

CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

Jean Yves LOYER (1)
Alain PLENECASSAGNE (2)

Introducción.

Numerosos estudios han demostrado que existe una buena correlación entre el contexto geodafológico de una región o de una cuenca vertiente, y la composición química de las aguas naturales (RISACHER, 1978). Aún cuando ésta pueda evolucionar por temporadas, permite definir globalmente en el interior de una región, una cierta zonificación en provincias geoquímicas. Se pueden separar de esta manera, en forma general, las cuencas sedimentarias, caracterizadas por sales cloruro-sulfatadas sódicas o cálcicas, y las cuencas eruptivas, en donde dominan los carbonatos y el sodio (algunas veces los cloruros en presencia de volcanismo).

La finalidad del presente estudio es definir las diferencias o similitudes que existen en la RH 36, considerando la calidad de las aguas superficiales de las diversas unidades hidrográficas, comparando la carga disuelta, el pH, y la composición iónica.

Los datos utilizados provienen de dos fuentes:

- Los análisis químicos efectuados por el INEGI: Cartas Hidrológicas de Aguas Superficiales elaboradas a escala 1:250,000, de los años 1977 a 1987 (311 análisis), (INEGI 1978 a 1982).
- Las tomas y análisis efectuados a lo largo de las inspecciones de campo en el momento de la primera fase del proyecto, en 1992 (86 análisis).

Los resultados se refieren al balance de los iones mayores (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, HCO_3^- , $\text{CO}_3^{=}$, NO_3^-), a la Conductividad Eléctrica (CE), y al pH. Fueron interpretados a nivel de cada cuenca y subcuenca, comparando las diferentes características, y utilizando en particular los diagramas triangulares de PIPER (Piper, 1944) que permiten una clasificación según los principales rasgos hidroquímicos.

No ha sido establecida ninguna otra interpretación más a fondo en cuanto a un tipo de utilización eventual, la irrigación o el uso doméstico por ejemplo, que necesitan una aproximación espacial más precisa.

(1) Investigador de ORSTOM en México. Coordinador del Proyecto.

(2) Ingeniero Químico de ORSTOM en México.

Caracterización Química de las Aguas Superficiales.

Globalmente, tomando en cuenta todos los orígenes (ríos, arroyos, presas, presones, manantiales, etc.), que incluyen 397 puntos de muestreo de aguas superficiales distribuidas a lo largo de toda la RH 36, presentan en promedio una característica *sulfato-bicarbonatada mixta (cálcica y sódica)*. Los cloruros son muy poco abundantes así como el ión magnesio.

El pH es ligeramente alcalino, con un valor promedio de 7.9 (cuadro 1).

La carga disuelta media para el conjunto de las 13 unidades de escurrimiento es de 460 mg.L⁻¹, y la Conductividad Eléctrica de 0.640 dSm⁻¹ (deciSiemens por metro). La relación media de Conductividad y Concentración para la RH 36 es:

$$S^+ \text{ me L}^{-1} = S^- = 10.7 \text{ C.E. dS m}^{-1}$$

$$\text{en ponderal : } 1 \text{ g sal L}^{-1} = 1.38 \text{ dS m}^{-1}$$

Al analizar la información de las aguas superficiales de **las parte alta y baja**, se observó muy poca diferencia en la concentración media de sales (parte alta: 478 mg L⁻¹, contra 490 en la parte baja).

Se notan las siguientes diferencias y similitudes, en las proporciones relativas de los cationes y aniones (Cuadro 1) :

parte alta : Na > Ca > Mg y SO₄ > HCO₃ > Cl

parte baja : Ca > Na > Mg y SO₄ > HCO₃ > Cl

Las aguas de la parte alta muestran un rasgo netamente más sódico que las de la parte baja, que tienden a ser más cálcicas; es un aspecto a tomar en consideración para cualquier utilización de las primeras en irrigación debido al papel del sodio en el riesgo de degradación de los suelos cultivados.

Cuadro 1

Características químicas de las aguas superficiales de la RH 36.

	Conc. mg.L-1	C.E dS.m-1	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3
	-----							me.L-1	-----			
RH36	491	0.639	7.9	2.8	1.1	2.6	0.2	0.8	3.1	2.7	0.2	0.1
Parte Baja	490	0.622	7.8	3.7	1.3	1.5	0.2	0.7	3.2	2.9	0.1	0
Parte Alta	478	0.648	7.9	2.3	1.0	3.0	0.2	0.8	3.0	2.6	0.2	0.1

En la parte alta, Las aguas superficiales promedio de las dos cuencas vertientes difieren sensiblemente a nivel de sus cargas disueltas: 300 mg L⁻¹ para la del Nazas, contra 540 para la del Aguanaval.

Sus características químicas son parecidas, *sulfatadas-bicarbonatadas sódicas y cálcicas*, con una inversión bicarbonatos y sulfatos:

Cuenca Nazas $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ y $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$

Cuenca Aguanaval $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$ y $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$

El magnesio siempre es poco abundante, del orden de 1 me L^{-1} , ligeramente más representado en la cuenca del Aguanaval que en la del Nazas (Cuadro 2).

Cuadro 2

Características químicas medias de las aguas superficiales en las cuencas Nazas y Aguanaval.

