

## Calidad y uso potencial de las aguas del río Tipitapa

### Quality and potential use of the waters of the río Tipitapa

Lacayo Morales, Rommel; Picado Pavón, Francisco J.



 Rommel Lacayo Morales

rommel.lacayo@cira.unan.edu.ni

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua,  
Managua, Nicaragua, Nicaragua

 Francisco J. Picado Pavón

francisco.picado@cira.unan.edu.ni

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua,  
Managua, Nicaragua, Nicaragua

#### Revista Torreón Universitario

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua,  
Nicaragua

ISSN: 2410-5708

ISSN-e: 2313-7215

Periodicidad: Cuatrimestral  
vol. 11, núm. 31, 2022

[revis.torreon.faremc@unan.edu.ni](mailto:revis.torreon.faremc@unan.edu.ni)

Recepción: 09 Agosto 2021

Aprobación: 04 Mayo 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/387/3873100015/>

DOI: <https://doi.org/10.5377/rtu.v11i31.14292>

El autor o los autores de los artículos, ensayos o investigaciones conceden a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua) los derechos de edición (copyright) del trabajo enviado, por consiguiente la Universidad cuenta con el derecho exclusivo para publicar el artículo durante el periodo completo de los derechos de autor.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

**Resumen:** Nicaragua es un país privilegiado por sus recursos acuáticos sin embargo, la calidad prístina de estos recursos es amenazada por diversos estresores. El río Tipitapa, ubicado en la cuenca hidrográfica UH 69-9529, es un conducto de drenaje natural de las aguas del lago Xolotlán hacia el lago Cocibolca, el cual integra el sistema lagunar de Tisma considerado como zona de amortiguamiento entre la parte alta y baja de la cuenca fluvial. Esta zona recibe y alberga xenobióticos limitando su transporte hacia el Cocibolca. La actividad agropecuaria es predominante en la cuenca y esta aprovecha las aguas del río Tipitapa para la irrigación de cultivos como, arroz, frijol, trigo, legumbres, así como para la irrigación de áreas de pastizales, entre otros. Esta investigación evalúa la calidad fisicoquímica de las aguas del río Tipitapa y su aptitud para la irrigación de los cultivos del área. Para ello, dos sitios antes y dos sitios posteriores a la laguna de Tisma fueron muestreados en dos ocasiones, una en época lluviosa y otra en la época seca. A las muestras de agua colectadas se les realizó el análisis fisicoquímico. Parámetros de campo fueron medidos in situ al momento de la colecta de las muestras. Los resultados del estudio revelan la calidad hídrica actual de las aguas del río Tipitapa, así como manifiestan su disponibilidad para la actividad agropecuaria. Esta investigación contribuye con información científica para el establecimiento de planes en la gestión del recurso hídrico.

**Palabras clave:** calidad, agua, Tipitapa, hidro química.

**Abstract:** Nicaragua is a privileged country for its aquatic resources, however, the pristine quality of these resources is threatened by various stressors. The Tipitapa River, located in the hydrographic basin UH 69-9529, is a natural drainage conduit of the waters of Lake Xolotlán towards Lake Cocibolca, which integrates the Tisma lagoon system considered as buffer zone between the upper and lower part of the river basin. This area receives and houses xenobiotics limiting their transport to the Cocibolca. Agricultural activity is predominant in the basin and this takes advantage of the waters of the Tipitapa River for the irrigation of crops such as rice, beans, wheat, legumes, as well as for the irrigation of grassland areas, among others. This research evaluates the physicochemical quality of the waters of the Tipitapa River and its suitability for irrigation of the crops of the area. To do this, two sites before and two sites after the Tisma lagoon were sampled twice, once in the rainy season and once in the dry season. The collected water samples were physically chemically analyzed. Field parameters were measured in situ at the time of sample collection. The results of the study reveal

the current water quality of the waters of the Tipitapa River, as well as their availability for agricultural activity. This research contributes with scientific information for the establishment of plans in the management of water resources.

