

EVALUACION DE LA CALIDAD HIDROQUIMICA DEL RIO SAN JUAN Y SUS RIOS TRIBUTARIOS.

Cruz M., Oscar, Molina M., Junette, Fuentes H., Sylvia, Calero R., Sandra

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos,
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

RESUMEN

Se identificó que, entre los procesos que determinan la calidad hidroquímica, están la salinización e intercambio catiónico. Como elementos fundamentales de dichos procesos se destaca, el predominio de la precipitación en la dilución sobre el efecto marítimo. Otros elementos, que determinan tipos hidroquímicos particulares son el efecto volcánico y el de la materia orgánica. Se observa una relativa estabilidad en el incremento de la salinización, establecido principalmente por el poder de dilución del río. Manteniéndose en el rango de aguas dulces, aunque de 1989 a 1997, el promedio de los sólidos totales disueltos como indicador de la salinidad variaron de 55.6 a 125.43 mg/l. El intercambio de iones calcio por sodio, no es significativo por causa del relativo corto tiempo de contacto entre las aguas y los suelos arcillosos, sin embargo se observa una mayor incidencia cerca de las desembocaduras en suelos planos, arcillosos y poco drenados. Las altas concentraciones de hierro total $\gg 0.3$ mg/l, en general están definidas por el arrastre de sedimentos, intemperismo, materia orgánica y efecto volcánico, éste último probablemente sea la causa más importante de las altas concentraciones del mismo y de la tendencia al tipo hidroquímico sulfato-cálcico, principalmente de los ríos San Carlos, Sarapiquí y Delta. Por las condiciones naturales y uso del suelo, existe evidencia de eutrofización, donde el fósforo como indicador supera los niveles de 0.03 mg/l, aunque el nitrógeno como nitrato presenta bajas concentraciones, debido al poder de dilución de los caudales del río. Del análisis del potencial de contaminación y de los usos preponderantes, el agua podría estar limitada al uso potable salvo en algunas excepciones de ríos tributarios que requieren cierto nivel de tratamiento, no obstante presenta buenas condiciones para el uso de riego, navegación y recreación.

INTRODUCCION.

El Río San Juan y su cuenca hidrográfica se encuentran entre las coordenadas longitud Oeste $84^{\circ}46'44''$ y $83^{\circ}38'00''$ y latitud Norte $11^{\circ}07'05''$ y $10^{\circ}50'00''$. Tiene una extensión de $38,500 \text{ km}^2$ la que es compartida por Costa Rica y Nicaragua, aproximadamente el 70 % le pertenece a nuestro país. (Fig. N^o.1).

La calidad hidroquímica del Río San Juan y sus ríos tributarios, podría reflejarse como el receptor de impactos que pudiera originar cualquier actividad dentro de la cuenca, en ese sentido se puede apuntar algunos aspectos de importancia que directa o indirectamente podrían representar no solo un riesgo de contaminación sino también el manejo integral y sostenible del sistema de vida indicado.

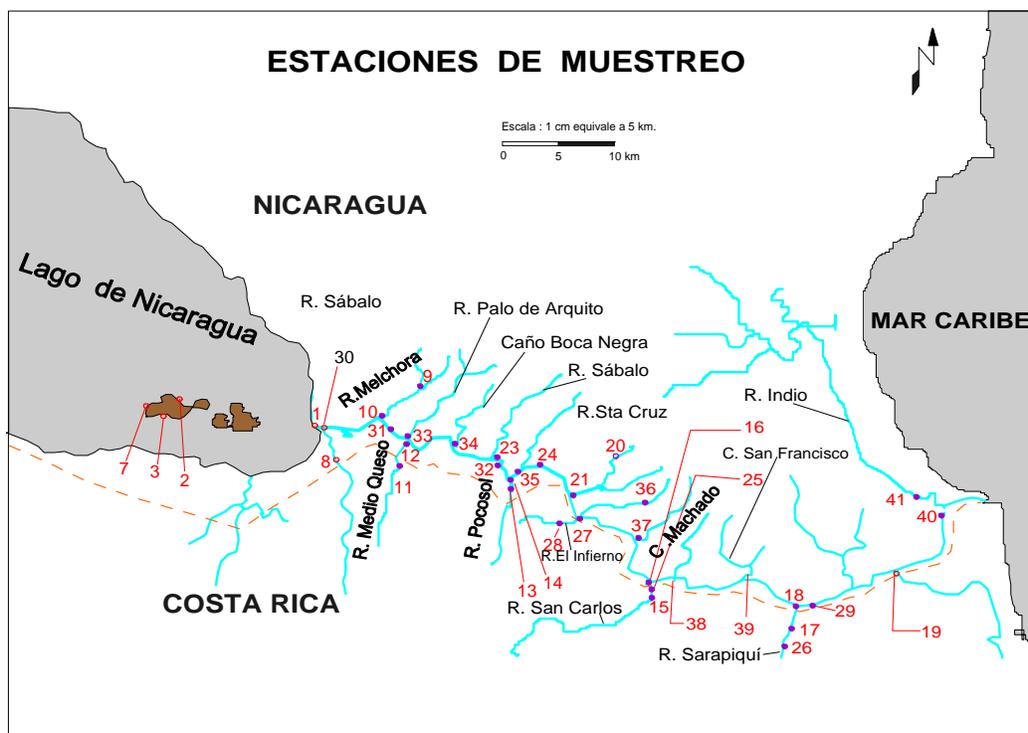


Fig. N° 1- UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO

Parte de lo anterior, se refleja en la caracterización del uso de plaguicidas en el sector nicaraguense de la cuenca del Río San Juan, realizado por López Medina, J. en 1995.

El presente estudio tiene como objetivo proporcionar un documento para mejorar el conocimiento sobre la problemática del Río San Juan y sus ríos tributarios, desde el punto hidroquímico, específicamente pretende identificar el ambiente formador de la hidroquímica del mismo, evaluar el nivel de contaminación antrópica y natural, así como evaluar algunas clasificaciones de uso del agua y su aplicabilidad al área de estudio.

MATERIALES Y METODOS

MATERIALES

Para recolectar las muestras se utilizó un Hidrocaptador Malchanov. Una vez captada la muestra se tomó la temperatura y se depositaron cuatro litros de agua en recipientes de polietileno. Con su posterior refrigeración en un termo con hielo. La muestra se utilizó para todos los análisis físico-químicos en agua, exceptuando DQO, amonio y nitrógeno total, los que se recolectaron en botellas de vidrio ámbar, preservándose con 1 mL de ácido sulfúrico concentrado y posterior refrigeración.

Las estaciones muestreadas en los ríos tributarios que desembocan a lo largo del Río San Juan. Del lado Nicaragüense, las estaciones son: Melchora (09), Palo de Arco (33), Boca Negra (34), Río Sábalo (22), Santa Cruz (35), Santa Crucita, Río Bartola (20), Río Sarnoso (36), Machuca (27), Quebrada las Cruces (37), Caño Machado (38), Río Indio (41) y Caño San Francisco (39). Del lado de Costa Rica las estaciones son: Río Medio Queso (12), Río Pocosol (14), Río Sarapiquí (17), Río San Carlos (15) y el Infierno (28) (Fig. N° 1).

