

# Salinidad, Fosfatos, Nitratos y problemas de infiltración

## En las aguas de irrigación del cantón Milagro, Ecuador

### Resumen

La agricultura ocupa el 94% del suelo en el cantón Milagro lo que hace relevante estudiar sus aguas de irrigación. En el presente trabajo se plantean los siguientes objetivos: conocer la salinidad, fosfatos, nitratos y su efecto en los suelos, a través de la infiltración hacia la zona radical y medir las concentraciones de P-PO<sub>4</sub> y N-NO<sub>3</sub>. La investigación es de tipo no experimental, transversal, descriptiva, con muestreo a juicio del experto en 40 estaciones, desde octubre hasta diciembre de 2012. De cada muestra de agua se determinó: cationes, aniones, pH, conductividad eléctrica, residuo seco evaporado y calcinado, fosfatos y nitratos. Se calculó el Índice de Saturación y las modificaciones de la relación de adsorción de sodio (RAS). La mayoría de las concentraciones fueron menores a 100  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , hecho que perjudica la infiltración del suelo; en el poblado Banco de Arena existieron concentraciones mayores a 290  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . Las concentraciones de P-PO<sub>4</sub> en los orígenes de los ríos fueron bajas, de 0.023 mg L<sup>-1</sup> a 1.37 mg L<sup>-1</sup>, pero cuando se ingresa a los poblados varía de 9.0 mg L<sup>-1</sup> a 49.65 mg L<sup>-1</sup> acelerando la eutrofización. Las concentraciones de N-NO<sub>3</sub> estuvieron bajo el límite máximo permisible. Así, los suelos y ríos están afectados.

**Palabras clave:** Hidrogeoquímica, índice de saturación, sodicidad y relación de adsorción de sodio, RAS.

### Abstract

Agriculture occupies 94% of the land area in the canton of Milagro and thus it has been considered relevant to study the water resources for irrigation. The objectives of this study were to determine the salinity, phosphate and nitrate levels and their effect on the soil through infiltration into the root zone. The concentrations of P-PO<sub>4</sub> and N-NO<sub>3</sub> were also measured. The study was non-experimental, cross-sectional and descriptive and involved a trial in 40 sampling stations from October to December 2012. The presence or levels of cations, anions, pH, electrical conductivity, evaporated and calcined dry residue, phosphates and nitrates were determined for each water sample. We calculated the saturation index and changes in the sodium adsorption ratio (SAR). Most concentrations were below 100  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , a fact that jeopardizes soil infiltration; in the settlement Banco de Arena concentrations greater than 290  $\mu\text{S cm}^{-1}$  were found. The concentration of P-PO<sub>4</sub> in the origins of the rivers were low: from 0.023 mg L<sup>-1</sup> to 1.37 mg L<sup>-1</sup>, but in the villages it varied from 9.0 mg L<sup>-1</sup> to 49.65 mg L<sup>-1</sup>. This accelerates eutrophication. The NO<sub>3</sub>-N concentrations were below the maximum permissible limit. Thus, soils and rivers are affected.

**Key words:** Hydrogeochemistry, saturation index, global warming, sodicity and sodium adsorption ratio, SAR.

Recibido: febrero, 2013  
Aceptado: mayo, 2013



Ing. David Vinicio  
Carrera Villacrés, PhD<sup>1</sup>  
dvcarrera@espe.edu.ec

Ing. Sonia Alexandra  
Perez Molina<sup>2</sup>  
saperez@espe.edu.ec

<sup>1</sup>Doctor y master en Ciencias, especializado en química inorgánica de las aguas y suelos con fines agrícolas. Ingeniero Civil. Docente e investigador Escuela Superior Politécnica del Ejército, ESPE.

<sup>2</sup>Ingeniera Química. Master (c) en Sistemas de Gestión Ambiental. Docente e investigador de la Escuela Superior Politécnica del Ejército, ESPE.

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a CLIRSEN (2009) el cantón Milagro se encuentra en una zona de déficit hídrico para actividades agrícolas, la precipitación promedio varía de 400 mm a 600 mm, la zona tiene una evapotranspiración potencial de 1 400 mm a 1 500 mm [1], es decir, el agua que se evapora es mayor a la que precipita, por consiguiente, el estudio desde el punto de vista de la salinidad en las aguas es fundamental, para aprovechar de manera eficiente éste recurso.

La mayor cobertura del uso de suelo del cantón Milagro lo ocupa la agricultura con el 94%, por esta razón es primordial el estudio de la salinidad en las aguas de irrigación, a través del RAS [2]. Szabolcs (1989) enuncia que la salinización secundaria es generada por las malas prácticas de riego, es el fenómeno más pernicioso en los suelos y el ambiente [3]. Las malas prácticas de riego son factores para la salinización, erosión y deterioro del agua. La tasa de pérdidas de tierra por la salinidad de los suelos es de 1.5 millones de hectáreas por año, en todo el mundo [4].

La geomorfología del cantón Milagro ofrece un suelo y clima que favorecen toda clase de producción tropical. La topografía se presenta como un plano inclinado que se desliza, constituida en una gran unidad, desde lo alto del cantón General Elizalde hasta la parroquia Chobo, territorios regados por varios esteros y ríos, por ello es posible el desarrollo de la agricultura y centros poblados. El declive forma parte de la zona oriental de la depresión del Guayas, en las primeras estribaciones de la cordillera occidental de Los Andes, que formó una fosa, con el tiempo se relleno con grandes cantidades de sedimentos, depositados por las corrientes de agua que descienden de la misma cordillera, éstos suelos probablemente sean ricos en minerales. La zona de estudio es de fácil anegamiento en las temporadas invernales fuertes [5].

La geología del cantón Milagro se relaciona con el pie occidental de la cordillera de Los Andes y la parte baja que corresponde a una zona de depósitos aluviales cuaternarios, formados por arcillas, limos y arenas. Otra formación que se encuentra en la parte oriental del sector en mención, es la llamada Pichilingue, formada en el Pleistoceno por bancos de arcilla y arenas poco o nada consolidados, provenientes de la erosión de la cordillera de Los Andes; son sedimentos que ahora integran los terrenos fértiles de la planicie litoral [6].

Los objetivos del presente trabajo fueron conocer la salinidad, fosfatos, nitratos y su efecto en los suelos, a través de la infiltración hacia la

zona radical. Además, medir las concentraciones de P-PO<sub>4</sub> y N-NO<sub>3</sub> como principales contribuyentes al proceso irreversible y nocivo de la eutrofización. En irrigación es necesario estudiar la composición química de las aguas, para determinar el tipo de salinidad dominante, sobre todo si estas aguas tienen baja concentración; incrementar nutrientes a las aguas puede ser innecesario si los suelos son ricos en minerales, debido a su formación geológica.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el cantón Milagro, provincia del Guayas, Ecuador, Figura 1. Se encuentra en la zona de clima tropical mega térmico húmedo, con temperaturas promedio de 25°C a 27°C y precipitaciones promedio anuales de 1 100 mm a 1 800 mm. Su extensión es de 405.63 km<sup>2</sup>.

Esta investigación es no experimental, de estudio prospectivo, en donde toda la información se recogió de acuerdo a los criterios del investigador y para los fines específicos de la investigación, después de la planeación de la misma [7]. De acuerdo a la evolución es transversal, porque se midió una sola vez las variables, se determinó sus características físicas y químicas en un momento dado, no se pretendió evaluar la evolución de las mismas [8]. De acuerdo a la comparación de las poblaciones es de tipo descriptivo, porque cuenta con una población, aguas, las cuales se describieron en función de un grupo de variables y respecto de las cuales no existen hipótesis centrales.