	Conc. (mg/l)	C.E. (mS/cm)	pH	Ca (me/l)	Mg (me/l)	Na (me/l)	K (me/l)	Cl (me/l)	SO4 (me/l)	HCO3 (me/l)	CO3 (me/l)	NO3 (me/l)
C. Nazas	303	0.531	8.1	2.2	0.8	2.7	0.2	0.6	2.5	2.8	0.2	0.1
C. Aguanaval	542	0.810	7.6	2.6	1.3	3.5	0.3	1.2	3.8	2.4	0.3	0.1

Por el contrario, los análisis de las aguas de estas dos cuencas en cada uno de los cauces de los ríos a su salida a la llanura, (estación Los Angeles y la Flor), es decir integrando todas las aguas de escurrimiento de cada cuenca, dan resultados sensiblemente diferentes en relación a las aguas precedentes, muestreadas al nivel de los escurrimientos en cada subcuenca vertiente (Cuadro 3):

Cuadro 3

Calidad de agua superficial en el cauce de los 2 ríos de la RH 36.

	C. E. dS.m ⁻¹	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	CO3
			-----				me.L ⁻¹	-----		
Nazas 1989	0.980	7.8	3.0	1.4	1.7	0.1	0.4	4.7	3.3	0
Nazas 1991	0.304	7.9	1.8	0.2	0.6	0.3	0.2	0.3	3.0	0
Aguanaval 1992	0.907	8.3	2.6	0.9	5.2	0.1	0.8	4.2	2.7	0.1

- Las aguas del río Nazas en año normal, 1989 por ejemplo son netamente más cargadas en sales que las escurridas en período de crecida importante (1991): CE. 0.980 dS m^{-1} contra 0.300 dS m^{-1} .

La relación de los diferentes cationes permanece idéntica : $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$.

Para los aniones se nota entre estos dos períodos una inversión del anión dominante :

$\text{HCO}_3 > \text{SO}_4$ en año normal,

$\text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ en período de crecida.

- Las aguas del río Aguanaval son, en Conductividad Eléctrica, comparables a las del Nazas, pero más ricas en sodio que domina al calcio:

$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$

La proporción de magnesio permanece baja.

En cuanto a los aniones, son comparables a las del Nazas en crecida:

$\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$

El pH es sensiblemente más elevado que en el río Nazas.

Cuadro 4

Características químicas medias de las aguas superficiales en las 13 unidades de escurrimiento de la RH 36

	Conc. mg.L-1	C.E. dS.m-1	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3
				-----				me.L-1	-----			
Mayrán	512	0.644	7.8	2.9	1.8	2.0	0.2	0.8	3.4	3.0	0.1	0
Bolsón	600	0.783	7.8	4.6	1.0	2.5	0.4	0.6	5.0	2.5	0.1	0.1
Viesca	456	0.572	7.8	4.1	1.0	1.0	0.2	0.7	2.7	2.8	0.0	0.1
Salomé A.	241	0.367	8.3	1.1	0.3	1.3	0.1	0.3	0.5	1.9	0.2	0.4
Sardinas	260	0.306	8.1	1.8	0.4	0.9	0.1	0.2	0.4	2.6	0.1	0.1
Palmito	278	0.347	8.3	1.9	0.5	1.1	0.2	0.3	0.6	2.4	0.3	0.1
Agustín M.	669	0.696	8.1	2.7	1.2	4.7	0.3	1.0	4.7	3.4	0.2	0.1
C. de Fdz.	353	0.456	7.9	2.6	0.7	1.3	0.1	0.5	1.4	2.7	0.1	0.1
L. Angeles	829	1.048	8.1	3.2	1.4	6.6	0.2	1.2	6.1	4.0	0.1	0.1
El Sauz	76	0.100	7.6	0.5	0.2	0.1	0.2	0.3	0	0.7	0	0
Cazadero	179	0.274	7.2	1.3	0.5	0.7	0.2	1.0	0.3	1.0	0.4	0
San Fco.	605	0.813	7.7	2.1	1.1	5.1	0.3	1.6	3.7	2.7	0.5	0.1
La Flor	661	1.064	7.8	3.6	1.9	3.5	0.3	0.9	5.5	2.8	0	0.1

A nivel de las subcuencas (Cuadro 4), las aguas de las seis **subcuencas del Nazas**, muestran de la parte alta a la baja, un aumento sensible de sus cargas disueltas (de 241 a 829 mg L⁻¹).

Las aguas de las subcuencas Sardinas, Palmito y Cañón de Fernández presentan un rasgo normal *sulfato-bicarbonatado* cálcico.

