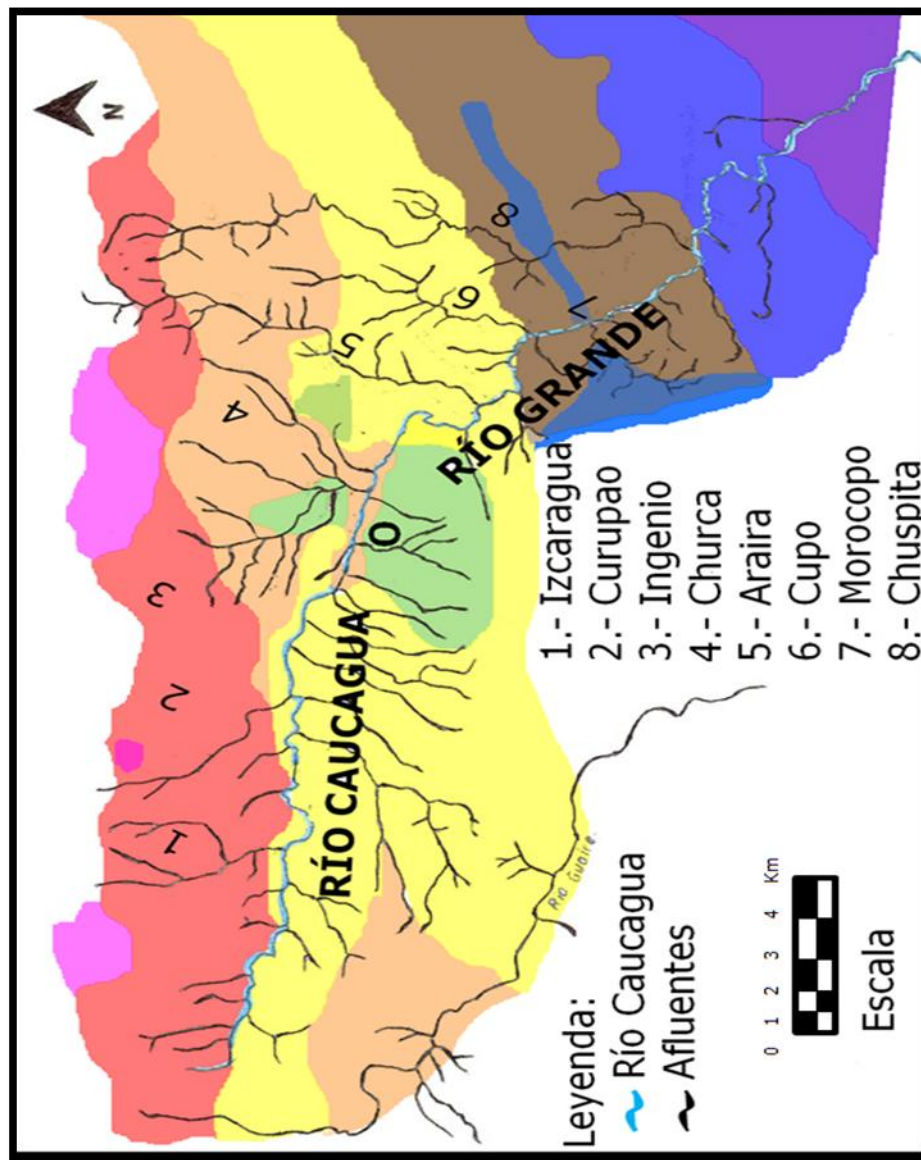


Figura 3: Mapa geológico de la cuenca del río Caucagua





PARTE EXPERIMENTAL

La metodología experimental del presente trabajo de investigación fue estructurada en tres etapas: una correspondiente al trabajo preliminar o pre-campo, que consistió en plantear un diseño de muestreo, localización de las estaciones y el lavado del material; una de campo, que abarcó la recolección de muestras y las medidas in situ; y la etapa de laboratorio, la cual comprendió la determinación de los elementos y especies químicas de interés en las muestras recolectadas utilizando las metodologías y técnicas recomendadas en la literatura

Trabajo preliminar

Consistió en el diseño de un plan de muestreo mediante la localización de las estaciones a muestrear a lo largo del canal principal del río Caucagua; así como también, de los principales afluentes tomando en cuenta varias salidas de campo con el objetivo de observar una variación a través del tiempo de los parámetros físico-químicos y concentraciones de elementos. Por otra parte, esta fase también comprendió el lavado previo de los envases destinados a la recolección de muestras.

Trabajo de campo

Un total de 16 puntos de muestreos fueron establecidos, ubicados a lo largo del Río Caucagua, desde su nacimiento en la montaña de Izcaragua (Municipio Ambrosio Plaza, Edo. Miranda) hasta su desembocadura en el Río Tuy (Edo. Miranda); así como también en los afluentes más importantes, como son los ríos: Izcaragua, Curupao, Ingenio, Churca, Araira, Cupo y Chuspita (Ver Figura 4). Los puntos de muestreo fueron seleccionados de tal forma que las muestras captadas en cada punto fuesen representativas del flujo de agua, tanto en espacio como en tiempo. También de acuerdo a la accesibilidad a cada estación y principalmente tomando en cuenta la litología de la zona y las distintas actividades desarrolladas en el lugar (domésticas, agrícolas e industriales).



Las muestras de agua fueron recolectadas aproximadamente 10 cm por debajo de la superficie y el almacenamiento de las mismas fue realizado en envases de plástico de 4L. Dicha elección fue debido a la disponibilidad de los envases; así como a su bajo costo, para observar si había la posibilidad de llevar a cabo una cuantificación de sólidos suspendidos (lo cual no fue realizado por la poca concentración de los mismos) y para tener una buena cantidad como testigo; además no presentan alteraciones significativas por adsorción sobre las paredes del recipiente (Callejón, 1985). Los envases lavados previamente en el laboratorio fueron también lavados tres veces con el agua de río a muestrear.

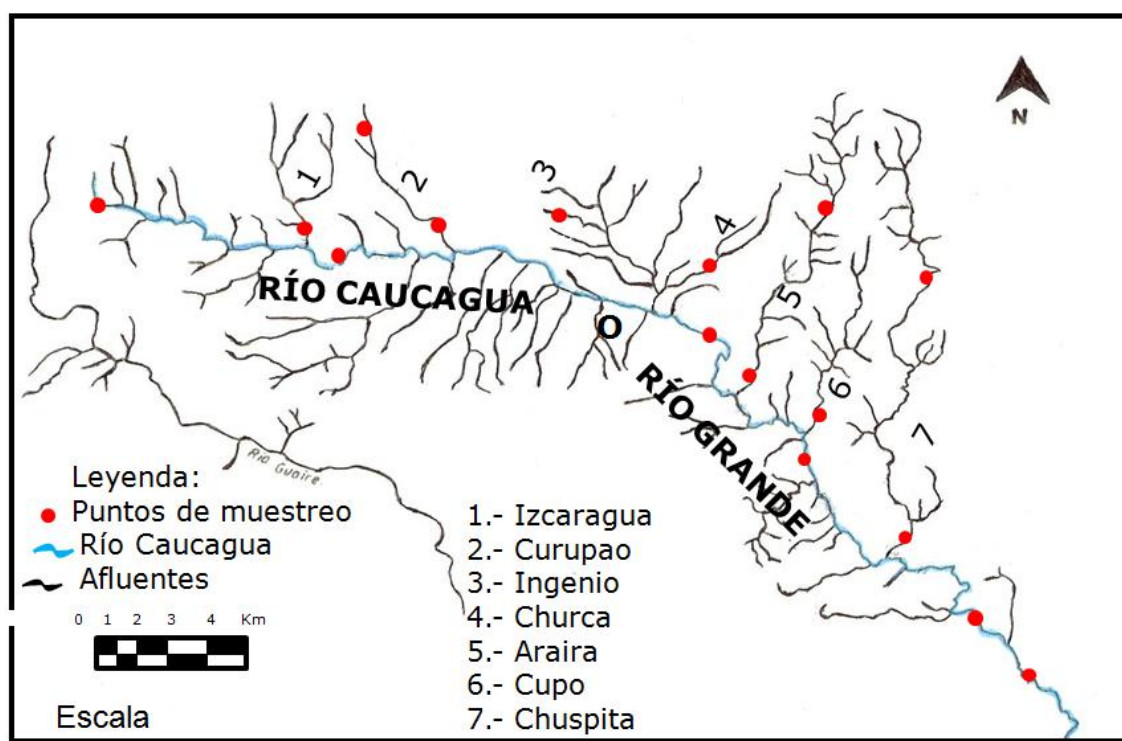


Figura 4: Mapa del río Caucagua con los puntos de muestreo en el canal principal y en sus principales afluentes

Las medidas de los parámetros físico-químicos llevadas a cabo en campo fueron: conductividad eléctrica, que permite observar las variaciones espaciales de los iones mayoritarios e indica influencia de actividades antrópicas y/o diferentes litologías (Li y Zhang, 2008); así como también pH y temperatura.



Trabajo de Laboratorio

En primera instancia fue llevada a cabo la valoración de las muestras para conocer la alcalinidad de las mismas. Dicho parámetro físico-químico fue determinado mediante una titulación ácido-base, partiendo de una alícuota de 200mL de la muestra, con una solución de HCl cuya concentración era conocida (por previa valoración con una solución patrón de NaHCO_3). En la titulación fue utilizado como indicador una mezcla de verde de bromocresol y rojo de metilo (Álvarez, 1995). La titulación fue realizada por duplicado para cada una de las muestras. El cálculo de la alcalinidad fue mediante la siguiente fórmula (Marín, 2002):

$$C_{\text{HCO}_3^-} = \frac{\text{Volumen de HCl (mL)} * \text{Concentración de HCl (mol/L)} * 1000 * \text{PA HCO}_3^-}{\text{Volumen total (mL)}}$$

Seguidamente fue realizada la segunda valoración de las muestras para ésta vez conocer la concentración de cloruro en las mismas. Dicha especie fue determinada mediante una titulación argentométrica. La determinación de cloruros por este método está basada en una valoración con nitrato de plata, cuya concentración es conocida por previa valoración con NaCl, utilizando como indicador cromato de potasio. La plata reacciona con los cloruros para formar un precipitado de cloruro de plata de color blanco. En las inmediaciones del punto de equivalencia al agotarse el ión cloruro, empieza la precipitación del cromato. La formación de cromato de plata puede identificarse por el cambio de color de la disolución a anaranjado-rojizo así como en la forma del precipitado. El procedimiento consistió en tomar una alícuota de 300 mL de muestra y agregar 10 gotas del indicador (APHA, 1995). El cálculo de la concentración de cloruro fue mediante la siguiente fórmula:

$$C_{\text{Cl}^-} = \frac{\text{mL NaCl} * C \text{ de NaCl} * \text{PA del Cl} * 1000}{V \text{ de la muestra (mL)}}$$

donde PA en ambos casos = peso atómico

Luego fue realizada la filtración de aproximadamente 250mL de cada una de las muestras utilizando un filtro con tamaño de poro de 0,45 μm (Li y Zhang, 2008); con la finalidad de separar la fracción de los sólidos disueltos y la fracción de sólidos suspendidos.



Posteriormente, las muestras filtradas fueron divididas en dos porciones: una para la determinación de cationes mayoritarios y la otra para determinar Si y P. Ambas fueron acidificadas con HNO₃ ultra puro a pH menor de 2.

La acidificación de las muestras fue realizada añadiendo 0,5mL de HNO₃ al 50% (V/V) a 50ml de las muestras destinadas para el análisis de cationes, y con 1mL del mismo ácido a 150mL de las muestras destinadas al análisis de Si y P. Esto fue con la finalidad de obtener el pH mencionado anteriormente y así minimizar los procesos de adsorción de los iones en las paredes del recipiente (Sabater, 2009).

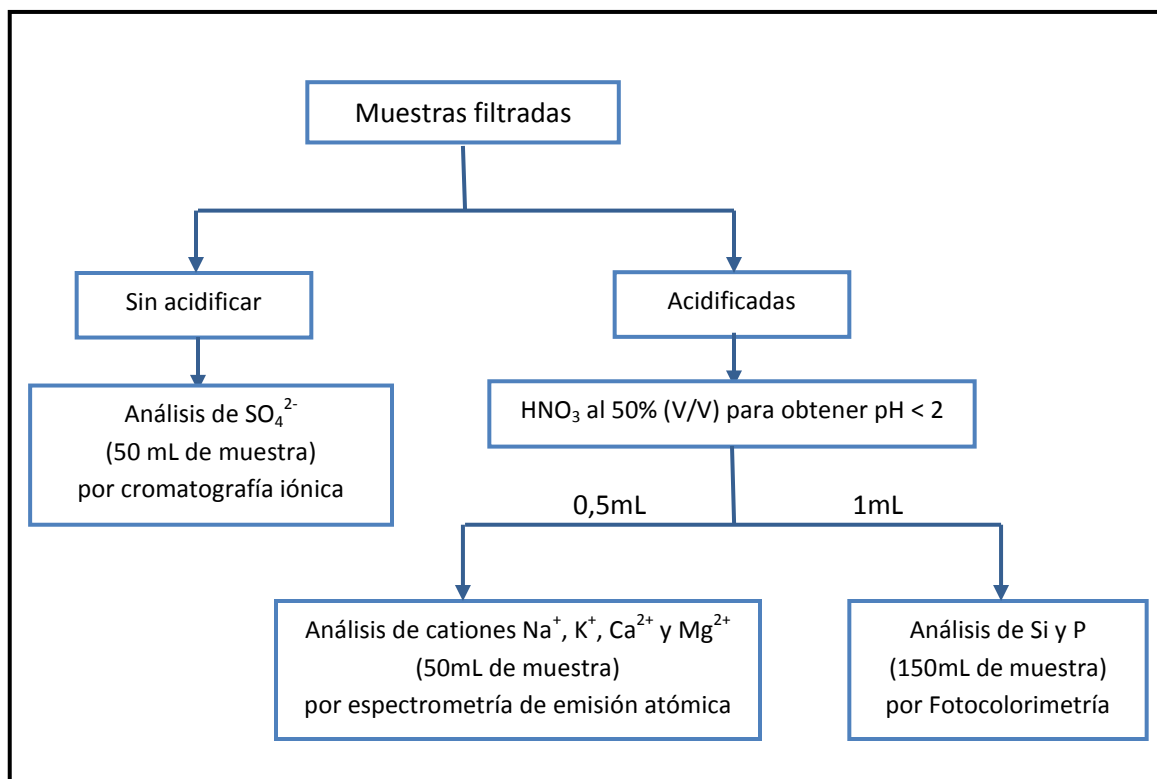


Figura 5: Esquema de tratamiento de las muestras, luego de ser filtradas

Análisis químico de las muestras

Las muestras luego de tratadas, fueron analizadas por diferentes técnicas analíticas; con la finalidad de determinar la concentración de elementos mayoritarios.



Determinación de la concentración de los cationes Na, K, Mg y Ca

El análisis químico realizado para determinar la concentración de las especies mayoritarias Na, K, Mg y Ca fue la espectrometría de emisión y absorción atómica, mediante un equipo marca Perkin Elmer, modelo 2000. Las soluciones patrón utilizadas para la construcción de curvas de calibración fueron preparadas a partir de soluciones estándar de 1000 mg/l de cada catión.

Determinación de la concentración de SO_4^{2-} y Cl^-

El análisis de SO_4^{2-} fue por medio de la técnica instrumental de cromatografía iónica, con la ayuda de un equipo ILC-1 Ion Chromatograph. Para éstas determinaciones fueron construidas las curvas de calibración utilizando patrones multielementales de concentración conocida a partir de soluciones estándar de 1000 mg/l de los aniones antes nombrados.

Determinación de sílice disuelta

La concentración de sílice disuelta fue determinada empleando el método de molibdato azul (APHA, 1975) y la técnica de espectrometría de absorción molecular. Para ello, el equipo a utilizar fue el Spectronic 20. La concentración de sílice fue determinada a una longitud de onda de 680nm. El silicio tiene la propiedad de reaccionar con el molibdato de amonio en medio ácido para formar el complejo amarillo de molibdato de silicio. El complejo es reducido por sulfito de sodio para formar el molibdato azul. El contenido de silicio fue determinado por colorimetría tomando alícuotas (10mL) de las muestras de agua, agregándole a las mismas 1mL de molibdato de amonio para formar el complejo; posteriormente añadiéndole 4mL de ácido tartárico al 10% (para suprimir la interferencia del fósforo) y una solución reductora (sulfito de sodio, bisulfito de sodio y ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfónico). El rango de concentración de los patrones fue de 0,2 a 2,0 mg/L. Posteriormente fue determinada la absorbancia a la longitud de onda, y en el equipo, antes nombrados; utilizando un blanco como patrón de referencia (APHA, 1995). Por último, los valores de Silicio fueron expresados en Sílice disuelta aplicando la estequiometría.



Determinación de la concentración de fósforo:

El método del ácido ascórbico fue llevado a cabo para la determinación de fósforo. En dicho método el molibdato de amonio y el tartrato antimonil potásico reaccionan en medio ácido con ortofosfato para formar un ácido heteropoliácido fosfomolibdico, el cual es reducido a azul de molibdeno de color intenso por el ácido ascórbico (APHA, 1995). El procedimiento consistió en tomar una alícuota de la muestra de agua (25mL) y descargarla en un balón aforado de 50 mL. Luego fueron agregados 4ml de un reactivo formado por una mezcla de compuestos (ácido sulfúrico 5 N, molibdato de amonio, una solución de ácido ascórbico y una solución de tartrato de antimonil potásico), es enrasado el balón y por último esperar de 10 a 30 minutos para finalmente llevar a cabo la medición de la absorbancia (a una longitud de onda de 690nm) de cada muestra utilizando un blanco como solución de referencia. El rango de concentración de los patrones fue de 0,2 a 1,0 mg/L (APHA, 1995). El equipo utilizado fue el Spectronic 20.

Tratamiento de datos

Los valores obtenidos de los diferentes análisis realizados son presentados para cada uno de los muestreos llevados a cabo. Sin embargo para los cálculos correspondientes a los sólidos disueltos, tasas de disolución y aporte antrópico a una escala global de la cuenca fueron utilizados los promedios ponderados de las distintas especies analizadas.

Por otra parte también son estimadas las áreas de cada una de las subcuencas que componen el río Caucaagua; así como también la precipitación y esorrentía de las mismas.

De igual forma fueron realizadas las correlaciones entre las especies analizadas, con la finalidad de estimar si tenían un origen común.



PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Ésta parte del trabajo comprende varios aspectos. Primeramente estará mostrada la validación de los datos analíticos; luego la presentación y discusión de los resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos (pH, Conductividad y Temperatura) en cada punto de muestreo, para las concentraciones de las especies estudiadas (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Si, P, Cl^- , HCO_3^- y SO_4^{2-}) y finalmente serán presentadas las correlaciones inter-elementales. Dichos resultados están mostrados en las tablas 4, 5, 6, 7 y 8 (Apéndice 2) tanto para los afluentes como los pertenecientes al canal principal en las tres salidas de campo realizadas.

Resultados analíticos

Los valores de conductividad son un reflejo de las especies iónicas que hay en solución. Por lo tanto si es realizada una comparación entre la conductividad teórica (CT) y la conductividad determinada en campo, debe encontrarse una buena correlación con una pendiente muy cercana a la unidad; esto si todas las especies iónicas que participan en los valores de conductividad fueron determinadas y si la proporción de especies no disociadas es baja (Reyes, 1999).

Para dicho cálculo, es empleada la siguiente ecuación:

$$CT = \sum U_i * C_i$$

Donde:

U_i es la conductividad iónica equivalente a 25°C ($\mu\text{S.L/cm.mg}$) (Ver Tabla 3, Apéndice 1).

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



La Figura 6 muestra la curva de correlación obtenida al graficar la conductividad medida en campo frente a la conductividad teórica. En ésta puede observarse una buena correlación lineal, con un coeficiente de correlación de 0,9825 y una pendiente muy cercana a la unidad ($m = 1,0569$).

La pequeña diferencia observada entre el valor teórico de la conductividad y el valor de campo probablemente sea a errores asociados con los análisis químicos efectuados. Los cálculos de la conductividad teóricas son explicados en el Apéndice 1.

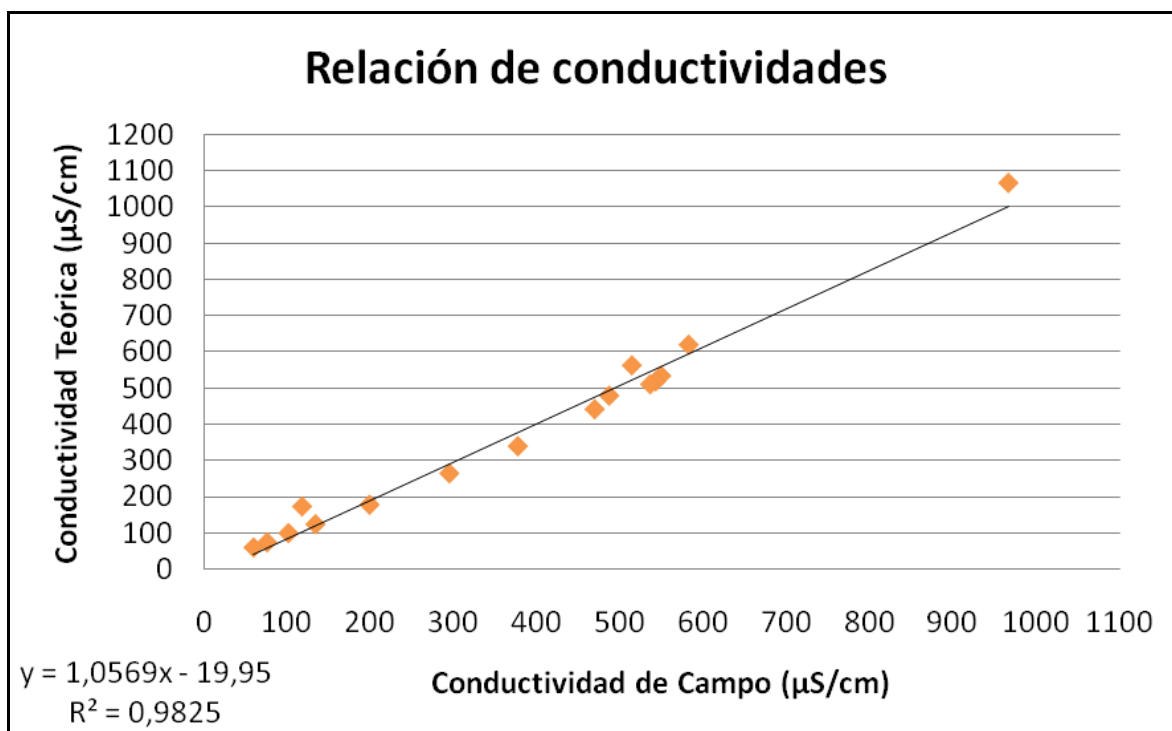


Figura 6: Conductividad teórica frente a conductividad de campo para las aguas del río Caucaagua y sus afluentes principales.