En resumen, la investigación es no experimental, transversal, descriptiva y el muestreo a juicio, de acuerdo a Kerlinger y Lee (2002) [9], fue utilizado para tomar muestras de agua, por duplicado, en 40 estaciones, entre los meses de octubre y diciembre de 2012. El recorrido inició desde los nacimientos de los ríos, al este del cantón Milagro, en donde se encuentra el sistema hidrográfico del río Milagro y sus esteros Belín, Los Monos, Tímalo y Carrizal y terminó en los campos en donde se aprovecha esta agua para irrigación.

Se tomó muestras en pozos, manantiales y antes que el río pase por las zonas urbanas y después que pasa por las mismas, para conocer el incremento en la salinidad. En cada estación de muestreo del cantón Milagro se tomaron por duplicado muestras de agua, con un volumen de 0.5 L. El envase de recolección de la muestra se enjuagó varias veces, con el agua sujeta a muestreo.

Los diferentes iones se determinaron de manera analítica, y se utilizó los métodos citados en APHA (1995) [10], que son: pH, conductividad eléctrica (CE), Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>,

HC03-, Cl- y SO42- (métodos 4500-H+B, 2510 B, 3500 Ca D, 3500 Na K D, 2320 B, 4500 Ci B, 4500-S04 B, 2540 D y 2540 E). Para determinar P-PO4 y N-NO3 se usó los métodos citados en Métodos 4500-P-E y 8171 [11]. Para el residuo seco evaporado y calcinado se trabajó

con los métodos nombrados en NOM-AA-34-1981 [12]. Todas las figuras de éste trabajo fueron realizadas por el autor con la ayuda del software ArcGIS, se utilizó información levantada en el campo, en el laboratorio y en el geoportal del Instituto Geográfico Militar, IGM.

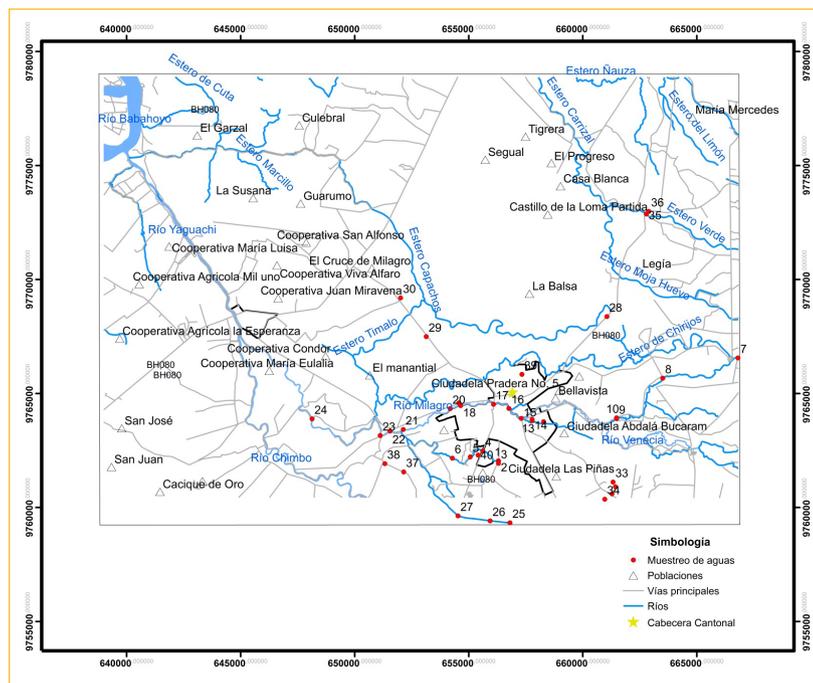


Figura 1. Mapa de ubicación con las estaciones del muestreo de aguas del cantón Milagro, Guayas, Ecuador

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Distribución de los iones en las aguas de la zona agrícola del cantón Milagro

La salinidad de las aguas continentales está determinada completamente por cuatro cationes principales  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  y  $K^+$ , y por los aniones  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$  y  $SO_4^{2-}$ . Ella muestra una concentración mundial media de  $120 \text{ mg L}^{-1}$ , pero varía considerablemente de un continente a otro y según la litología de las masas de la tierra.

La salinidad está estipulada por los aportes debidos al lavado de las rocas de la cuenca de drenaje, la precipitación atmosférica y el equilibrio entre evaporación y precipitación. Las proporciones mundiales de los principales iones muestran una gran tendencia a presentar las relaciones siguientes:  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$ , y  $CO_3^{2-} > SO_4^{2-} > Cl^-$ . Según Alonso (1998) las concentraciones de elementos como el N, P, Fe, B y otros elementos secundarios, tienen importancia biológica, pero desde el punto de vista de la salinidad de las aguas son insignificantes [13]. Wetzel (1998) explica que los tres mecanismos principales de control de la salinidad de las aguas superficiales del mundo son: la mineralización en equilibrio con las rocas, la precipita-

ción atmosférica y el proceso de evaporación-precipitación [14]; el gráfico de Gibbs en forma de bumerán expone el comportamiento de las aguas del planeta. Las aguas dominadas por la naturaleza de las rocas están en equilibrio parcial con los materiales de su cuenca de drenaje. Sus posiciones dentro de esta categoría dependen del relieve y clima de cada cuenca, y de la composición del material rocoso. Predominan los iones  $Ca^{2+}$  y  $HCO_3^-$ .

La composición química de las aguas de salinidad escasa, con dominancia de  $Na^+$  y  $Cl^-$ , está determinada por las sales disueltas derivadas de la precipitación atmosférica que, por su parte, provienen principalmente de los océanos. Además, las áreas lavadas por el agua, situadas principalmente en las zonas tropicales de Sudamérica y África, presentan por lo general un relieve bajo y pluviosidad elevada. El aporte de sales disueltas, procedentes de las rocas, es muy bajo en proporción a la cantidad de pluviosidad.

El tercer proceso principal que determina la salinidad de las aguas superficiales se refiere a la evaporación y cristalización fraccional, junto con la precipitación. Las aguas dulces se extienden en una serie, que se centra en las

aguas de baja salinidad con mineralización en equilibrio con las rocas y hasta aguas de alta salinidad con dominancia del Na<sup>+</sup>. Los ríos y lagos del extremo salino de esta serie generalmente están localizados en regiones cálidas y áridas.

Utilizando los promedios de los datos del muestreo de aguas del cantón Milagro, Na<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>+Ca<sup>2+</sup> = 0.10 y STD = 266.32 mg L<sup>-1</sup> y de acuerdo al gráfico de Gibbs en forma de bumerán, que representan los procesos generales de la salinidad en las aguas superficiales del mundo, las muestras de aguas del cantón Milagro, se localizan en la mitad de la zona formada entre la mineralización en equilibrio con las rocas y la evaporación y precipitación. Es coherente con el pasado geológico y químico del sector.

En el Cuadro 1 se presenta las concentraciones de cationes y aniones del muestreo de aguas. Es necesario explicar que los datos analíticos del mismo se sometieron a las comprobaciones propuestas por APHA (1995) [15], en lo

concerniente a errores aceptables. Al final se tienen los principales parámetros estadísticos. También se muestra la variación del pH, establecida entre 5.2 y 8.4; existen condiciones de neutralidad en todas las aguas, excepto el punto 19 localizado cerca del camal municipal, allí se mezcla el agua de riego con vinaza para irrigar la caña de azúcar.

Probablemente en las aguas del cantón Milagro se tenga una predominancia a la neutralidad, porque el ión HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> es una base débil y el CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> una base fuerte, por lo que el sistema HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> es un sistema tampón [16]. Los fenómenos ácido-base en el agua, involucran la pérdida y aceptación de iones H<sup>+</sup>, el HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> puede actuar como ácido o base, es una especie importante en la química del agua [17]. La existencia de CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> de metales alcalinos, condicionan la aparición en las aguas y suelos de la salinización sódica, de una reacción fuertemente alcalina, en este caso el pH es superior a 8.5 y varía de 9 a 11, no es el caso de las aguas del cantón Milagro.

