

## **Risk salinity and sodicity from the cutuchi hidrographic system basin high from amazon, Ecuador**

CARRERA-VILLACRÉS, David Vinicio<sup>`</sup>, MAYORGA-LLERENA, Eduardo Patricio<sup>``</sup> y MAYA-CARRILLO, Azucena Maribel<sup>```</sup>

D. Carrera, E. Mayorga y A. Maya

<sup>`</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Sangolquí, Ecuador.

<sup>``</sup>Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Químicas. Quito, Ecuador.

<sup>```</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Departamento de Ciencias Económicas y Administrativas, Sangolquí, Ecuador.

dvcarrera@espe.edu.ec

D. Sepúlveda, R. Salazar, F. Pérez y J. Rocha (eds.) *Ciencias Químicas y Matemáticas*-©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2015.

### 3 Introducción

El 80% del agua limpia se convierte en agua residual y su mal uso en la producción agropecuaria determina el deterioro de las condiciones de vida de la población rural, la misma que consume aproximadamente el 65% del recurso disponible (Cisneros et al., 2001); en la zona centro del Ecuador alrededor del 95,67% de las aguas provenientes de las Cuencas hidrográficas son caudales concesionados que se usan para riego (Ecuador Latacunga, 2011). La cuenca del Cutuchi provee agua para regadío en especial al canal de riego Latacunga Salcedo Ambato (LSA) que cubre una extensión aproximada de 24.000 ha y escurren en la cuenca aproximadamente 1000 Mm<sup>3</sup> anuales (Gutierrez, 2013). La salinización y sodificación de los suelos esta en relación al uso de las aguas residuales para la agricultura y de las malas prácticas de riego, por consiguiente, el objetivo de éste trabajo fue analizar los siguientes parámetros físico-químicos para interpretar la salinidad y sodicidad de las aguas: concentración de iones hidrogeno (pH), Conductividad Eléctrica (CE), Carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Cloruros (Cl<sup>-</sup>), Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), Sodio (Na<sup>+</sup>), Potasio (K<sup>+</sup>), Calcio (Ca<sup>2+</sup>) y Magnesio (Mg<sup>2+</sup>), sales totales disueltas (STD) y fundamentalmente los índices: PSI, PSE, PSP, RAS y RASaj.

#### 3.1 Aspectos teóricos

##### Relación de Adsorción de Sodio (RAS).

La valoración del riesgo de salinización de los suelos se realiza en base a parámetros que se determinan en el agua de regadío porque el extracto de saturación del suelo se encuentra en equilibrio con el agua de riego, así, se puede interpretar lo que sucede en el suelo a través de medir la concentración en el agua (Tabla 3).

**Tabla 3** Clasificación de las aguas en base al RAS

Clasificación	Tipo	RAS	Observaciones
S1	Aguas bajas en Sodio	<10	Poca probabilidad de PSI
S2	Aguas medias en Sodio	10 a 18	Presenta problemas si no hay lavado
S3	Aguas altas en Sodio	18 a 26	Necesita prácticas especiales de manejo
S4	Aguas muy altas en Sodio	>26	Inadecuada, excepto cuando es su salinidad baja

Fuente: (Richards, 1954).

Los valores asignados al RAS en esta clasificación son referenciales, inicialmente se estableció en base a la relación del sodio con el calcio, sin embargo, dentro de la relación de los iones sodio, calcio y magnesio su efecto no varía proporcionalmente (Olías et al., 2005). El magnesio presenta un comportamiento similar desde el punto de vista de neutralización de cargas negativas en el intercambio catiónico que sucede en el suelo, por lo que se modificó la relación (1), (Richards, 1954 y Can et al., 2011).

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

(1)

El RAS como relación original es muy variable ya que no siempre está el calcio disponible y varía por procesos de precipitación, por lo que el índice se ajusta al RASaj definido en la relación (2) (Carrera, 2007):

$$RAS_{aj} = RAS_{orig} [1 + (8,4 - pHc)] \quad (2)$$

El pHc es el pH teórico en equilibrio con la calcita  $CaCO_3$  y se calcula en base a (3):

$$pHc = (pK_2 - pK_{ps}) + p(Ca^{2+} + Mg^{2+}) + p(CO_3^{2-} + HCO_3^-) \quad (3)$$

$pK_2 - pK_{ps}$  Constituye el logaritmo negativo de la segunda constante de disociación del  $H_2CO_3$  y la constante de solubilidad del  $CaCO_3$  respectivamente, las dos se encuentran corregidas por la fuerza iónica.