METODOS

El trabajo de campo, consistió en el reconocimiento de la zona y las respectivas campañas de muestreo, la que comprendió 5 muestreos orientados al análisis físico-químico de las aguas del Río San Juan y sus ríos tributarios, 4 en la estación lluviosa (1989, 1992, 1993 y 1997) y uno en la estación seca (1994). Entre 1989 y 1997 se tomaron 44 muestras en la misma cantidad de puntos referidos a los tributarios del Río San Juan, en algunos puntos se hizo énfasis en muestrear antes, después y en la desembocadura de cada río tributario.

Entre los métodos de laboratorio utilizados están: Fotometría de llama, cromatografía iónica, espectrofotometría y métodos volumétricos, los que se utilizaron por ser métodos estandarizados y validados en el ámbito internacional de acuerdo al Standard Methods for the examination of Water and Wastewater.

Para determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA), se efectuaron nueve pruebas específicas: pH, Temperatura, Turbidez, Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales, DBO₅, Fósforo Total, Nitratos y Sólidos Totales.

Después de completadas estas nueve pruebas los resultados se registran y se transfieren a una gráfica de curva de peso donde se le asigna un valor numérico. El valor numérico o valor Q se multiplica para cada una de las pruebas por un factor de peso. Se suman los nueve valores nuevos para llegar al índice de calidad de agua (ICA). Los rangos y categorías del ICA, oscilan de 0 a 25 - muy malas, de 25 a 50 - mala, 50 a 70- mediana, de 70 a 90 - buena y de 90 a 100 en excelente.

Consideraciones técnicas para la aplicación del método en el área de estudio:

Debido a que no todos los puntos durante los diferentes años de muestreo en el río San Juan coincidieron y que no todos los parámetros necesarios para realizar el ICA fueron realizados, se seleccionó como uno de los muestreos más completos para dicho propósito el de 1997, también por que es el que demuestra el nivel de contaminación más reciente. Se determinó el ICA en 5 puntos de muestreo del año 1997 realizando algunas consideraciones teóricas debido a la falta de información de los parámetros de DBO₅ y de coliformes fecales necesarias para el estudio.

Según Metcalf y Eddy (1991), la DQO está directamente relacionada con los coliformes, se considera que el factor adecuado de peso para la DBO₅ es posible determinarlo sumando al factor de revisión del DBO (0.16) y el factor de revisión de los coliformes (0.11). Por otro lado para determinar la influencia de la materia orgánica, cuando toda la materia orgánica es biodegradable la relación DQO/DBO ≥ 5 por lo tanto se asume que **el valor de la DBO₅, sería igual al valor de la DQO dividido por cinco.**

Para establecer la debida clasificación del uso de las aguas del Río San Juan y sus ríos tributarios, se ha tomado como referencia la clasificación de uso del Brasil. De acuerdo a los usos agrícolas la metodología utilizada fue el Índice Relación de Absorción de Sodio (Índice SAR).

RESULTADOS Y DISCUSION

AMBIENTE FORMADOR DE LA HIDROQUIMICA DEL RIO SAN JUAN Y SUS RIOS TRIBUTARIOS.

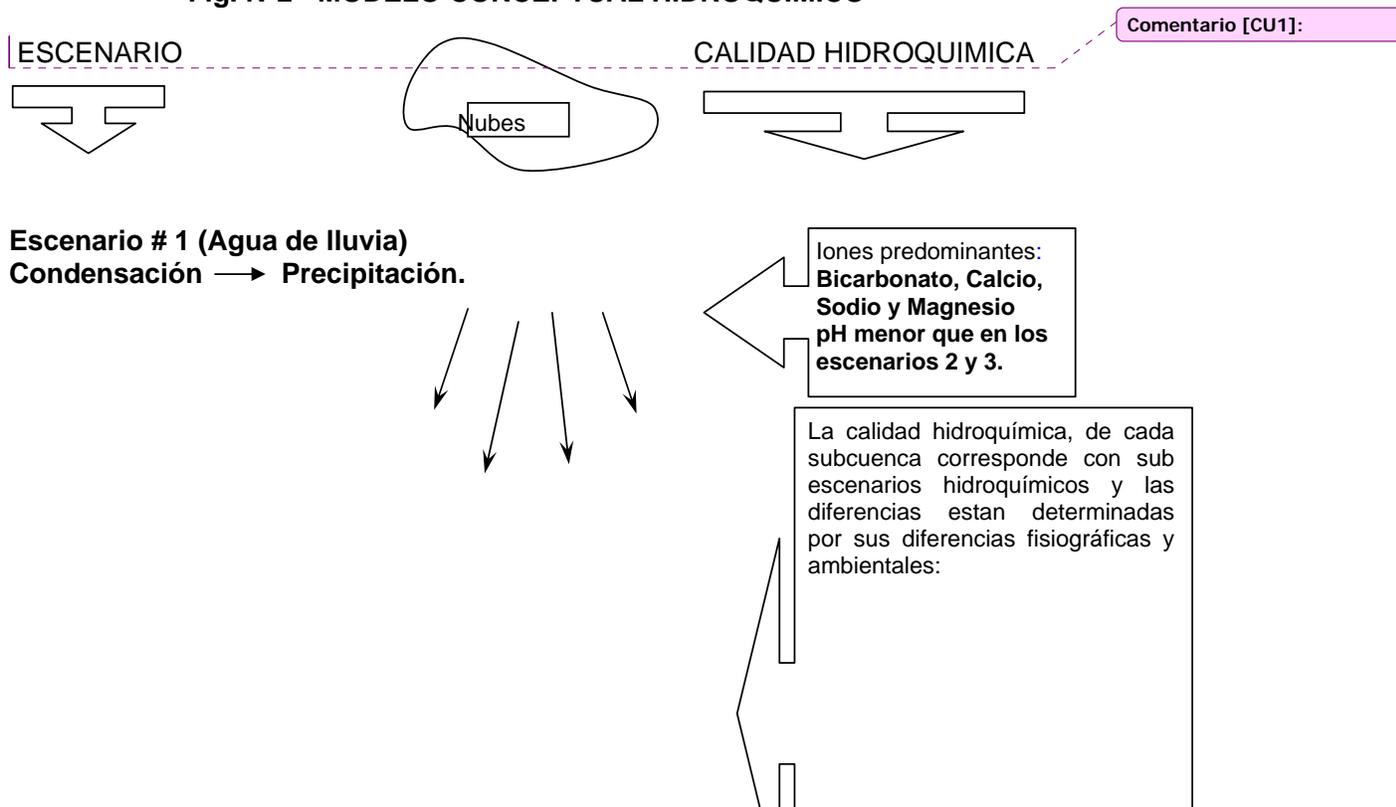
Origen de formación de los principales componentes hidroquímicos.