En las otras tres sub-cuencas, las aguas tienen en promedio características químicas más anormales:

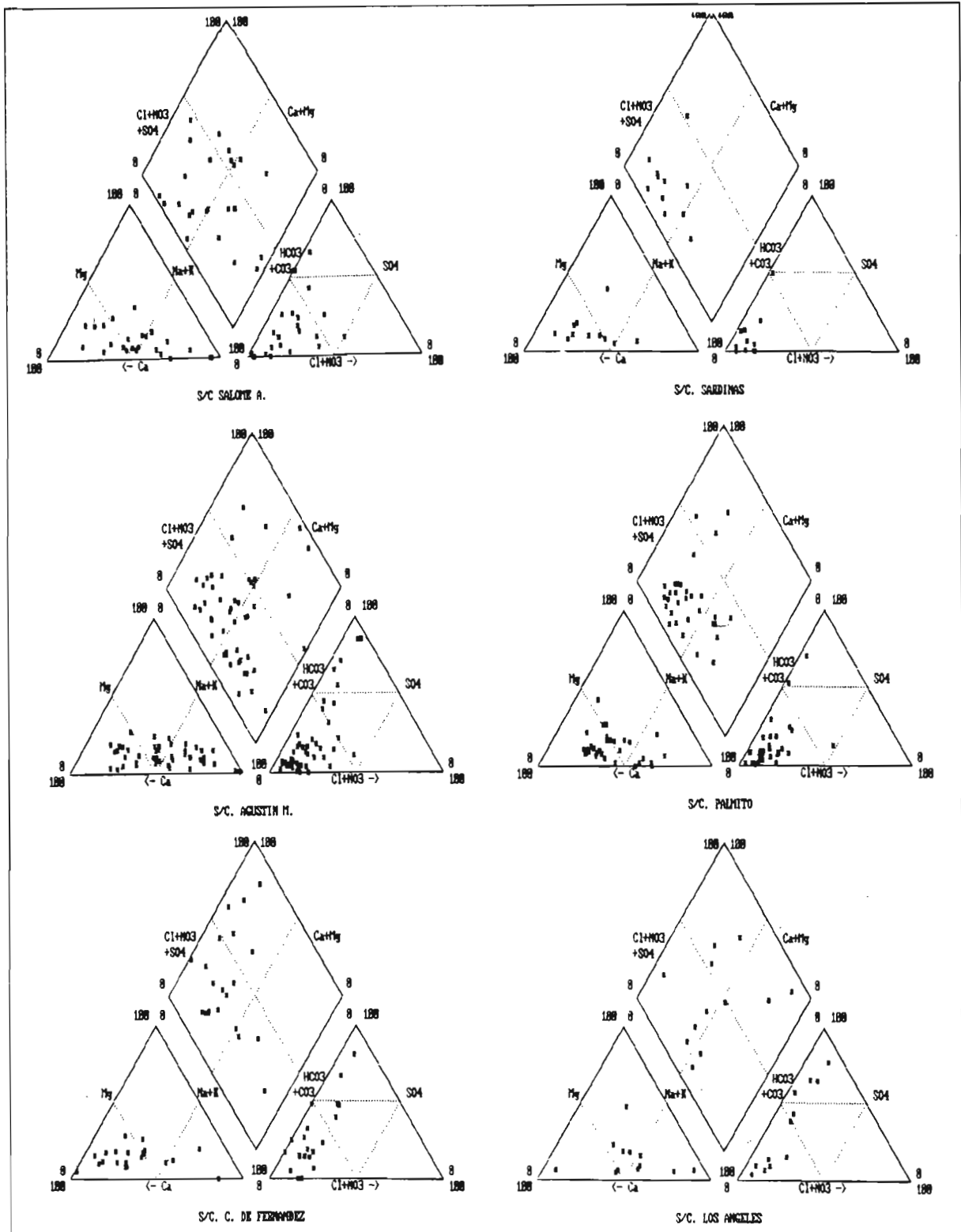


Figura 1

Diagrama de PIPER de las seis subcuencas del Nazas.

Bicarbonatada sódica (cálcica) para la sub-cuenca Salomé Acosta, muy marcada por los materiales eruptivos.

Sulfato sódica para las sub-cuencas Agustín Melgar y Los Angeles (Figura 1).

Los valores del pH, en promedio mayores de la neutralidad (7.9 a 8.3), presentan poca variación. Sin embargo algunas medidas efectuadas en lo alto de la vertiente de Salomé mostraron valores netamente más bajos (pH 5.7), en relación con los afloramientos de riolita ácida de la sierra alta.

La proporción de magnesio es siempre débil en relación al calcio; ligeramente más elevada para las tres sub-cuencas bajas que para las de la parte alta (Cuadro 4).

Una evolución longitudinal entre los diferentes elementos del balance iónico de cada sub-cuenca tiende a incrementarse desde las aguas de la subcuenca Salomé Acosta hasta Los Angeles (Figura 2). Sin embargo, la subcuenca Agustín Melgar presenta una cierta particularidad en esta sucesión probablemente en razón de su estructura geológica. El contacto entre los materiales eruptivos y sedimentarios provocando sin duda algunos fenómenos de fracturas y mineralizaciones, que se traducen por un aumento sobre todo del sodio y del sulfato en las aguas superficiales. Las aguas de los arroyos Naycha y Dolores por ejemplo, muestran conductividades eléctricas elevadas, (hasta 10 dS m^{-1}).