**Keywords:** quality, water, Tipitapa, hydro chemistry.

## 1. INTRODUCCIÓN

El río Tipitapa es una unidad hídrica que hasta el año 1910 formó una conexión fluvial entre los lagos Xolotlán y Cocibolca (IRENA, 1981), siendo posible la navegación de barcos desde San Francisco Libre hasta el mar Caribe. En la actualidad, el río es un efluente natural del lago Xolotlán y cuando el nivel de sus aguas supera los 39,2 msnm por la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos, tales como el Huracán Mitch (1998) y la Tormenta Tropical Agatha (2010), este une las aguas de ambos lagos. Con el Huracán Mitch el lago Cocibolca recibió unos 100 MMC de agua del lago Xolotlán (MARENA, 2001), lo cual incidió negativamente sobre la calidad de sus aguas dado que la calidad natural de las aguas del lago Xolotlán ha sido históricamente afectada por la contaminación antrópica desde el año 1927 cuando inició la descarga de aguas residuales provenientes de la capital. Desde ese entonces hasta el año 1982 este cuerpo de agua había recibido aproximadamente 35,75 toneladas de materia orgánica (IRENA, 1981). Aparte de esta incidencia antrópica, la variabilidad y el cambio climático han afectado a la zona inter lagos, y dado que estos estresores están vinculados al régimen de precipitaciones o sequías, se hace necesario el establecimiento de estrategias consensuadas para el monitoreo del área.

El lago Cocibolca, es un importante recurso de agua dulce en Centroamérica y es una fuente potencial para la industria pesquera y recreativa. En la actualidad, este lago es utilizado como fuente de agua potable por algunas poblaciones costeras, y en un futuro suministraría a ciudades más grandes como Managua, Masaya y Rivas (Banco Mundial, 2013). La cuenca del lago Cocibolca es compartida con Costa Rica y está constituida por 20 sub cuencas circundantes, entre ella la sub cuenca de Tisma, donde se ubica el río Tipitapa. Esta subcuenca es compartida por los departamentos de Managua, Masaya y Granada, cuyas actividades económicas de alguna manera inciden en la calidad y características químicas de las aguas del ecosistema. Estas incidencias pueden tener relación con el transporte de los desechos generados por la actividad agropecuaria hacia el río. Otro tipo de incidencia sería la meteorización del material geológico de la zona propiciado por la erosión eólica e hídrica, sumado a las partículas del suelo erosionado por el alto laboreo en las zonas de cultivos con los que aportan, a través de las escorrentías, una importante carga de minerales y nutrientes al río, contribuyendo con el proceso de eutrofización.

Esta investigación también aporta con información al Sistema Lagunar de Tisma sitio RAMSAR #1141; zona altamente amenazada por efecto del crecimiento demográfico y actividades antropogénicas. El objetivo de esta investigación fue valorar la calidad hídrica del río Tipitapa y su posible relación con incidencias antropogénicas que afecten la calidad y el uso de sus aguas para la irrigación de los cultivos.

## 2. METODOLOGÍA

La investigación fue realizada mediante el análisis temporal con la ejecución de dos campañas, una en época de lluvia (octubre 2016) y otra en la época seca (febrero 2017), para la colecta de muestras de agua superficial del río Tipitapa. Cuatro sitios fueron muestreados a lo largo de sus 37,5 km de recorrido fluvial (figura 1). Al momento de la colecta de muestras fueron medidos algunos parámetros de campo (pH, conductividad, temperatura, etc.). El río Tipitapa está ubicado en la cuenca hidrográfica UH 69-952911 y 12 cuya área

es de 557,96 km<sup>2</sup>, la precipitación promedio registrada es de 1100 mm y el clima se caracteriza por tener temperaturas cálidas a lo largo del año entre los 25,0 a 27,5°C (INETER, 2010); las coordenadas de los sitios muestreados son: Sitio 1 (N: 1347636; E: 603499); Sitio 2 (N: 1343490; E: 607257); Sitio 3 (N: 1339863; E: 618095) y Sitio 4 (N: 1337989; E: 622507) (figura 1).