No.	pH	CE μS cm <sup>-1</sup>	mmol L <sup>-1</sup>						mg L <sup>-1</sup>					RAS <sub>orig</sub>	IS	RAS <sub>aj</sub>	RAS <sup>o</sup>	
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	STD					error
1	7,6	94,8	0,66	0,16	0,07	0,06	0,95	0,00	0,46	0,41	0,08	0,95	436	0,05	0,11	-0,56	0,05	0,03
2	7,8	45,0	0,21	0,08	0,11	0,03	0,43	0,00	0,24	0,16	0,03	0,43	284	0,00	0,29	-1,72	-0,21	0,12
3	8,0	102,0	0,60	0,35	0,06	0,03	1,04	0,00	0,49	0,41	0,14	1,04	508	0,00	0,09	-0,54	0,04	0,05
4	7,6	95,1	0,60	0,27	0,06	0,03	0,96	0,00	0,44	0,40	0,13	0,96	446	0,13	0,09	-0,65	0,03	0,05
5	7,6	96,0	0,41	0,46	0,08	0,03	0,98	0,00	0,35	0,48	0,16	0,98	476	0,17	0,12	-1,13	-0,02	0,07
6	7,7	98,5	0,48	0,40	0,08	0,05	1,01	0,00	0,46	0,41	0,13	1,00	424	0,26	0,12	-0,73	0,03	0,08
7	8,1	41,9	0,23	0,11	0,03	0,03	0,40	0,00	0,15	0,17	0,09	0,40	230	0,42	0,07	-1,60	-0,04	0,03
8	8,1	41,6	0,24	0,10	0,03	0,03	0,40	0,00	0,14	0,18	0,08	0,40	178	0,44	0,07	-1,88	-0,06	0,03
9	8,2	42,7	0,24	0,10	0,05	0,03	0,42	0,00	0,11	0,21	0,10	0,41	156	1,10	0,12	-1,95	-0,11	0,04
10	8,4	41,4	0,23	0,10	0,05	0,02	0,40	0,00	0,13	0,16	0,10	0,39	176	0,70	0,12	-1,92	-0,11	0,04
11	7,7	53,5	0,33	0,10	0,05	0,04	0,52	0,00	0,15	0,24	0,13	0,51	266	0,68	0,11	-1,46	-0,05	0,04
12	7,7	55,2	0,37	0,10	0,04	0,03	0,54	0,00	0,15	0,32	0,08	0,55	250	0,54	0,08	-1,39	-0,03	0,03
13	7,8	28,1	0,21	0,04	0,02	0,02	0,29	0,00	0,10	0,12	0,08	0,29	112	0,49	0,06	-1,94	-0,05	0,02
14	7,9	28,0	0,22	0,03	0,03	0,01	0,29	0,00	0,05	0,19	0,06	0,30	100	1,62	0,08	-2,12	-0,10	0,02
15	8,0	45,8	0,27	0,13	0,03	0,03	0,46	0,00	0,13	0,24	0,10	0,47	120	0,62	0,07	-1,86	-0,06	0,02
16	7,8	48,0	0,25	0,19	0,04	0,03	0,51	0,00	0,12	0,35	0,04	0,51	248	0,36	0,09	-1,72	-0,06	0,03
17	7,6	49,1	0,27	0,12	0,04	0,05	0,48	0,00	0,13	0,23	0,13	0,49	164	1,14	0,09	-1,86	-0,08	0,03
18	7,3	51,2	0,38	0,10	0,04	0,02	0,54	0,00	0,22	0,17	0,13	0,52	234	1,62	0,08	-1,49	-0,04	0,03
19	5,2	71,3	0,50	0,10	0,05	0,02	0,67	0,00	0,27	0,29	0,11	0,67	338	0,28	0,09	-1,11	-0,01	0,04
20	7,4	51,0	0,35	0,10	0,04	0,03	0,52	0,00	0,23	0,16	0,12	0,52	242	0,33	0,08	-1,52	-0,04	0,04
21	7,2	52,8	0,33	0,08	0,04	0,03	0,48	0,00	0,16	0,22	0,10	0,48	202	0,38	0,09	-1,68	-0,06	0,03
22	7,3	54,4	0,35	0,11	0,04	0,04	0,54	0,00	0,30	0,14	0,10	0,54	200	0,17	0,08	-1,13	-0,01	0,04
23	7,1	61,1	0,41	0,10	0,04	0,02	0,57	0,00	0,17	0,29	0,10	0,56	176	0,93	0,08	-1,53	-0,04	0,03
24	7,3	58,2	0,39	0,14	0,04	0,03	0,60	0,00	0,08	0,15	0,37	0,59	264	0,72	0,08	-1,78	-0,06	0,02
25	8,1	60,3	0,53	0,03	0,04	0,03	0,63	0,00	0,19	0,29	0,15	0,63	194	0,01	0,08	-1,00	0,00	0,02
26	8,1	59,5	0,53	0,03	0,04	0,02	0,62	0,00	0,30	0,18	0,14	0,61	154	0,60	0,08	-0,78	0,02	0,03
27	7,9	58,1	0,37	0,11	0,04	0,03	0,55	0,00	0,22	0,24	0,09	0,55	608	0,35	0,08	-1,51	-0,04	0,03
28	7,8	41,9	0,32	0,02	0,03	0,02	0,39	0,00	0,14	0,15	0,11	0,40	525	0,83	0,07	-1,70	-0,05	0,02
29	7,5	52,9	0,30	0,13	0,09	0,04	0,56	0,00	0,23	0,24	0,08	0,55	338	0,91	0,19	-1,40	-0,08	0,08
30	7,3	42,5	0,25	0,12	0,03	0,02	0,42	0,00	0,10	0,25	0,08	0,43	168	0,73	0,07	-1,50	-0,03	0,02
31	7,7	388,5	3,13	0,70	0,11	0,06	4,00	0,00	0,44	0,76	2,80	4,00	193	0,02	0,08	-0,02	0,08	0,06
32	7,3	93,9	0,83	0,07	0,03	0,02	0,95	0,00	0,28	0,48	0,19	0,95	256	0,26	0,04	-0,86	0,01	0,02
33	7,0	294,5	2,14	0,44	0,11	0,09	2,78	0,00	0,13	0,51	2,15	2,79	532	0,17	0,10	-0,89	0,01	0,04
34	7,5	96,7	0,64	0,25	0,03	0,02	0,94	0,00	0,48	0,38	0,10	0,96	308	0,79	0,04	-0,53	0,02	0,03
35	7,6	53,7	0,51	0,03	0,02	0,01	0,57	0,00	0,19	0,30	0,08	0,57	144	0,28	0,04	-1,01	0,00	0,01
36	7,2	61,9	0,52	0,03	0,03	0,02	0,60	0,00	0,32	0,19	0,10	0,61	210	0,47	0,06	-0,76	0,01	0,03
37	7,4	78,1	0,63	0,14	0,03	0,01	0,81	0,00	0,30	0,44	0,06	0,80	230	0,40	0,05	-0,70	0,01	0,02
38	8,1	66,5	0,55	0,05	0,02	0,02	0,64	0,00	0,18	0,31	0,15	0,65	144	0,65	0,04	-1,00	0,00	0,01
39	7,7	29,6	0,22	0,04	0,02	0,02	0,30	0,00	0,09	0,10	0,12	0,30	278	0,62	0,06	-1,88	-0,05	0,02
40	7,8	36,1	0,29	0,03	0,02	0,02	0,36	0,00	0,16	0,12	0,08	0,36	142	0,51	0,05	-1,72	-0,04	0,02
Dest. Est.	0,5	66,5	0,53	0,14	0,02	0,02	0,67	0,00	0,12	0,14	0,53	0,67	131,00	0,39	0,04	0,52	0,05	0,02
CV	0,1	0,9	1,04	0,99	0,54	0,51	0,92	0,00	0,55	0,50	2,32	0,92	0,49	0,76	0,50	-0,39	-1,70	0,58
Media	7,6	73,0	0,51	0,14	0,05	0,03	0,73	0,00	0,22	0,28	0,23	0,73	266,32	0,52	0,09	-1,31	-0,03	0,04
Mediana	7,7	54,0	0,37	0,10	0,04	0,03	0,55	0,00	0,19	0,24	0,10	0,55	232,00	0,45	0,08	-1,47	-0,04	0,03
Mínimo	5,2	28,0	0,21	0,02	0,02	0,01	0,29	0,00	0,05	0,10	0,03	0,29	100,00	0,00	0,04	-2,12	-0,21	0,01
Máximo	8,4	388,5	3,13	0,70	0,11	0,09	4,00	0,00	0,49	0,76	2,80	4,00	608,00	1,62	0,29	-0,02	0,08	0,12
Moda			0,21	0,10	0,04	0,03	0,40	0,00	0,13	0,41	0,08				0,07	-1,86		0,03