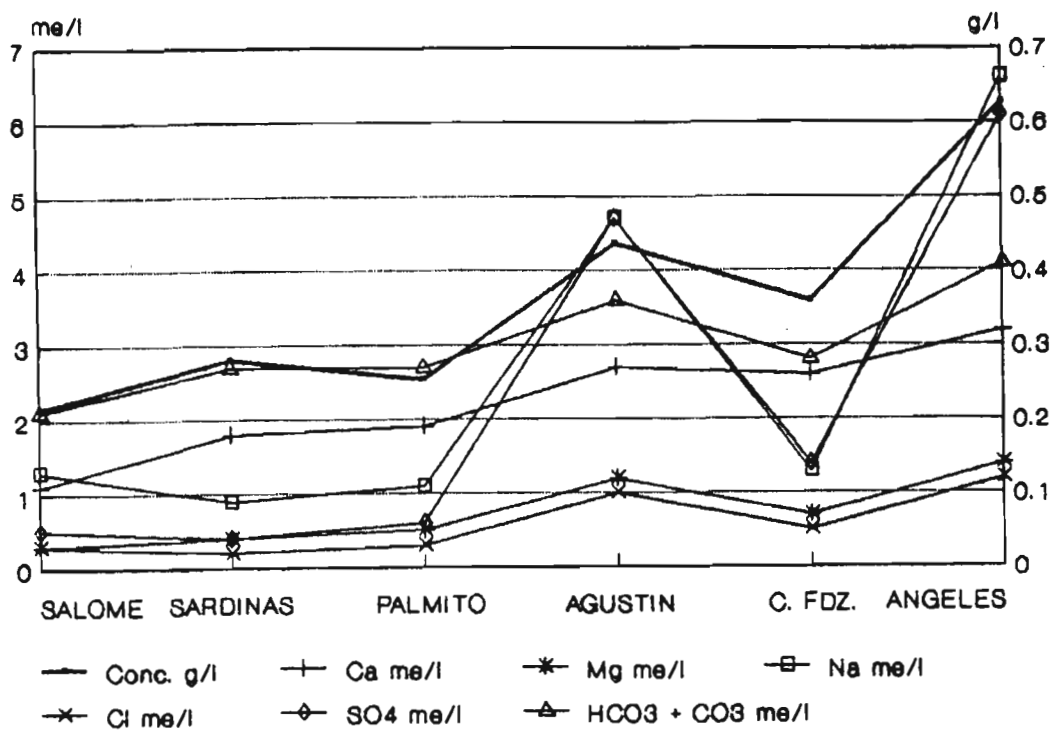


Figura 2

Evolución Longitudinal de los iones en las aguas superficiales en cada subcuenca del Nazas.