$p(Ca^{2+} + Mg^{2+})$  es el logaritmo negativo de la concentración molar del  $Ca^{2+}$

$p(CO_3^{2-} + HCO_3^-)$  es el logaritmo negativo de la concentración equivalente de las bases  $CO_3^{2-}$  y  $HCO_3^-$ .

### Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)

El exceso de sodio en el suelo se define como PSI, porcentaje de Sodio intercambiable, definido por Eaton (1950) citado en (Richards, 1954), se calcula de acuerdo a la ecuación empírica (5), la misma que está en función del RAS

$$PSI = \frac{100(-0,0126 + 0,01475RAS)}{1 + (-0,0126 + 0,01475RAS)} \quad (4)$$

Si se toma en consideración que el  $CaCO_3$  precipita, el PSI se expresa en la siguiente relación:

$$PSI = 2 RAS [1 + (8,4 - pHc)] \quad (5)$$

Donde:

RAS es la relación de adsorción de Sodio y

pHc es el pH teórico en equilibrio con la calcita  $CaCO_3$ . (Ayers y Westcot, 1987). Un contenido elevado de sodio respecto a los demás cationes del complejo de intercambio del suelo puede generar una dispersión de las partículas arcillosas y de la materia orgánica, con la consecuente formación de un fondo impermeable. El valor crítico se define como 15% (Porta et al., 2003).

### Presión Osmótica

Según Richards (1954) existe una estrecha relación entre la concentración de sales, la presión osmótica y la conductividad eléctrica, de acuerdo al autor, se puede inferir el tipo de sal predominante a través de determinar la pendiente de diferentes relaciones funcionales. Las aguas del canal LSA se acercaron más a la relación concentración de sales vs CE de tipo de  $NaHCO_3$  y/o  $MgSO_4$ .

La presión osmótica se puede determinar por métodos directos con el equipo definido como osmómetro. Otro método es por cálculos a partir de la concentración de solutos, en el presente caso se realiza los cálculos en base a la ecuación siguiente (6):

$$\pi = CRT$$

(6)

Donde:

$R = 0,082 \text{ atm l mol}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$

$T = 298,15^\circ\text{K}$

C= Concentración de iones (molar)

Esta relación es factible ya que a bajas concentraciones, las soluciones de partículas se comportan termodinámicamente como gases ideales por lo que son dependientes de la temperatura.

### **Efecto de la concentración de iones $\text{CO}_3^{2-}$ y $\text{HCO}_3^-$**

La concentración de los iones  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  en las aguas de riego están en estrecha relación con las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  y su importancia se establece en la interacción de estos cuatro iones puede generar la precipitación como carbonatos alcalino-térreos, por lo que existe la posibilidad de incremento del PSI; existen tres indicadores que referencian a la interacción de estos cuatro iones.

El problema de la erosión del suelo es fundamental e identificar el efecto que causarían las aguas residuales, por la presencia de sodio, en la reducción de la conductividad hidráulica generando compactación y fractura resulta primordial desde el punto de vista ambiental (Pérez-León, 2011).

Desde el punto de vista agrícola, el uso de agua residual con concentraciones de  $\text{Na}^+$  porcentualmente altos afecta la producción y calidad de los cultivos. No existen límites específicos de la concentración de sodio en el suelo ni tampoco de la concentración en agua, pues dependerá de múltiples factores, como frecuencia de riego, evapo-transportación, tipo de cultivo, sensibilidad de la planta, CE, etc. El índice PSP constituyó uno de los primeros parámetros de referencia del riesgo de alteración de los suelos por el uso de aguas residuales. Aguilera y Martínez (1996) especifica que valores de PSP sobre 50% o más representa un peligro de desplazamiento del  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  por el  $\text{Na}^+$ .

La posibilidad de infiltración es igualmente un riesgo latente (Balmaseda, C. y García, Y., 2013)); sin embargo, este proceso se inicia cuando la concentración de sodio en solución representa más del 50 % de los cationes disueltos, de acuerdo a Rodríguez et al., (2008) se confirma que el proceso de sodificación es mayor cuando la concentración de  $\text{Na}^+$  sobrepasa los 10 meq l-1. Según Salgado-García et al. (2006) el PSP debe referirse a la salinidad efectiva (SE), por lo que se calcula mediante la fórmula (7):

$$\text{PSP} = (\text{Na}^+/\text{SE}) 100.$$

(7)

### **3.2 Objetivo**

El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial riesgo de salinidad y sodicidad de las aguas durante los períodos de lluvia (enero-marzo, fase I) y estiaje (Julio-agosto, fase II) del 2013.