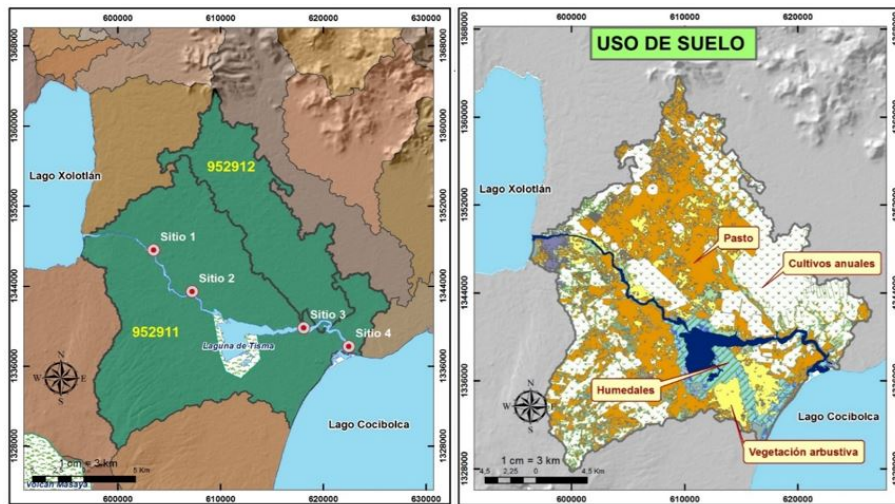


FIGURA 1.  
Sitios muestreados en la cuenca del río Tipitapa (octubre 2016 y febrero 2017) y uso actual del suelo de la zona de inter lagos.

La calidad de las aguas colectadas fue examinada a través del análisis fisicoquímico (FQ), lo cuales incluyeron turbidez, pH, conductividad eléctrica, color, las concentraciones de iones mayores como, sodio, potasio, magnesio, calcio, cloruros, sulfatos, nitratos, carbonatos, bicarbonatos; constituyentes inorgánicos (dureza, alcalinidad) y sólidos totales disueltos. Los procedimientos de análisis utilizados son los descritos en el Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater, 22<sup>nd</sup> Edition (APAH, 2012); los cuales están validados y respaldados por el sistema de aseguramiento y control de la calidad analítica según la normativa ISO/17025, implementada en los laboratorios del CIRA/UNAN-Managua (<https://cira.unan.edu.ni>). Para evaluar los resultados de calidad se usaron como referencia las normas Canadian Water Quality Guidelines del Canadian Council of Ministers of the Environment (CWQG/CCME, 2008) y el Capítulo 4 de Usos agrícolas y la normativa ambiental para la clasificación de los recursos hídricos definidos en el ítem Aguas Tipo 2 de Nicaragua (INAA, 1996). Para la elaboración de mapas y ubicación de los sitios muestreados se hizo uso del software ArcGis 10.2, mientras que la clasificación hidro química de las aguas fue realizada haciendo uso del programa Easy\_Quim 3.0.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Parámetros de campo

TABLA 1.  
Parámetros de campo medidos en las aguas del río Tipitapa en octubre 2016 y febrero 2017

| Sitios<br>muestreados | Octubre 2016 (Época lluviosa) |      |                                       | Febrero 2017 (Época Seca) |      |                                       |
|-----------------------|-------------------------------|------|---------------------------------------|---------------------------|------|---------------------------------------|
|                       | T (°C)                        | pH   | Conductividad<br>( $\mu\text{S/cm}$ ) | T (°C)                    | pH   | Conductividad<br>( $\mu\text{S/cm}$ ) |
| Sitio 1               | 32,40                         | 8,89 | 419,0                                 | 28,50                     | 8,08 | 696,0                                 |
| Sitio 2               | 31,37                         | 8,00 | 197,0                                 | 28,60                     | 8,48 | 718,5                                 |
| Sitio 3               | 31,37                         | 8,08 | 442,0                                 | 31,20                     | 8,16 | 540,0                                 |
| Sitio 4               | 30,21                         | 8,04 | 494,5                                 | 29,80                     | 8,10 | 387,0                                 |
| Promedio              | 31,34                         | 8,25 | 388,1                                 | 29,53                     | 8,21 | 585,4                                 |
| Desviación            | 0,89                          | 0,43 | 131,3                                 | 1,26                      | 0,19 | 154,2                                 |
| CV                    | 2,86                          | 5,17 | 33,8                                  | 4,28                      | 2,27 | 26,3                                  |