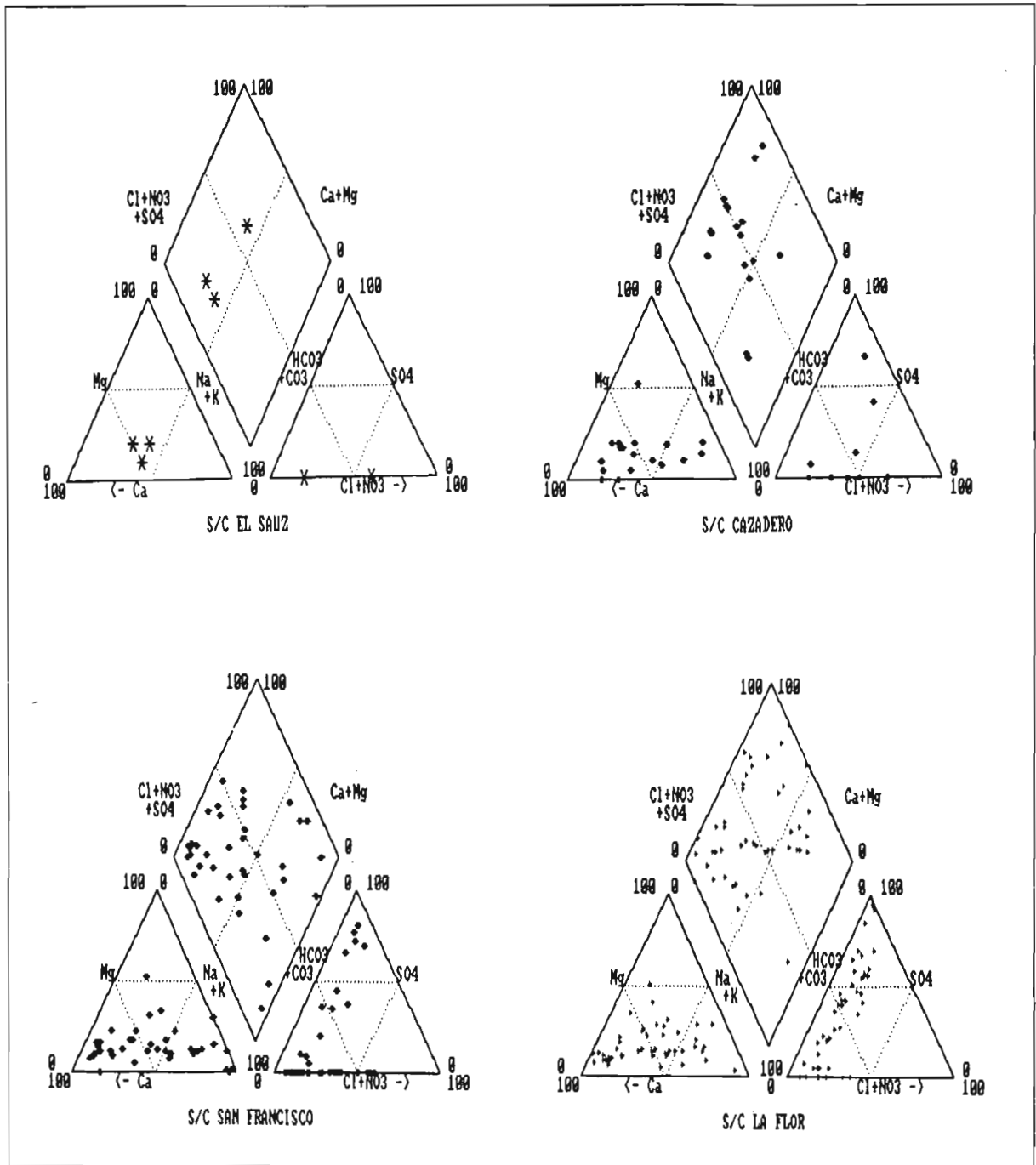


Figura 3

Diagramas de PIPER de las cuatro subcuencas del Aguanaval.

Por su parte, las características químicas de las aguas en las cuatro **subcuencas del Aguanaval** están representadas en la Figura 3, que muestra una repartición entre los dos polos catiónicos cálcico y sódico y en los dos polos aniónicos bicarbonato y sulfato.

Longitudinalmente, desde la parte alta hasta la parte baja, la carga disuelta promedio de las aguas aumenta regularmente al nivel de cada subcuenca. Las aguas de la subcuenca El Sauz, muy montañosa sobre toba riolítica, son muy poco cargadas :

0.100 dS m⁻¹ en Conductividad Eléctrica, contra 1.060 dS.m⁻¹ en promedio para la subcuenca La Flor de Jimulco, en la cual, las aguas del arroyo Santa Clara son bastante salinas (*sulfatadas sódicas*).

Todos los iones siguen la misma evolución longitudinal (Figura 4). En proporción relativa:

Las aguas de los dos subcuencas altas, El Sauz y Cazadero, presentan el gradiente iónico siguiente :



mientras que para San Francisco y La Flor, el gradiente es inverso :



La proporción de magnesio es sensiblemente más abundante en relación con el calcio, yendo hacia la parte baja (relación Ca / Mg de 2.8 a 1.8), mismo que la de los cloruros respecto a los sulfatos, (relación SO₄ / Cl de 0.3 a 5.9).

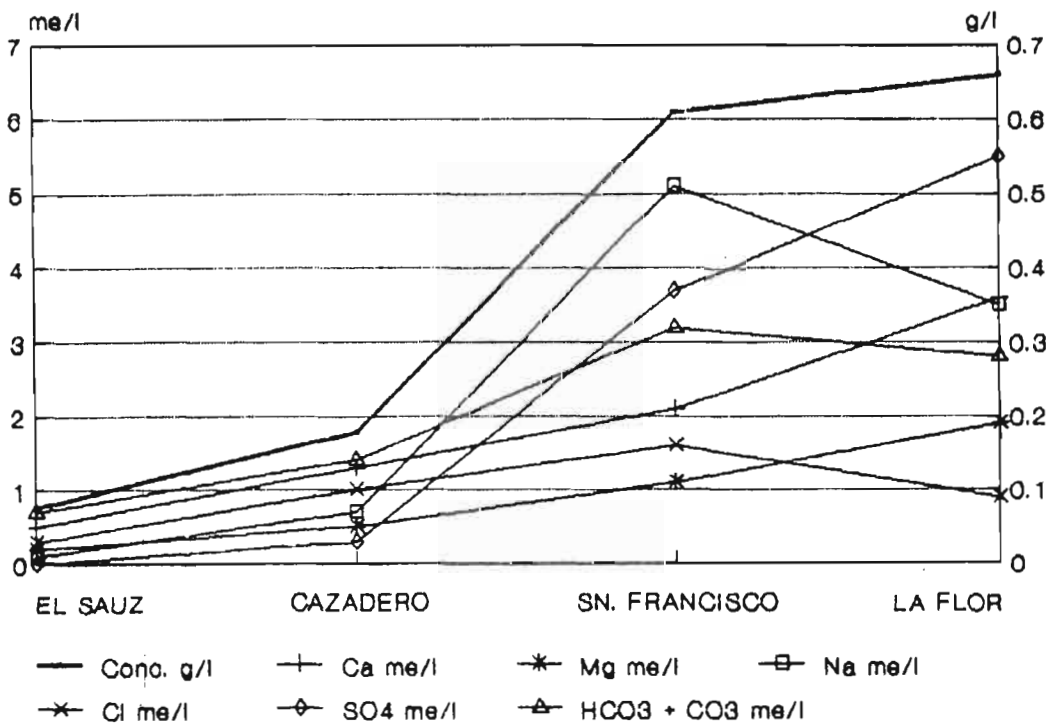


Figura 4

Evolución iónica longitudinal en las aguas superficiales para cada subcuenca del Aguanaval.