Las sales disueltas totales (SDT) constituyen la sumatoria de los cationes y aniones inorgánicos presentes en las aguas, y la conductividad determinada en campo es un reflejo de estas especies iónicas. En la Figura 7 es mostrado un gráfico de la relación de ambos aspectos, en el cual puede observarse una fuerte linealidad entre ellos. Por lo tanto, cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica.

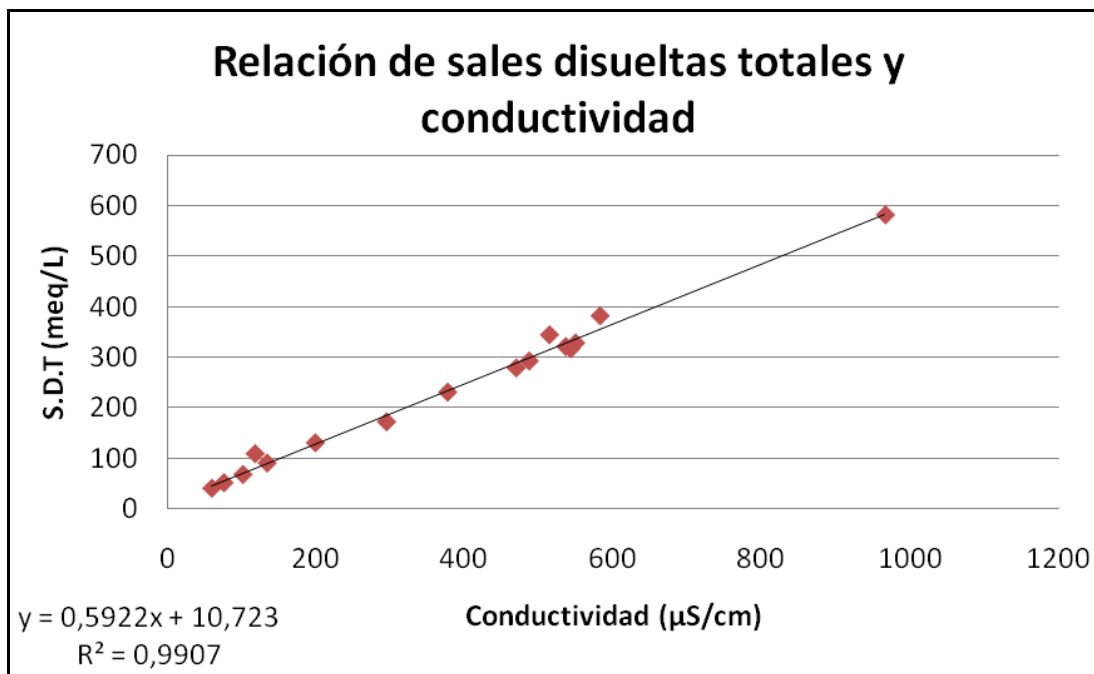


Figura 7: Relación de SDT con la conductividad

En la Tabla 2 (Apéndice 2) pueden observarse todos los valores correspondientes a SDT y las conductividades teóricas en las aguas del río Caucaagua, estado Miranda.



Medidas de campo

A continuación serán presentados y discutidos los valores de las mediciones que fueron realizadas en campo, en los puntos de muestreos seleccionados, como la conductividad, la temperatura y el pH. De forma general puede observarse como los resultados no muestran una variación significativa en los tres muestreos realizados (Ver Tabla 4, Apéndice 2).

Los valores de conductividad en los afluentes no contaminados del río Caucagua (Izcaragua, Curupao, Ingenio, Churca, Araira, Cupo y Chuspita) oscilan entre 54 y 980 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En los afluentes contaminados (Curupao 2 y Araira 2) y en el canal principal del río Caucagua los valores de conductividad están entre 409 y 928 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ver Figura 8).

Puede notarse la gran variabilidad existente entre los valores de conductividad en los afluentes no contaminados. Los valores más bajos fueron encontrados en los ríos Ingenio, Churca y Curupao; cuyos valores varían de 54,5 a 102,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dichos ríos están asociados a rocas de la Formación Las Brisas y a la Formación Peña de Mora, constituidas principalmente por esquistos y gneises cuarzo-muscovítico. Hacia el noreste de la cuenca puede observarse un aumento en los valores de la conductividad presentándose en los ríos Araira, Cupo y Chuspita (entre 181,9 y 979,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$), como consecuencia del dominio de rocas carbonáticas pertenecientes a la Formación Las Mercedes y a la Formación Chuspita. El río Cupo es el que presenta el valor más alto de conductividad producto de que drena en mayor proporción a la Formación Las Mercedes; así mismo indica que existe un alto contenido de sales disueltas por el alto grado de susceptibilidad de las rocas antes nombradas frente a los agentes de meteorización. De manera intermedia puede decirse que está el río Izcaragua debido a que éste drena la Formación Las Mercedes y a la Formación Peña de Mora en mayor proporción.

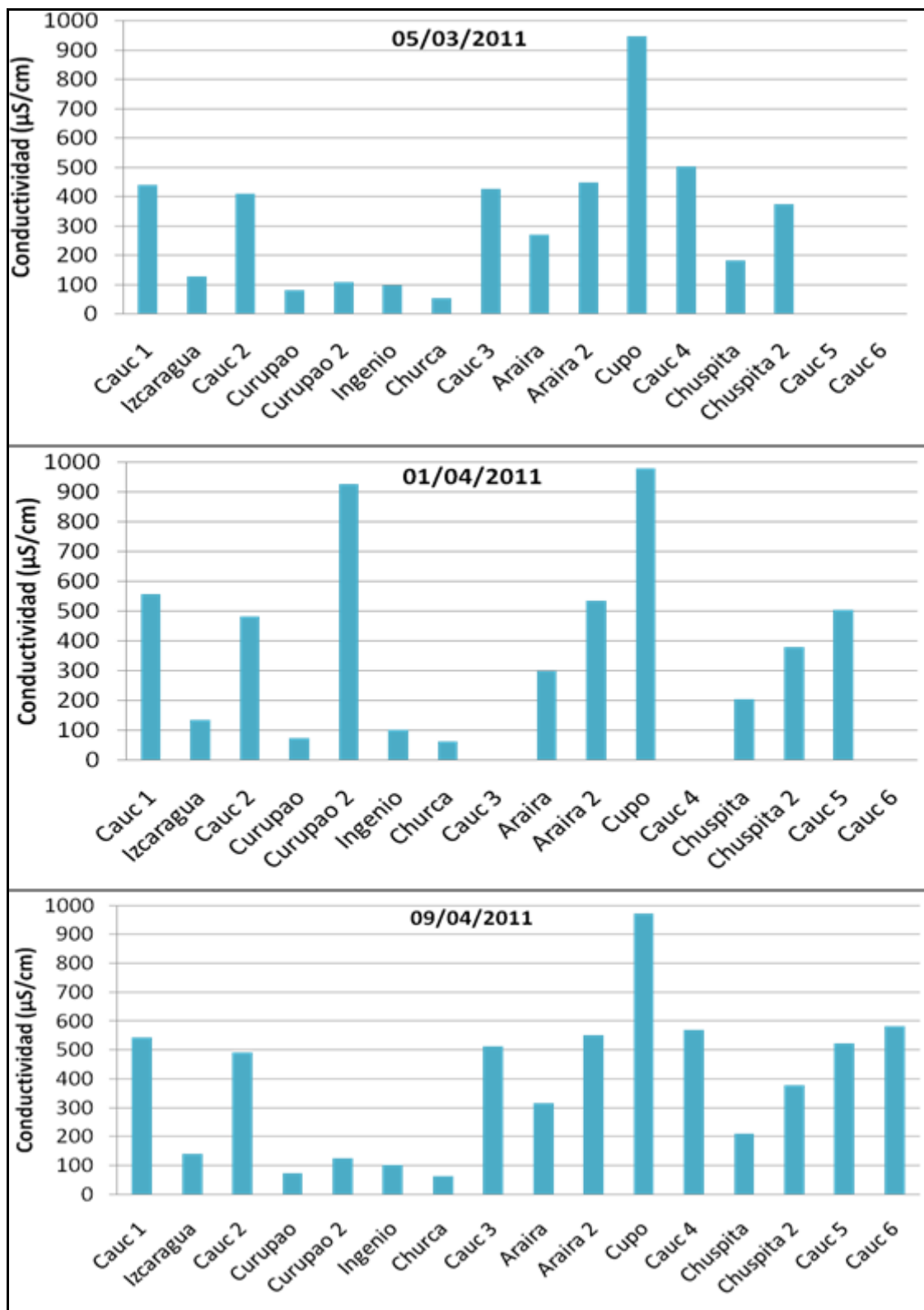


Figura 8: Distribución de conductividad durante los tres muestreos realizados



A lo largo del canal principal puede observarse como los valores no varían de manera significativa, manteniéndose entre 409 y 582 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En cuanto a los afluentes como Curupao 2 y Araira 2 puede notarse que los valores son relativamente más elevados que en los puntos tomados hacia las cabeceras de los mismos. Esto es atribuido a la existencia de diversas actividades antrópicas como las agropecuarias, domésticas e industriales. Ejemplos de ellos son las cochineras y areneras existentes en los alrededores de Araira y poblaciones e industrias adyacentes a Curupao.

Esto también logra explicar los altos valores de conductividad en los dos primeros puntos correspondiente al río Caucagua, en comparación con los dos primeros afluentes no contaminados (Izcaragua y Curupao), donde puede inferirse que la litología no es la responsable de los elevados valores obtenidos. Cabe notar que en cuanto a Curupao 2, éste presenta una similar conductividad en el primer y tercer muestreo pero dicho valor es considerablemente más elevado en el segundo muestreo; lo cual puede asociarse a que la segunda fecha de recolección de muestras fue un día Viernes y podemos atribuirlo a que finalizando semanas las industrias adyacentes al lugar descargan todo tipo de residuos y vertidos sobre los ríos. Lo mismo ocurrió con el Caucagua 3, donde no fue tomada la muestra debido a la alta contaminación que presentaba y un fuerte color rojo producto de las descargas de colorantes de las industrias.

Comparando los valores de conductividad con trabajos previos como el de Cova (1996), puede observarse como algunos valores no presentan cambios significativos (Ver Tabla 17, Apéndice 3). En primera instancia debe destacarse que la toma de muestra realizada por Cova (1996) fue en Abril y Julio, siendo éstas épocas de sequía y lluvia respectivamente. Éste trabajo de investigación lleva a cabo dos muestreos en el mes Abril, pero estuvieron presente diversas y abundantes precipitaciones tanto en ese mes como en el mes de Marzo (fecha del primer muestreo); lo que pudo variar algunos valores de conductividad.



En cuanto a la temperatura de las muestras (Ver Tabla 4, Apéndice 2) puede observarse que los valores oscilan entre 17,7 y 32,0 °C. El primer aspecto a tener en cuenta es que las variaciones pueden estar asociadas a la hora en que fueron realizadas las tomas de muestras (distintas horas durante el día). Los valores más altos de temperatura fueron encontrados en Araira 2, Caucagua 5 y Caucagua 6 (entre 30 y 31 °C) posiblemente asociado a las actividades humanas realizadas en los alrededores de dichos puntos, tanto industriales como domésticas, en las cuales son desechadas las aguas provenientes de casas e industrias a los ríos (Jiménez, 2002). En forma general, fue observado como la temperatura no presenta una variación considerable a lo largo de los puntos de muestreo y en las distintas salidas realizadas (Ver Figura 9).

Los valores de pH para los afluentes no contaminados oscilan entre 6,95 y 8,60. El canal principal del río Caucagua presenta valores de pH entre 7,31 y 7,79; mientras que los afluentes contaminados tienen valores de 7,17 a 8,48. Puede señalarse que el pH no es un indicador directo de contaminación, ya que fueron encontrados valores altos en ríos considerados como no contaminados por estudios previos (Cova, 1996), siendo un ejemplo de ello el río Araira (Ver Figura 10). El mismo, llega a tener un valor de pH igual a 8,60 y en forma general viene siendo el más alto de la cuenca; incluso más alto que los ríos considerados como contaminados y que el canal principal. Éstos valores elevados de pH en los ríos no contaminados (Araira, Cupo y Chuspita) pueden ser relacionados a que los mismos drenan las Formaciones Las Mercedes y Chuspita, caracterizadas por la presencia de rocas carbonáticas; haciendo que el pH sea ligeramente más básico y no tener que asociarlo precisamente a actividades antrópicas.

En cuanto a los ríos contaminados y el canal principal del río Caucagua, fue observado que el valor más alto de (presencia de rocas carbonáticas en las formaciones que drenan los mismos; por lo que sus valores son relativamente más elevados que Curupao 2 y que el de las muestras tomadas en el canal principal. En forma general (Ver Figura 10), en éste grupo los diversos valores de pH son principalmente asociados a las descargas domésticas e industriales que son llevadas a cabo sobre los mismos.

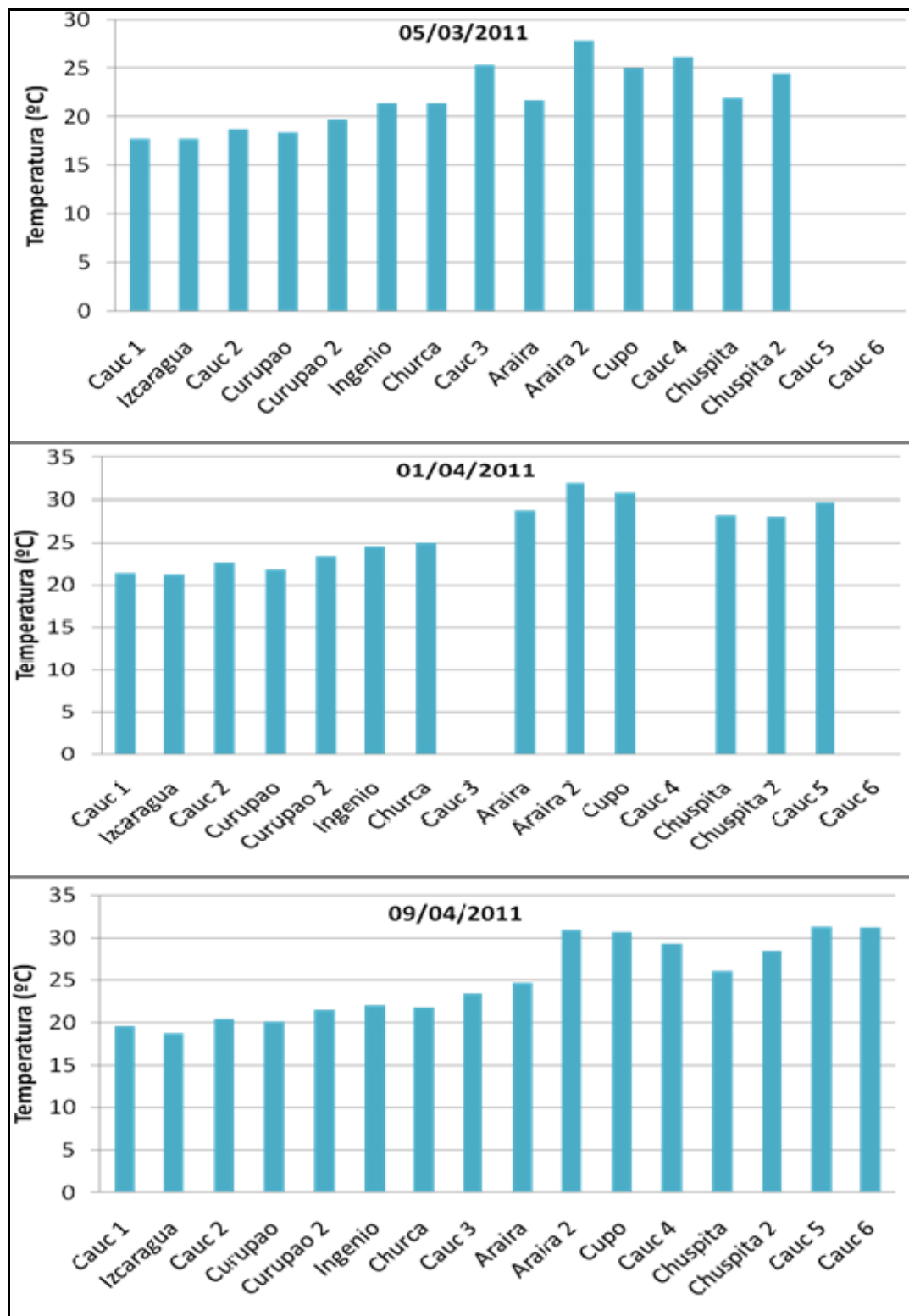


Figura 9: Distribución de temperatura durante los tres muestreos realizados

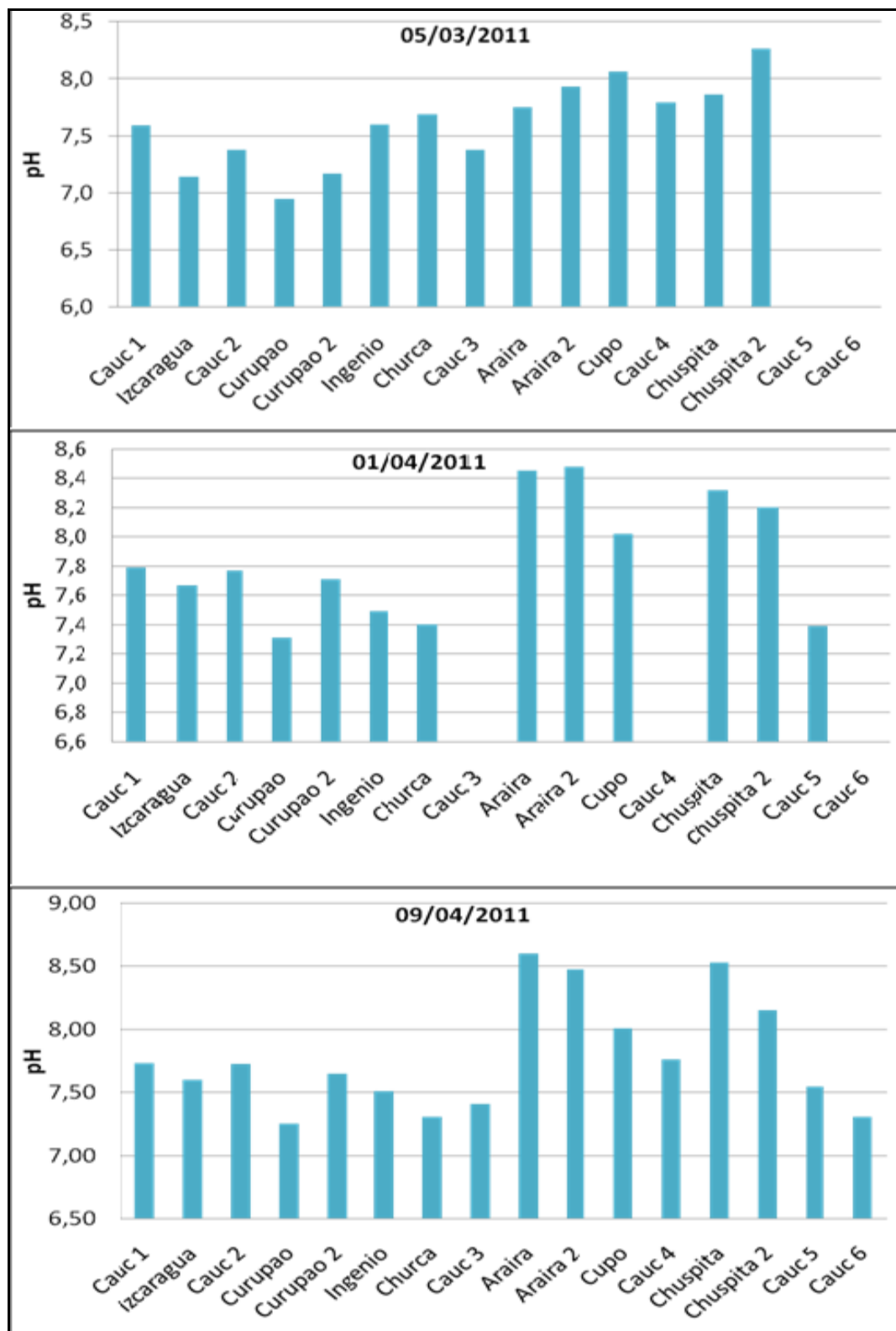


Figura 10: Distribución de pH durante los tres muestreos realizados



Especies mayoritarias

A continuación son presentados y discutidos los valores de concentración correspondientes a las especies mayoritarias Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Si, HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} de las muestras recolectadas a lo largo del río Caucagua y en sus afluentes más importante. En las Figuras correspondientes a dichas especies, pueden observarse las distribuciones espaciales de cada una de las especies durante los diferentes muestreos realizados; donde puede notarse que no ocurren variaciones significativas durante los mismos (Ver Tablas 5, 6 y 7; Apéndice 2).

Las concentraciones de sodio en los afluentes no contaminados de la cuenca del río Caucagua oscilan entre 5 y 27 mg/L. En cuanto a los afluentes contaminados y al canal principal, las concentraciones de sodio varían de 6 a 35 mg/L (Ver Figura 11).

Los valores más bajos son encontrados en la mayoría de los afluentes no contaminados. Esto puede ser atribuido a que los mismos discurren a través de la Formación Las Brisas y Formación Peña de Mora, las cuales están constituidas por rocas menos susceptibles a los procesos de meteorización aportando bajas concentraciones de sodio, y en menor proporción a través de la Formación Las Mercedes. Los valores están cercanos a la concentración promedio de sodio en aguas naturales, que es de 6,3 mg/L (Hem, 1985). Sin embargo el río Cupo presenta uno de los valores más alto de éste elemento, a pesar de drenar las mismas litologías nombradas anteriormente. La diferencia es producto de que dicho río drena una mayor proporción de la Formación Las Mercedes y parte de la Formación Chuspita; lo que puede sugerir que estas dos últimas formaciones aportan mayor concentración de sodio debido al alto grado de susceptibilidad de las rocas asociadas a las mismas.