El comportamiento de los ríos desde el punto de vista hidroquímico, es en extremo dinámico e interdependiente no solo por el carácter lóxico, si no por la variedad de factores que inciden en los mismos a lo largo de su recorrido, desde el clima hasta la fisiografía, el uso del suelo y la biodiversidad de sus cuencas hidrográficas Wetzell, R., (1983). Dicha complejidad de factores se ha simplificado desde la óptica del Modelo Conceptual Hidroquímico. Como resultado del análisis de datos básicos, al nivel de cuenca hidrográfica se identificaron Tres Grandes Escenarios en los que se originan o se transforman nuevas especies químicas que se ilustran esquemáticamente en la siguiente figura. (Fig.Nº 2):

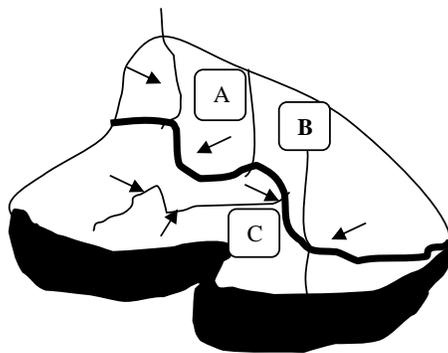
Identificación y descripción de escenarios hidroquímicos principales

El análisis de las características, comportamiento y tendencia de los principales componentes hidroquímicos, se aborda desde el contexto de **Escenario Hidroquímico**, éste se concibe como el espacio fisiográfico y ambiental asociado a las subcuencas o microcuencas que componen la cuenca del Río San Juan, cada una de las mismas refleja a través de la hidroquímica del río tributario las características de su pasado y su presente. A continuación se describen las características básicas de los escenarios hidroquímicos principales referidos en la fig. Nº. 2, donde se incluyen primero el escenario Nº 1 ó aéreo en el proceso de precipitación, el escenario Nº. 2 correspondientes a las subcuencas hidrográficas de las cuales se tienen datos, éstas representan los escenarios en los que se ha identificado una marcada heterogeneidad de condiciones que determinan la concentración de los principales componentes hidroquímicos, posteriormente el análisis de los mismos se asocia a los diferentes sub escenarios hidroquímicos A, B y C respectivamente.

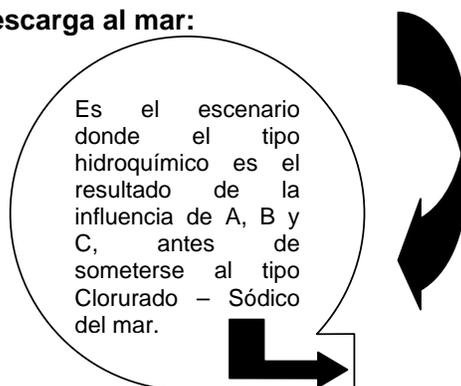
Fig. Nº2 - MODELO CONCEPTUAL HIDROQUIMICO



Escenario # 2 Cuenca Hidrográfica



Escenario # 3 Pre- descarga al mar:



Finalmente se identifica el escenario N° 3 y se asocia al producto de la interacción de los sub escenarios arriba indicados.

Escenario N°. 1: Corresponde a la primera etapa de formación de especies hidroquímicas que ocurren desde la conversión de la fase de condensación a la de precipitación en las cuales predominan los iones bicarbonatos, calcio, sodio y magnesio, donde el pH y la concentración de los iones indicados, son inferiores a la de los escenarios posteriores. Adicionalmente los sólidos totales disueltos normalmente son inferiores a 100.0 mg.L^{-1} y las aguas son ligeramente ácidas. En una primera apreciación las aguas en términos de salinidad son más dulces con relación a los escenarios 2 y 3, que se describen a continuación.

Escenario N°. 2: Sub escenarios - Subcuencas de la margen Izquierda del Río San Juan:

Sub escenario A - Modelo Conceptual Hidroquímico- Sub cuenca del río Sabalos: Esta subcuenca, desde el punto de vista de escenario hidroquímico es heterogénea y se divide en las microcuencas del Río Melchora, Río Palo de Arquito, Caño Boca Negra y Río Sabalos. Las diferencias son más notorias entre los escenarios específicos del Río Melchora y Río Sábalo, debido a la pluviosidad, grado de madurez de los suelos y pendientes topográficas, que aumenta hacia el Este donde se ubica el segundo (Río Sábalo). No se debe obviar que aunque ambos están en la misma zona de bosque húmedo tropical, el uso actual del suelo es un tanto diferente, la microcuenca del Río Melchora está mas

influenciada por actividad agropastoril, mientras que la del Río Sábalo por la agroforestal. La precipitación oscila de 1500 a 2500 mm/año.

Sub escenario B -Modelo Conceptual Hidroquímico-Subcuenca Río Bartola y Río Sarnoso: Consiste en un sub sistema dividido en las microcuencas de los Ríos Santa Cruz, Sta Crucita, Bartola, Sarnoso, Las Cruces, Machado, San Francisco y las zonas pantanosas de caño Sucio cerca del mar. Del Río Santa Cruz al Río Machado, la geomorfología está determinada por un sub sistema con relieve de plano a ondulado, los suelos son no muy profundos y moderadamente bien drenados originados de una matriz litológica terciaria de constitución básica a intermedia (litosoles), enriquecidos en calcio.

Siguiendo al Este los suelos son más profundos, oscuros, arcillosos con mayor contenido de materia orgánica que los anteriores y con drenaje imperfecto. Para todas las microcuencas el uso del suelo es predominantemente forestal con pluviosidad entre 2500 y 6000 mm/año, donde el incremento ocurre hacia el Este.

Sub-escenario C -Modelo Conceptual Hidroquímico- Subcuencas de la margen derecha del Río San Juan: Las subcuencas de ésta margen de la cuenca drenan principalmente desde el Norte de Costa Rica y son las microcuencas de los Río Pocosol, San Carlos, La Curena, Sarapiquí y Chirripó. En su conjunto aportan el 85 % del agua que drena al Río principal. Debido a que solamente se realizaron muestreos en los ríos Pocosol, el Infierno, San Carlos, y Sarapiquí, solo se hará referencia sobre los mismos. La precipitación oscila de 1500 a mas de 6000 mm/año.

En resumen la microcuenca del Río Medio Queso de la subcuenca del Río Pocosol es similar a la microcuenca del Río Melchora, por los tipos de relieve, drenaje y espesor de los suelos principalmente en la desembocadura, así mismo por la pluviosidad. No obstante difieren por el uso del suelo y por el área de influencia, siendo mayor la de Medio Queso, en cuya parte alta los suelos son más profundos, con mayores pendientes y moderadamente bien drenados.

Las demás microcuencas de las subcuencas referidas, tienen en común mayor longitud de toda la red hidrográfica, en las partes altas las pendientes varían de ondulado a moderadamente escarpado con suelos profundos, mientras que en las partes bajas las pendientes son planas, suelos más profundos y con mayor contenido de materia orgánica. La pluviosidad también se incrementa hacia el Este, el uso del suelo es forestal, de humedal y pantanos en su parte más oriental. La parte Este de la subcuenca del Río Pocosol, la del Río San Carlos y la del Sarapiquí, se distinguen por estar influenciada en el presente por actividad volcánica del Póas, Barva y arenal, que amenazan constantemente expulsando material piroclástico y cenizas.

Escenario N°. 3: El escenario hidroquímico N°. 3, se corresponde con el resultado de la interacción de los sub escenarios A, B y C. En dicho escenario convergen los efectos de todos los procesos y/o factores ilustrados en el escenario N°. 2 y es la antesala donde las aguas dulces de los ríos de la cuenca del Río San Juan se someten al efecto de salinización del tipo hidroquímico Clorurado-Sódico.

Características, comportamiento y tendencia de los principales componentes hidroquímicos en el Escenario N°. 2 –Sub cuencas hidrográficas del Río San Juan.