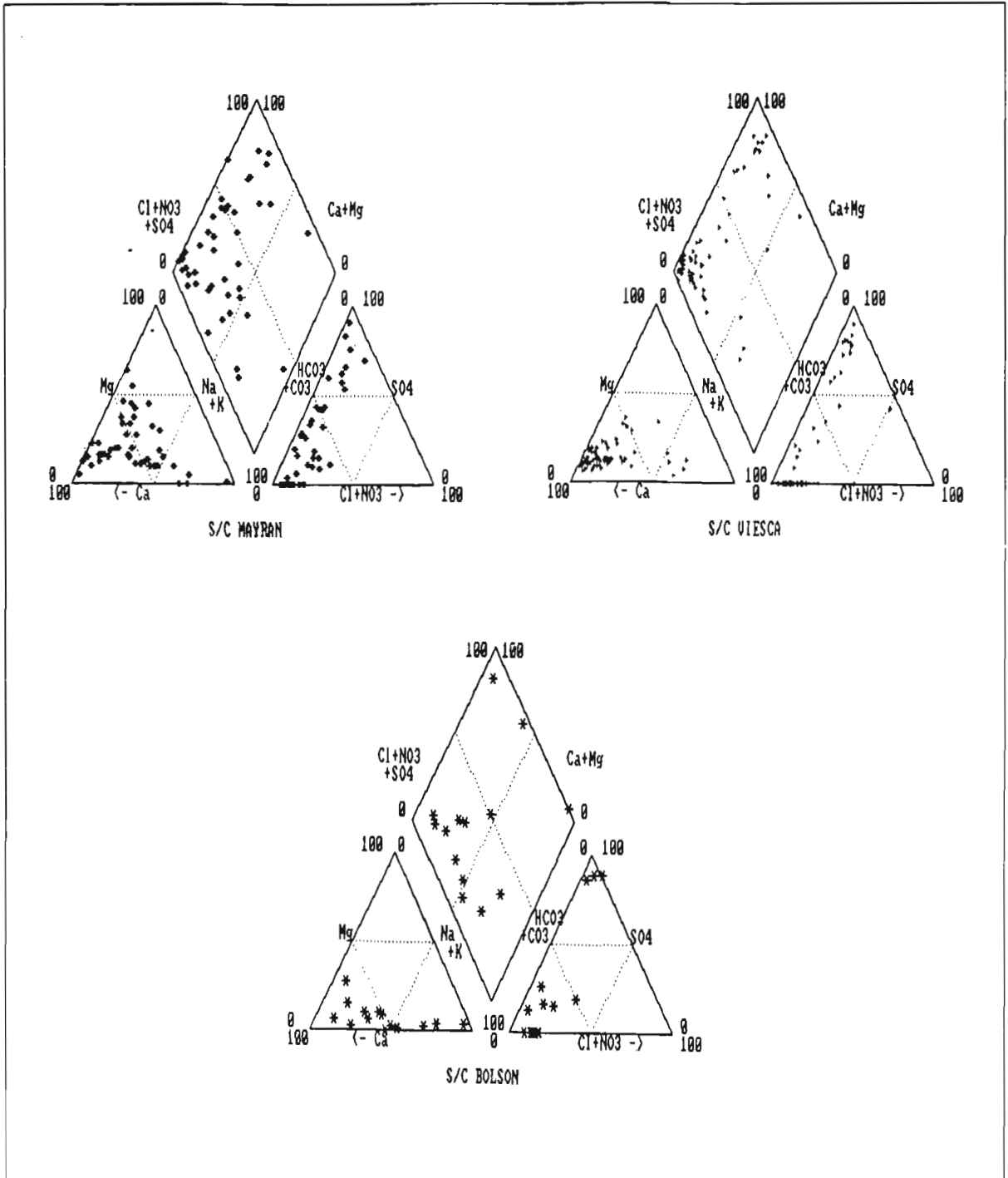


Figura 5
 Diagrama de PIPER de las tres subcuencas
 de la parte baja de la RH 36.

Las aguas de las cuatro subcuencas del Aguanaval, entonces son regular y netamente diferenciadas de la parte alta a la parte baja en relación con la naturaleza de los materiales geológicos que pasan de lo eruptivo a lo sedimentario detrítico luego químico (calcáreo y yesoso), (Ver Figura 6 en el capítulo "Rocas y Materiales").

Las aguas superficiales de las **tres subcuencas de la parte baja de la Región 36, Bolsón, Mayrán y Viesca** son todas de característica idéntica *sulfatada-clorura cálcica* (Figura 5), y en esto se diferencian claramente de las aguas de la alta vertiente. Por cada una de las tres subcuencas, la proporción de los sulfatos en relación a los carbonatos y bicarbonatos es superior a 1, sobre todo en la subcuenca Bolsón, a diferencia de todas las otras unidades de escurrimiento de la Región.

Las aguas de dicha subcuenca, son las más cargadas, (605 mg L^{-1}); La subcuenca Viesca, más montañosa, está caracterizada por aguas más diluídas, con 450 mg L^{-1} , (Cuadro 4).

Interpretación Regional.