Los valores de sodio en Curupao 2 y Araitha 2 aumentan en comparación con los obtenidos en las cabeceras de los mismos; lo cual puede ser atribuido a una leve contaminación por actividades antrópicas. Lo mismo puede observarse de forma más específica en los valores obtenidos para Curupao 2 en el segundo muestreo, el cual aumenta considerablemente en comparación con los valores de los otros dos

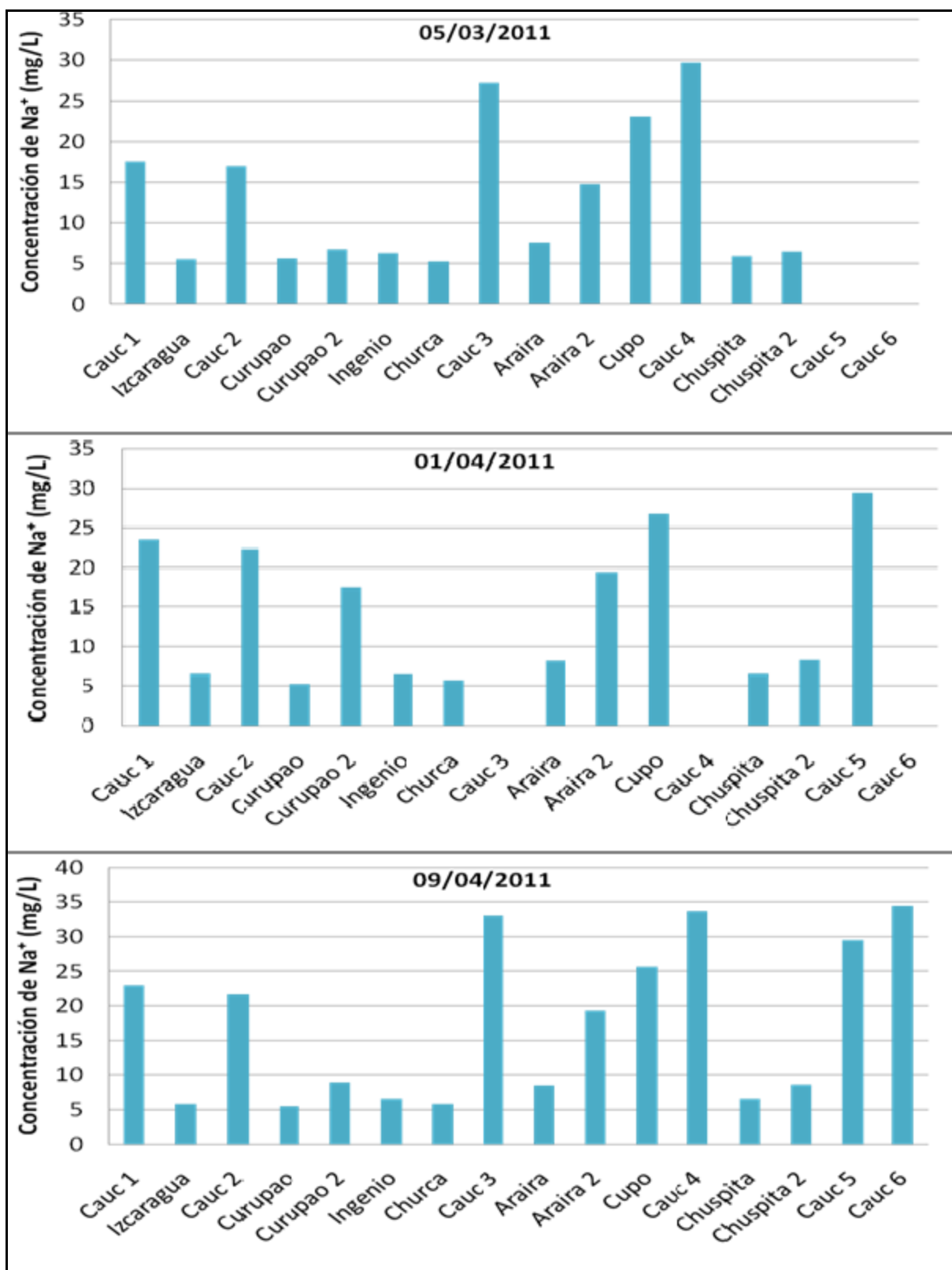


Figura 11: Distribución de sodio durante los tres muestreos realizados



muestreos. Dicho resultado puede ser asociado al día en que fue realizada la segunda toma de muestra (Viernes), que es cuando las industrias llevan a cabo la descarga de vertidos sólidos y líquidos a los ríos que afectan las concentraciones de sodio.

En cuanto al canal principal, los valores de sodio oscilan entre 16 y 35 mg/L. Esto puede atribuirse de igual forma a los efectos de contaminación ejercidos por el hombre, ya que la contribución de estas especies provenientes de los afluentes no es lo suficientemente alto para alcanzar dichos valores. Entre las causas pueden estar las descargas domésticas e industriales; así como el uso de fertilizantes en las zonas agrícolas existentes a lo largo de la cuenca del río Caucaagua.

Por su parte, la distribución de potasio a lo largo del río Caucaagua es presentada en la Figura 12 y los valores encontrados oscilan entre 0,95 y 5,9 mg/L. Ésta distribución es similar a la de sodio, por lo que la explicación es similar a la de dicha especie. En los afluentes no contaminados, los valores oscilan de 0,95 a 2,5 mg/L y pueden considerarse casi invariables, por lo que puede sugerir que este elemento no está siendo influenciado por la litología de la zona. Cabe destacar que los valores están cercanos a la abundancia promedio de potasio en ríos, el cual es de 2,3 mg/L (Hem, 1985).

En cuanto a los afluentes contaminados (Curupao 2 y Araira 2), puede notarse que los valores son levemente más altos a los encontrados en las cabeceras de los mismos; lo cual puede atribuirse a las actividades domésticas e industriales desarrolladas a los alrededores de los mismos. Por otra parte, también puede estar contenido en los fertilizantes utilizados para mejorar la productividad de las zonas agropecuarias existentes en diversas áreas de la cuenca del río Caucaagua.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, puede deducirse que el potasio funciona como un buen indicador de la influencia que ejercen las actividades humanas en estos ríos. Puede inferirse también por el aumento de Curupao 2 en el segundo muestreo realizado, en comparación con los otros dos, debido a que en esa ocasión presentaba mayor contaminación reflejándose principalmente en la conductividad obtenida.

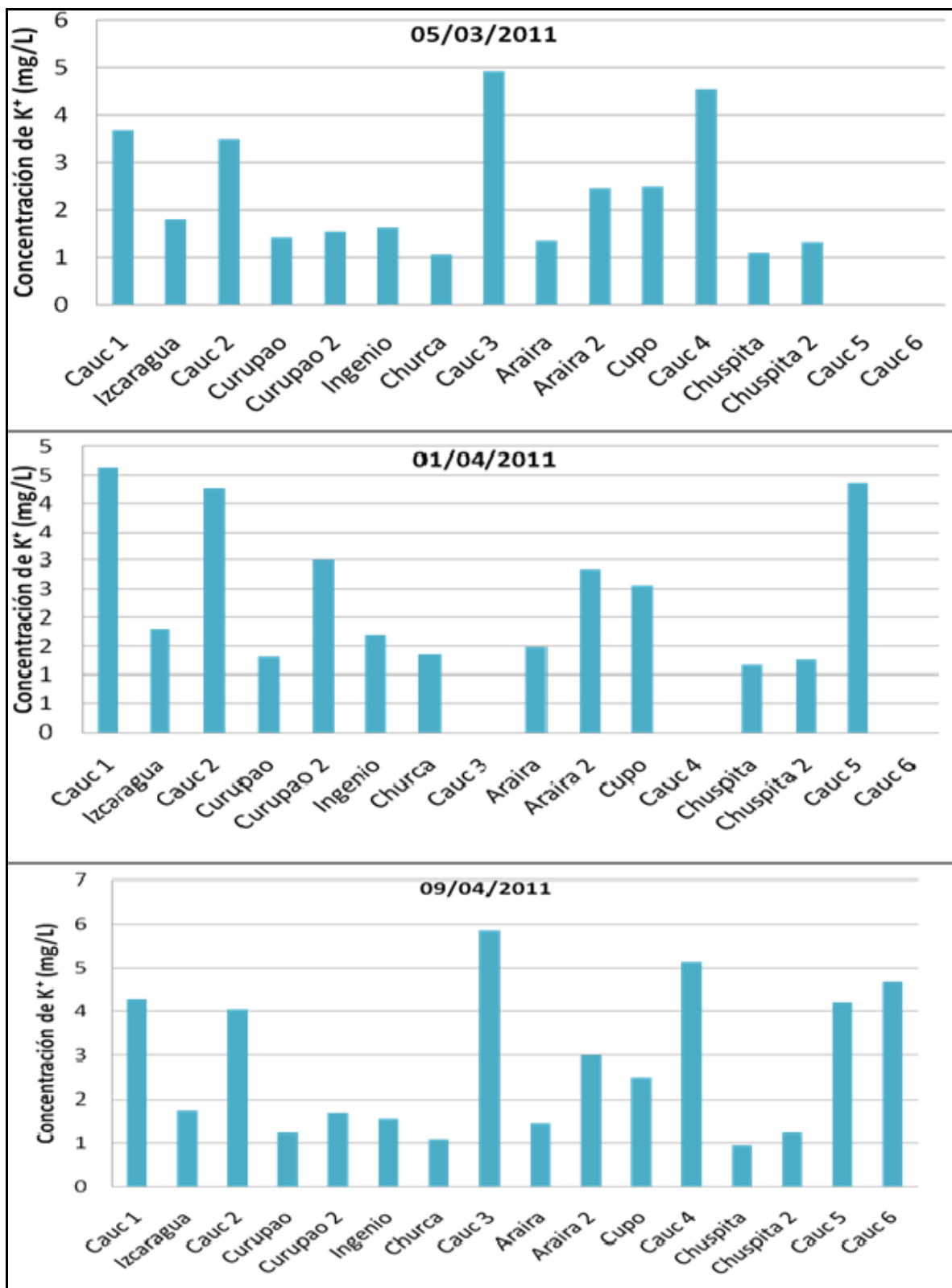


Figura 12: Distribución de potasio durante los tres muestreos realizados



La concentración de calcio presenta intervalos de 2,6 a 127 mg/L en los afluentes no contaminados. En cuanto al canal principal y a los afluentes contaminados (Curupao 2 y Araira 2) los valores oscilan de 35 a 61 mg/L y de 9,4 a 64 mg/L, respectivamente (Ver Figura 13).

Puede observarse que los menores valores de calcio en los afluentes no contaminados corresponden a los ríos ubicados en la parte noroeste (Izcaragua, Curupao, Ingenio y Churca) producto de que drenan en una mayor proporción la Formación Las Brisas y Formación Peña de Mora, caracterizadas por presentar rocas de tipo gneis y esquistos cuarzo-muscovítico; y una menor proporción de la Formación Las Mercedes. En cuanto a los ríos considerados como afluentes no contaminados ubicados en la parte noreste de la cuenca (Araira, Cupo y Chuspita) son los que presentan los valores más altos de calcio debido a que drenan una mayor proporción de la Formación Las Mercedes y de la Formación Chuspita, caracterizadas por poseer rocas carbonáticas y metasedimentarias que son más susceptibles a los procesos de meteorización. Un ejemplo de ello es el río Cupo el cual drena la mayor área de las formaciones antes nombradas; como producto de la meteorización de las rocas carbonáticas ocurre una liberación de calcio y es reflejado en el aumento considerable en la concentración de las mismas. En forma general la mayoría de éstos ríos presenta valores alrededor de 15 mg/L, que es el promedio de calcio en los ríos (Hem, 1985).

Los valores de calcio registrados para los afluentes contaminados son significativamente más altos en comparación con los obtenidos en las cabeceras de los mismos, lo cual puede ser atribuido a que dichos ríos reciben aporte de ésta especie a través de las descargas de sólidos y líquidos provenientes de las actividades industriales y domésticas llevadas a cabo en los alrededores.

Comparando los valores de calcio en el Caucagua 2 con los de obtenidos en Izcaragua, observamos que en el canal principal del río las concentraciones son más elevadas indicándonos que éste aumento no es producto de la contribución litológicas sino de los efectos de las actividades antrópicas; ya que el río Izcaragua no tiene la capacidad de aportar grandes cantidades de dicha especie. Lo mismo puede ser notado para el

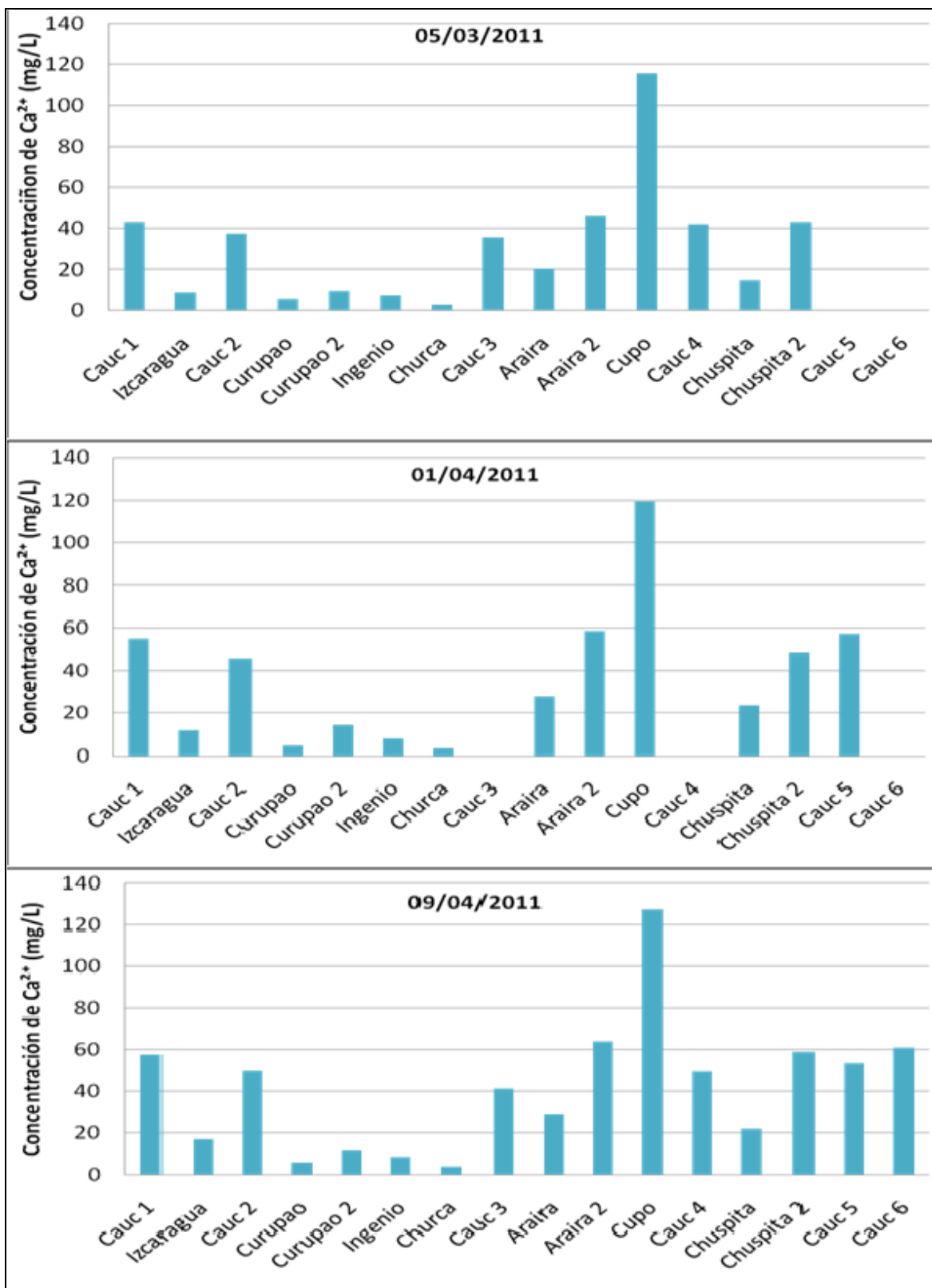


Figura 13: Distribución de calcio durante los tres muestreos realizados



Caucaagua 4 en comparación con el río Cupo. Éste último posee las mayores concentraciones de calcio y sin embargo los valores obtenidos para el punto después de la desembocadura de Cupo (Caucaagua 4) están por el mismo orden de los demás puntos de muestreos tomados en el canal principal; corroborando que ésta especie no está controlada por la litología presente en la zona.

Para el caso de magnesio, en los afluentes no contaminados los valores oscilan entre 1 y 25 mg/L. Mientras que para el canal principal del río Caucaagua y los afluentes contaminados, los valores van de 5 a 8,3 mg/L y de 1,9 a 12 mg/l respectivamente. En la Figura 14 puede observarse como el magnesio presenta la misma tendencia, de manera espacial y temporal, que el calcio; es por ello que puede aplicarse la misma discusión para ambas especies. Los valores de magnesio hacia la parte noroeste de la cuenca, son más bajos que la abundancia promedio de 5 mg/L (Hem, 1985) por lo que puede considerarse que los ríos Izcaragua, Curupao, Ingenio y Churca no presentan contaminación de dichas especies. Lo mismo ocurre con el río Chuspita; así como también en los ríos Araira (con concentraciones cercanas) y Cupo (cuya concentración aumenta por drenar una mayor proporción de la Formación Las Mercedes).

En cuanto a los afluentes contaminados y al canal principal del río los valores de magnesio no son tan elevados por lo que podría señalarse que existe una leve contaminación de dicha especie producto de descargas industriales, domésticas y agropecuarias llevadas en la zona.

Por otro lado, los valores de concentración de silicio (expresado como SiO_2) oscilan entre 12,21 y 20,07 mg/L en forma general. Los valores máximos son encontrados en el canal principal del río; pero podemos observar como no hay grandes variaciones con los valores de los afluentes no contaminados y contaminados (Ver Figura 15). Es por ello que podemos indicar que ésta especie no está alterada por los efectos de las actividades antrópicas; por lo que la presencia de la misma es atribuida a la meteorización de los silicatos presentes en prácticamente todas las rocas. El rango de SiO_2 obtenido está dentro del intervalo normal de concentración de sílice en aguas naturales, que corresponde entre 1 y 30 mg/L (Hem, 1985).

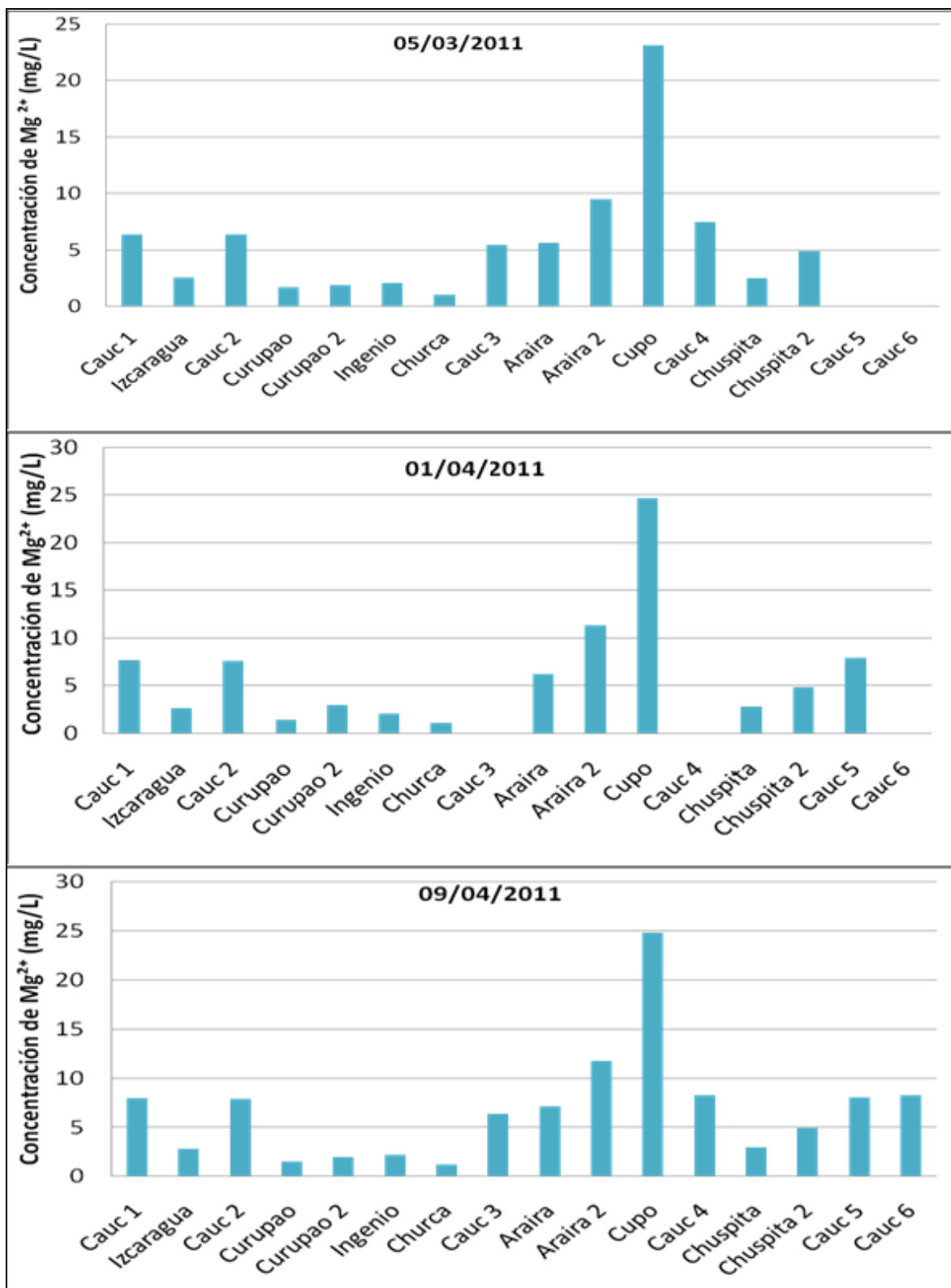


Figura 14: Distribución de magnesio durante los tres muestreos realizados

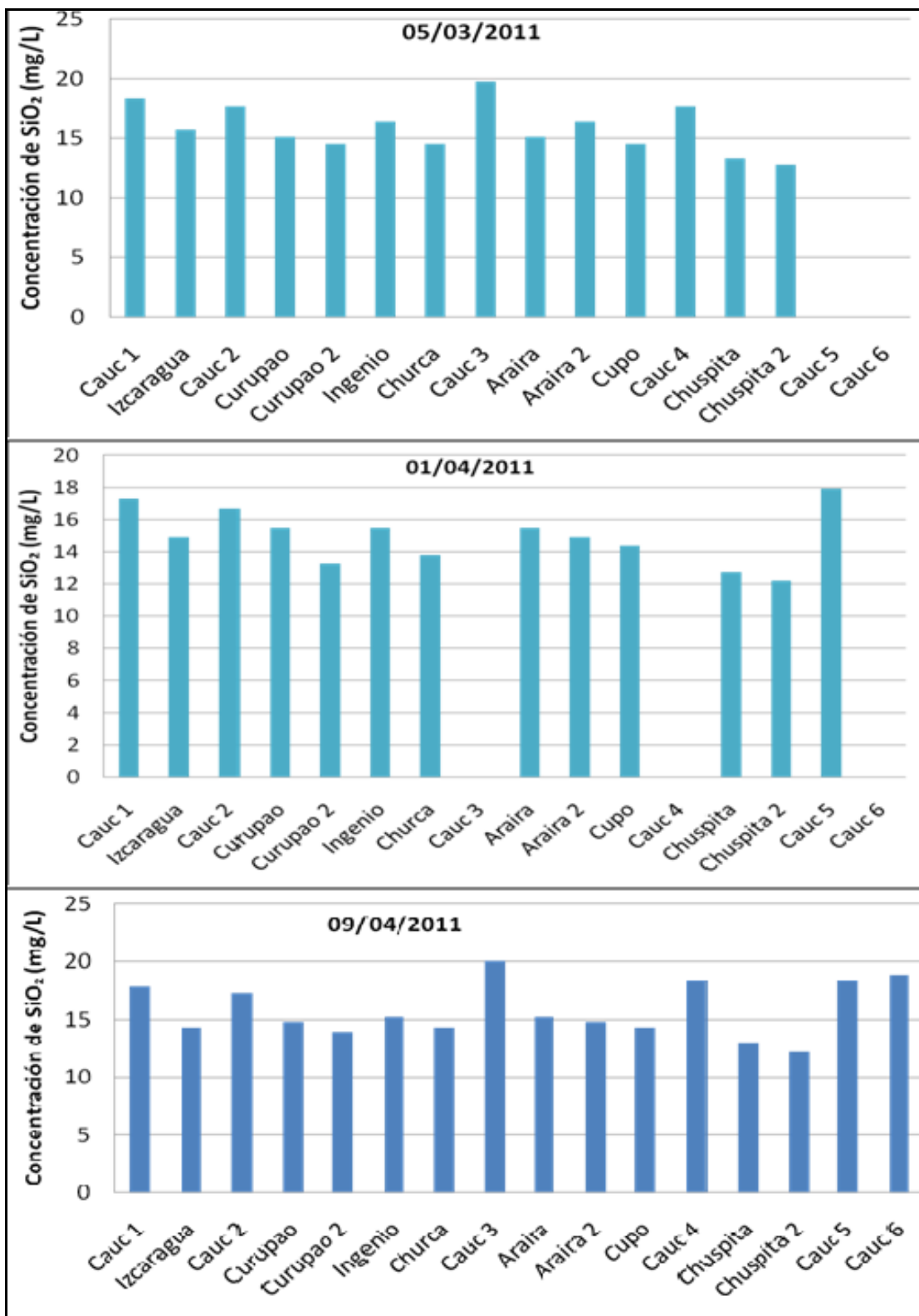


Figura 15: Distribución de sílice durante los tres muestreos realizados



En relación a los valores de bicarbonato (que expresan la alcalinidad) para los afluentes no contaminados estos oscilan entre 20 y 178 mg/L. En el canal principal del río Caucagua varía entre 116 y 168 mg/L; mientras que en los afluentes contaminados los valores de bicarbonato están entre 41 y 160 mg/L (Ver Figura 16).