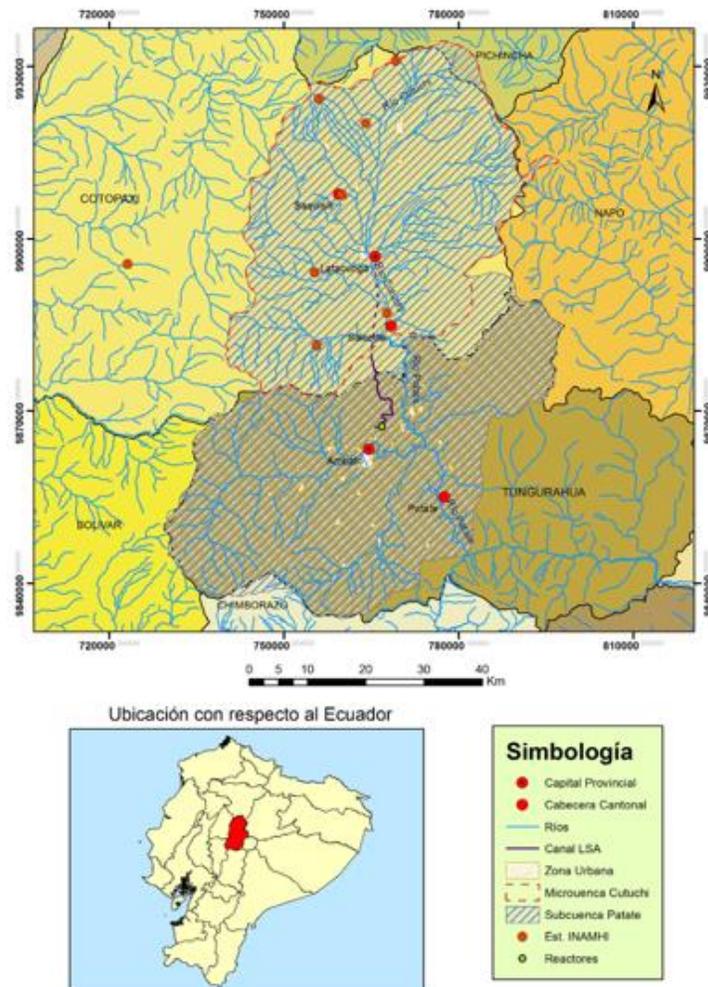
### 3.3 Materiales y métodos

**Zona de Estudio:** El estudio se realizó en el Ecuador, en la Figura 3 se presenta la cuenca del Cutuchi, su ubicación geográfica y las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAHMI).

**Investigación de campo:** Para comprender la influencia la actividad iónica de las aguas de la cuenca del Cutuchi en la sodicidad y salinización de los suelos que lo utilizan, se desarrolló el estudio en la bocatoma del canal de riego LSA. La investigación se efectuó en dos fases, la primera fue entre los meses de enero y marzo del 2013 en época de lluvia y la segunda entre los meses de julio y agosto del 2013 en época de estiaje.

**Parámetros analizados:** Se determinaron en cada muestra de agua: pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura, cationes (calcio, magnesio, sodio y potasio) y aniones (carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos), temperatura, STD, de acuerdo a los métodos APHA/AWWA/WEF Standard Methods N° 5220, métodos 4500-H+B, 2510 B, 3500 Ca D, 3500 Na K D, 2320 B, 4500 Ci B, 4500-SO4 B, 2540 D y 2540 E, 1995).

**Figura 3** Cuenca Hidrográfica del río Cutuchi y ubicación geográfica



### 3.4 Discusión y resultados

La composición promedio de los parámetros analizados del agua de la cuenca del Cutuchi en la bocatoma del canal LSA se presenta en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Parámetros Físicos del agua de la cuenca del Cutuchi en la toma del canal LSA

Parámetro	n	Valores mínimos y máximos
pH	24	7,4 - 8,7
Temperatura (°C)	24	13,6-20,5

En la tabla 3.2 se resumen los valores de RASorig y RASaj de las aguas de la cuenca del Cutuchi en la bocatoma del canal LSA.