Dado que el origen de formación y procesos principales hidroquímicos ocurren en el escenario N°. 2, se ha hecho énfasis en el análisis del mismo, representado por los siguientes factores: tipos genéricos y uso del suelo, pendientes topográficas, pluviosidad, materia orgánica, organismos,

tiempo relativo de recorrido, vulcanismo y efecto marítimo; que la influencia de cada factor en cada componente hidroquímico es variable, resulta conveniente aplicar el proceso de interpretación de acuerdo a la interrelación de componentes hidroquímicos y de factores o procesos que ocurren en cada escenario hidroquímico (Ver modelo conceptual hidroquímico).

Los niveles de acidez (pH) y su relación con varios componentes como el HCO_3 , CO_3 , Ca, Mg, Na, y K, han sido relevantes para concluir sobre el comportamiento y tendencias de los mismos, así como del grado de dureza y alcalinidad de las aguas, otro elemento de juicio ha sido la turbidez. El análisis de factores por componente hidroquímico, como el hierro y el sulfato, ha sido importante en especial para el caso del Río Sarapiquí.

Caracterización hidroquímica del Río San Juan y sus ríos tributarios:

En términos generales, se observa una tendencia espacial y temporal hacia el incremento de los principales componentes hidroquímicos, tales como: pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, calcio, magnesio, sodio, cloruro, bicarbonato, hierro, alcalinidad, dureza, entre otros. Un resumen de las principales características físico-químicas se ilustra en la tabla N^o. 1, en donde por cada año, los promedios obtenidos se estimaron de entre 10 y 18 puntos muestreados.

Análisis de comportamiento y tendencias de los componentes hidroquímicos del Río San Juan y sus ríos tributarios. - Salinización:

La concentración de los iones en los diferentes escenarios indicados en el Modelo Conceptual Hidroquímico, aún dentro del rango de agua dulce, tiene un comportamiento con tendencia hacia el incremento de la salinización, donde las diferencias se marcan por las características arriba indicadas. En la tabla N^o. 2, se observa el efecto de dilución por el incremento del caudal desde aguas arriba hasta la desembocadura en un mismo río, lo mismo que al comparar los caudales entre el Río Melchora y Sábalo siendo mayor el último, también se indica la relación inversamente proporcional entre los Sólidos Totales Disueltos (STD) y la Turbidez, con menor caudal tenemos mayor STD y menor Turbidez mientras que con mayor caudal ocurre lo contrario, el mismo efecto se observa en el río principal (Delta).

Tabla N^o. 2 Relación de la concentración de componentes hidroquímicos y caudal de los diferentes puntos en un mismo río tributario (1997).

	HCO_3	pH	Alcal.Total	STD	Turbidez	Caudal
Río Melchora						
Desembocadura	151.24	7.25	123.95	168.00	3.2	Menor Mayor
Después	96.89	7.68	79.40	132.00	18.5	
Río Sábalo						
Desembocadura	121.57	7.75	99.60	141.00	3.7	Menor Mayor
Después	102.00	8.26	84.15	137.00	18.5	
Delta-R.Sn Juan	62.23	8.02	51.00	110.00	22.0	>>caudal que los afluentes

Nota: HCO_3 , Alc. Total, STD en mg.L^{-1} , Turbidez- UNT, pH- Unidades de pH

Parece ser que la misma relación se establece entre el HCO_3 y el pH, sabiendo que el caudal depende de la pluviosidad. De acuerdo a Ramón Margalef (1983),

en aguas lólicas el flujo o caudal tiene una relación directa con la dilución e inversa con la concentración tal y como ocurre en el Río San Juan y sus tributarios.

Las concentraciones de bicarbonato dependen del grado de pluviosidad y es inversamente proporcional al factor que influye en la presencia de cloruros. En zonas cercanas al mar la presencia de bicarbonatos debería reducirse e incrementarse los cloruros, adicionalmente se supone que en la descarga (al Este del punto # 19 Delta) el tiempo de recorrido también es un factor de incremento, no obstante la concentración de cloruro (8.7 mg.L^{-1}), es menor que en los ríos Melchora y Sábalo con 13.7 y 14.8 mg.L^{-1} respectivamente en 1997 localizados al Oeste de la cuenca del Río San Juan.

Tabla N°. 1 Principales componentes hidroquímicos

VALORES DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES HIDROQUÍMICOS DE LOS RÍOS																
DEL RÍO SAN JUAN																
Año	Valor	STD mg.L^{-1}	CE $\mu\text{S/cm}$	PH Unde s	Turb. UNT	Ca mg.L^{-1}	Mg mg.L^{-1}	Na Mg.L^{-1}	K mg.L^{-1}	Fe mg.L^{-1}	Cl Mg.L^{-1}	HCO ₃ mg.L^{-1}	SO ₄ mg.L^{-1}			
1989	Min.	26.43	35.00	6.20	4.10	1.72	0.52	2.80	0.50	0.43	1.93	10.86	0.70			
	Max.	97.42	136.00	7.16	280.00	12.06	8.36	9.20	2.30	3.45	8.68	60.59	31.70			
	Prom.	55.60	70.61	6.73	56.56	5.54	2.82	4.81	1.13	1.56	5.63	29.83	3.70			
1992	Min	47.43	50.00	7.11	17.00	9.47	1.92	5.70	1.67	1.35	5.55	16.77	11.17			
	Max	96.93	109.00	7.31	150.00	15.08	4.68	6.50	2.00	17.47	6.96	51.78	19.08			
	Prom.	80.27	100.48	7.21	49.60	5.17	3.21	3.50	1.10	5.41	3.97	21.32	3.67			
1993	Min	27.32	31.80	6.60	100.00	2.76	0.48	2.60	1.54	0.67	2.49	16.17	4.20			
	Max.	178.00	213.00	7.42	220.00	21.74	7.91	12.00	7.11	3.83	8.39	124.78	26.67			
	Prom	82.46	104.89	7.11	149.38	9.04	3.63	6.78	1.64	1.80	4.90	62.73	4.20			
1994	Min.	56.57	207.65	7.32	0.68	5.16	1.92	6.75	1.20	0.20	3.96	14.47	0.64			
	Max	284.47	392.00	8.62	400.00	38.49	13.4	19.76	4.00	4.46	17.01	182.39	38.64			
	Prom	141.65	207.65	7.86	164.07	15.69	6.04	14.65	2.84	1.29	12.47	73.61	11.10			
1997	Min.	92.00	143.90	7.25	1.70	11.86	3.35	11.00	2.00	0.33	3.86	62.23	2.23			
	Max.	168.00	262.00	8.26	22.60	26.46	9.46	20.00	3.60	2.86	14.84	151.24	20.32			
	Prom.	125.43	202.78	7.83	11.50	18.22	5.98	15.49	2.83	1.20	10.26	99.81	8.32			

De acuerdo a las evidencias arriba indicadas, la explicación más aceptable es el encuentro de los factores mencionados y la influencia de la pluviosidad que se incrementa hacia el Este de la cuenca referida, reflejándose en el caudal y en el aporte de todos los tributarios (factor de dilución). Un indicador del incremento de la salinidad, se sintetiza en el promedio de la concentración de los sólidos totales disueltos, que de 1989 a 1997 variaron de 55.6 a 125.43 mg.L⁻¹(tabla N ° 1) respectivamente aunque en todos los Sub-escenarios, el factor arriba indicado es determinante, la **salinidad es relativamente estable** debido al factor de dilución.