**Cuadro 1.** Composición iónica, pH, CE, STD, Índice de Saturación (IS), RASorig, RASaj y RASo de las aguas del cantón Milagro, uayas, Ecuador.

El área, bajo la curva de la Figura 2, indica la concentración de cada ion del muestreo de aguas. Esta forma de representación es elemental porque puede determinar la predominancia de cada ion y como va cambiando a lo largo del río. Los principales iones de las aguas del cantón Milagro se los dividió de acuerdo al gradiente y al sistema hidrográfico, con la finalidad de observar con más detalle su distribución. Las estaciones 1-6 pertenecen al estero Belín, el primer punto es la bananera José Álvarez, en él no existe un catión predominante, sin embargo, se determinó el siguiente orden  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^{+} > K^{+}$ . En los aniones el  $HCO_3^-$  y  $Cl^-$  son los importantes, la clasificación hidrogeoquímica resultó, sulfatadas y/o cloruradas cálcicas o magnésicas. La concentración del estero Belín es de  $1 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$  excepto en el punto 2, éste es un pozo de la bananera José Álvarez con una concentración de  $0,5 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$ , aquí las aguas se clasificaron como bicarbonatadas cálcicas o magnésicas, quiere decir que son aguas de reciente infiltración, Carrera *et al.* (2011) [18]. Las estaciones 7 - 24 forman el río Milagro, el catión y anión predominante son el  $Ca^{2+}$ ,  $HCO_3^-$  -  $Cl^-$  respectivamente. La clasificación hidrogeoquímica resultó, sulfatadas y/o cloruradas cálcicas o magnésicas, excepto el punto 22. La concentración del río Milagro es de  $0,5 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$ , es una concentración baja, aguas con poca salinidad no son buenas para los suelos y los cultivos, según Ayers y Wetscot (1987) [19]. Las estaciones 25 - 27 pertenecen al estero Los Monos y 28 -30 al arroyo Las Maravillas, estos tienen el mismo comportamiento que el río Milagro, son aguas de baja concentración, en donde la sal

más común será la sulfatada o clorurada cálcica o magnésica.

Las estaciones 31 - 34 son pozos muestreados en el poblado Banco de Arena, éstos puntos son los de mayor concentración, 4 veces más que el resto de aguas, no obstante, presentan concentraciones bajas desde el punto de vista de la salinidad. El anión predominante en los pozos de Banco de Arena son el  $Cl^-$  y  $SO_4^{2-}$ , es evidente la influencia de la fábrica de  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico), sobre los cuerpos de agua. Las aguas del cantón Milagro pertenecen a una familia de concentraciones menores a  $1 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$ , sin embargo, las aguas del sector mencionado evolucionan a otro tipo de salinidad perjudicial para los suelos, aguas y cultivos.

Las estaciones 35 - 36 son aguas en el poblado Carrizal, tienen una concentración de  $0,5 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$ , extremadamente baja, el catión y anión predominante es el  $Ca^{2+}$  y  $Cl^-$  -  $HCO_3^-$  respectivamente. Las estaciones 37 - 40 son pozos muestreados en los poblados Las Palomas, Paraíso y Milagro, éstos tienen concentraciones menores de  $1 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$ .

**Salinidad total de las aguas del cantón Milagro**

La salinidad total es un estrés abiótico complejo que simultáneamente presenta componentes osmóticos e iónicos [20] y [21], provoca diversos efectos tanto al suelo (propiedades físicas y químicas), como a los cultivos. Entre ellos se destaca la disminución del crecimiento y rendimiento, relacionados con la cantidad de sales solubles y potencial osmótico de la rizosfera, mientras que en hojas y frutos se presentan daños por la acumulación de iones tóxicos en las células ( $Na^{+}$  y  $Cl^-$ ) [22].

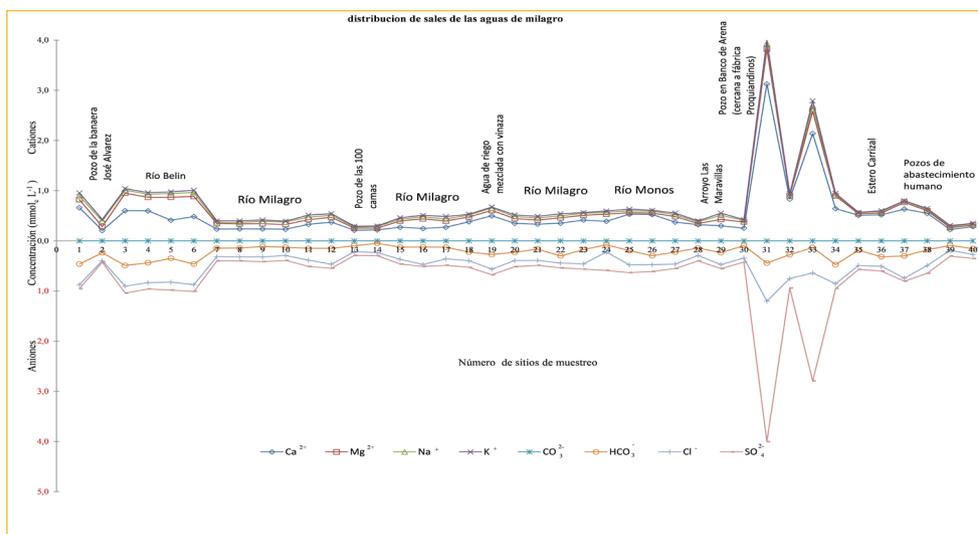


Figura 2. Composición iónica de las aguas del cantón Milagro, provincia del Guayas, Ecuador

La primera medición que se debe realizar para evaluar la calidad del agua para riego es la salinidad total, es decir la concentración total de sales, a través de la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos, después se debe utilizar las clasificaciones para predecir el grado de salinidad, la afectación de los suelos y cultivos, el más utilizado es el propuesto por Richards (1962) [23]. Así, se elaboró el mapa de distribución espacial de la salinidad en base a la conductividad eléctrica, CE, Figura 3.