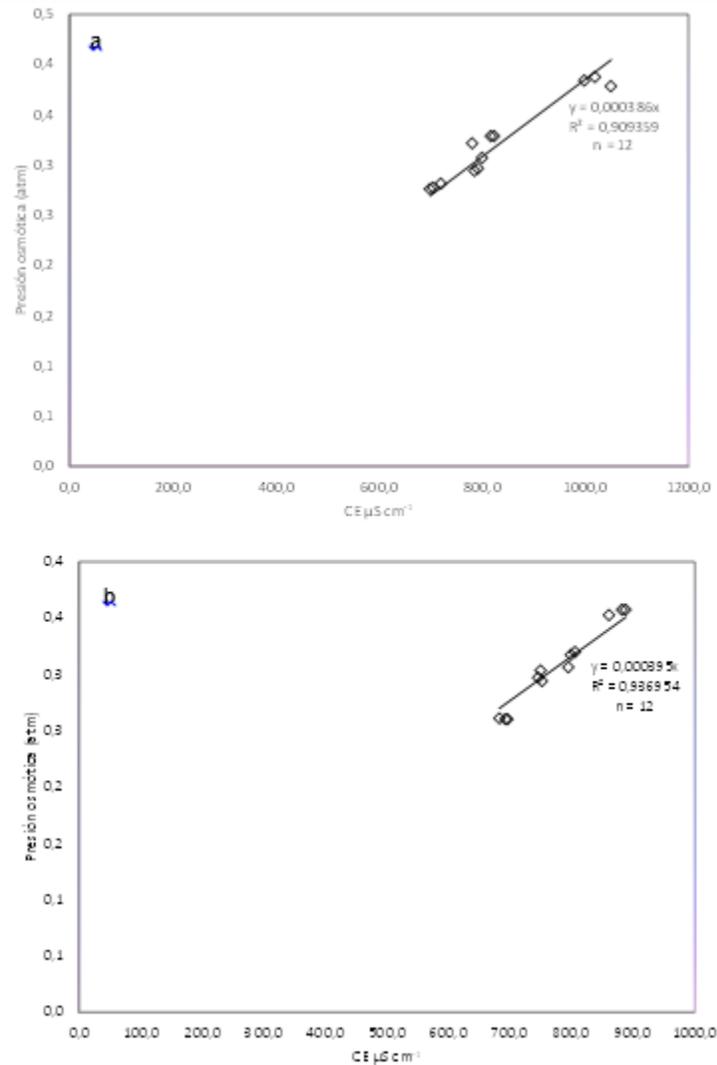
**Tabla 3.2** Clasificación de las aguas de la cuenca del Cutuchi en la bocatoma del canal LSA de acuerdo a RASorig y RASaj

No. muestra	FASE I					FASE II				
	suma de cationes meq/L	RAS <sub>orig</sub>	Clase	RAS <sub>aj</sub>	Clase*	suma de cationes meq/L	RAS <sub>orig</sub>	Clase	RAS <sub>aj</sub>	Clase*
1	10,29	1,52	S1	4,3	S1	8,40	1,4	S1	3,9	S1
2	9,96	1,68	S1	4,7	S1	8,40	1,4	S1	4	S1
3	9,73	1,92	S1	5,4	S1	8,50	1,3	S1	3,7	S1
4	7,60	1,16	S1	3,2	S1	8,30	1,4	S1	3,8	S1
5	7,68	1,02	S1	2,9	S1	8,40	1,3	S1	3,7	S1
6	8,11	1,24	S1	3,5	S1	8,10	1,3	S1	3,6	S1
7	8,23	2,02	S1	5,7	S1	7,70	1,2	S1	3,2	S1
8	7,92	2,01	S1	5,6	S1	7,80	1,3	S1	3,7	S1
9	8,30	2,24	S1	6,3	S1	7,70	1,3	S1	3,8	S1
10	6,93	1,84	S1	5,2	S1	8,40	1,4	S1	4	S1
11	7,07	1,8	S1	5	S1	8,30	1,4	S1	3,9	S1
12	7,10	1,64	S1	4,6	S1	8,50	1,4	S1	3,8	S1
13	7,43	1,63	S1	4,6	S1	8,00	1	S1	2,8	S1
14	7,60	1,57	S1	4,4	S1	7,90	1	S1	2,8	S1
15	7,45	1,21	S1	4,4	S1	7,70	0,9	S1	2,58	S1
16	6,63	1,18	S1	3,4	S1	7,70	1	S1	2,7	S1
17	6,72	1,18	S1	3,3	S1	8,70	1,5	S1	4,1	S1
18	6,78	2,17	S1	3,3	S1	7,90	1,3	S1	3,5	S1
19	9,05	2,06	S1	6,1	S1	8,70	1,5	S1	4,3	S1
20	8,91	2,17	S1	5,8	S1	8,50	1,9	S1	5,4	S1
21	9,09	1,85	S1	6,1	S1	8,40	1,4	S1	3,8	S1
22	7,87	1,96	S1	5,2	S1	8,60	1,4	S1	4	S1
23	8,10	1,96	S1	5,5	S1	8,80	1,3	S1	3,5	S1
24	8,09	1,96	S1	5,5	S1	9,00	1,8	S1	4,9	S1