Una técnica muy útil para corroborar el proceso de salinización del Río San Juan, ha sido el análisis de relación de iones Cl / HCO₃ el que indica la tendencia hacia la salinización o mineralización de agua, Apello y Postma, (1992) y Custodio E., (1984). Como resultado se obtuvo que, la relación de iones indicada, sugiere que dicha estabilidad se refiere a los puntos que oscilan entre 0.145 y 0.233, al tiempo que se detecta cierto incremento de la salinidad en los puntos N^{os}. 15, 17 y 18, del Sub-escenario 2 C que varía entre 0.302 y 0.436. Por las características mencionadas probablemente se deba al efecto de la actividad volcánica. En la tabla N^o. 3, se encuentra un resumen sobre la relación de puntos representativos en los Sub-escenarios A, B y C (modelo conceptual hidroquímico).

Tabla N^o. 3. Estimación de la relación Cloruro/Bicarbonato.*

Puntos	1989	1992	1993	1994	1997	Promedio
P # 9 Melchora	-	-	0.101	0.156	0.244	0.167
P.# 10 Melchora	0.478	-	0.157	0.231	0.233	0.275
P # 23 Sábalo	0.378		0.216	0.244	0.093	0.233
P # 22 Sábalo	-	0.239	0.102	0.093	-	0.14 5
P # 15 San Carlos	-	0.176	0.233	0.498	-	0.302
P # 16 San Carlos	-	0.242	0.173	0.365	-	0.260
P # 17 Sarapiquí	-	0.459	0.317	0.532	-	0.436
P # 18 Sarapiquí	0.707	-	0.205	0.377	-	0.429
p # 20 Bartola	0.115	-	0.112	0.359	-	0.195
p # 26 Sarapiquí				0.877		

(*): Valores adimensionales

Intercambio catiónico del Río San Juan y sus tributarios con el tipo de suelo.

El intercambio catiónico, puede tener lugar en los diferentes Sub-escenarios indicados, por las condiciones de predominio de suelos arcillosos de origen volcánico, existencia de planicies con suelos saturados principalmente el sector Este y la marcada influencia del sistema de recarga-drenaje desde la margen derecha del Río San Juan. Esta última se refiere a que la recarga comienza desde cotas entre 500 y 2000 m.s.n.m donde predominan aguas con alto contenido de calcio, magnesio y bajo en sodio, por lo que éstas aguas a medida que descienden en contacto con suelos arcillosos caoliníticos, montmorilloníticos y húmicos, la posibilidad de intercambio catiónico es mayor en especial con los dos últimos tipos de arcilla, Fetter, C.W., (1993). No obstante una limitante podría ser el tiempo de permanencia o de contacto, que por ser aguas meteóricas es bastante corto.

El índice de relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, puede indicarnos el tiempo relativo de recorrido del agua, el que comparado con el tipo de suelos nos orienta sobre la posibilidad de intercambio catiónico. En la tabla N^o. 4, se presenta la relación calcio/magnesio (Ca/Mg), el cociente como índice hidroquímico, en casi todos los Sub-escenarios, se mostró por encima de la unidad, típico de aguas meteóricas, valores menores o mucho mayores podrían indicar mayor o menor tiempo de recorrido, Custodio, E., (1984), lo que podría ser un indicador de la posibilidad de intercambio catiónico. En el Sub-escenario A, se encuentran los valores más bajos de índice Ca/Mg, oscilando entre 0.25 y 1.73. Valores intermedios entre 1 y 2 se encuentran en el Sub-escenario B, mientras que en el Sub-escenario C, la variación es mayor, es decir, entre 0.72 y 8.29.

Tabla N^o. 4. Relación Calcio/Magnesio de las aguas del Río San Juan y sus ríos tributarios.

Ríos	# de Código año:		INDICE Ca/Mg					Prom.
	89,92,93,94	97	1989	1992	1993	1994	1997	
Des. R. Melchora	9	SJ6	---	---	1.67	1.73	1.7	1.65
R. Melchora	10	SJ7	1.50	---	1.56	1.6	1.43	1.52
Des. R. P. Arquito	33		0.25	---	---	---	---	---
Río Medio Queso	11		---	---	5.05	8.29	---	---
Des. R. Sta Cruz	35	SJ14	2.50	---	---	---	3.36	---
Des. R. Medio Queso	12		---	---	1.41	1.34	---	---
Río Pocosol	13		---	---	1.11	1.29	---	---
Des. R. Sarnoso	36		1.80	---	---	---	---	---
Des. R. Pocosol	14		---	---	1.30	1.52	---	---
Des. C. Machado	38	SJ23	1.99	---	---	---	1.66	
R. San Carlos	15		---	3.01	1.54	1.50	---	2.02
Des. R. San Carlos	16		---	1.40	1.07	1.39	---	1.29
R. Sarapiquí	17		---	0.72	1.00	1.43	---	1.03
Des. R. Sarapiquí.	18		1.75	---	1.23	1.47	---	1.49
Delta	19	SJ16	---	1.23	---	1.26	---	---
R. Bartola	20		---	---	1.51	1.64	---	---
Des. R. Bartola	21		1.0	---	1.87	1.50	---	1.46
R. Sábalo	22		---	2.00	1.58	2.11	---	1.90
Des. R. Sábalo	23	SJ10	0.6	---	1.36	1.63	2.08	1.42
El Castillo	24		---	4.76	1.47	---	---	---
Des. C. S. Francisco	39		0.99	---	---	---	---	---
R. San Carlos	25		---	---	---	1.46	---	---
Río Machuca	27		---	1.86	---	---	---	---
Río El Infierno	28		---	2.25	---	---	---	---
R. San Juan 200m.	29		---	1.01	---	---	---	---
Des. Río Sarapiquí								

Observaciones : Promedios- únicamente puntos coincidentes, con 3 datos o más.

En general los Sub-escenarios A y B evidencian mayor posibilidad en la ocurrencia de intercambio catiónico, el Sub-escenario C presenta matices singulares ya que se registra mayor rango de variación. Es interesante observar, que en la microcuenca de la desembocadura Río Sábalo del año 89 Sub-escenario A, el catión predominante fue el magnesio, seguido del calcio y del sodio. La relación Ca/Mg en este año fue baja (0.6) lo que nos revela que el agua es relativamente antigua y da lugar a la posibilidad del intercambio catiónico, en los años siguientes se detecta un predominio del calcio y del sodio casi en igual proporción, aunque en el río predomina el calcio. Es importante mencionar que en el Río Palo de Arquito en el año 89 (único muestreo), el catión predominante es el magnesio y la relación Ca/Mg es relativamente baja (0.25) donde el tipo de suelos es similar al del Río Sábalo. En el **Río Bartola** (Sub-escenario B), el comportamiento es similar al Río Sábalo, en su desembocadura el catión predominante es el sodio.

En cuanto a la relación de los Sub-escenarios A y C, el contraste se da principalmente entre el Río San Carlos, Sarapiquí y Sábalo. En éstos, la posibilidad de intercambio catiónico es mayor principalmente cerca de la desembocadura aunque el calcio aumenta y sodio disminuye (fig. N^o. 3), aquí la relación calcio/magnesio varía entre 0.7 y 1.07. En las estaciones o puntos de muestreo de aguas arriba para todos los ríos el recorrido es bastante rápido por las pendientes y el drenaje, lo que probablemente no permite el enriquecimiento de sodio en el agua, consecuentemente la relación Ca/Mg es más alta y alcanza su pico para las condiciones de la parte alta en la microcuenca del Río Medio Queso, éste muestra índices entre 5.05 y 8.29 para 1993 y 1994 respectivamente.