Las Figuras 6 y 7 muestran a nivel global de la RH 36, las tendencias de rasgo químico de las aguas superficiales al interior de cada una de las 13 unidades hidrográficas:

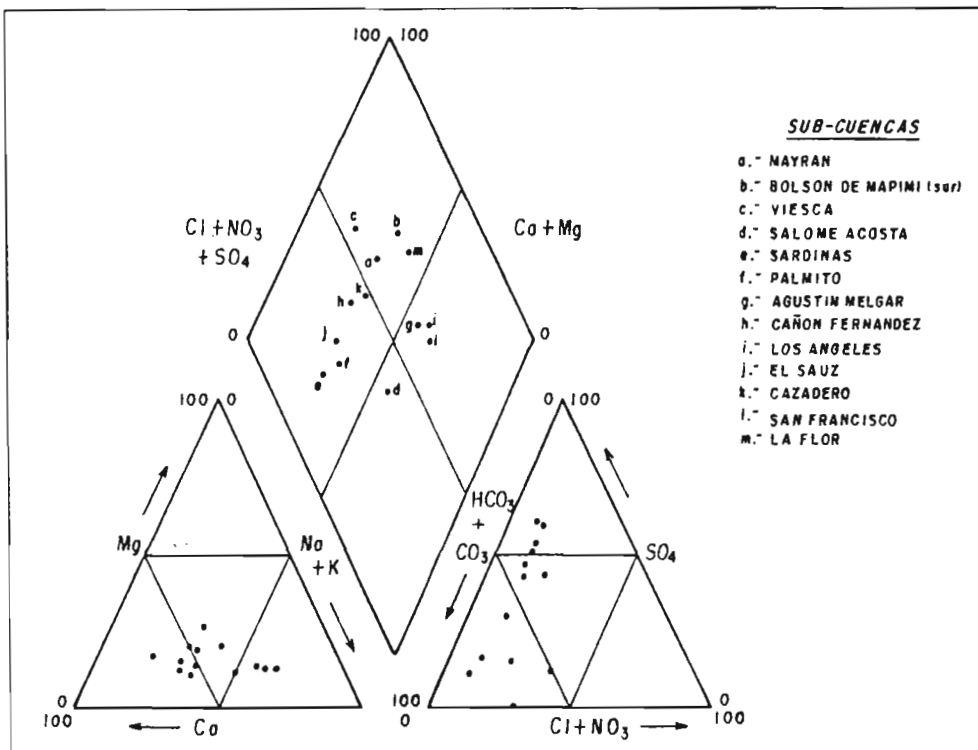


Figura 6

Faces químicas en diagrama de PIPER de las aguas superficiales de las 13 subcuencas de la RH 36.