\* Según Richards (1954)

Los promedios de PO de las fases I y II corresponden a 0,000386 y 0,000395 atm respectivamente, según (Richards, 1954) la relación entre la PO en atmosferas y la CE en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  es útil para algunos propósitos en agricultura, pues pendientes de 0,00036 son apropiadas para el crecimiento de la planta. En la Figura 3.1 se indica la relación funcional de la PO vs la CE de las aguas de la cuenca hidrográfica del Cutuchi en sus dos fases, los valores obtenidos se acerca a 0.00036, los mismos que se consideran correctos ya que el presente análisis se fundamenta en los iones analizados.

**Figura 3.1** Relación de la Presión osmótica y la Conductividad eléctrica de las aguas de la cuenca del Cutuchi (a) fase I y (b) fase II



El valor del PSI de las aguas de la cuenca del Cutuchi correspondió a 1,23 y 0,71 para las fases I y II respectivamente, valores que se encuentran muy por debajo del referente de PSI como igual o mayor a 15. Carrera et al. (2011) establece gráficas de soluciones de sales por separado para poder inferir el comportamiento de la solución del suelo en saturación, así, las aguas cuenca del Cutuchi presentaron un comportamiento cercano a las condiciones de una solución de NaCl. El promedio de la composición iónica de las aguas de la cuenca del Cutuchi se describe en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3** Promedio de la composición iónica de las aguas de regadío del canal de riego LSA.

Cationes					Suma Cationes					Suma Aniones
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	$\sum$ meq L <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	$\sum$ meq L <sup>-1</sup>
Promedio FASE I	2,8	2,4	2,7	0,20	8,0	0,1	6,5	0,8	0,6	8,0
Promedio FASE II	1,2	4,7	2,3	0,2	8,42	0,14	7,03	0,8	0,7	8,7

### Efecto de carbonatos bicarbonatos

En la tabla 3.4 se resume los valores de PSE, PSP y CSR.

**Tabla 3.4** Efecto de la concentración de iones CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Aceves, 2011)

Indice	Porcentaje de sodio encontrado (PSE)	Porcentaje de sodio posible (PSP)	Carbonato de sodio residual (CSR), meq L <sup>-1</sup>
Valores normales	<50%	<50%	<1,25
Agua canal LSA fase I	34,2%	96,5	buena para riego 1,4
Agua canal LSA fase II	28%	92	1,27

Cuando la concentración de sodio representa el 50% de la concentración de cationes, es decir PSE >50%, existe la posibilidad de desplazamiento del Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> como sales de CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> o SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, lo que permitirá el incremento de la concentración de Na<sup>+</sup>. Las aguas del canal LSA presentan valores de PSE de 34,2 % y 28% para las fases I y II respectivamente, se puede colegir que existe probabilidad de convertir los suelos que irriga en suelos sódicos. Si se toma en consideración las propiedades físicas del suelo, Las aguas de la cuenca del Cutuchi reportan PSP de 96,5% y 92%; valores que deberían considerarse de alto riesgo y condicionadas su uso en agricultura.