Es notable como nuevamente los afluentes no contaminados encontrados en la zona noroeste de la cuenca (Izcaragua, Curupao, Ingenio y Churca) obtienen los menores valores de alcalinidad; esto debido a que el aporte de bicarbonato es producto de la meteorización de silicatos provenientes de la Formación Las Brisas y la Formación Peña de Mora. Por otra parte, los ríos como Araitha, Cupo y Chuspita presentan los mayores valores de alcalinidad debido a que el aporte de bicarbonato es principalmente producto de la disolución de rocas carbonáticas pertenecientes a la Formaciones Las Mercedes y Chuspita (siendo estas las más susceptibles al proceso de meteorización).

Con respecto a los afluentes contaminados (Araitha 2 y Curupao 2) puede notarse como los valores de alcalinidad aumentan en comparación con las muestras tomadas en las cabeceras de los mismos; lo cual puede ser atribuido a las actividades antrópicas desarrolladas en los alrededores. Lo mismo puede ser explicado para los puntos tomados en el canal principal del río Caucagua; donde observamos altos valores de bicarbonato que no son atribuibles a los afluentes no contaminados, ya que lo mismos no aportan lo suficiente para llegar a dichos niveles de alcalinidad.

En cuanto a las concentraciones de sulfato, éstas varían de 0,8 a 25 mg/L en los afluentes considerados como no contaminados. Para el canal principal del río Caucagua y los afluentes contaminados, los valores de sulfato oscilan de 44 a 81 mg/L y de 21 a 70 mg/L respectivamente (Ver Tabla 7, Apéndice 2).

De manera general, las concentraciones de sulfato en los ríos no contaminados no presentan variaciones significativas (Ver Figura 17). Esto debido a que drenan las Formaciones Las Brisas, Peña de Mora y Las Mercedes en diferentes proporciones. La diferencia es observada en el aumento de la concentración de sulfato en el río Cupo (231 mg/L), cuyo valor encontrado es el más alto de la cuenca. Dicho resultado es

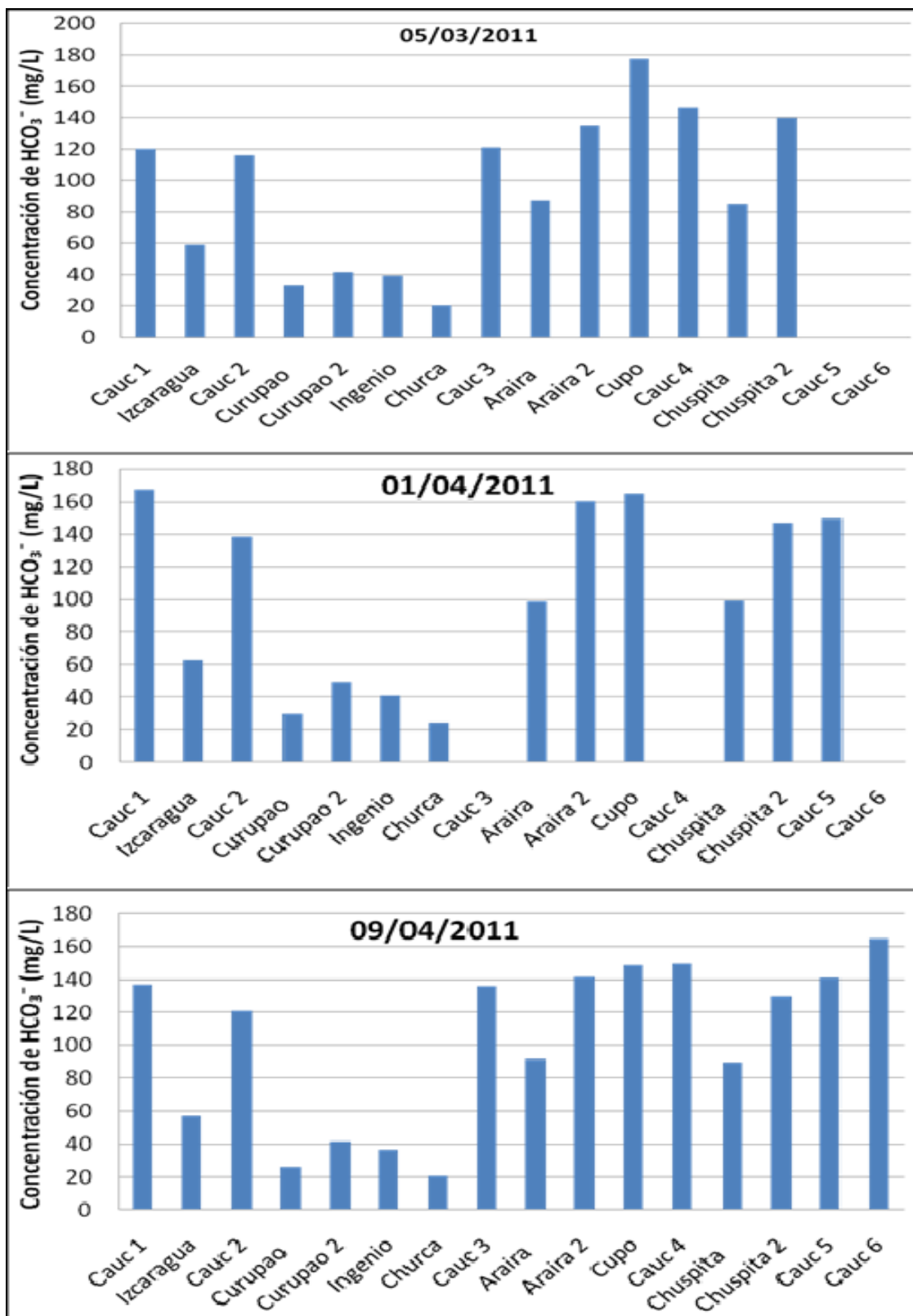


Figura 16: Distribución de bicarbonato durante los tres muestreos realizados

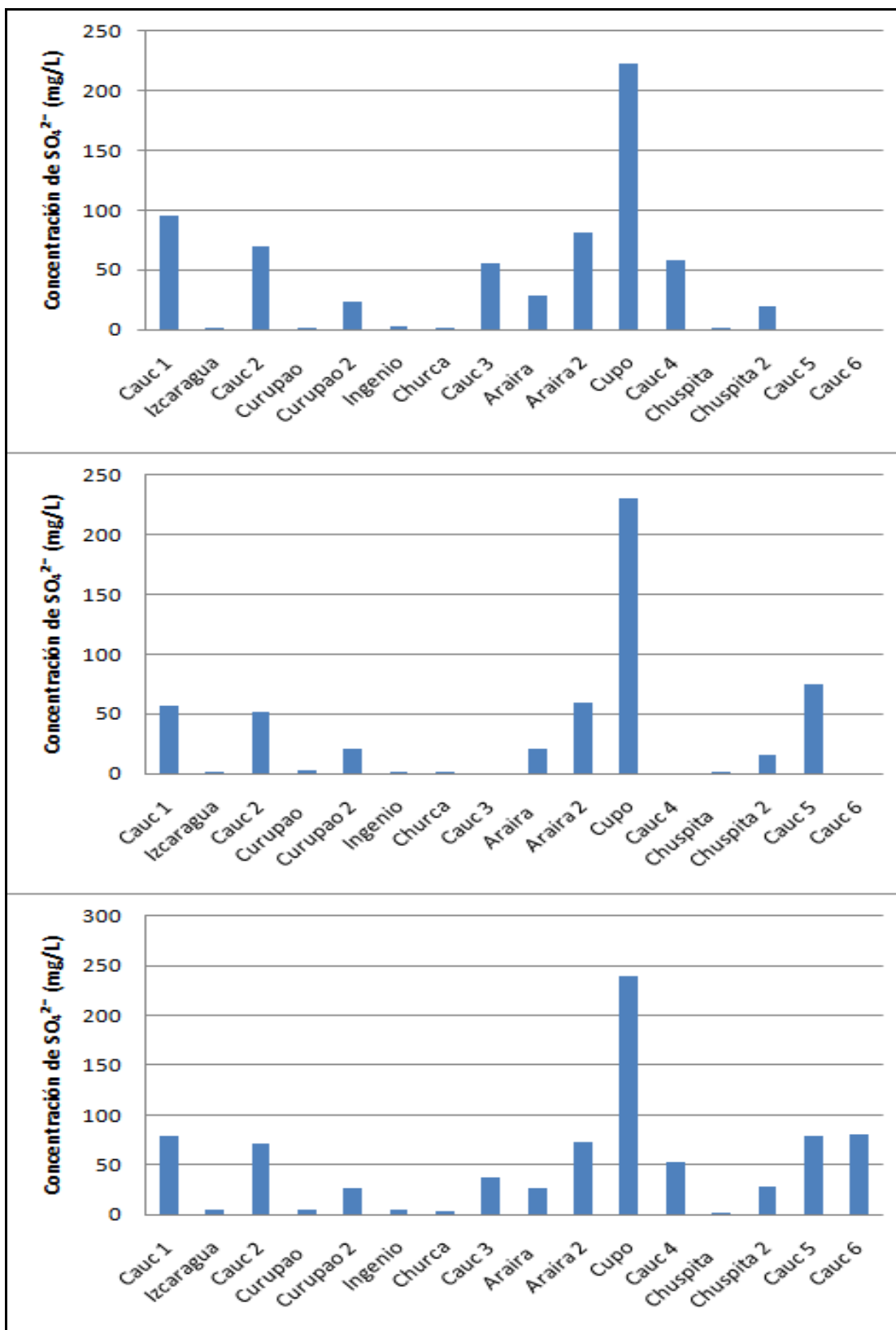


Figura 17: Distribución de sulfato a lo largo del río Caucaagua, estado Miranda



producto de que drena en una mayor proporción las Formaciones Chuspita y Las Mercedes donde la gran cantidad de sulfato es por la oxidación de pirita en las mismas.

Para los afluentes contaminados la presencia de sulfato proviene principalmente de las actividades antrópicas ya que las concentraciones son mucho más elevadas que las encontradas hacia las cabeceras de los mismos. Es por ello que la presencia de sulfato en los mismos puede estar asociada a las descargas domésticas e industriales.

Los valores de concentración de cloruro para los afluentes no contaminados oscilan entre 3,7 y 28 mg/L. En cuanto a los afluentes contaminados y el canal principal del río Caucagua los valores van de 7,1 a 17 mg/L y de 15 a 28 mg/L, respectivamente (Ver Figura 18).

Las concentraciones de cloruro en los afluentes no contaminados están cercanas al valor promedio en ríos que es de 7,8 mg/L (Hem, 1985). En los afluentes pertenecientes a la parte noroeste de la cuenca (Izcaragua, Curupao, Ingenio y Churca) las concentraciones incluso están por debajo de dicho valor promedio y permanecen en el mismo orden. Es por ello que podemos atribuir a que el mayor aporte de cloruro en esta parte de la cuenca es proveniente de las sales cíclicas o aresoles marinos. En cuanto a los ríos como Araira y Chuspita las concentraciones de cloruro muestran un leve aumento como consecuencia de que los mismos drenan parte de la Formación Las Mercedes cuyo origen es marino. Lo mismo es observado con mayor énfasis en el río Cupo, cuyo valor de cloruro obtenido es el más elevado de los afluentes no contaminados; debido a que drena gran parte de la Formación Las Mercedes y la Formación Chuspita, siendo ésta última también de origen marino.

En los afluentes contaminados (Curupao 2 y Araira 2) observamos un incremento de las concentraciones de cloruro, en comparación con los obtenidos en las cabeceras de los mismos (Ver Tabla 7, Apéndice 2). Éste efecto es causado por la acción que ejercen las actividades antrópicas, como son los vertidos industriales y las aguas residuales domésticas que son descargados directamente sobre los ríos antes nombrados. En el canal principal también es atribuido el cloruro a actividades antrópicas.

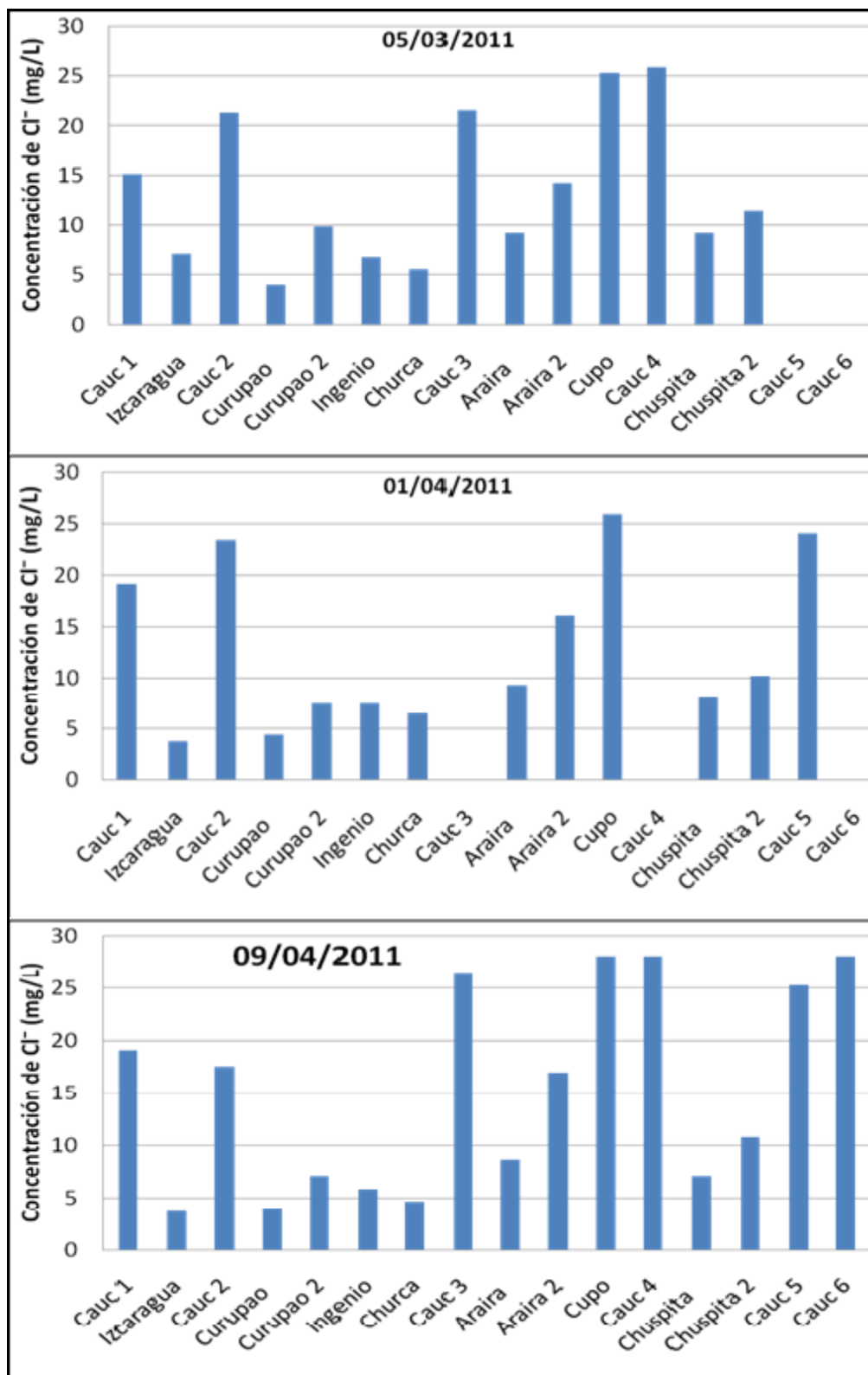


Figura 18: Distribución de cloruro durante los tres muestreos realizados



Fósforo

El estudio de fósforo en la cuenca del río Caucagua fue llevado a cabo para corroborar la influencia de las actividades antrópicas sobre el canal principal del mismo y sus afluentes más importantes. Los valores de fósforo en los afluentes no contaminados, varía de 0,07 a 0,12 mg/L. En los afluentes contaminados y en el canal principal del río Caucagua los valores de fósforo oscilan de 0,08 a 0,57 mg/L (Ver Tabla 8, Apéndice 2).

Las concentraciones más bajas de fósforo las podemos observar en Ingenio, Churca y Araira (Ver Figura 19). Sin embargo, las mismas están por encima del valor promedio de fósforo en ríos (0,03 mg/L según Hem, 1985); esto probablemente debido a las actividades domésticas realizadas en los alrededores, así como también desechos de animales provenientes de terrenos aledaños y a que los dos primeros son usados para actividades recreacionales.

Podemos notarse que en Araira 2 las concentraciones de fósforo aumentan en relación a Araira, lo cual puede relacionarse con desechos de las cochineras existentes en los alrededores de dicho río. Lo mismo puede ser explicado para el aumento de las concentraciones en Curupao 2, en comparación con los valores hacia las cabeceras del mismo.

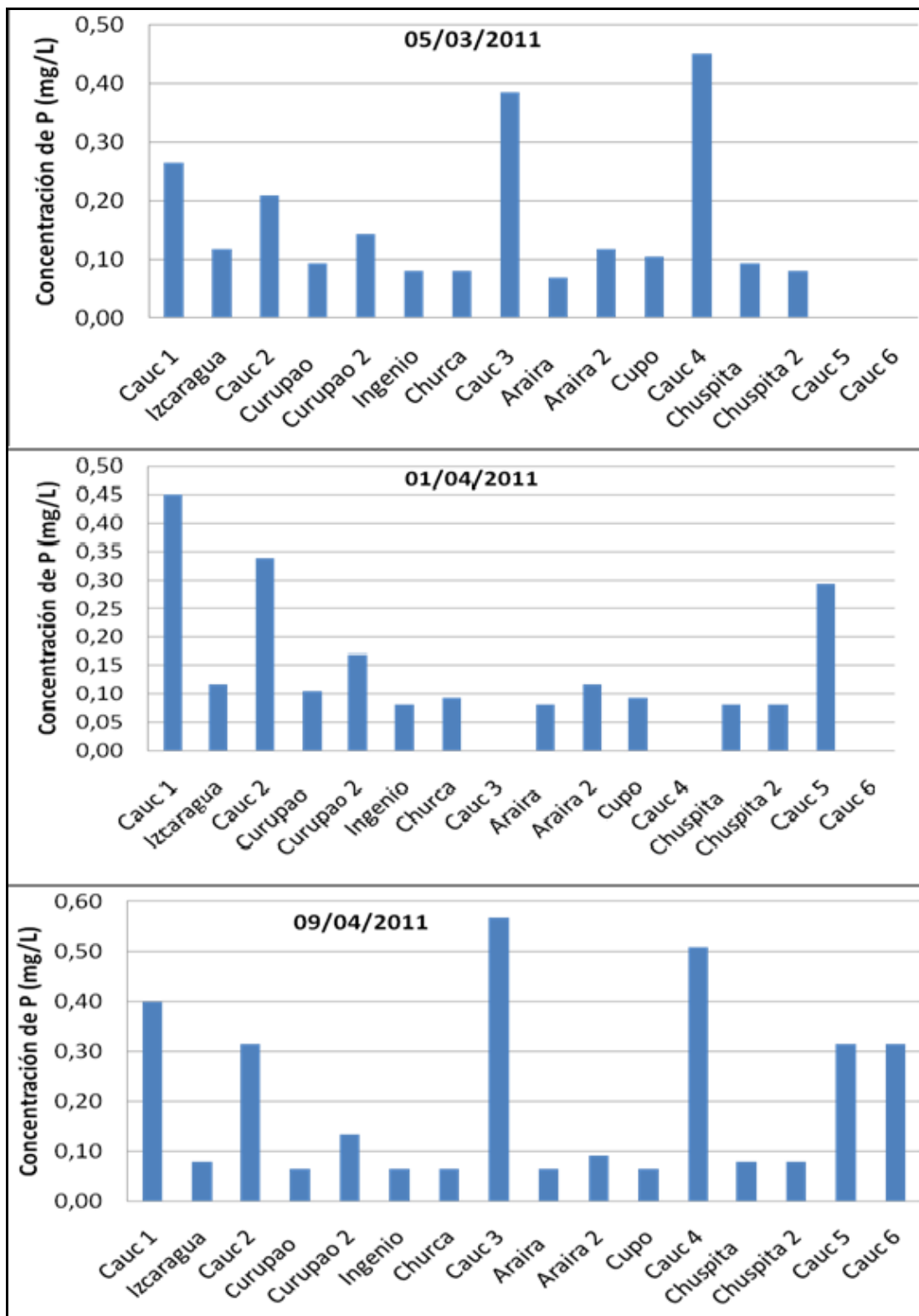


Figura 19: Distribución de fósforo durante los tres muestreos realizados



Correlaciones

A continuación serán presentadas las correlaciones realizadas entre cationes y aniones para inferir cuales pueden tener un origen común. Debido a que calcio y magnesio presentan una tendencia similar a lo largo de la cuenca del río Caucaagua, es llevado a cabo la correlación entre ambas especies para estimar si tienen un mismo origen.