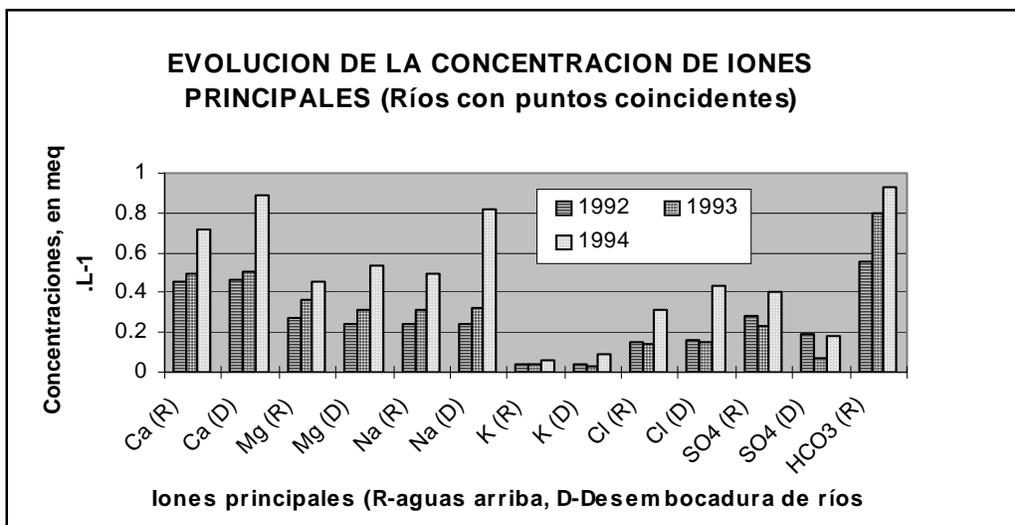


Fig. N^o 3 – Evolución de la concentración de iones principales en los ríos San Carlos, Sarapiquí y Sábalo con puntos coincidentes

En términos generales, tanto las condiciones de salinización como de intercambio catiónico determina el tipo hidroquímico del agua y siguen la siguiente tendencia en la dirección en que los dos procesos mencionados se vuelven importantes: tipos, **Bicarbonato-Magnésico-Cálcico Bicarbonato-Cálcico-Magnésico Bicarbonato-Cálcico Bicarbonato-Cálcico-Sódico Bicarbonato-Sódico**, la transformación que implique el cloruro o el sulfato involucraría factores adicionales, marítimos o volcánicos, antropogénicos etc. Por otro lado vale comentar, que todos los Sub-escenarios A, B y C correspondientes al incremento o disminución de los componentes del ciclo del nitrógeno (nitrate, nitrito, amonio), presentan una homogeneidad considerable a la que aparentemente los organismos son indiferentes a dichas concentraciones (Pacheco L., Show N.,-comunicación personal 1998), no obstante todo hace suponer que aunque existen fuentes principalmente de origen humano/animal, el patrón controlador lo determina el poder de dilución del caudal del Río San Juan. Aunque por las condiciones naturales y uso del suelo se evidencia a partir de las concentraciones de fósforo, cierto nivel de eutrofización.

Las posibles fuentes de hierro en los Sub-escenarios hidroquímicos

Aunque todos los sub-escenarios tienen fuentes importantes de hierro, dadas las condiciones detectadas, el sub-escenario C, podría ser el más importante. El hierro total expresado como la sumatoria de Fe^{2+} y Fe^{3+} , específicamente para la región del Río San Juan, en la mayoría de los puntos de casi todos los muestreos realizados en 1989, 1992, 1993, 1994 y 1997 presenta concentraciones elevadas, la mayoría por encima de la norma de la OMS (Organización Mundial de la salud) equivalente a 0.3 miligramos de hierro por litro de agua.

Los ríos tributarios, Sarapiquí y San Carlos son los que presentan las mayores concentraciones con promedios en todos los años muestreados de 6.45 y 2.48 $mg.L^{-1}$ respectivamente, cabe mencionar que los valores mas altos reportados fueron en estos ríos en el año 1992 con un valor de 17.47 y 14.70 $mg.L^{-1}$ respectivamente, mientras que las menores concentraciones corresponden a los ríos Melchora, Pocosol y Medio Queso con 0.73, 0.2 y 0.3 $mg.L^{-1}$ respectivamente, los valores mínimos para éstos ríos se observaron en la época menos lluviosa.

Las causas podrían radicar en varias fuentes, entre las cuales se puede mencionar la intemperización de las rocas volcánicas básicas, el correspondiente arrastre de sedimentos (suelos del mismo origen), influencia volcánica en conexión con el Río Sarapiquí el cual nace en las faldas del volcán Poás y Barva en Costa Rica (mapa geológico de Costa Rica). También la presencia de bacterias ferrosas en suelos saturados y en planicie / pantanosa con alto contenido de materia orgánica.

Según Wetzel R., (1981), otro indicador es el pH neutro o mayor de 7, siendo el ambiente propicio de las bacterias ferrosas, tal cual son las condiciones principalmente del sector Este del Río San Juan. Los factores arriba ilustrados, podrían tener diferentes niveles de incidencia de acuerdo a las características físico-geográficas y ambientales de cada río tributario. De acuerdo al grado de madurez de los suelos que aumenta hacia el Este del área de estudio, en la misma dirección del incremento de la precipitación, el alto nivel de saturación de los primeros así como de la concentración en el contenido de materia orgánica, se presume que la presencia de bacterias ferrosas y el arrastre de sedimentos expresado en la turbidez (>200 UNT), son los factores predominantes que reflejan la alta concentración de hierro total en los puntos muestreados en el sector Este (Río Sarapiquí, Río San Carlos).

El Hierro y su relación con el Sulfato.

No se descarta que el factor volcánico/alteración hidrotermal (Río Sarapiquí), tenga cierta importancia por la oxidación del mineral llamado pirita, en el que se produce además de Fe^{2+} , el SO_4^{2-} , (3.54 y 38.64 mg.L⁻¹ respectivamente en 1994), donde la reacción básica es $FeS_2 + Fe^{3+} + H_2O \leftrightarrow Fe^{2+} + SO_4^{2-} + H^+$, consecuentemente el tipo hidroquímico pasa a ser Sulfato – Cálculo con fuerte contaminación por hierro (tabla N°1) que posiblemente se deba a la suma del aporte hidrotermal, de la intemperización, de las bacterias del hierro y finalmente del arrastre de sedimentos, se estima que la fuente principal es la primera.

NIVEL DE CONTAMINACION DEL RIO SAN JUAN Y SUS AFLUENTES.

El nivel de contaminación desde una óptica general se puede abordar de la siguiente manera: a.- Fuentes de contaminación que a su vez se subdividen en fuentes de puntos de contaminación y fuentes sin punto de contaminación; b.- Tipo de contaminantes al que le corresponde: contaminación natural, industrial, urbana, agropastoril y accidentales, Mittchel, Mark K., (1991). En tabla N°. 5 se resume el detalle de los mismos.