### 3.5 Conclusiones

De acuerdo a la CE las aguas de la cuenca del Cutuchi generan el efecto de salinidad de los suelos que irrigan, criterio que se confirma con el índice de CSR con valores mayores a 1,25 meq L<sup>-1</sup>; según los índices: RASorig y RASaj las aguas de la cuenca del Cutuchi se encuentran dentro del rango de clasificación S1 por lo que resultan ser de baja peligrosidad de generar sodicidad; los valores de PO fueron de 0,32 y 0,34 atm y el índice PSI correspondió a 1,23 y 0,71 para las fases I y II respectivamente, valores que se encuentran por debajo del referente de PSI como igual o mayor a 15, el índice PSE fue de 34,2 % y 28% para las fases I y II respectivamente. Las aguas de la cuenca del Cutuchi reportaron PSP de 96,5% y 92%. De acuerdo a PSI y RASaj presentan bajo riesgo de sodicidad y finalmente de acuerdo a los índices de PSP y PSE deberían considerarse de potencial riesgo de convertir los suelos que irriga en sódicos.

### 3.6 Referencias

- Aceves N., E. 2011. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México, México.
- Aguilera, C. y Martínez, E. (1996). Relaciones Agua Suelo Planta Atmosfera. . Mexico: Patronato de la Universidad Autónoma Chapingo.
- Ayers, R. S. y D. W. Westcot. (1987). La calidad del agua y su uso en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje 29 Rev. 1. Trad. Al español por J.F. Alfaro de: Water quality and use in agriculture. APHA/AWWA/WEF.1995. Standard Methods N° 2550 B, N° 4500-H+ B, N° 2510, N° 2540, N° 2540, N° 2540, N° 2340, N° 2320 B, 3.500 Na+ y K+,D, 4.500 C-IB 1995, Azometina-H. (1995). N° 5220, N° 4500 E
- Balmaseda, C. y García, Y. (2013). Calidad de las aguas para riego de la cuenca del río Naranjo, Municipio majibacoa. Cultivos tropicales, Vol. 34(4) , 68-73.
- Can, C. A., Ramírez, A.C., Ortega, E. M., Trejo, L.C., Cruz, D. J. . (2011). Evaluación de la relación de adsorción de sodio en las aguas del río Tulancingo, Estado de Hidalgo, Mexico. Terra Latinoamericana, 26 (3), , 243-252.
- Carrera. D. (2007). Calidad de las aguas del sistema hidrográfico Zahuapan-Atoyac, México. Colegio de Postgraduados. (Tesis de Maestría en Ciencias). México
- Carrera-Villacrés. D. Ortega-Escobar, H., Ramírez-García, J., Ramírez-Ayala, C., Trejo-López, C., Becerril-Román, A. (2011). Boro, Fosfatos e índices de Salinidad del sistema hidrográfico Zahuapan-Atoyac. Tecnología y Ciencias del Agua, vol.II, num.2, abril-junio de 2011, , 5-21.
- Cisneros, O., González, J., y Fuente, C. (2001). Perspectiva de aprovechamiento de las aguas residuales en la Agricultura. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua IMTA. México: IMTA, Comisión Nacional del Agua.
- Ecuador Latacunga. (2011). Diagnóstico Estratégico cantonal. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Latacunga. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial; bienestar y desarrollo para el buen vivir. Capítulo I. Situación Ambiental. Latacunga: Gobierno Autónomo Descentralizado.
- Gutierrez, C. (2010). La contaminación del río Cutuchi. UTPL. Centro Universitario Latacunga. Postgrado en Derecho Ambiental. Loja. Ecuador
- Olías, M., Cerón, J. y Fernández, I. (2005). Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). Geogaceta 37 (2005), 111-113
- Pérez-León, J. M. (2011). Manual para determinar la calidad del agua para riego agrícola. Trabajo de experiencia recepcional. México: Xalapa.
- Porta, C. J., M. López y C. Ronquero. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. México: Mundi-Prensa. p. 959.

Richards, L. (1954). Diagnóstico y rehabilitación de Suelos salinos y sódicos. Manual de Agricultura. Washington: Dpto de Agricultura de los Estados Unidos de América No.60.

Rodríguez, M.; D'Urso, C.; Rodríguez, G.; Sales, A. . (2008). Evaluación de la calidad de aguas para riego de la cuenca del río Calera. Ciencia, Vol. 3(7)dic. , 15-30.

Salgado-García, S., Palma, D., Lagunes, L., Castrelán, N., (2006). Manual para muestreo de suelos, Plantas y aguas e interpretación de análisis. Colegio de Posgraduados, Campus Tabasco ISPROTAB. 2da Ed. México