En la Figura 20 podemos notar una alta correlación entre ambas especies, en cuanto a los afluentes no contaminados. La diferencia es observada en los puntos denominados Chuspita y Chuspita 2 (cuyos valores caen por debajo de la línea de tendencia); en donde puede decirse que existe un predominio de calcio sobre magnesio. Debido a la elevada correlación existente entre los ríos Izcaragua, Curupao, Ingenio, Churca, Araira, Cupo y Chuspita es realizada una estimación de que ambas especies tienen un origen común; lo que puede ser atribuido a las rocas carbonáticas correspondientes a las mismas (Calcita y Magnesita). También notamos como los valores de la correlación Mg/Ca pertenecientes a los obtenidos en el canal principal están agrupados (por debajo de la línea de tendencia) lo que puede ser atribuido a que las mismas provienen de un mismo origen y en éste caso sería de las actividades industriales, domésticas y agropecuarias llevadas a cabo en los alrededores de los mismos.

Para corroborar lo nombrado anteriormente, también son realizadas las correlaciones de calcio y magnesio con bicarbonato (Ver Figura 20); en donde observamos como nuevamente los puntos pertenecientes a los afluentes no contaminados presentan una tendencia aproximadamente lineal, a excepción del correspondiente al río Cupo (punto alejado del resto) debido a las litologías presente. En la correlación $\text{HCO}_3^- / \text{Mg}^{2+}$ hay un comportamiento similar a la correlación $\text{HCO}_3^- / \text{Ca}^{2+}$; por lo que puede aplicarse la misma explicación dicha anteriormente.

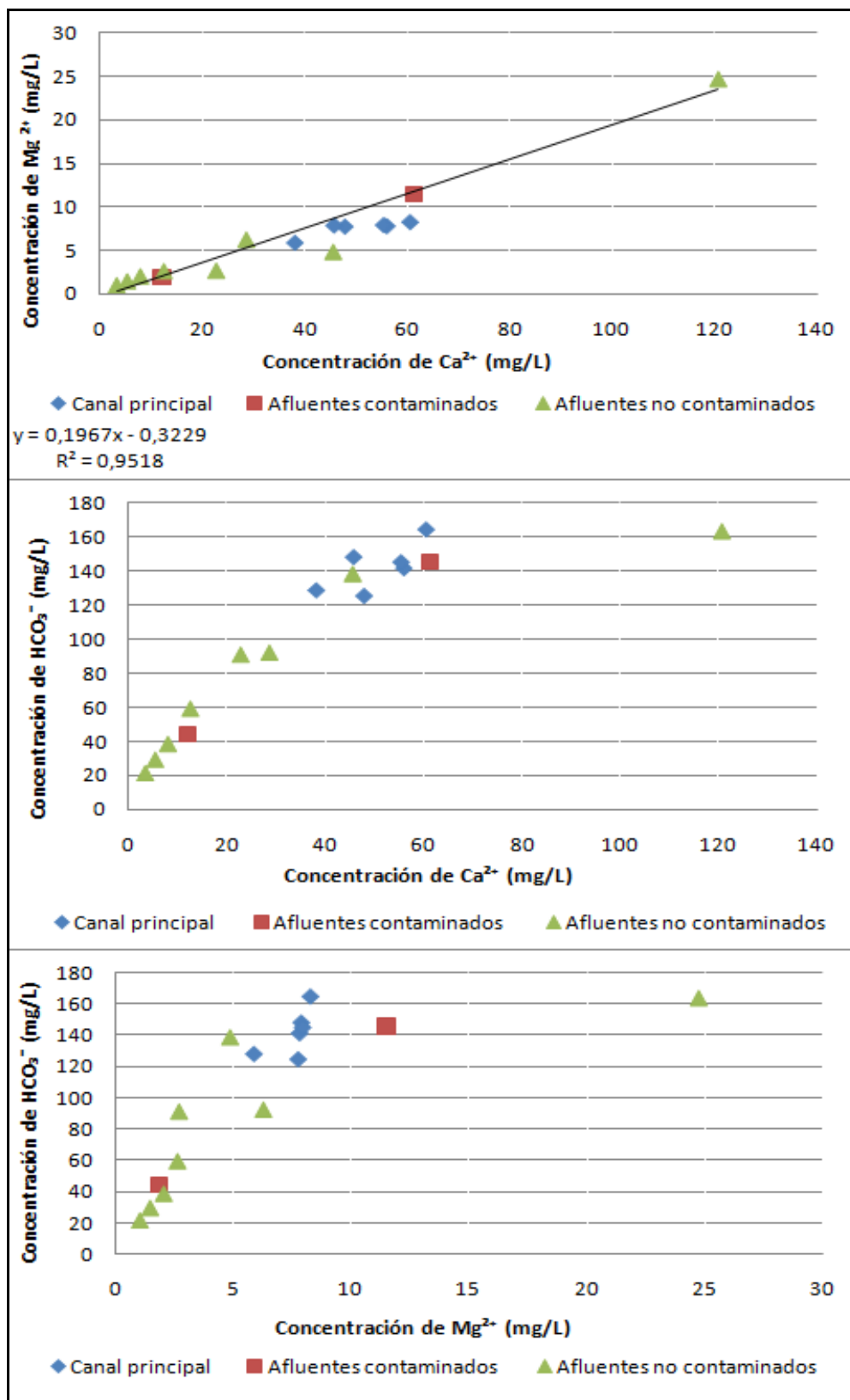


Figura 20: Correlaciones entre calcio, magnesio y bicarbonato



La correlación llevada a cabo entre sodio y potasio, así como las mismas con cloruro, con la finalidad de ver si tienen un mismo comportamiento y así poder estimar si poseen un origen común.

En la Figura 21 es notable como existen dos grandes grupos, existentes entre los puntos tomados en el canal principal y aquellos realizados en los afluentes no contaminados. Es por ello que podemos decir que cada grupo tiene un origen definido. En cuanto al grupo de los puntos correspondientes al canal principal, dichas especies pueden ser asociadas a las actividades agropecuarias desarrolladas en los alrededores de las mismas; así como también a los desechos y vertidos líquidos descargados sobre el río Cauagua. Para el grupo de los afluentes no contaminados es visible como mantienen una misma baja correlación, nuevamente a excepción del punto que representa el río Cupo. Éste río presenta un predominio de sodio sobre potasio debido posiblemente a las Formaciones que drena el mismo.

Por otro lado, en la Figura 21 observamos también que la mayor correlación existente entre sodio y cloruro es hacia los afluentes encontrados en la parte noroeste de la cuenca (Araira, Cupo y Chuspita), en comparación con los ubicados hacia el noreste de la misma (Izcaragua, Curupao, Ingenio y Churca). Dicha correlación elevada entre los tres primeros ríos puede ser asociado a que las formaciones que drenan los mismos en mayor proporción son Las Mercedes y Chuspita, cuyo origen es marino. En cuanto a los otros cuatro ríos, podemos observar cómo están agrupados en una misma sección indicándonos que tienen una procedencia similar.

Para la correlación de potasio y cloruro no observamos una tendencia significativa; sino un agrupamiento de afluentes no contaminados y puntos correspondiente al canal principal donde nuevamente queda excluido el río Cupo, lo cual puede ser atribuido a que dicha concentración mayor de cloruro sobre potasio es producto de los aerosoles marinos.

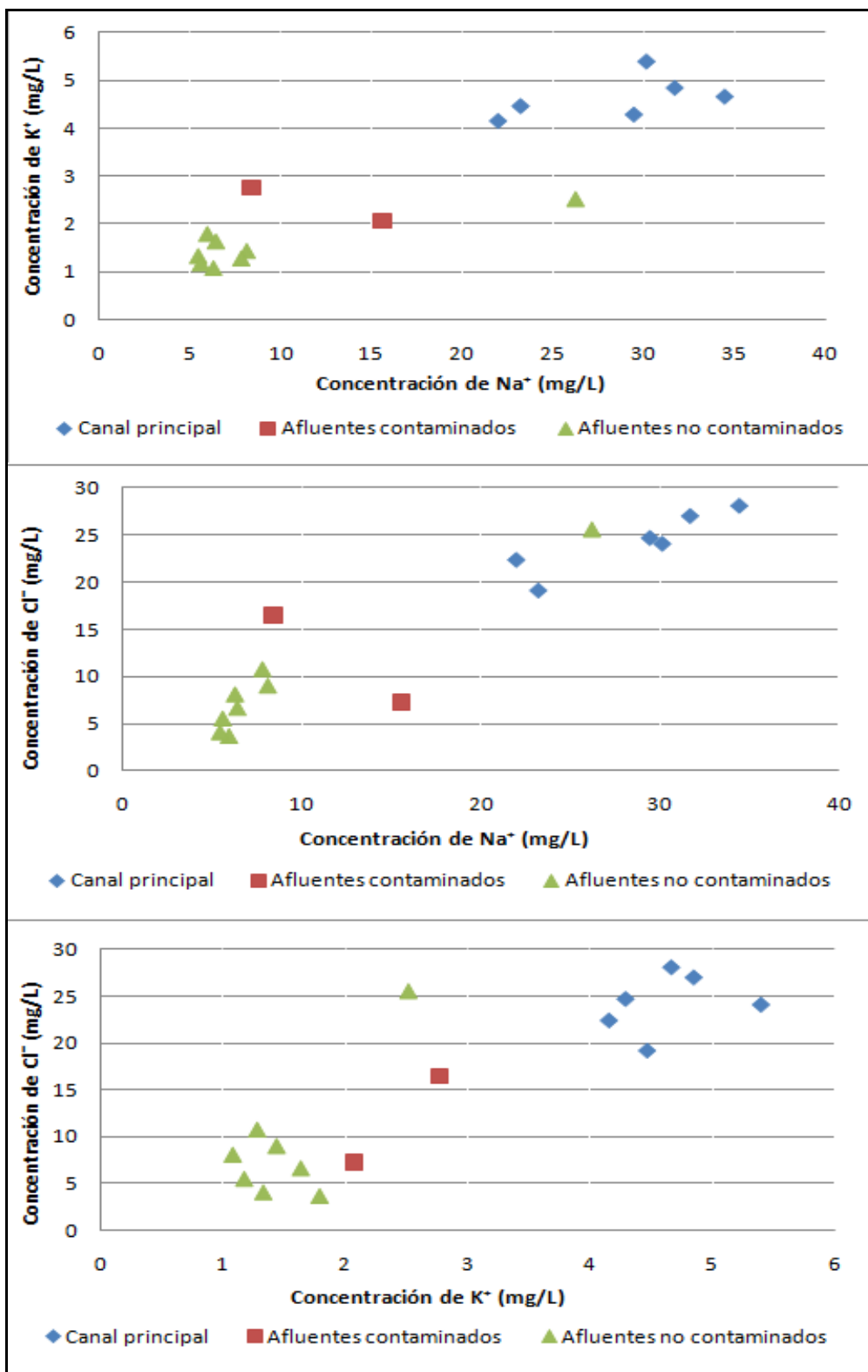


Figura 21: Correlación existente entre sodio, potasio y cloruro



Sólidos Disueltos

A continuación estarán descritos los valores obtenidos para los sólidos disueltos provenientes de los aerosoles marinos, litología y atmósfera.

Debe resaltarse que para la realización de los cálculos relacionados a los sólidos disueltos (Ver Apéndice 8), el cloruro fue usado como elemento de referencia para estimar el aporte atmosférico; es decir, que la concentración de dicha especie obtenida en cada muestra es igual a la concentración de la misma aportada por los aerosoles marinos.

En forma general podemos observar que en los sólidos disueltos provenientes de los aerosoles marinos la menor contribución es por parte de los cationes; principalmente de potasio, calcio y magnesio ya que son las especies quienes presentan los valores más bajos (Ver Tabla 9, Apéndice 2). El sodio es la especie que presenta las mayores concentraciones provenientes de los aerosoles marinos; especialmente hacia el noreste de la cuenca del río Caucaagua, lo cual es reflejado en los ríos Araira, Cupo y Chuspita.

En cuanto a los sólidos disueltos, de las especies estudiadas, provenientes de la litología (Ver Tabla 10, Apéndice 2) debemos resaltar que el potasio viene siendo el catión que presenta los menores valores. También es notable que el calcio es aquel que tiene los valores más altos, en cuanto a los cationes; lo cual corrobora lo dicho anteriormente de que el aporte atmosférico de esta especie es muy bajo y principalmente proviene de la litología característica de la zona. Otro aspecto a tener en cuenta es la poca contribución de azufre en casi toda la cuenca del río Caucaagua. Sin embargo es notable como hay un aumento significativo en los ríos Araira, Chuspita y principalmente en el río Cupo. Tal hecho es producto de la presencia del mineral pirita en las Formaciones Las Mercedes y Chuspita, las cuales son drenadas en mayor proporción por dichos ríos.



En cuanto a los valores de sílice reportados en la Tabla 6 (Apéndice 2) son los correspondientes a los promedios obtenidos en la parte experimental (concentración de sílice en el río), debido a que dicha especie proviene específicamente de la litología. Para estimar si Na^+ y K^+ provienen de la disolución de albita y ortosa, respectivamente; es llevada a cabo una comparación entre la sílice denominada teórica (Ver Tabla 14, Apéndice 2) y la sílice obtenida de forma experimental. Con ello es posible observar que esas especies no solo provienen de la disolución de los minerales antes nombrados; sino que también pueden estar siendo aportados por otros feldespatos, micas, entre otros.

Comparando los valores de bicarbonatos representados en las Tablas 10 y 11 (Apéndice 2), puede observarse que la presencia de ésta especie en los sólidos disueltos de los afluentes no contaminados provienen principalmente de la litología; es decir, de la alteración de los silicatos y/o carbonatos presentes en las distintas Formaciones que componen la cuenca del río Cauagua. También podemos notar como en el río Cupo el valor obtenido de bicarbonato puede ser atribuido a que en éste caso no solo hay un aporte de dicha especie en las aguas del río Cauagua sino que hay un excedente que es liberado a la atmósfera. Es decir que no solo hay aporte de la atmósfera hacia los sólidos disueltos del río, sino que también hay un aporte de manera invertida. Sin embargo, la parte noreste de la cuenca es quien sigue aportando mayor cantidad de los mismos.

A un nivel global de la cuenca, es llevada a cabo la estimación de los valores atribuidos a las actividades antrópicas desarrolladas a lo largo del río Cauagua. En la Tabla 16 (Apéndice 2) puede observarse la diferencia existente entre el promedio natural, de cada especie, en la salida de la cuenca en comparación con la obtenida por los distintos análisis realizados. No hay grandes variaciones entre los valores de salida y los correspondientes a la parte natural, en K^+ , Mg^{2+} y SiO_2 ; por lo que puede decirse que la presencia de los mismos en los sólidos disueltos no es contribuida por las actividades antrópicas o que la cuenca presenta un bajo grado de contaminación en dichas especies. Para Ca^{2+} hay una ligera diferencia lo que nos indica que también hay un



aporte antrópico por parte de ésta especie; aunque su presencia en los sólidos disueltos sigue siendo controlada principalmente por la litología, al igual que HCO_3^- . En cuanto al Na^+ , SO_4^{2-} y Cl^- es notable que el promedio de salida es mayor al aporte natural, por lo que el aporte antrópico por parte de éstas especies es significativa y puede ser correspondiente a las descargas domésticas y el uso de fertilizantes en las actividades agropecuarias realizadas en los alrededores de la zona de estudio.

Tasas de disolución

A continuación serán presentados y discutidos los valores estimados de las tasas de disolución de minerales existentes en la cuenca del río Caucaagua (Ver Tabla 12 y 13, Apéndice 2).

Para llevar a cabo el cálculo de las tasas de disolución en los diferentes afluentes del río Caucaagua, fueron tomados en cuenta los valores tanto de la escorrentía como de la precipitación en los diversos ríos que componen la cuenca en estudio; así como el área de cada una de ellas (Ver Tabla 15, Apéndice 2).

En forma general puede notarse como los valores de las tasas de disolución tienden a aumentar hacia el noreste de la cuenca (Ver Figuras 22 y 23) en comparación con los valores obtenidos en el noroeste de la misma; esto debido a los diversos factores nombrados anteriormente (como lo son escorrentía y precipitación); al igual que la litología.

En la Figura 22 logra observarse cómo las tasas de disolución están controladas principalmente por pirita y calcita, seguidas de magnesita. Esto ocurre hacia el noreste de la cuenca, debido al mayor grado de susceptibilidad de las rocas perteneciente a las Formaciones Las Mercedes y Chuspita, las cuales son drenadas por Araira, Cupo y Chuspita en una mayor proporción.

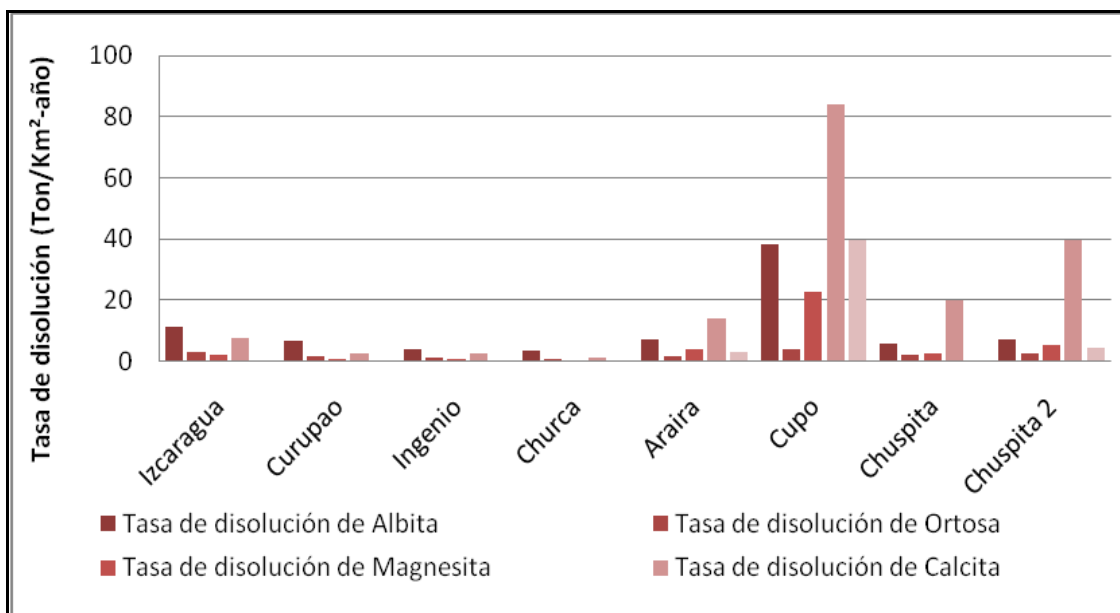


Figura 22: Distribución espacial de las tasas de disolución de minerales a lo largo del río Cauagua, estado Miranda

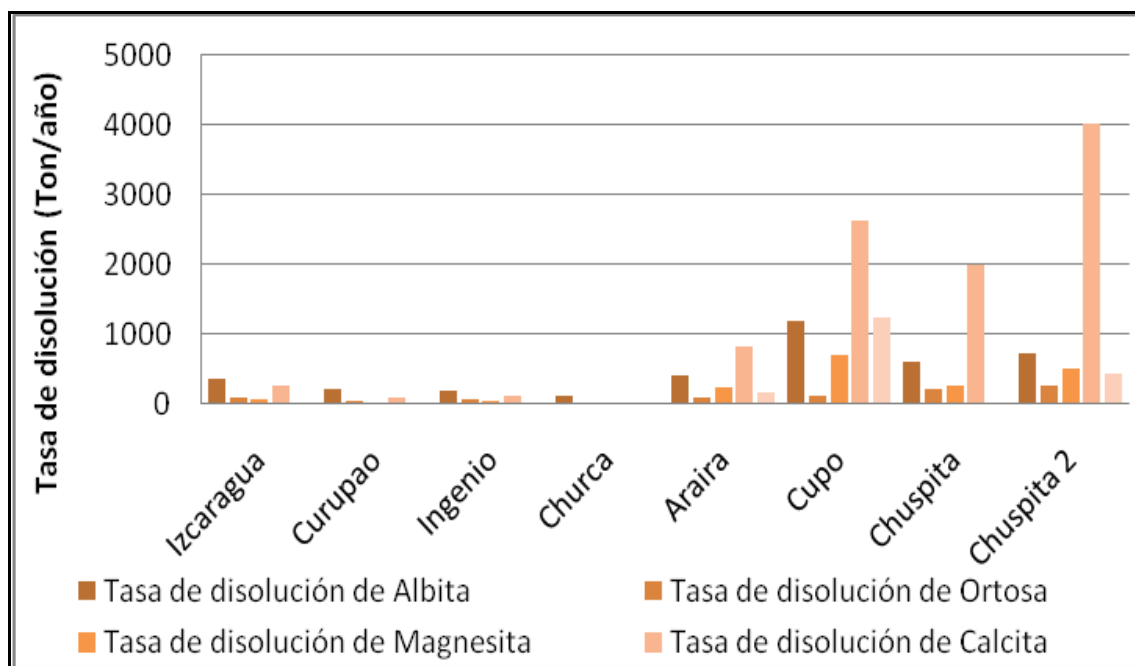


Figura 23: Distribución espacial de los minerales tomando en cuenta las áreas de cada una de las zonas y afluentes donde fueron recolectadas las muestras



Puede decirse que las variaciones de las tasas de disolución encontradas en este estudio hacia el noroeste de la cuenca son debidas principalmente a la distribución de precipitación-escorrentía mientras que al noreste son producto de la combinación no solo precipitación-escorrentía sino también de la litología.