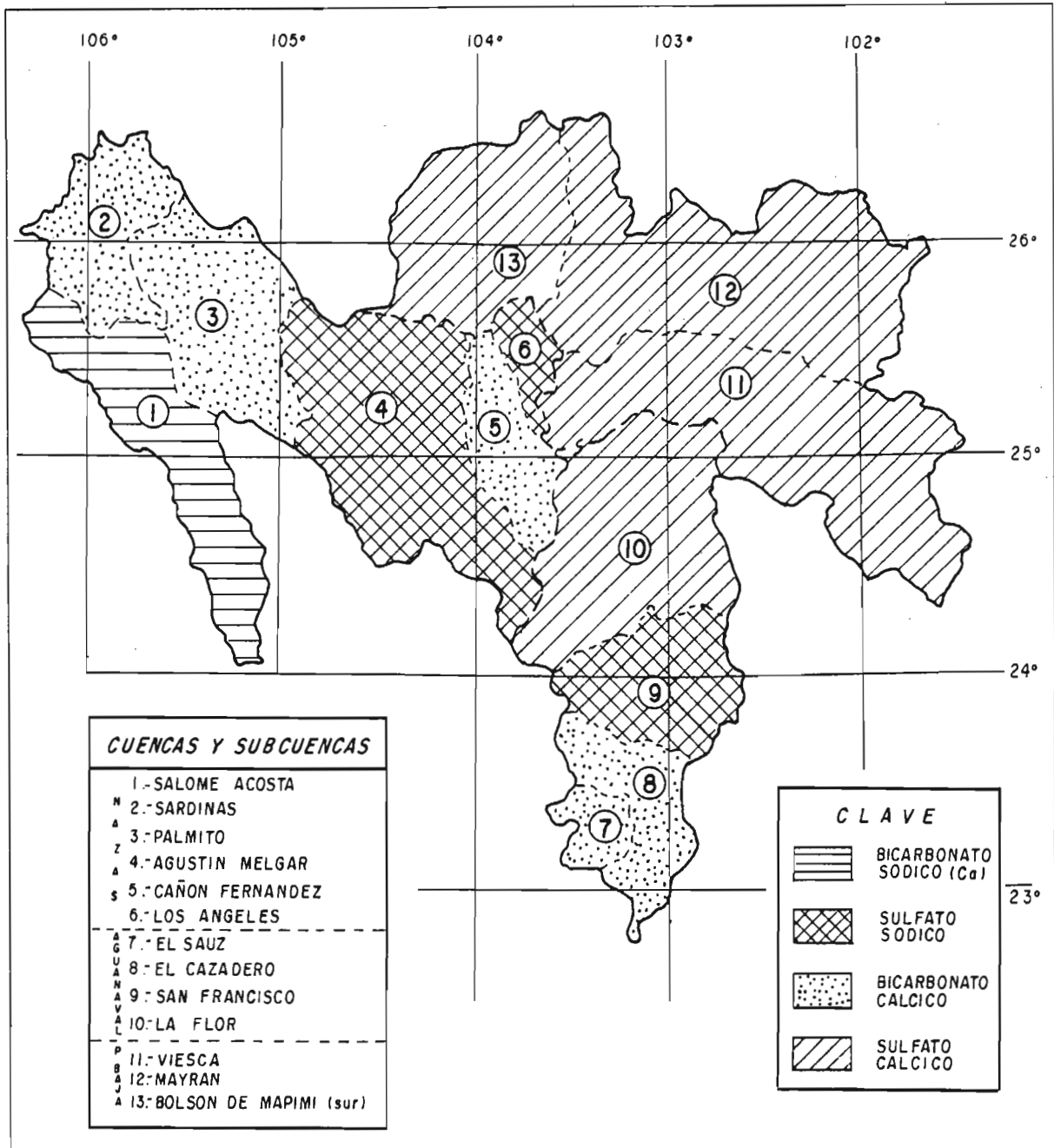


Figura 7

Mapa de las clasificaciones químicas de las aguas superficiales de la RH 36 por subcuenca.

Por el lado del polo cálcico, las aguas de las subcuencas altas se caracterizan por su rasgo *bicarbonatado cálcico*, a veces mixtas (calcio y sodio).

Las subcuencas bajas se caracterizan por aguas netamente *sulfatadas cálcicas* (subcuencas Bolsón, Mayrán, Viesca y La Flor).

Por el lado del polo sódico, más anormal, se encuentra la misma tendencia: aguas *bicarbonatadas sódicas* en la parte alta y *sulfatadas sódicas* más hacia la parte baja. Cuatro subcuencas son afectadas por esta particularidad:

- La subcuenca Salomé Acosta, tiene tendencia bicarbonatada sódica.
- Las subcuencas Agustín Melgar, Los Angeles, San Francisco, tienen tendencia sulfatada sódica.

Conclusión.

Las aguas superficiales de la RH 36 no presentan una carga soluble excesiva: hacia las partes altas de las sierras, estas se encuentran poco cargadas, mientras que en la parte bajas, donde las del Aguanaval son más concentradas que en el Nazas, estas alcanzan en promedio 500 mg por litro. En el caso del final de la toposecuencia regional (Lagunas de Mayrán y de Viesca), o en situación particular de mal drenaje de pequeñas llanuras endorréicas (San Jacinto en la subcuenca Los Angeles, por ejemplo), las aguas superficiales pueden concentrarse fuertemente y provocar manifestaciones salinas en la superficie de los suelos. La facies de estos afloramientos superficiales esta en relación con las características químicas iniciales de las aguas. Una secuencia geoquímica, característica del río Nazas, realizada desde río arriba hacia río abajo, muestra la siguiente sucesión salina: sales carbonatadas y bicarbonatadas sódicas (Thermonatrita, Trona y Gaylussita); sales sulfatadas sódicas (Thenardita y Mirabilita); sales cloruro sódicas y cálcicas (Halita e Hydrophilita), (González B. y Loyer, 1994).

Esta sucesión al relacionarla con la organización geológica en la RH 36, muestra que la naturaleza petrográfica de los materiales influencia directamente la calidad hidroquímica de las aguas superficiales:

La parte eruptiva de la cuenca alta en la sierra es caracterizada por aguas bicarbonatadas sódicas y cálcicas, mientras que la parte sedimentaria de las dos cuencas (Nzas y Aguanaval), es caracterizada por aguas superficiales y subterráneas netamente sulfatadas sódicas o cálcicas.

En la parte alta de la RH 36 los cloruros se encuentran poco representados en relación a estos dos aniones (bicarbonatos y sulfatos). Los cloruros tienen una importancia en relación con los aniones en la parte más baja, al final de la toposecuencia, después de haberse precipitado los minerales los menos solubles (calcita y yeso). Esta precipitación ocurre de acuerdo a su coeficiente de solubilidad y su estado de saturación en las soluciones.

Referencias.

DESCROIX L., LOYER J. Y., ESTRADA A. J., (1993). Water resource in arid zones, the Hydrological Region 36 in northern Mexico. International conference on desert development. Mexico.

GONZALEZ B. J. L., (1982). Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride Mexicaine. Exemple dans la "Comarca Lagunera". Thèse USTL Montpellier, France.

GONZALEZ B. J. L. and LOYER J. Y., (1994). Geochemical Functioning of Soil Salinity in Northern Mexico. Acapulco, 1994. 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, México.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFICA E INFORMATICA (INEGI), (1980). Serie de mapas de Hidrología Superficial escala 1:250,000, México.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFICA E INFORMATICA (INEGI), (1981). Mapas de geología (Monterrey, Chihuahua) a escala 1:1'000,000 y guía para la interpretación (29 p.) INEGI, México.

PIPER, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses, in Transactions, American Geophysical Union. Papers, hydrology. pp. 914 - 928.

RIEU M., (1980). Sodium Adsorption Ratio et estimation du pouvoir alcalinisant des eaux. Cah. Orstom sér. pédol. 18 pp. 123 - 128.

RISACHER, F. (1978). Le cadre géochimique des bassins á évaporites des Andes Boliviennes. - Cah. Orstom, sér. Géol. vol. X, No. 1, 37 - 48.

VALLES V., M. GHOLAMI, R. LAMBERT, (1990). Chimie des eaux et alimentation du bassin versant d'Djaferud (Iran). Hydrol. Cont. Orstom, Vol. 5, No. 1, 61 - 69.