La clasificación en base a la CE del muestreo de aguas se realizó de acuerdo a Richards (1962) [24], los resultados indican que el 93.0% tienen la CE < 100  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , no es posible clasificarlos de acuerdo a lo que propone el mismo Richards (1962) [25]. El 3% son aguas de baja salinidad C1 (CE 100 - 250  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), pueden usarse para riego en la mayoría de los cultivos y en casi cualquier tipo de suelo. El 4% son aguas de salinidad media C2 (CE 250 - 750  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), su uso puede darse, siempre y cuando haya un moderado lavado y cultivos que toleren, de igual forma, de manera moderada, las sales. C2 corresponde a las estaciones 31 y 33, pozos situados en el poblado Banco de Arena, que tienen concentraciones atípicas a la zona de estudio.

Ayers y Westcot (1987) [26], en las directrices para interpretar la calidad de agua para riego proponen límites en base a los sólidos totales disueltos, el 85% son aguas que no tienen nin-

gún grado de restricción de uso (STD < 450  $\text{mg L}^{-1}$ ), no se tiene problema en los cultivos. El 15% son aguas que tienen un grado de restricción de uso, de ligera a moderada (STD 450 - 2000  $\text{mg L}^{-1}$ ), hay que tener un cuidado especial en los cultivos para alcanzar un máximo rendimiento. Es interesante que los STD tengan una relación 4 veces mayor a la CE, con referencia a los límites que determinó Richards (1962) [27], probablemente se deba a que las aguas del cantón Milagro son ricas en  $\text{SiO}_2$ . En la Figura 4 se presenta la distribución espacial de la salinidad en base a los sólidos totales disueltos.

En conclusión, las aguas del cantón Milagro de acuerdo a la CE en su mayoría son aguas de baja salinidad. La escasa composición inorgánica del agua impide que ésta llegue a la zona radical, además, los cultivos no tienen los suficientes nutrientes; escasa salinidad o exceso de sales es malo para los suelos y cultivos, es importante que exista un equilibrio, lo que se recomienda es que las aguas tengan una CE entre 100  $\mu\text{S cm}^{-1}$  y 250  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . De acuerdo a los STD en su mayoría son aguas que no tienen ningún grado de restricción, sin embargo, hay una sal que no se está detectando en éste estudio, probablemente sean los  $\text{SiO}_2$ . Las aguas que tienen una restricción ligera a moderada se encuentran al final de los esteros Belín, Los Monos y los pozos que se encuentran en Banco de Arena.

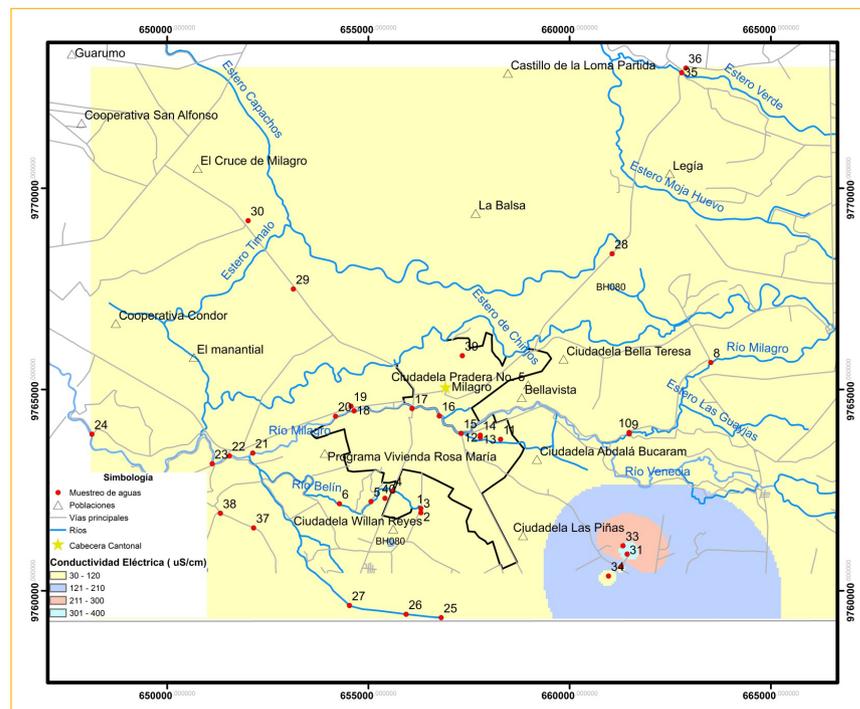
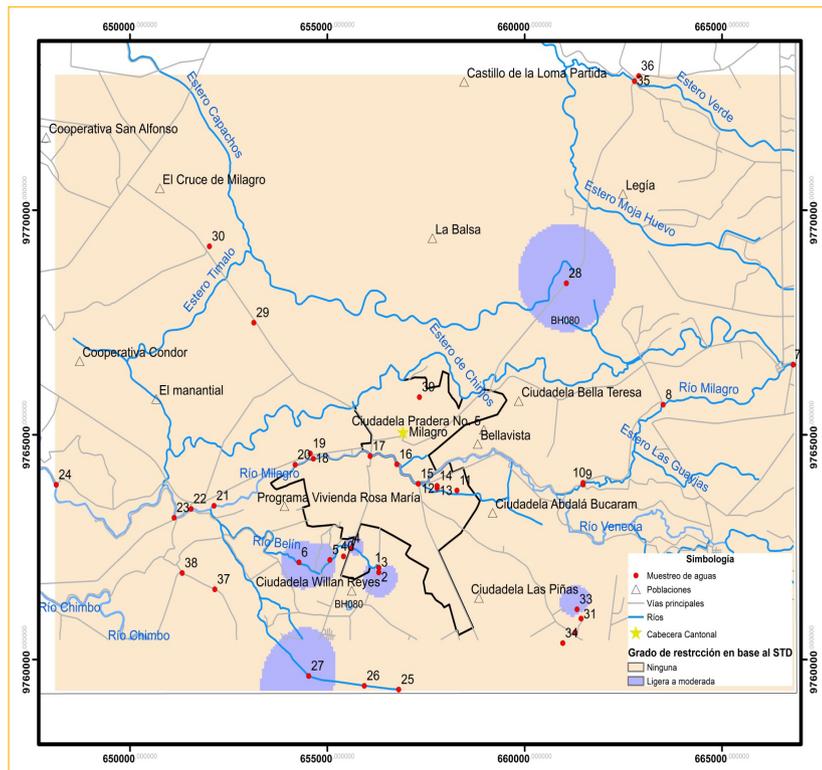


Figura 3. Distribución espacial de la salinidad, en base a la conductividad eléctrica, de las estaciones de muestreo del cantón Milagro



**Figura 4.** Distribución espacial de la salinidad, en base a los sólidos totales disueltos, de las estaciones de muestreo del cantón Milagro

**Valores de RAS y problemas de infiltración en las aguas del cantón Milagro**

Durante la aplicación de las aguas de riego a los suelos, así como durante la recuperación de los suelos salinos y sódicos, es importante que el agua tenga fácil movilidad dentro del perfil de suelo. Los peligros de sodificación están asociados con el sodio intercambiable. Se ha reportado que la conductividad hidráulica de los suelos, disminuye cuando la concentración electrolítica de las aguas es baja, éste es el caso del cantón Milagro, y los valores de RAS son altos [28].

La adsorción de cationes ocurre en el complejo de intercambio catiónico, que está formado de coloides mineral, orgánico y orgánico-mineral. El tipo y la cantidad de los cationes adsorbidos influyen en las propiedades físicas y químicas de los suelos, ya que el  $Ca^{2+}$  y el  $Na^+$  son importantes en la estructura de los mismos. El  $Ca^{2+}$  es un buen coagulante, favorece a la formación de flocúlos, permite que el suelo tenga una estructura granulada. La acción del  $Na^+$  es inversa a la del  $Ca^{2+}$  en la formación de la estructura, hace que los suelos con abundancia de éste catión se dispersen [29] y [30]. Lo anterior se debe a que el  $Na^+$  se disocia en mucho mayor grado de la superficie coloidal que el  $Ca^{2+}$ , en la capa di-

fusa aparecen más iones de  $Na^+$  que de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , etc.