En cuanto a las tasas de disoluciones globales de la cuenca, los valores fueron:

10.14 Ton/Km ² -año para albita	5.0 Ton/Km ² -año para magnesita
2.32 Ton/Km ² -año para ortosa	5.87 Ton/Km ² -año para pirita
24.97 Ton/Km ² -año para calcita	

Puede observarse que el mayor aporte en las aguas de la cuenca del río Caucaagua es producto de la disolución de calcita, atribuido también al alto grado de susceptibilidad frente a los agentes de meteorización de la roca donde es encontrada. La albita es el segundo mineral con mayor tasa de disolución, la cual podrá estar controlada más hacia la zona noroeste de la cuenca por la litología presente en la misma. El mineral con menor aporte a los sólidos disueltos de la cuenca es la ortosa, lo cual puede ser atribuido al menor grado de alteración antes los procesos de meteorización de las rocas que lo contienen.

En cuanto al aporte antrópico a un nivel global de la cuenca, los valores obtenidos fueron los expresados en la Tabla a. En ellos podemos observar como el mayor grado de contaminación es el aportado por el fósforo con una relación casi de 3. Sodio y potasio son las especies que le siguen y podemos notar que los menores grados de contaminación son los aportados por magnesio, sílice y calcio.

Tabla a.- Aporte antrópico de las especies estudiadas

Especie	mg/L		grado de contaminación (relación)
	natural	antrópico	
Sodio	9,28	25,18	2,7
Potasio	1,51	3,15	2,1
Calcio	39,86	20,82	0,5
Magnesio	6,36	1,91	0,3
Sulfato	38,82	41,94	1,1
Cloruro	10,34	17,70	1,7
Bicarbonato	104,67	60,03	0,6
Fósforo	0,08	0,23	2,9
Sílice	13,85	5,03	0,4



CONCLUSIONES

Las menores concentraciones de las especies mayoritarias estudiadas las presentan los afluentes no contaminados ubicados al noroeste de la cuenca (Izcaragua, Curupao, Ingenio y Churca) por drenar en mayor proporción la Formación Las Brisas y la Formación Peña de Mora.

Las mayores concentraciones de las especies químicas analizadas están ubicadas en los afluentes no contaminados ubicados hacia el noreste de la cuenca (Araira, Cupo y Chuspita), ya que drenan en mayor proporción la Formación Las Mercedes y la Formación Chuspita caracterizadas por rocas más susceptibles a los procesos de meteorización.

La distribución espacial y temporal de SiO_2 a lo largo del río Caucaagua no presentó variaciones significativas, por lo que podemos concluir que el control de esta especie es natural, y su presencia es atribuido a la meteorización de silicatos.

Los valores más elevados de P fueron encontrados en los afluentes denominados como contaminados (Curupao 2 y Araira 2) y a lo largo del canal principal del río Caucaagua; debido principalmente al uso de fertilizantes en las actividades agrícolas desarrolladas en los alrededores, y a la descargas de aguas residuales en el mismo.

El parámetro de la conductividad es un buen indicativo de contaminación, como fue corroborado en Curupao 2 durante el segundo muestreo ya que es reportado un valor significativamente más alto en comparación con los otros dos.

El pH no es un buen indicativo de contaminación, ya que los valores del mismo también están asociados a las litologías drenadas por los ríos; como es el caso de Araira (considerado como no contaminado) que presenta el mayor valor de dicho parámetro.

Las menores (en Churca) y mayores (Cupo) tasas de disolución fueron encontradas en los afluentes que drenan gneises cuarzo-muscovíticos (Formación Las Brisas y Formación Peña de Mora), calcita y esquistos calcáreos ricos en pirita (Formación Las Mercedes y Chuspita) respectivamente.



La presencia de las especies K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en los sólidos disueltos de los afluentes no contaminados, provienen principalmente de la litología; mientras que el Na^+ de los aerosoles marinos.

Las concentraciones de HCO_3^- en la cuenca del río Caucagua está controlada principalmente por la litología característica de la zona, pero una parte también proviene de los sólidos disueltos atmosféricos y de las actividades antrópicas.

Los valores de tasa de disolución obtenidas (10.14 Ton/Km²-año para albita, 2.32 Ton/Km²-año para ortosa, 24.97 Ton/Km²-año para calcita, 5.0 Ton/Km²-año para magnesita y 5.87 Ton/Km²-año para piritita) reflejan hacia donde están los mayores aportes a los sólidos disueltos de la cuenca del río Caucagua.

Las especies fósforo, sodio y potasio son las que contribuyen en mayor proporción al efecto antrópico, por parte de las actividades industriales, domésticas y agropecuarias desarrolladas en los alrededores.

Los ríos como Ingenio y Churca fueron denominados como afluentes de poca alteración ambiental debido a las bajas concentraciones obtenidas en los mismos, tanto de las especies mayoritarias como de fósforo.



RECOMENDACIONES

Realizar un estudio de metales pesados en los sólidos disueltos y sedimentos de fondo para corroborar y completar los datos sobre la contaminación existente en la cuenca del río Caucagua, estado Miranda.

Llevar a cabo un estudio de las especies Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Si, P, Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- y SO_4^{2-} en diferentes épocas del año y comparar las variaciones existentes entre las mismas.

Realizar la cuantificación de los sólidos suspendidos, así como un estudio de los mismos, con el fin de complementar la información obtenida por éste trabajo de investigación.

Llevar a cabo el acondicionamiento de las estaciones pluviométricas pertenecientes a las diversas cuencas hidrográficas existentes en el país para garantizar información actualizada acerca de la precipitación y escorrentía de las mismas; ya que son importantes para las estimaciones del impacto ambiental y aporte natural.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, A. (2010) *Petrología sedimentaria. Notas de teoría. Nociones básicas de Geoquímica y Físico-química en ambientes sedimentarios: propiedades físico-químicas del agua y Geoquímica de las rocas sedimentarias*. Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid, Reduca 3, 8-17.
- Álvarez, M. (1995) *Hidroquímica de los ríos Manzanares y Mitare*. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 84 p.
- American Public Health Association, APHA (1995) *Standard Methods of Examination of Water and Wastewater*. Washington, 20th Edition.
- Andara, A. (1993) *Transporte de nutrientes por los ríos Mitare, Tocuyo, Yaracuy, Unare, Neverí y Manzanares*. Trabajo de Grado. Facultad de Ciencias. Postgrado en Geoquímica. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 86 p.
- Angulo, N. (1980) *Estudio Geoquímico de la Cuenca del Río Tuy-I (Fe, Mn, Cr, Cl, Na y Hg)*. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 109 p.
- Arrieche, I. (1980) *Influencia Geoquímica del Río Tuy sobre el Mar Caribe*. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 89 p.
- Auge, M. (2004) *Hidrogeología Ambiental I*. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias exactas y naturales. Departamento de Ciencias Geológicas, 89 p.
- Barreto, E. (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, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 120 p.



- Callejón, A. (1985) *Estudio de la geoquímica de la contaminación de las cuencas de los ríos Tigre y Caris, estado Anzoátegui y Monagas*. Trabajo de Ascenso a Magíster, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 300p.
- Cazaña, M. (1983) *Determinación de Sólidos Disueltos en muestras de agua de la cuenca del Río Tuy*. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 87 p.
- Chen, J.; Wang, F.; Xia, X. y Zhang, L. (2002) *Major element chemistry of the Changjiang (Yangtze River)*. *Chemical Geology* 187, 231 – 255.
- Colina, A. (1980) *Estudio Geoquímico de la Cuenca del Río Tuy-V (Mg, Co, Cd, H₂S, CN y SO₄²⁻)*. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 80 p.
- Cova, L. (1996) *Hidroquímica de la Cuenca del Río Caucagua, Edo. Miranda*. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 97 p.
- Dalai, T.; Krishnaswami, S. y Sarin, M. (2002) *Major ion chemistry in the headwaters of the Yamuna river system. Chemical weathering, its temperature dependence and CO₂ consumption in the Himalaya*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 66, N°19, pp. 3397 – 3416.
- Decreto 883 (1995) *Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*. Gaceta Oficial Extraordinaria. 5.021.
- Del Giudice, A. (1980). *Estudio Geoquímico de la Cuenca del Río Tuy-IV (Ni, K, Br, V y Ni)*. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 79 p.
- Falcón de Ruiz, M. (2007) *Estudio sedimentológico e impacto ambiental acumulado en la subcuenca del Río Grande o Caucagua; Edo. Miranda*. Trabajo de Ascenso a



- Magister, Escuela de Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 152 p.
- Faust, S. (1998) *Chemistry of water treatment*. Editorial Acid-free paper. Segunda edición. USA, 587 p.
- García, C. y Hermelin, M. (2004) *Calculo preliminar de la tasa de meteorización del batolito Antioqueño, Cordillera Central, Colombia*. Revista Brasileira de Geomorfología, Año 5, N°1, 43-53.
- Gao, Q.; Tao, Z; Huang, X.; Nan, L.; Yu, K. y Wang Z. (2008) *Chemical weathering and CO₂ consumption in the Xijiang River basin, South China*. Geomorphology 106, 324 – 332.
- 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.
- Gonzalez de Juana, C.; Iturralde de Arozena, J. y Picard, C. (1980) *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Tomo I. Ediciones FONINVES, 407 p.
- González, F. (1982) *Introducción a la geoquímica*. Segunda edición. Eva V. Chesneau. Washington D.C., 144p.
- González, J.; Guerra, F.; Gómez, H. y Elizalde, G. (2004) *Ideas generales sobre meteorización*. Geoenseñanza. Vol.9. ISSN 1316-60-77, p.213-237.
- Hem, J. (1985) *Study and Interpretation of the chemical characteristics of Natural Water*. U. S. Geological Survey. Tercera Edición. USA, 210 p.
- Huang, X.; Sillanpää, M.; Gjessing, E. y Vogt, R. (2009) *Water quality in the Tibetan Plateau: Major ions and trace elements in the headwaters of four major Asian rivers*. Science of the Total Environment 407, 6242 – 6254.



- Hurwitz, S.; Evans, W. C. y Lowenstern, J. B. (2010) *River solute fluxes reflecting active hydrothermal chemical weathering of the Yellowstone Plateau Volcanic Field, USA*. *Chemical Geology* 276, 331-343.
- Jiménez, B. (2002) *La Contaminación Ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 926 p.
- Li, C. y Yang, S. (2010) *Is chemical index of alteration (CIA) a reliable proxy for chemical weathering in global drainage basins?*. *American Journal of Science*, Vol. 310. p.111-127.
- 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. (1963) *Data of Geochemistry, Sixth Edition, Chapter G. Chemical Composition of Rivers and Lakes*. Geological survey professional paper, 440-G. Washington.
- Luque, N. (2003) *Análisis de la intervención del plan de mejoramiento ambiental de la parte alta del río Virilla, Costa Rica*, 90p.
- Marín, M. (2002) *Análisis químico de suelos y aguas*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. España, 174p.
- 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.
- Meybeck, M. (1987) *Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved load*. *American Journal of Science*, 287. 401-428
- Moon, S.; Huh, Y.; Qin, J. y Van Pho, N. (2007) *Chemical weathering in the Hong (Red) River basin: Rates of silicate weathering and their controlling factors*. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71, 1411-1430.



- Osorio, J.; López-Rendón, J.; y Hermelin, M. (2003) *Balance geoquímico para la cuenca alta del río Medellín, Cordillera Central (Antioquia, Colombia)*. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Vol XXVII, número 102, p.71-84.
- Parra, O. (2009) *Gestión integrada de cuencas hidrográficas*. Centro de Ciencias Ambientales, EULA-Chile. Universidad de Concepción, 15p.
- Pineda, M. (1983) *Determinación de Na, K, Ca, Mg, HCO₃⁻, Cl, SO₄²⁻ en muestras de agua de la Cuenca del Río Tuy*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Escuela de Química, Facultad de Ciencias. Caracas, 84 p.
- Qin, J.; Huh, Y.; Edmond, J.; Du, G. y Ran, J. (2006) *Chemical and physical weathering in the Min Jiang, a headwater tributary of the Yangtze River*. Chemical Geology 227, 53-69.
- Ramírez, A. (1984) *Hidrogeoquímica de la Cuenca del Río Tuy*. Trabajo de Ascenso. Instituto de Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 61 p.
- Ramírez, A. (1990) *Chemical weathering on the Tuy river basin, Venezuela*. Geochemistry of the Earth's surface and of mineral formation. 2nd International Symposium. Aix en provence, France. 122-123.
- Reyes, M. (1999) *Estudio hidrogeoquímico de las aguas de los ríos del Estado Táchira-Venezuela*, Trabajo Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 131 p.
- Rodríguez, G. (1994) *Hidrogeoquímica de los ríos Autana y Cataniapo, Estado Amazonas, Venezuela*, Trabajo Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela,. Caracas, 133 p.
- Rodríguez, R. (1980) *Estudio Geoquímico de la Cuenca del Río Tuy-III (Co, Pb, Ag, F, I y HCO₃⁻)*. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 99 p.



- Rojas, L. (1983) *Aspectos de la Contaminación de Aguas en Venezuela*. Caracas, Venezuela. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 12p.
- Sabater, S. y Elozegi, A. (2009) *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA. Editorial Ribes. España, 447 p.
- Seoánez, M. (2000) *Manual de Contaminación Marina y restauración del Litoral*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 565p.
- Siegel, F. (2002) *Environmental geochemistry of potentially toxic metals*. Springer. Alemania, 218p.
- Sun, H.; Han, J.; Li, D.; Zhang, S. y Lu, X. (2010) *Chemical weathering inferred from riverine water chemistry in the lower Xijiang basin, South China*. Science of the Total Environment 408, 4749 – 4760.
- Suthar, S.; Nema, A.; Chabukdhara, M y Gupta, S. (2009) *Assessment of metals in water and sediments of Hindon River, India: Impact of industrial and urban discharges*. Journal of Hazardous Materials 171, 1088 – 1095.
- Velásquez, L. (2000) *Hidrogeoquímica de los ríos que drenan los llanos venezolanos*. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 126 p.
- 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 de Ciencias, 199p.



Apéndice 1.- Cálculos de conductividades teóricas

A continuación serán presentados los cálculos llevados a cabo para estimar las conductividades teóricas; las cuales son necesarias para la validación de los resultados obtenidos.

Conductividad teórica

Para dicho cálculo, es empleada la siguiente ecuación:

$$CT = \sum U_i * C_i$$

Donde

U_i es la conductividad iónica equivalente a 25°C ($\mu\text{S}\cdot\text{L}/\text{cm}\cdot\text{mg}$) (Tabla 4).

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

Como ejemplo será determinada la conductividad teórica de la muestra correspondiente al río Churca

$$CT = \Sigma([K^+] * 1,89 + [Na^+] * 2,17 + [Mg^{2+}] * 4,34 + [Ca^{2+}] * 3,00 + [Cl^-] * 2,14 + [SO_4^{2-}] * 1,67 + [HCO_3^-] * 0,74 + [NO_3^-] * 1,15) \text{ mg/L} * \mu\text{S} * \text{L}/\text{cm} * \text{mg}$$

$$CT = \Sigma(2,20) + (12,17) + (4,71) + (10,13) + (11,91) + (1,31) + (16,10) + (1,34) \mu\text{S} / \text{cm}$$

$$CT = 59,88 \mu\text{S} / \text{cm}$$

El valor obtenido en campo para esta muestra fue 54,5 $\mu\text{S} / \text{cm}$, el cual es inferior al valor teórico.


Tabla 2: Valores de SDT y conductividad teórica en las aguas del río Caucaagua

	$\mu\text{S/cm}$	meq/L
Punto	CT	SDT
Caucaagua 1	532,51	327,55
Izcaragua	122,82	89,37
Caucaagua 2	477,63	291,61
Curupao	72,66	50,33
Curupao 2	171,87	107,84
Ingenio	98,16	66,66
Churca	58,54	39,35
Caucaagua 3	440,16	278,03
Araira	263,23	171,06
Araira 2	517,24	316,05
Cupo	1064,76	581,71
Caucaagua 4	509,08	320,52
Chuspita	176,46	129,50
Chuspita 2	338,06	229,95
Caucaagua 5	561,28	343,69
Caucaagua 6	618,30	381,58

Donde $\text{SDT} = \sum \text{cationes} + \sum \text{aniones (meq/L)}$

Tabla 3: Conductividades iónicas equivalentes de los iones en solución acuosa a 25°C

Especie Iónica	Conductividad a 25 °C ($\mu\text{S} \cdot \text{L/cm} \cdot \text{mg}$)
Ca^{2+}	3,00
Mg^{2+}	4,34
Na^+	2,17
K^+	1,89
Cl^-	2,14
HCO_3^-	0,74
SO_4^{2-}	1,67
NO_3^-	1,15



Apéndice 2.- Tablas de resultados

Tabla 4: Valores de los parámetros fisicoquímicos medidos en el río Caucaagua, durante las tres salidas de campo

Muestra	1era salida	2da salida	3era salida	Promedio	1era salida	2da salida	3era salida	1era salida	2da salida	3era salida	Promedio
	$\mu\text{S/cm}$				$^{\circ}\text{C}$			1era salida	2da salida	3era salida	Promedio
	CEC				TempC			pH			
Caucaagua 1	439,0	555,5	542,5	549,0	17,7	21,3	19,6	7,59	7,79	7,73	7,70
Izcaragua	127,4	133,1	139,9	133,5	1,7	21,1	18,8	7,14	7,67	7,60	7,47
Caucaagua 2	409,0	482,5	490,5	486,5	18,7	22,6	20,5	7,38	7,77	7,73	7,63
Curupao	81,2	71,2	73,6	75,3	18,4	21,7	20,1	6,95	7,31	7,25	7,17
Curupao 2	109,1	928,0	125,6	117,4	19,7	23,4	21,6	7,17	7,71	7,65	7,51
Ingenio	98,5	101,5	102,8	100,9	21,4	24,6	22,1	7,60	7,49	7,51	7,53
Churca	54,5	60,5	62,1	59,0	21,4	25,0	21,8	7,85	7,40	7,31	7,47
Caucaagua 3	426,5		511,5	469,0	25,3		23,4	7,38		7,41	7,40
Araira	269,5	298,5	315,0	294,3	21,7	28,8	24,8	7,75	8,45	8,60	8,53
Araira 2	449,5	534,0	551,0	542,5	27,8	32,0	31,0	7,93	8,48	8,48	8,48
Cupo	947,5	979,5	972,0	966,3	25,0	30,8	30,7	8,06	8,02	8,01	8,03
Caucaagua 4	503,5		568,0	535,8	26,1		29,3	7,79		7,76	7,78
Chuspita	181,9	203,7	209,5	198,4	21,9	28,2	26,1	7,86	8,32	8,53	8,24
Chuspita 2	374,0	377,5	378,5	376,7	24,4	28,0	28,5	8,26	8,20	8,15	8,20
Caucaagua 5		505,0	522,5	513,8		29,8	31,3		7,39	7,55	7,47
Caucaagua 6			582,0	582,0			31,3			7,31	7,31

Tabla 5: Valores obtenidos de cationes en los tres muestreos realizados

Río	1era salida	2da salida	3era salida	Promedio	1era salida	2da salida	3era salida	Promedio	1era salida	2da salida	3era salida	Promedio	1era salida	2da salida	3era salida	Promedio
	Concentración (mg/L)															
	Na^+				K^+				Mg^{2+}				Ca^{2+}			
Caucaagua 1	17,49	23,55	22,97	23,26	3,68	4,645	4,288	4,47	6,36	7,68	7,96	7,82	42,79	55,04	57,21	56,12
Izcaragua	5,53	6,58	5,77	5,96	1,808	1,799	1,747	1,78	2,57	2,63	2,83	2,68	8,65	12,03	17,01	12,56
Caucaagua 2	16,98	22,38	21,67	22,02	3,502	4,269	4,045	4,16	6,38	7,61	7,91	7,76	37,37	45,93	50,01	47,97
Curupao	5,62	5,30	5,45	5,46	1,427	1,318	1,224	1,32	1,68	1,37	1,51	1,52	5,59	4,86	5,81	5,42
Curupao 2	6,70	17,39	8,90	15,60	1,557	2,994	1,675	2,08	1,85	2,99	1,93	1,89	9,37	14,96	11,99	12,11
Ingenio	6,31	6,47	6,53	6,43	1,64	1,7	1,55	1,63	2,07	2,05	2,16	2,09	7,30	8,16	8,55	8,00
Churca	5,21	5,77	5,85	5,61	1,065	1,35	1,083	1,17	1,01	1,08	1,17	1,09	2,65	3,61	3,86	3,38
Caucaagua 3	27,25		33,09	30,17	4,92		5,862	5,39	5,44		6,33	5,88	35,35		41,09	38,22
Araira	7,56	8,29	8,54	8,13	1,366	1,493	1,437	1,43	5,64	6,19	7,10	6,31	20,48	28,00	29,32	28,66
Araira 2	14,81	19,48	19,31	8,41	2,459	2,851	2,997	2,77	9,47	11,30	11,72	11,51	46,12	58,62	63,98	61,30
Cupo	11,55	13,39	12,84	12,59	2,492	2,562	2,489	2,51	23,13	24,66	24,79	24,72	115,59	119,34	127,43	120,79
Caucaagua 4	29,75		33,70	31,72	4,556		5,134	4,85	7,50		8,29	7,89	42,00		49,71	45,85
Chuspita	5,88	6,50	6,50	6,29	1,099	1,168	0,948	1,07	2,50	2,79	2,94	2,74	14,65	23,59	22,01	22,80
Chuspita 2	6,48	8,42	8,58	7,83	1,322	1,263	1,231	1,27	4,90	4,85	4,95	4,90	43,09	48,13	58,64	45,61
Caucaagua 5		29,47	29,49	29,48		4,371	4,212	4,29		7,90	8,00	7,95		57,30	53,76	55,53
Caucaagua 6			34,46	34,46			4,663	4,66			8,28	8,28			60,68	60,68


Tabla 6: Resultados de silicio (expresado como SiO₂) obtenidos

	1era salida	2da salida	3era salida	Promedio
	Concentración en mg/L			
Río	SiO ₂			
Cauçagua 1	18,3	17,3	17,8	17,80
Izcaragua	15,7	14,9	14,3	15,00
Cauçagua 2	17,7	16,7	17,2	17,20
Curupao	15,1	15,5	14,8	15,13
Curupao 2	14,5	13,3	13,9	13,89
Ingenio	16,4	15,5	15,3	15,70
Churca	14,5	13,8	14,3	14,22
Cauçagua 3	19,7		20,1	19,90
Araira	15,1	15,5	15,3	15,29
Araira 2	16,4	14,9	14,8	15,36
Cupo	14,5	14,4	14,3	14,40
Cauçagua 4	17,7		18,3	17,99
Chuspita	13,3	12,7	13,0	13,03
Chuspita 2	12,8	12,2	12,2	12,40
Cauçagua 5		17,9	18,3	18,13
Cauçagua 6			18,9	18,89