Tabla N°. 5. Fuentes y tipos de contaminación.

Categoría y/o Tipo	Fuentes de contaminación según la entrada al río	Tipos de contaminantes
Fuente de punto de contaminación	Es un desecho que proviene de una pipa de flujo externo específico.	-
Fuente sin punto de contaminación	Es cualquier corriente de agua que fluye sobre las tierras arrastrando contaminantes	-
1.- Contaminación natural	-	Es causada por lluvias y escurrimiento superficial, salinización, descomposición de vegetales y animales muertos.
2.- Contaminación Industrial	-	Son residuos líquidos generados en los procesos industriales de papel y celulosa, refinerías de petróleo, ingenios, mataderos, textiles, etc.
3.- Contaminación Urbana	-	Proviene de los desechos domésticos lanzados directa o indirectamente en los cuerpos de aguas .
4.- Contaminación Agropastoril	-	Procede de actividades ligadas a la agricultura y a la pecuaria a través de defensivos agrícolas, fertilizantes, plaguicidas, excrementos de animales y erosión.

De acuerdo a lo indicado y como rasgo general de nivel de contaminación, **la cuenca del Río San Juan se ve afectada principalmente por las fuentes sin punto de contaminación** debido al arrastre de sedimentos causada por las lluvias, también esta afectada por los **tipos de contaminación natural, urbana y agropastoril**. Cabe mencionar que una fuente importante de contaminación es la deforestación la que es más significativa del lado Costarricense, que aunado al tipo de pendiente y drenaje produce una fuerte erosión de suelos y turbidez en el agua, el estudio "Diagnóstico integral de la cuenca del Río San Juan, 1996", indica que la tasa de arrastre de sedimentos se encuentra en el orden de los 817 ton/km²/año.

INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

Tabla N°. 6: ICA- Desembocadura Río Melchora

Parámetros	A	B	C	D
	Resultados	Valor de Q	Factor de Rev.	Total
Oxígeno Disuelto % saturación	27.00	25	0.17	4.25
pH unidades	7.25	92	0.11	10.12
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	10.98	32	0.27	8.37
Temperatura (°C)	30.20	10	0.10	1.0
Fosfato Total (mg.L ⁻¹)	0.071	97	0.10	9.7
Nitratos (mg.L ⁻¹)	< 0.05	100	0.10	10.0
Turbidez (UNT)	3.20	88	0.08	7.04
Sólidos Totales (mg.L ⁻¹)	186.00	74	0.07	5.18
Indice de calidad de agua:				
55.66				

Se procedió de igual manera, para los ríos Machado, Sta Cruz, Sábalo y Delta obteniéndose como resultado valores ICA de 72, 76, 70 y 70.43 respectivamente. Según el ICA, se puede decir que solamente en la desembocadura del Río Melchora probablemente debido al factor de bajo caudal (217 l/seg), donde las concentraciones de los contenidos se encuentran más concentrados, el agua resultó ser de mediana calidad, esto induce a decir que este mismo factor brinda las condiciones necesarias para la proliferación de organismos, Margalef, R., (1983). Para el área de estudio se refleja claramente en el bajo % de saturación de oxígeno y en el bajo % de nitratos. Para los otros cuatro puntos el ICA resultó ser de calidad buena.

EVALUACION DE LA CLASIFICACION DE USOS DEL AGUA DEL RIO SAN JUAN Y SU RED TRIBUTARIA.

Usos preponderantes del Río San Juan y sus ríos tributarios.

La calidad de un agua se define por su composición, y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de los componentes que contiene el conjunto de todos ellos, permite establecer las posibilidades de su utilización, clasificando así de acuerdo con los límites estudiados, su destino para bebida, usos agrícolas, industriales, etc. Como resultado de la evaluación del agua y sus usos preponderantes en la tabla N° 7, se muestran las diferentes clases y destinos específicos de usos.

Tabla N° 7. Usos preponderantes – Aguas dulces.

CLASE	Aguas destinadas:
ESPECIAL	a) al abastecimiento domestico sin previa o con simple desinfección; b) a la preservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas.
1	a) al tratamiento domestico después de un tratamiento simplificado; b) a la protección de las comunidades acuáticas; c) a la recreación con contacto primario (natación, esquí acuático y buceo); d) a la irrigación de hortalizas que son consumidas crudas y de frutas que se desarrollan en contacto con el suelo y que sean ingeridas crudas sin quitarles la cascara. e) al criadero natural y/o intensiva acuicultura de las especies destinadas a la alimentación humana.
2	a) al abastecimiento domestico después de un tratamiento convencional; b) a la protección de las comunidades acuáticas; c) a la recreación de contacto primario (esquí acuático, natación y buceo); d) a la irrigación de hortalizas y plantas fructíferas; e) al criadero natural y/o intensivo (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana.
3	a) al abastecimiento domestico, después de un tratamiento convencional; b) a la irrigación de cultivos arbóreos, cerealíferas y forrageras; c) a la desedentación de los animales
4	a) a la navegación; b) a la armonía paisajística; c) a los usos menos exigentes

Fuente: Norma Brasileña (1986).

Para cada una de estas clases existen límites y/o condiciones, restringiendo el uso de las aguas. En la presente evaluación se clasifican las aguas desde el punto de vista físico-químico tomando en cuenta solamente los parámetros organolépticos, físicos y químicos de los años muestreados, dichos resultados se ilustran en la tabla abajo indicada, la que nos permite concluir que se clasifica en **CLASE 4** al Río San Juan y a los tributarios: Río Melchora, San Carlos, Sarapiquí, Bartola, Sábalo, El Infierno, Machuca, Santa Cruz y Santa Crucita, los que no cumplen ciertos parámetros para optar a la clase 3 ya que superan los límites de Turbidez (hasta 100 UNT), hierro soluble (5 mg/l), fósforo total (0.025 mg P/l).

Los ríos Medio Queso, Pocosol, Palo de Arquito, Sarnoso, Quebrada Las Cruces, Río Indio, Caño San Francisco, y Caño Sucio se clasifican en **CLASE 3**. Por lo anterior se concluye que las aguas del Río San Juan de acuerdo a la metodología aplicada no pueden ser utilizadas para uso doméstico aún después de someterlas a un tratamiento convencional, solamente los tributarios clasificados en **clase 3** pueden ser utilizados para este uso, únicamente después de un tratamiento convencional. Por otro lado si se toman en consideración los valores guías establecidos por la Organización Mundial de la Salud para aguas de uso potable nos confirma que el Río San Juan no puede ser utilizado para uso doméstico.

Tabla N°.8 Parámetros que restringen los usos del agua, norma Brasileña (1986).