La materia orgánica del suelo también posee cargas que contribuyen al intercambio catiónico, en las aguas del cantón Milagro existe una concentración orgánica promedio de  $87.09 \text{ mg L}^{-1}$ . Estas cargas varían de acuerdo al pH del sistema, los grupos funcionales de la materia orgánica contribuyen a la formación de cargas de intercambio, y son principalmente los grupos carboxílicos y fenólicos; cuando en los sistemas orgánico-minerales se tienen expuestos en cantidades considerables, las cargas negativas se pueden saturar con  $Na^+$  intercambiable de acuerdo a la relación  $Na/Ca$ .

La salinidad sódica se determina a través de la relación de adsorción de sodio (RAS). Debido a que la concentración de  $Ca^{2+}$  varía sensiblemente, como consecuencia de los procesos de precipitación o disolución, las formulaciones de RAS que se utilizan con más frecuencia en el manejo de aguas y suelos salinos son el  $RAS_{orig}$ ,  $RAS_{aj}$  y  $RAS_o$  [31]. El  $RAS_{orig}$  fue el valor más crítico en las aguas del cantón Milagro. El  $RAS_{aj}$  a través del Índice de Saturación (IS) considera la precipitación del  $CaCO_3$  [32]. El IS en todas las aguas del cantón Milagro saltó negativo, es decir, la  $CaCO_3$  se manten-

drá en solución y no precipitará. En la Figura 5 se presenta el mapa de distribución espacial, en base a la reducción relativa de la infiltración provocada por la salinidad y el RASorig. Las aguas del cantón Milagro tienen problemas relativos a la infiltración en

casi todo su territorio, esto se debe principalmente por su baja salinidad. En la Figura 6 se presenta la reducción relativa a la infiltración de los suelos, inducida por la salinidad y los diferentes RAS, citado por Ayers y Westcott (1987) [33].

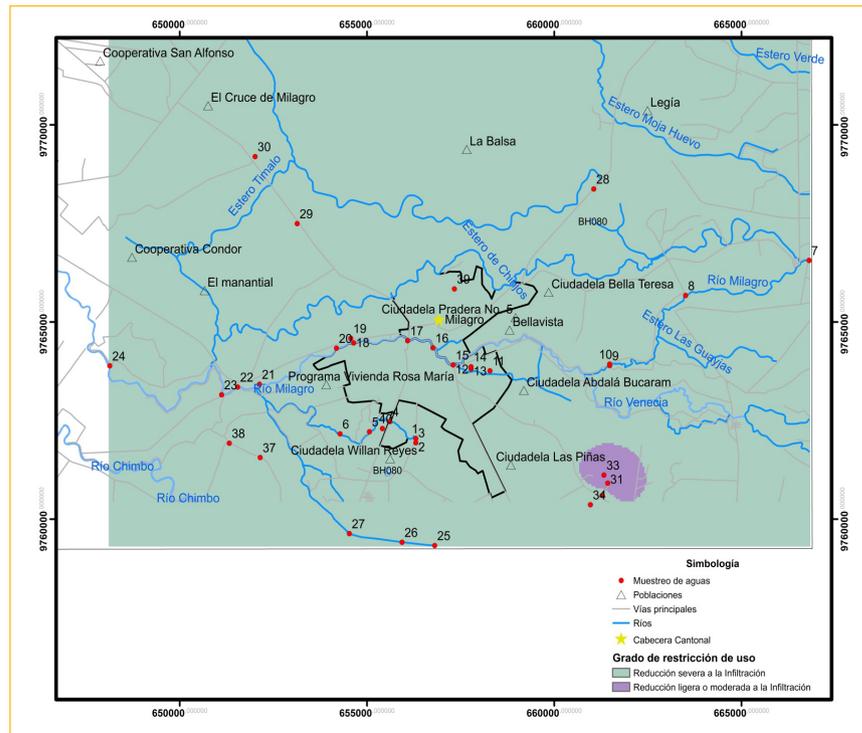


Figura 5. Distribución espacial de la salinidad, en base al RASorig, de las estaciones de muestreo del cantón Milagro

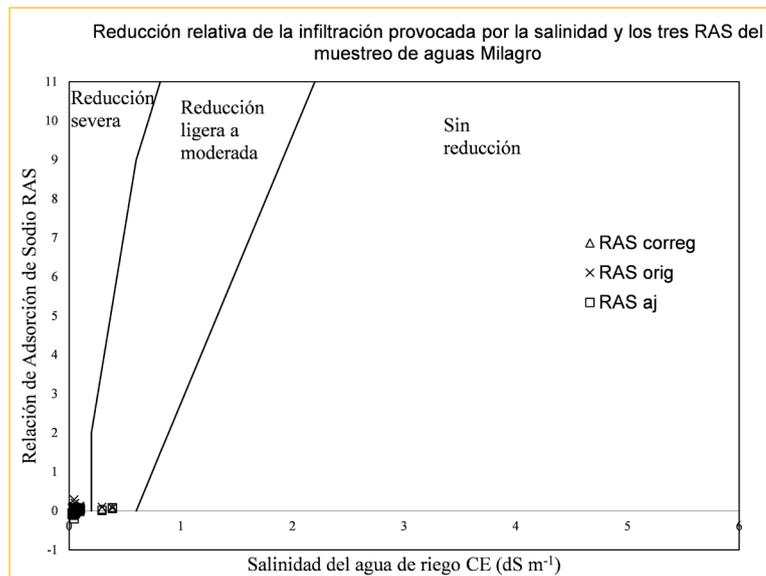


Figura 6. Reducción relativa a la infiltración provocada por la salinidad y los diferentes tipos de RAS. Para el muestreo de aguas del cantón Milagro

### Concentraciones de fósforo (P-PO<sub>4</sub>) en las aguas del cantón Milagro

En la Figura 7 se presentan las concentraciones de fósforo. En el muestreo de aguas del cantón Milagro las concentraciones de P-PO<sub>4</sub>, en los orígenes del estero Belín y río Milagro son bajas, de 0.023 mg L<sup>-1</sup> a 1.37 mg L<sup>-1</sup>. Existe diferencia cuando sus cauces ingresan por los poblados, aumentan de manera considerable las concentraciones y varían de 9.0 mg L<sup>-1</sup> a 49.65 mg L<sup>-1</sup>. De acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS) del Ecuador, Libro VI Anexo 1 Tabla 12 [34] el fósforo total no debe ser superior a 10 mg L<sup>-1</sup>.

Sharpley and Withers (1994) [35] indican concentraciones críticas de fósforo disuelto, para que se inicien los procesos de eutrofización; el límite de fosfato es de 0.05 mg L<sup>-1</sup>. El 95% de las aguas del cantón Milagro desarrollará éste proceso, lo cual es peligroso debido a su carácter irreversible, hay crecimiento excesivo de algas, la materia orgánica no se descompone totalmente lo que provoca

emanaciones de gas carbónico, sulfuro y sales amoniacales [36]. El incremento de este elemento se debe a la agricultura intensiva y a la producción de ganado, además de los lodos provenientes de las aguas residuales y de la utilización de agua de riego mezclada con vinaza. Es necesario aclarar que no existe una interacción directa del fósforo con la atmósfera, contrario a lo que sucede con el nitrógeno, por consiguiente, el fósforo es el elemento a estudiar en los procesos de eutrofización [37].