Tabla 7: Valores obtenidos de aniones en los tres muestreos realizados

	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo
	mg/L								
Río	[Cl ⁻]			[HCO ₃ ⁻]			[SO ₄ ²⁻]		
Cauc 1	15,11	19,11	19,11	120,17	167,75	136,64	95,62	56,34	78,78
Izcaragua	7,11	3,72	3,72	59,17	62,83	56,73	0,44	0,74	5,14
Cauc 2	21,27	23,42	17,57	115,90	138,47	120,78	70,24	51,28	71,30
Curupao	4,03	4,34	4,03	32,94	29,89	26,23	0,57	2,39	5,41
Curupao 2	9,88	7,41	7,11	41,48	49,41	41,48	23,44	20,77	26,87
Ingenio	6,80	7,41	5,88	39,04	40,87	36,60	2,69	0,61	5,60
Churca	5,57	6,49	4,64	20,13	24,40	20,74	1,96	0,44	2,66
Cauc 3	21,58		26,50	120,78		136,03	55,09		37,97
Araira	9,26	9,26	8,65	87,23	98,82	91,50	28,52	20,16	26,20
Araira 2	14,19	16,03	16,96	134,81	160,43	141,52	80,62	59,85	72,34
Cupo	25,27	25,89	28,04	177,51	164,70	148,84	222,25	230,72	239,49
Cauc 4	25,89		28,04	146,40		150,06	57,67		52,36
Chuspita	9,26	8,03	7,11	84,79	99,43	89,67	0,58	0,44	0,44
Chuspita 2	11,42	10,19	10,80	139,69	147,01	129,32	19,36	15,61	27,61
Cauc 5		24,04	25,27		149,45	140,91		74,29	78,92
Cauc 6			28,04			164,70			80,77


Tabla 8: Resultados obtenidos de fósforo en el río Caucaagua, estado Miranda

Muestra	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo	Promedio
	Concentración (mg/L)			
	P			
Caucaagua 1	0,26	0,45	0,40	0,42
Izcaragua	0,12	0,12	0,08	0,10
Caucaagua 2	0,21	0,34	0,31	0,33
Curupao	0,09	0,11	0,07	0,08
Curupao 2	0,14	0,17	0,13	0,15
Ingenio	0,08	0,08	0,07	0,08
Churca	0,08	0,09	0,07	0,08
Caucaagua 3	0,39		0,57	0,48
Araira	0,07	0,08	0,07	0,07
Araira 2	0,12	0,12	0,09	0,11
Cupo	0,11	0,09	0,07	0,09
Caucaagua 4	0,45		0,51	0,48
Chuspita	0,09	0,08	0,08	0,08
Chuspita 2	0,08	0,08	0,08	0,08
Caucaagua 5		0,29	0,31	0,30
Caucaagua 6			0,31	0,31

Tabla 9: Valores obtenidos del aporte de los aerosoles marinos para las distintas especies estudiadas

Río	mg/L						SDAM
	[Na ⁺]AM	[K ⁺]AM	[Ca ²⁺]AM	[Mg ²⁺]AM	[Cl ⁻]AM	[SO ₄ ²⁻]AM	
Izcaragua	2,07	0,08	0,08	0,25	3,72	0,52	6,71
Curupao	2,30	0,09	0,09	0,28	4,13	0,58	7,45
Ingenio	3,72	0,14	0,14	0,45	6,70	0,94	12,08
Churca	3,10	0,11	0,12	0,37	5,57	0,78	10,05
Araira	5,04	0,19	0,19	0,60	9,06	1,27	16,34
Cupo	14,22	0,53	0,54	1,71	25,58	3,58	46,16
Chuspita	4,81	0,18	0,18	0,58	8,65	1,21	15,60
Chuspita 2	6,01	0,22	0,23	0,72	10,80	1,51	19,49



Tabla 10: Valores obtenidos del aporte de litología para las distintas especies estudiadas

Río	mg/L							
	[Na ⁺]Lit	[K ⁺]Lit	[Ca ²⁺]Lit	[Mg ²⁺]Lit	[SiO ₂]Lit	[HCO ₃ ⁻]Lit	[S]Lit	SDLit
Izcaragua	3,89	1,71	12,48	2,43	15,00	38,16	0,86	74,52
Curupao	3,16	1,24	5,33	1,24	15,13	21,61	0,74	48,45
Ingenio	2,71	1,49	7,86	1,65	15,70	25,67	0,68	55,76
Churca	2,51	1,05	3,26	0,72	14,22	15,10	0,00	36,85
Araira	3,09	1,25	28,47	5,71	15,29	67,91	7,90	129,61
Cupo	12,00	1,99	120,24	23,02	14,40	276,22	76,09	523,96
Chuspita	1,49	0,89	22,62	2,17	13,03	45,28	0,26	85,74
Chuspita 2	1,82	1,05	45,38	4,18	12,40	86,19	6,45	157,47

Tabla 11: Valores obtenidos del aporte atmosférico para las distintas especies estudiadas

Río	ppm		
	[O ₂]Atm	[HCO ₃ ⁻]Atm	SDAtm
Izcaragua	1,71	21,42	23,13
Curupao	1,47	8,08	9,55
Ingenio	1,35	13,17	14,52
Churca	0,00	6,66	6,66
Araira	15,80	24,60	40,40
Cupo	152,17	-105,12	47,05
Chuspita	0,53	41,95	42,48
Chuspita 2	12,90	57,16	70,06



Tabla 12: Tasas de disolución de especies y en función de toneladas de mineral alterado por área de la subcuenca, en un período determinado

Río	Ton/Km ² -año									
	Td Na	Td Albita	Td K	Td Ortosa	Td Mg	Td Magnesita	Td Ca	Td Calcita	Td S	Td Pirita
Izcaragua	1,49	16,98	0,45	3,17	0,67	2,34	3,14	7,85	0,21	0,79
Curupao	0,98	11,20	0,24	1,69	0,27	0,96	0,98	2,44	0,13	0,49
Ingenio	0,84	9,54	0,21	1,50	0,27	0,95	1,04	2,60	0,09	0,33
Churca	0,73	8,31	0,15	1,08	0,14	0,49	0,44	1,10	0,00	0,00
Araira	1,63	18,53	0,29	2,03	1,26	4,42	5,73	14,33	1,58	5,84
Cupo	3,53	40,19	0,70	5,00	6,92	24,23	33,82	84,55	21,30	78,82
Chuspita	2,20	25,11	0,38	2,66	0,96	3,36	7,98	19,95	0,09	0,34
Chuspita 2	2,74	31,23	0,45	3,16	1,72	6,00	15,96	39,91	2,26	8,35

Tabla 13: Tasas de disolución de las especies estudiadas; así como en función de toneladas de mineral alterado en un período determinado

Río	Ton/año									
	Td Na	Td Albita	Td K	Td Ortosa	Td Mg	Td Magnesita	Td Ca	Td Calcita	Td S	Td Pirita
Izcaragua	48,78	556,05	14,61	103,71	21,91	76,70	102,80	257,00	7,01	25,95
Curupao	34,24	390,30	8,30	58,90	9,53	33,35	33,97	84,92	4,62	17,11
Ingenio	40,46	461,28	10,25	72,78	13,17	46,08	50,31	125,78	4,26	15,75
Churca	22,27	253,86	4,63	32,86	4,31	15,09	13,40	33,49	0,01	0,02
Araira	92,95	1059,59	16,38	116,29	72,17	252,60	327,81	819,51	90,33	334,24
Cupo	110,25	1256,83	22,01	156,30	216,46	757,62	1057,57	2643,91	666,18	2464,86
Chuspita	223,03	2542,56	37,98	269,67	97,20	340,21	808,06	2020,15	9,33	34,51
Chuspita 2	277,36	3161,94	45,08	320,08	173,70	607,96	1616,48	4041,19	228,60	845,82

Tabla 14: Aporte de sílice por parte de la disolución de albita y ortosa

Río	Sílice teórica	Sílice obtenida
Izcaragua	25,54	15,00
Curupao	20,30	15,13
Ingenio	18,72	15,70
Churca	16,34	14,22
Araira	19,95	15,29
Cupo	68,72	14,40
Chuspita	10,49	13,03
Chuspita 2	12,72	12,40



Tabla 15: Valores de las áreas, precipitación y escorrentía que fueron estimadas para la cuenca del río Caucagua, estado Miranda (Ramírez, 1990)

Río	Km ²	mm ³ /mm ² .año	
	Área	Precipitación	Escorrentía
Cabecera	42,29	1000	200
Izcaragua	32,74	1100	250
Izc-Cur	14,17	1000	180
Curupao	34,84	1000	180
Cur-Gua	18,57	900	100
Ingenio	48,37	1100	130
Churca	30,54	1200	130
Gua-Ara	13,12	1200	150
Araira	57,19	1550	200
Ara-Cup	7,66	1400	250
Cupo	31,27	1650	280
Cup-Chu	13,54	1700	350
Chuspita	101,26	1750	350
Desembo	52,47	2000	500
Suroeste	191,82	1000	150
Sureste	114,17	1700	400
total	804,00	1360	252

Tabla 16: Aporte de las especies estudiadas por parte de las actividades antrópicas

Especie	mg/L		Ton/Km ² -año
	natural	total	Antrópico
Sodio	9,28	34,46	6,35
Potasio	1,51	4,66	0,79
Calcio	39,86	60,68	5,25
Magnesio	6,36	8,28	0,48
Sulfato	38,82	80,77	10,57
Cloruro	10,34	28,04	4,46
Bicarbonato	104,67	164,70	15,13
Fósforo	0,08	0,31	0,06
Sílice	13,85	18,89	1,27



Apéndice 3.- Comparación de resultados entre Cova (1996) y los obtenidos por éste trabajo de investigación

Tabla 17: Comparación de conductividad con trabajos previos

Muestra	Blanco, L			Cova, L	
	05/03/2011	01/04/2011	09/04/2011	28/04/1996	15/07/1996
	μS/cm				
	CEC	CEC	CEC	CEC	CEC
Caucagua 1	439,0	555,5	542,5	1150	520
Izcaragua	127,4	133,1	139,9	190	70
Caucagua 2	409,0	482,5	490,5	800	210
Curupao	81,2	71,2	73,6	180	100
Ingenio	98,5	101,5	102,8	90	90
Churca	54,5	60,5	62,1	90	70
Araira	269,5	298,5	315,0	360	220
Araira 2	449,5	534,0	551,0	800	
Cupo	947,5	979,5	972,0	1200	700
Caucagua 4	503,5		568,0	750	
Chuspita	181,9	203,7	209,5	230	165

Tabla 18: Comparación de los resultados obtenidos por Cova (1996) y éste trabajo de investigación, en cuanto a los cationes

Rio	Blanco, L		Cova, L		Blanco, L		Cova, L		Blanco, L		Cova, L	
	mg/L											
	[Na ⁺]			[K ⁺]			[Mg ²⁺]			[Ca ²⁺]		
	Promedio	28/04/1996	15/07/1996	Promedio	28/04/1996	15/07/1996	Promedio	28/04/1996	15/07/1996	Promedio	28/04/1996	15/07/1996
Caucagua 1	23,26	48,64	13,83	4,47	6,87	4,15	7,82	31,32	7,12	56,12	133,55	65,5
Izcaragua	5,96	5,55	3,34	1,78	1,69	1,61	2,68	3,98	1,77	12,56	24,93	6,98
Caucagua 2	22,02	38,43	8,1	4,16	7,23	3,89	7,76	14,35	3,87	47,97	74,02	23,77
Curupao	5,46	6,92	3,3	1,32	1,57	1,35	1,52	3,8	1,58	5,42	22,76	8,44
Ingenio	6,43	7,15	5,91	1,63	1,49	2,37	2,09	3,29	2,76	8,00	11,49	13,74
Churca	5,61	8,08	8,1	1,17	1,45	3,64	1,09	3,17	1,58	3,38	13,88	13,14
Araira	8,13	11,23	7,1	1,43	1,08	1,61	6,31	11,82	6,16	28,66	45,31	22,88
Araira 2	8,41	23,79	6,77	2,77	6,02	1,86	11,51	18,73	5,94	61,30	83,79	13,47
Cupo	12,59	32,04	17,13	2,51	2,05	2,5	24,72	37,81	18,2	120,79	130	80,62
Caucagua 4	31,72	40,9		4,85	6,27		7,89	14,06		45,85	59,95	
Chuspita	6,29	6,97	5,29	1,07	1,82	1,1	2,74	4,27	3,21	22,80	32,74	19,83


Tabla 19: Comparación de sílice con trabajos previos (Cova, 1996)

Muestra	Blanco, L	Cova, L	
	Concentración de SiO ₂ (mg/L)		
	Promedio	28/04/1996	15/07/1996
Caucaagua 1	17,80	14,77	20,63
Izcaragua	15,00	17,01	13,84
Caucaagua 2	17,20	17,76	16,75
Curupao	15,13	18,19	15,29
Ingenio	15,70	20	18,21
Churca	14,22	20,76	16,75
Araira	15,29	17,76	18,21
Araira 2	15,36	18,19	18,69
Cupo	14,40	13,91	15,29
Caucaagua 4	17,99	20,77	
Chuspita	13,03	15,94	18,69

Tabla 20: Comparación de aniones con trabajos previos (Cova, 1996)

Río	Blanco	Cova, L	Blanco	Cova, L		Blanco	Cova, L
	Concentración de Cl ⁻ (mg/L)		Concentración de HCO ₃ ⁻ (mg/L)			Concentración de SO ₄ ²⁻ (mg/L)	
	Promedio	28/04/1996	Promedio	28/04/1996	15/07/1996	Promedio	28/04/1996
Cauc 1	19,11	96	128,41	211	77,32	75,3	436
Izcaragua	3,72	4,23	59,58	118,95	35,69	3,1	13,33
Cauc 2	22,35	42,94	118,34	328,3	79,7	62,3	118,65
Curupao	4,13	5,5	29,69	118,95	39,25	2,8	12,07
Ingenio	6,70	4,97	38,84	65,42	44,01	3,0	6,63
Churca	5,57	5,76	21,76	52,34	27,36	0,8	3,96
Araira	9,06	7,68	92,52	162,96	97,54	25,0	68,17
Araira 2	16,50	29,94	138,17	331,87	92,78	70,0	108,02
Cupo	25,58	43,2	171,11	214,11	208,16	231,8	460
Cauc 4	26,96	47,46	148,23	287,86		55,0	87,52
Chuspita	8,13	11,55	87,23	143,93	95,16	1,0	19,61



Apéndice 4.- Curvas de calibración utilizadas para la determinación de la concentración de las distintas especies químicas.