Puntos de muestreo	Turbidez (UNT)	Hierro Total (mg/l)	Aceites y Grasas * (mg/l)	Fósforo Total** mg/l	CLASE DE USO
	Media	Media		Media	
Río Melchora	95.34	0.795	*	0.048	4
Desemb.Río Melchora	83.30	0.670	*	0.047	3
Río Medio Queso	88.00	1.27	*	0.024	3
Desembocadura Río M. Queso	170.00	0.78	*	0.027	4
Río Pocosol	99.35	1.33	*	0.025	3
Desembocadura Río Pocosol	165.00	0.96	*	0.025	
Río San Carlos	148.75	5.22	*	0.095	4
Desembocadura Río San Carlos	105.66	1.63	*	0.033	
Río Sarapiquí	217.50	6.95	*	0.081	
Desemb.Río Sarapiquí	142.67	2.54	*	0.045	
Delta / Río San Juan	149.53	3.40	*	0.102	
Río Bartola	78.90	0.635	*	0.035	
Desemb. Río Bartola	138.33	0.953	*	0.017	
Río Sábalos	81.33	1.01	*	0.043	
Desembocadura Río Sábalos	91.23	0.83	*	0.046	
Desembocadura R. Palo de Arquito	82.00	2.17	*	**	
Desembocadura Caño Boca Negra	280.00	3.17	*	**	4
Río Machuca	32.00	2.56	*	0.052	
Río El Infierno	73.00	6.30	*	0.034	
Desembocadura Río Sarnoso	31.00	1.06	*	**	3
Desembocadura Quebr. Las Cruces	45.00	1.06	*	**	3
Desembocadura Río Machado	14.65	0.925	*	0.089	4
Desembocadura Caño San Fco.	15.00	0.77	*	**	3
Desembocadura Caño Sucio	7.8	1.10	*	**	
Río Indio cerca de Sta. Rosa	18	0.98	*	**	
Desembocadura Río Sta. Crucita			5.75		4
Desembocadura Río Sta. Cruz	29.00	0.895	5.00	0.077	
Río Sta. Cruz Después			7.80		
Río Sta. Cruz Arriba			7.10		

CLAVES: * Parámetro analizado en el año de 1997 y solamente para el Río Sta. Cruz y Sta. Crucita. ** Parámetro que no fue analizado en 1989.

Evaluación del Río San Juan y sus ríos tributarios según el uso de riego.

Clasificación de la U.S. Salinity Laboratory Staff. (Índice SAR).

De acuerdo al **Índice SAR**, las aguas del Río San Juan son aguas de buena calidad y pueden ser utilizadas para irrigación sin temor de llegar a la salinización del suelo por su bajo contenido de sales disueltas. Para todos los puntos de muestreo la clasificación obtenida fue **C1 - S1**, a excepción del Río Melchora (09) que presentó clasificación **C2 - S1**. A través de lo anterior se puede concluir que el Río San Juan no presenta limitaciones para la irrigación, pudiéndose utilizar sin temor de alcanzar la salinización o alcalinización del suelo. Considerándose como un agua de muy buena calidad para este fin, adicionalmente el Boro y el Carbonato Sódico Residual (RSC) también se encuentran dentro de los límites permisibles.

CONCLUSIONES.

- 1) Del análisis de los procesos de salinización e intercambio catiónico, se observa una relativa estabilidad en el incremento de la salinización del agua del Río San Juan y sus ríos tributarios, influenciado principalmente por el poder de dilución del caudal del río principal. Aunque dentro del rango de aguas dulces, de 1989 a 1997 los sólidos totales disueltos como indicador de la salinidad se incrementaron en 2.3 veces. Mientras que, sí se observa tendencia al incremento desde aguas arriba hasta la desembocadura de los ríos tributarios, principalmente en los ríos Medio Queso, Pocosol y Sarapiquí. La tendencia también presenta un incremento temporal.
- 2) El intercambio de iones de calcio por sodio, no es muy relevante por causa del relativo corto tiempo de contacto entre el agua y los suelos arcillosos, sin embargo se observa con mayor incidencia cerca de las desembocaduras, en suelos planos arcillosos y poco drenados.
- 3) Dada las condiciones de los procesos de salinización y de intercambio catiónico, el tipo hidroquímico de Bicarbonato-Cálcico y Bicarbonato-Cálcico- Magnésicos, predominan sobre las del tipo Bicarbonato-Sódicos. El incremento de calcio, magnesio y de las especies carbonatadas bajo la influencia del pH, se reflejó en aumento de la dureza y alcalinidad respectivamente, principalmente en el río Melchora, que se elevaron más de tres veces de 1989 a 1997.
- 4) Las altas concentraciones de hierro, en términos generales esta determinado por el arrastre de sedimentos, intemperismo, contenido de materia orgánica y efecto volcánico. Este último posiblemente sea la causa mas importante en las altas concentraciones detectadas en los ríos San Carlos, Sarapiquí y Delta.
- 5) Los niveles de concentración de fósforo indican un aparente proceso de eutofización.
- 6) Del análisis sobre el potencial de contaminación del agua y de los usos preponderantes, parece ser que está limitada en cuanto al uso potable, salvo en algunas excepciones de ríos tributarios que requieren cierto nivel de tratamiento, no obstante presenta buenas condiciones para el uso de riego, navegación y recreación.

RECOMENDACIONES.

- 1- Diseñar una estrategia de monitoreo o muestreo dirigido que enfatice en:
 - a) Puntos Coincidentes relativos a los años anteriormente muestreados e incluya los ríos situados al Este (cerca de la desembocadura al mar).
 - b) Incluir análisis de bacterias ferrosas y bacterias sulfato-reductoras.
 - c) Levantar un inventario de los recursos hídricos subterráneos.
- 2- Elaborar estrategias que vayan dirigidas a un plan de manejo del uso de los suelos para evitar la erosión y posterior sedimentación en el Río San Juan.
- 3- Dentro de un Plan de Ordenamiento Territorial y Ambiental, evitar que los efluentes domiciliarios en la medida de lo posible lleguen al Río San Juan.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. Apello & Postman. 1992. Hidrogeochemistry. Amsterdam, Holanda.
2. Catastro –Inventario de los Recursos Naturales. 1972. Estudio Edafológico. Managua.
3. Custodio, E. 1984. Calidad del agua subterránea. Sec. 18, España.
4. Diagnóstico Integral de la cuenca del Río San Juan. 1996.
5. Estudio Binacional de contaminación por plaguicidas en el Río San Juan. 1997. MASICA-OPS-CIRA/UNAN.
6. Guzman, Merlo. 1982. Hidrogeología. Ministerio de Educación, Cuba.
7. Legislação Federale: Controle da Poluição Ambiental (Atualizado até novembro de 1995). 1995. CETESB, Brasil.
8. López Medina, J., 1995. Caracterización del uso de plaguicidas en el sector nicaragüense de la cuenca del Río San Juan. Managua, CIRA/UNAN, PPUNA/UNA, PLAGSALUD/OPS.
9. Margalef, Ramón. 1983. Limnología. Limusa, Barcelona.
10. Metcalf & Eddy. 1991. Tratamiento y depuración de las aguas residuales.
11. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. 1997. Atlas de la cuenca del Río San Juan.
12. Mitchell, Mark K. 1991. Manual de Campo de Proyecto del Río: Una guía para monitorear la calidad del agua en el Río Bravo. México, Universidad del Estado de Nuevo México.
13. Norbert, F. 1986. Introdução à hidrogeoquímica. Belén, Universidade Federales do Pará, Brasil.
14. Norbert, F. 1988. Nicaragua: Geografía, clima, Geología y Hidrología. UFPA/INETER/INAA, Belén, Brasil.
15. Organización Panamericana de la Salud. 1995. Guías para la calidad del agua potable. OPS, Washington. V.1.
16. Organización Panamericana de la Salud. 1995. Guías para la calidad del agua potable. OPS, Washington. V.2
17. Wetzel, R. 1970. Limnología. México.