Los problemas asociados al mal uso del fósforo son de tres tipos: agronómicos, económicos y ambientales. En el agronómico existen bajos rendimientos, desbalances nutrimentales, deficiencias de Fe, Zn, S e inhibición de micorrizas. En el económico, el cultivo solamente consume del 3% al 30% del fertilizante aplicado, el resto son pérdidas. Los problemas ambientales son causados por altas concentraciones de fósforo, que causa la eutrofización en los cuerpos de agua dulce [38].

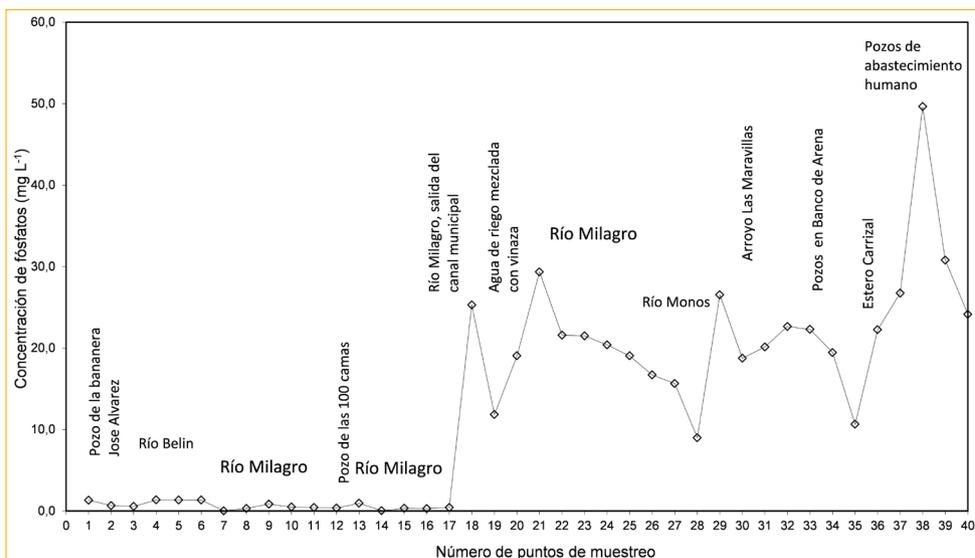


Figura 7. Distribución del fósforo en las aguas del cantón Milagro, Guayas, Ecuador

### Concentración de nitratos (N-NO<sub>3</sub>) en las aguas del cantón Milagro

El nitrógeno es un elemento de importancia crítica para todas las formas de vida, las proteínas que son compuestos de todas las células, en promedio contienen 16% de este elemento, en peso. Otras sustancias nitrogenadas de importancia para la vida son los ácidos nucleicos y los amino azúcares. Sin un suministro continuo de nitrógeno la vida en la tierra dejaría de existir. El 79% de la at-

mósfera del planeta es nitrógeno elemental (N<sub>2</sub>), este gas inerte no está disponible para ser asimilado por la mayor parte de animales y plantas. La incorporación de nitrógeno a la cadena alimenticia de productor/consumidor, se da cuando las plantas lo absorben de la solución del suelo, ya sea en forma de (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) o como ion amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). El amoniaco primero se convierte en nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) por obra de las bacterias del género Nitrosomonas, y éste se transforma en nitrato por la acción de

otro género, Nitrobacter, el anterior proceso de las etapas se llama nitrificación.

En Europa la norma encargada de regular esta problemática es la directiva 91/676/CEE, la cual fija en 50 mg L<sup>-1</sup> la concentración límite de nitrato, a partir del cual se entiende que el agua está afectada por el proceso de contaminación [39]. De acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS) del Ecuador, Libro VI Anexo 1 [40], el nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldhal, de nitritos y nitratos) no debe exceder 40 mg L<sup>-1</sup>. En las aguas del cantón Milagro el máximo valor es de 5.65 mg L<sup>-1</sup> en la estación 19, es el agua de riego mezclada con vinaza.

La vinaza es un subproducto del alcohol etílico, esta es beneficiosa para el cultivo de caña de azúcar, por otro lado, puede causar problemas agresivos al medioambiente. La estación 19 tiene un pH de 5.17 a causa de la vinaza, es el punto con pH más bajo de las aguas del cantón Milagro. La composición

química de la vinaza depende de la materia prima que se utilice, de las condiciones climáticas, del suelo y del proceso de elaboración del alcohol, la composición promedio por cada metro cúbico de vinaza es de 1.8 kg de N<sub>2</sub>, 1.5 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 4,5 kg de K<sub>2</sub>O, su contenido de materia orgánica es elevado, varía de 6.5% a 7.5% [41].

Entre los compuestos orgánicos más importantes, están los alcoholes, ácidos orgánicos y aldehídos. Además, la vinaza contiene compuestos fenólicos recalcitrantes, como las melanoidinas, lo que le da el pH ácido. La vinaza abandona la columna de destilación a una temperatura entre 80°C y 90°C y un pH aproximado de 4.4, lo que justifica la temperatura elevada del punto de muestreo, es la estación que tiene la temperatura más alta en el cantón Milagro, 43 °C [42].

En la Figura 8 se indican las concentraciones de NO<sup>3-</sup>, existe una variabilidad en las concentraciones porque el N<sub>2</sub> interactúa con el agua, aire y suelo.

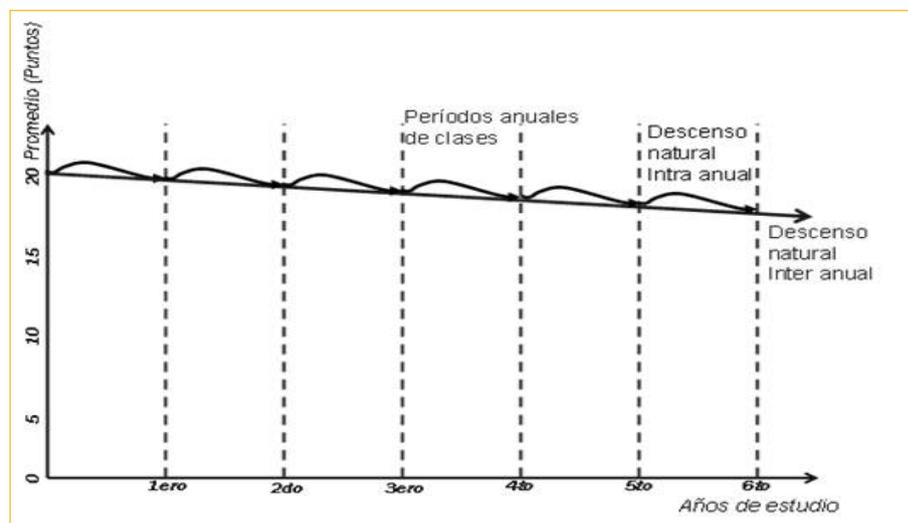


Figura 8. Distribución de los nitratos en las aguas del cantón Milagro.

#### 4. CONCLUSIONES

Las aguas de irrigación del cantón Milagro tienen baja concentración, menores a 100 μS cm<sup>-1</sup>, lo cual es perjudicial para los suelos y cultivos; aguas de baja salinidad no infiltran en el suelo y no llevan los nutrientes esenciales para las plantas. Esta baja concentración se debe a la alta pluviosidad del sector y por su tiempo de residencia mínimo que impide el itemperismo, no obstante, los cultivos tienen rendimientos aceptables, es seguro que se deba al pasado geológico de los suelos, éstos son de origen aluvial cuaternario formado

por arcillas, limos y arenas provenientes de la erosión de la cordillera de Los Andes.

Existen muestras de agua en el poblado Banco de Arena que se alejan de las concentraciones típicas del cantón Milagro, es decir, están evolucionando a otra familia de aguas, éstas sobrepasan los 290 μS cm<sup>-1</sup>, probablemente exista un problema de contaminación en el lugar. Las concentraciones de P-PO<sub>4</sub> en los orígenes de los esteros y río son bajas, de 0.023 mg L<sup>-1</sup> a 1.37 mg L<sup>-1</sup>, en cambio, cuando los cauces ingresan a los centros poblados las concentraciones aumentan de

manera considerable y varían de 9.0 mg L<sup>-1</sup> a 49.65 mg L<sup>-1</sup>.