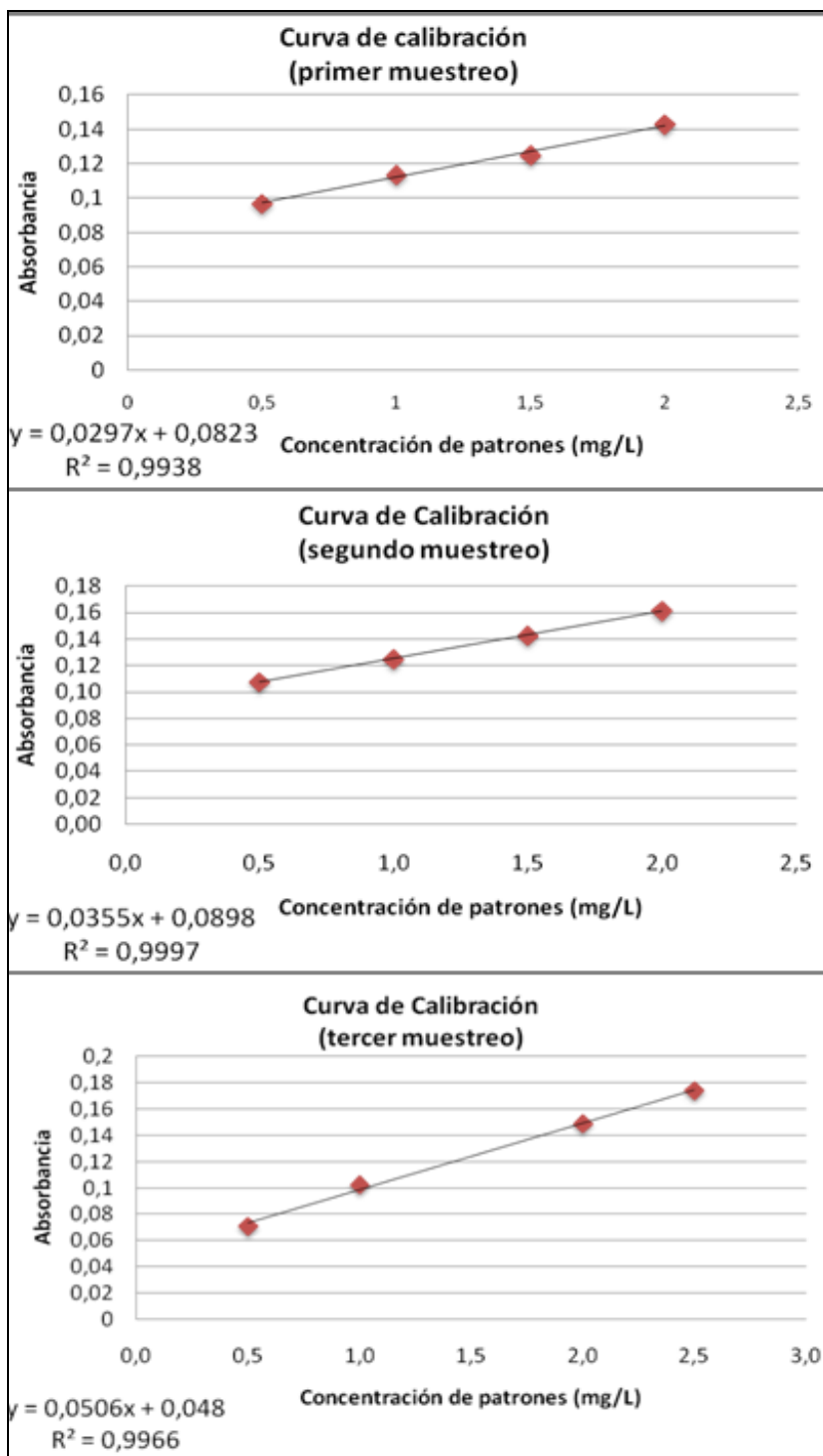


Figura 24: Curvas de calibración de Silicio para los tres muestreos realizados

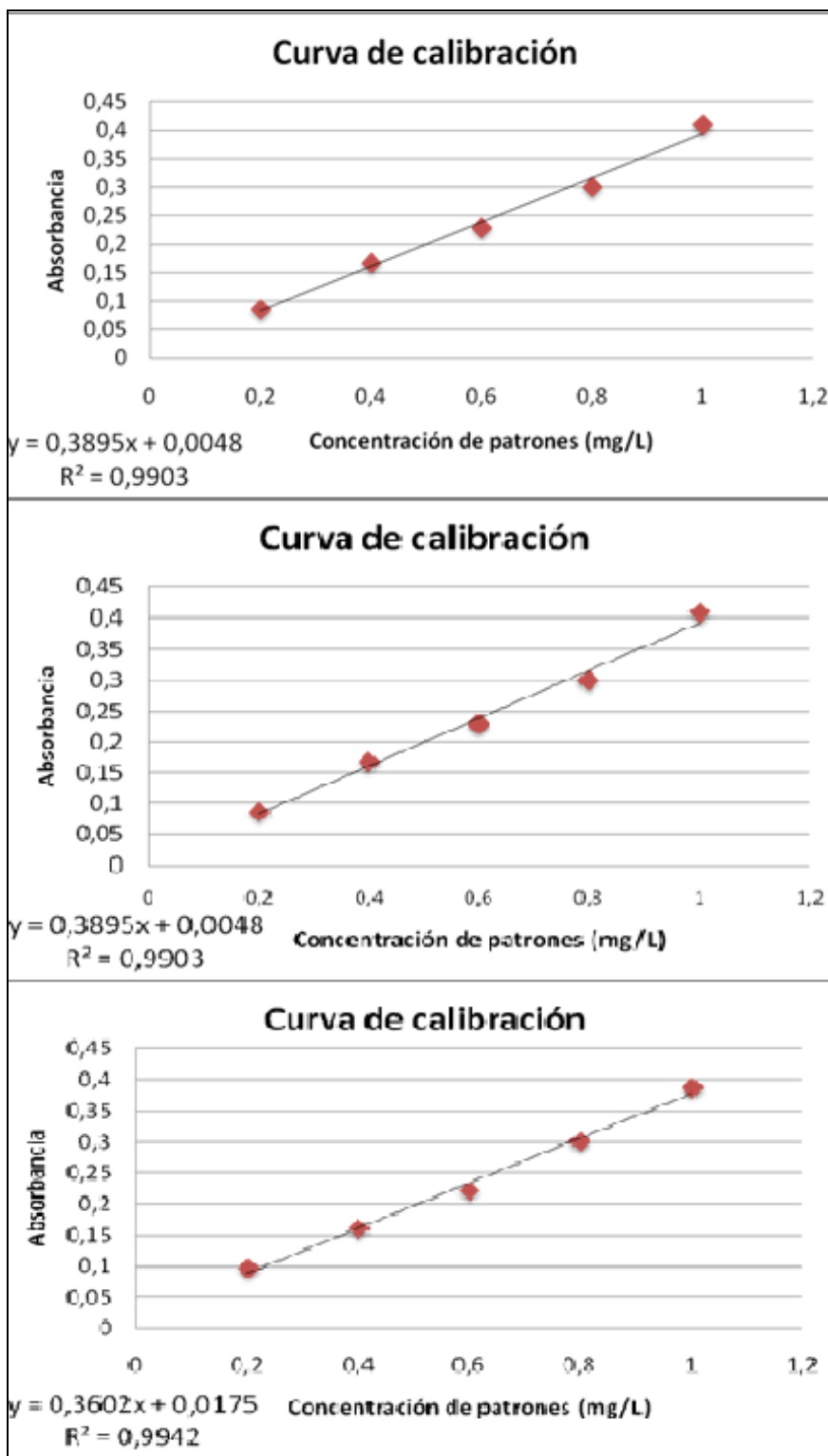


Figura 25: Curvas de calibración de Fósforo para los tres muestreos

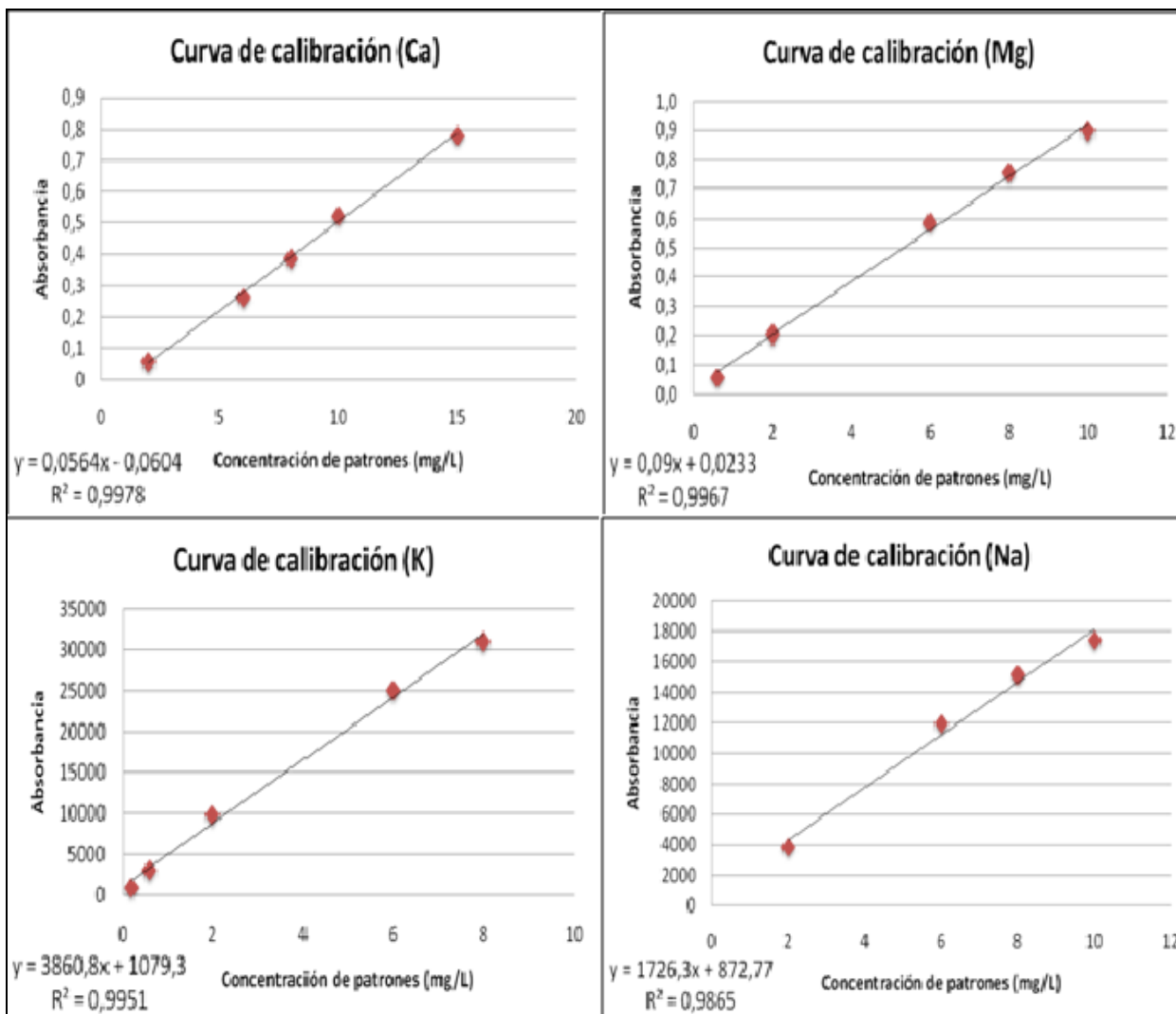


Figura 26: Curva de calibración para los diferentes cationes medidos



Apéndice 5.- Curvas utilizadas para estimar el promedio de las concentraciones de las distintas especies analizadas

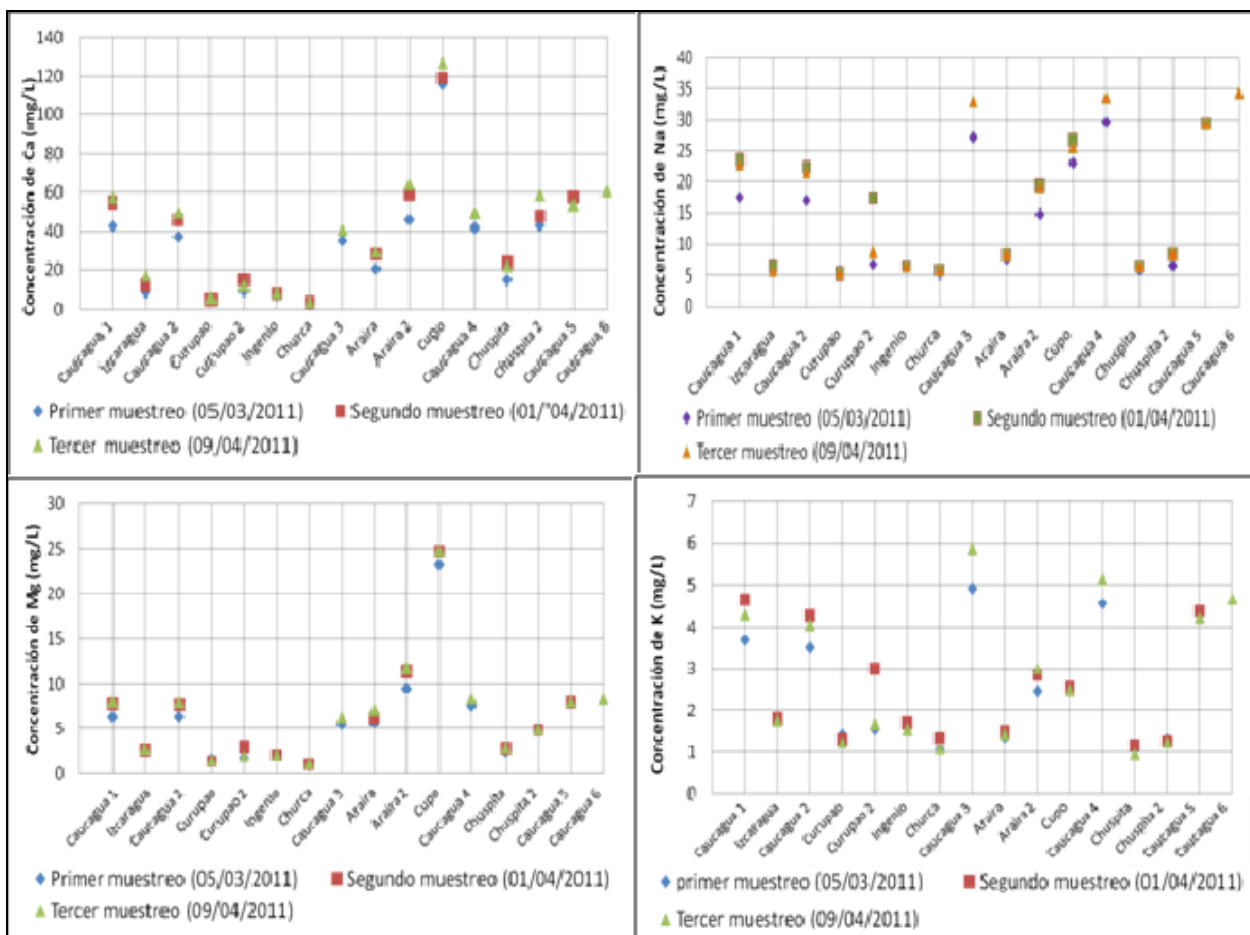


Figura 27: Dispersión de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+} para estimar el promedio de los mismos en los tres muestreos

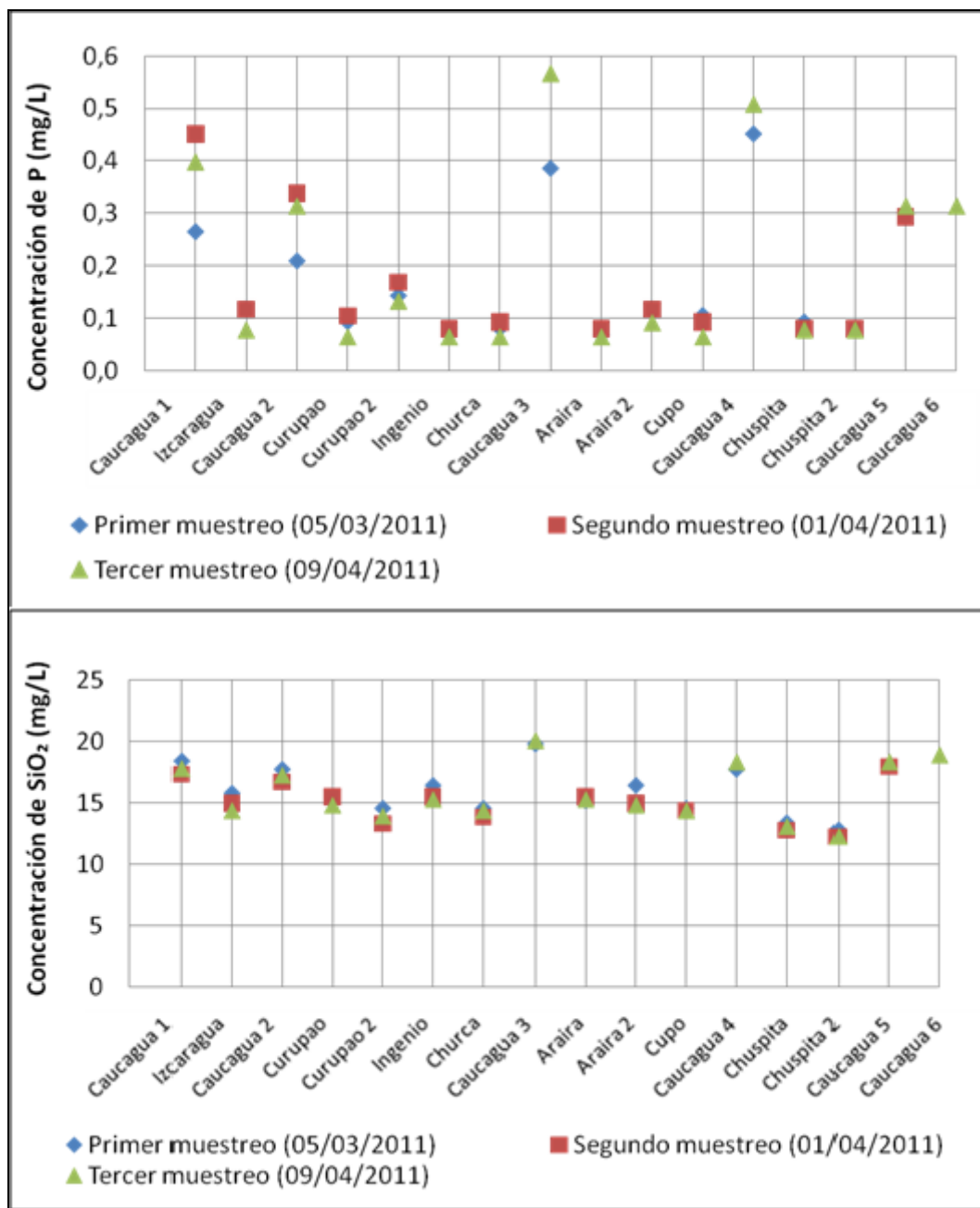


Figura 28: Dispersión de P y SiO₂ para estimar el promedio de los mismos en los tres muestreos realizados



Apéndice 6.- Relación entre la conductividad de campo y la conductividad de laboratorio para cada uno de los muestreos.

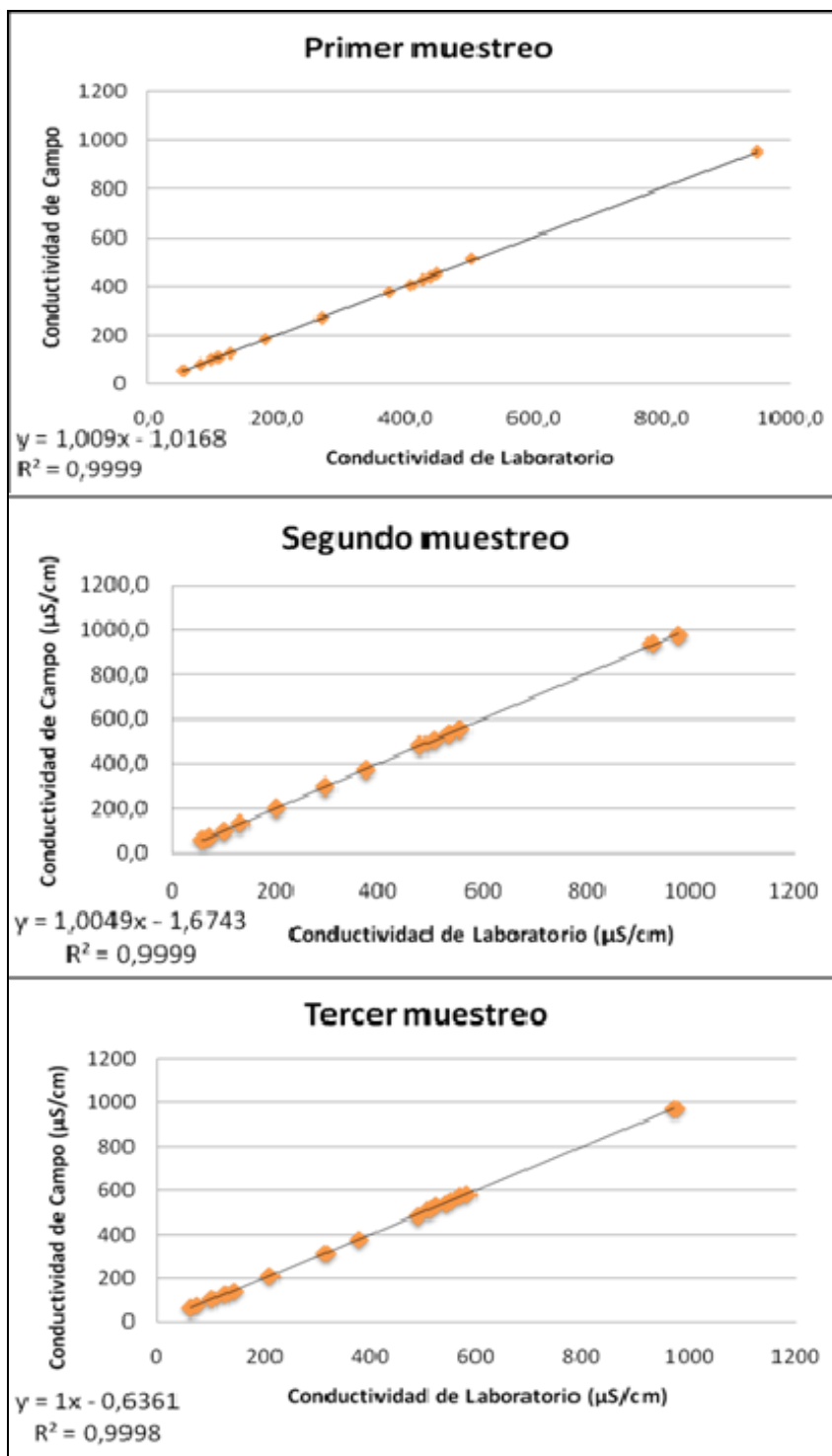


Figura 29: Relación de conductividades en los diferentes muestreos realizados

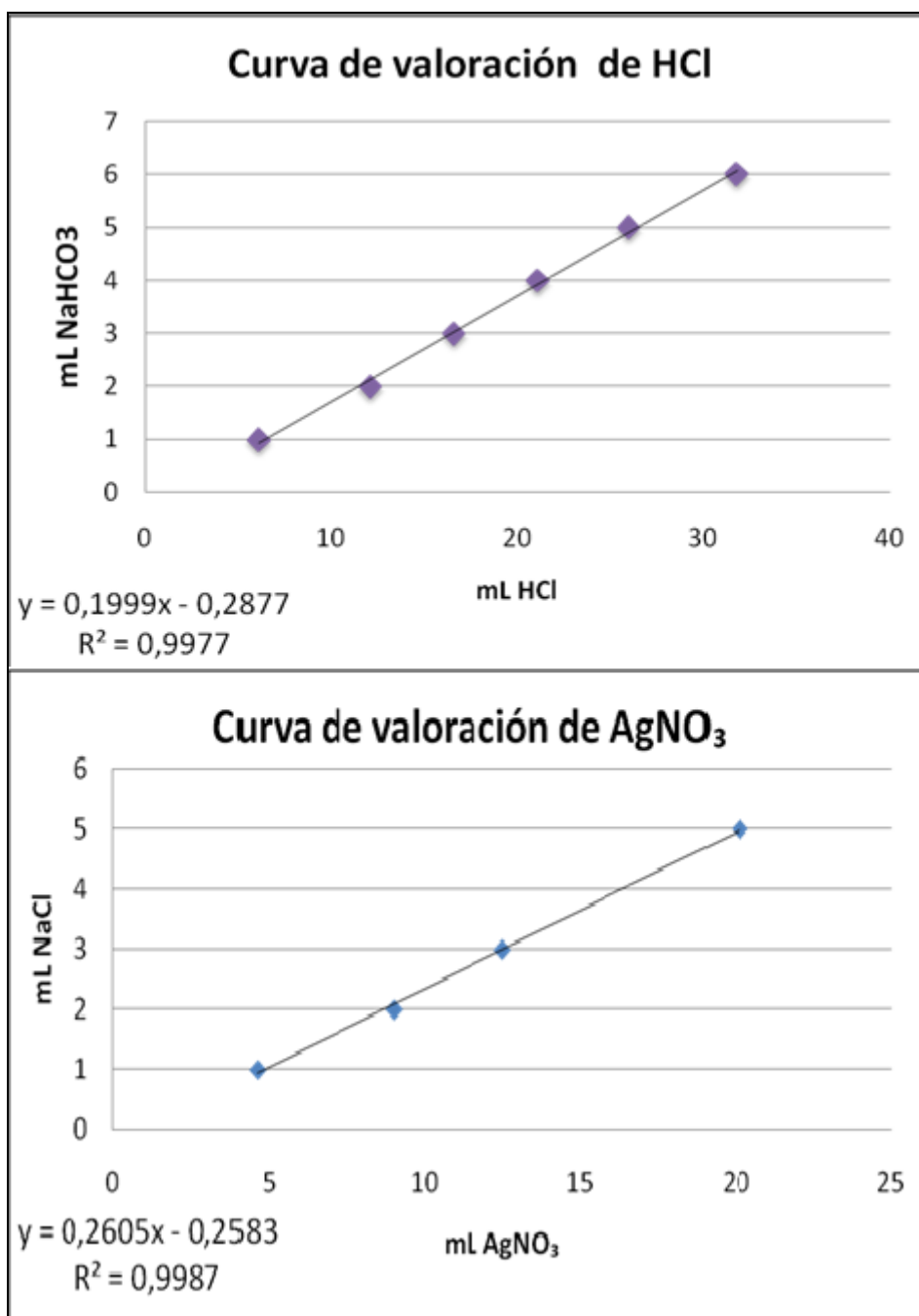
**Apéndice 7.-** Curvas de regresión lineal para las distintas valoraciones llevadas a cabo

Figura 30: Curva de valoración del HCl empleado en las mediciones de alcalinidad y del AgNO₃ empleado para la determinación de cloruro



Apéndice 8.- Cálculo de los sólidos disueltos

A continuación serán presentados los cálculos realizados para estimar los sólidos disueltos correspondientes a los aerosoles marinos, litología y atmósfera.

Aerosoles marinos $SD-AM = \sum([Na^+]_{AM} + [K^+]_{AM} + [Ca^{2+}]_{AM} + [Mg^{2+}]_{AM} + [Cl^-]_{AM} + [SO_4^{2-}]_{AM})$

$$[Na^+]_{AM} = \frac{[Na^+]_{mar}}{[Cl^-]_{mar}} * [Cl^-]_{río}$$

$$[K^+]_{AM} = \frac{[K^+]_{mar}}{[Cl^-]_{mar}} * [Cl^-]_{río}$$

$$[Ca^{2+}]_{AM} = \frac{[Ca^{2+}]_{mar}}{[Cl^-]_{mar}} * [Cl^-]_{río}$$

$$[Mg^{2+}]_{AM} = \frac{[Mg^{2+}]_{mar}}{[Cl^-]_{mar}} * [Cl^-]_{río}$$

$$[Cl^-]_{AM} = \frac{[Cl^-]_{mar}}{[Cl^-]_{mar}} * [Cl^-]_{río}$$

$$[SO_4^{2-}]_{AM} = \frac{[SO_4^{2-}]_{mar}}{[Cl^-]_{mar}} * [Cl^-]_{río}$$

Litológicos $SD-Lit = \sum([Na^+]_{lit} + [K^+]_{lit} + [Ca^{2+}]_{lit} + [Mg^{2+}]_{lit} + [HCO_3^-]_{lit} + [SiO_2]_{lit} + [S]_{lit})$

$$[Na^+]_{lit} = [Na^+]_{río} - [Na^+]_{AM}$$

$$[K^+]_{lit} = [K^+]_{río} - [K^+]_{AM}$$

$$[Ca^{2+}]_{lit} = [Ca^{2+}]_{río} - [Ca^{2+}]_{AM}$$

$$[Mg^{2+}]_{lit} = [Mg^{2+}]_{río} - [Mg^{2+}]_{AM}$$

$$[HCO_3^-]_{lit} = [Ca^{2+}]_{lit} + [Mg^{2+}]_{lit}$$

$$[SiO_2] = \text{promedio obtenido mg/l}$$

$$[S]_{lit} = ([SO_4^{2-}]_{río} - [SO_4^{2-}]_{AM}) * \frac{1}{3}$$

Atmosférico

$$SD-Atm = [O_2]_{atm} + [HCO_3^-]_{atm}$$

$$[O_2]_{atm} = ([SO_4^{2-}]_{río} - [SO_4^{2-}]_{AM}) * \frac{2}{3}$$

$$[HCO_3^-]_{atm} = [HCO_3^-]_{río} - [HCO_3^-]_{lit}$$

Tabla 21: Valores para la relación de las sales marinas (Yanes, 1988)

Elemento	(X/Cl ⁻) _{sm}
Ca ²⁺	0,021
Mg ²⁺	0,067
Na ⁺	0,556
K ⁺	0,021
SO ₄ ²⁻	0,140

Donde (X/Cl⁻)_{sm} es la relación de las sales marinas, siendo X = Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺

[Cl⁻]_{río} es la concentración de cloruro presente en cada muestra

Apéndice 9.- Fotografía de los equipos empleados para los análisis de las distintas especies estudiadas



a)

b)



c)

d)

Figura 31: Fotografía de: a) montaje de filtración de muestras; b) equipo de absorción atómica; c) cromatógrafo iónico y d) espectrofotómetro Spectronic 20