La descarga de aguas urbano-industriales a los ríos, la utilización de fertilizantes y la mezcla del agua de riego con vinaza, son las principales causas para que se eleve, la concentración del P-PO<sub>4</sub>, a niveles superiores a la norma internacional y ecuatoriana, además, el 95% de las aguas del cantón Milagro acelerarán la eutrofización. El máximo valor de NO<sub>3</sub> en las aguas fue de 5.65 mg

L<sup>-1</sup>, se encuentra bajo el límite máximo permisible.

#### Agradecimiento

Especial agradecimiento a los ingenieros Luis Córdova y Luis Bucheli, profesores de la Universidad Estatal de Milagro, UNEMI, por su colaboración en la toma de muestras a lo largo del cantón Milagro.

**NOTA:** Este proyecto fue financiado por la Universidad Estatal de Milagro.

#### Referencias Bibliográficas

- [1]. CLIRSEN (2009). Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos. *Mapa Geo pedológico del cantón Milagro*. Generación de geo información para la valorización de tierras rurales y gestión del territorio de la Cuenca del río Guayas. Escala 1:25.000.
- [2]. CLIRSEN: *Ibid.*
- [3]. Szabolcs, I. (1989). *Salt-Affected Soils*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA, 274 pp.
- [4]. Diaw, E. B., Ackerer, P., Boivin, P., Laval, F. y Maeght, J. L. (2002). Etude expérimentale des transferts d'eau provoqués par l'irrigation sur une parcelle emoyenne vallée du fleuve Sénégal. *Revue des Sciences de l'eau*, Rev. Sci. Eau. Vol. 15, núm. 4, pp. 721-736.
- [5]. Ávila, J. y González, C. (2010). *Estudio del potencial acuícola del cantón Milagro*. Tesis de Economista. Universidad Estatal de Milagro. Unidad Académica de Ciencias Administrativas y Comerciales, 294 pp.
- [6]. CLIRSEN: *op. cit.*
- [7]. Méndez R., I., Namihira, D., Moreno, L. y Sosa, C. (1986). *El protocolo de investigación, lineamientos para su elaboración y análisis*. Editorial Trillas, impreso en México, 210 pp.
- [8]. Kerlinger, F. y Lee, H. (2002). *Investigación del comportamiento*. Cuarta edición. México. Traducido al español por CONACYT. McGraw-Hill, 810 pp.
- [9]. Kerlinger, F. y Lee, H: *Ibid.*
- [10]. APHA. (1995). American Public Health Association. *Standard M. D. Methods for the examination of water and waste water*. 19th ed Port City Pres. Baltimore, USA.
- [11]. Standard Methods for the examination of water and wastewater. (2005). *Analytical Methods*.
- [12]. NOM-AA-34-1981. *Determinación de sólidos en aguas-Método gravimétrico*.
- [13]. Alonso, M. (1998). Las lagunas de la España peninsular. *Limnetica*. Vol. 15, pp. 1-176.
- [14]. Wetzel, R. (1998). *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona, España, 666 pp.
- [15]. APHA: *op. cit.*
- [16]. Figueroa, J. y Dávila, M. (2004). *Química Física del Ambiente y de los Procesos Medioambientales*. Reverté. Barcelona, España, 591 pp.
- [17]. Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. Reverté. Barcelona, España, 725 pp.
- [18]. Carrera V., D., Ortega, H., Ramírez, J., Ramírez, C., Trejo, C. y Becerril, A. (2011). Boro, fosfatos e índices de salinidad del sistema hidrográfico Zahuapan-Atoyac, México. *Tecnología y Ciencias del agua, antes Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. II, núm. 2, abril-junio, pp. 5-21.
- [19]. Ayers, R. y Westcot, D. (1987). La calidad del agua y su uso en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje 29 Rev. 1. Traducido al español por J.F. Alfaro de: Water quality and use in agriculture. FAO, Roma, 175 pp.
- [20]. Zeng, L. y Shannon, M. C. (2000). Effects of salinity on grain yield and yield components of rice at different seeding densities. *Agronomy Journal*. Vol. 92, pp. 418-423.
- [21]. Chinnusamy, V., Jagendorf, A. and Zhu, J.-K. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, Vol. 45, pp. 437-448.
- [22]. Shani, U. and Dudley, L. (2001). Field studies of crop response to water and salt stress. *Soil Science Society American Journal*. Vol. 65, pp. 1522-1528.
- [23]. Richards, L. (1962). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sodícos*. Editor. México, editorial Cultura, 172 pp.
- [24]. Richards, L. *Ibid.*
- [25]. Richards, L. *Ibid.*
- [26]. Ayers, R. y Westcot, D. (1987). *Op. cit.*
- [27]. Richards, L.: *op. cit.*
- [28]. Ayers, R. y Westcot, D.: *op. cit.*
- [29]. Ayers, R. y Westcot, D.: *Ibid.*
- [30]. Richards, L.: *op. cit.*
- [31]. Carrera V., D., Ortega, H., Ramírez, J., Ramírez, C., Trejo, C. y Becerril, A. (2011). Boro, fosfatos e índices de salinidad del sistema hidrográfico Zahuapan-Atoyac, México. *Tecnología y Ciencias del agua, antes Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. II, núm. 2, abril-junio, pp. 5-21.
- [32]. Ayers, R. y Westcot, D.: *op. cit.*
- [33]. Ayers, R. y Westcot, D.: *Ibid.*
- [34]. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS), Libro VI Anexo 1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Presidencia de la república del Ecuador. 35 pp.
- [35]. Sharpley, A. and Withers, P. (1994). The environmentally-sound management of agricultural phosphorus. Netherlands. *Fertilizer Research*. Vol. 39, pp. 133-146.
- [36]. Mason, L., Amrhein, C., Goodson, C., Matsumoto, M. and Anderson, M. (2005). Reducing sediment and phosphorus in tributary waters with alum and polyacrylamide. *Journal Environmental Quality*. Vol. 34., pp. 1998 - 2004.
- [37]. Kronvang, B., Rubæk, G. H. and Hockrath, G. (2009). International Phosphorus Workshop: Difuse Phosphorus Loss to Surface Water Bodies Risk Assessment, Mitigation Options, and Ecological Effects in River Basins. *Journal Environmental Quality*. 38, 1924-1929.
- [38]. Sato, S., Morgan, K.T. and Ozores, M. (2009). Spatial and Temporal Distributions in Sandy Soils with Seepage Irrigation: II Phosphorus and Potassium. *Soil Science Society American Journal*. 73(3), 1053-1060.
- [39]. Arauzo, M., Valladolid, M., Martínez, J. J. y Gutiérrez, C. (2006). Dinámica espacio-temporal del contenido en nitrato de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río Oja (La Rioja, España): Vulnerabilidad del acuífero aluvial. *Limnetica*. 25(3), 753-762.
- [40]. TULAS, Libro VI Anexo 1: *op. cit.*
- [41]. Armengol, J., Lorenzo, R. y Fernandez, N. (2003). Utilización de la vinaza como enmienda orgánica y su influencia sobre las propiedades químicas de vertisoles y en los rendimientos de caña de azúcar. *Cultivos Tropicales*. 24(3), 67-71.
- [42]. Quiroz, I. (2010). *Percepción y actitud de productores cañeros sobre el uso de composta de cachaza y vinaza en la zona de abasto del ingenio La Gloria, Veracruz, México*. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Veracruz, México, 114 pp.