CV: Coeficiente de Variación

### 3.2. Composición iónica de las aguas

TABLA 2.  
Concentraciones de cationes y aniones en las aguas del río Tipitapa, octubre 2016 y febrero 2017

| Sitios muestreados                   | Cationes        |                  |                |                  | Aniones                        |                 |                               |                              |                              |
|--------------------------------------|-----------------|------------------|----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                      | Na <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| <b>Octubre 2016 (Época lluviosa)</b> |                 |                  |                |                  |                                |                 |                               |                              |                              |
| Sitio 1                              | 45,10           | 30,06            | 6,67           | 8,26             | 165,99                         | 25,17           | 18,91                         | 16,80                        | 0,53                         |
| Sitio 2                              | 19,00           | 14,43            | 9,34           | 3,40             | 100,00                         | 10,13           | 7,72                          | 2,00                         | < LD                         |
| Sitio 3                              | 54,00           | 22,44            | 11,34          | 10,69            | 202,59                         | 31,08           | 19,46                         | 2,00                         | < LD                         |
| Sitio 4                              | 67,70           | 21,64            | 11,18          | 11,18            | 222,11                         | 38,25           | 18,15                         | 14,4                         | < LD                         |
| Promedio                             | 46,45           | 22,14            | 9,63           | 8,38             | 172,67                         | 26,16           | 16,06                         | 8,80                         | 0,53                         |
| Desviación                           | 20,53           | 6,39             | 2,17           | 3,56             | 53,74                          | 11,95           | 5,59                          | 7,91                         |                              |
| CV                                   | 44,19           | 28,86            | 22,56          | 42,45            | 31,12                          | 45,68           | 34,78                         | 89,92                        |                              |
| <b>Febrero 2017 (Época Seca)</b>     |                 |                  |                |                  |                                |                 |                               |                              |                              |
| Sitio 1                              | 83,95           | 44,89            | 15,80          | 12,64            | 338,05                         | 45,94           | 18,60                         | < LD                         | < LD                         |
| Sitio 2                              | 92,60           | 34,87            | 20,00          | 16,28            | 312,42                         | 50,73           | 35,76                         | 14,4                         | < LD                         |
| Sitio 3                              | 9,30            | 22,04            | 9,30           | 17,01            | 229,44                         | 44,99           | 26,25                         | < LD                         | < LD                         |
| Sitio 4                              | 6,10            | 22,04            | 6,10           | 11,18            | 163,53                         | 30,63           | 15,58                         | < LD                         | 0,94                         |
| Promedio                             | 47,99           | 30,96            | 12,8           | 14,28            | 260,86                         | 43,07           | 24,05                         | 14,40                        | 0,94                         |
| Desviación                           | 46,67           | 11,08            | 6,27           | 2,81             | 79,74                          | 8,67            | 9,01                          |                              |                              |
| CV                                   | 97,26           | 35,80            | 48,99          | 19,71            | 30,57                          | 20,12           | 37,46                         |                              |                              |

< LD: Menor que el Límite de Detección del método.; CV: Coeficiente de Variación

### 3.3. Dureza Total (DT) y Alcalinidad Total (AT)

El valor promedio de DT en los cuatro sitios muestreados indica que las aguas del río Tipitapa son moderadamente duras. En el sitio 4 se observó una concentración promedio de 100,50 ( $\pm 0,71$ ) mg/l; CV=0,70 %, sin embargo, en el sitio 1 se observó la mayor concentración promedio 136,50 ( $\pm 38,89$ ) mg/l; CV=28,49%.

La AT de las aguas del río Tipitapa está dominada por el ion bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) con valores de pH que varían en un rango de 8,00 a 8,89 Unds. Entre octubre 2016 y febrero 2017, el rango de valores observados de AT fue de 81,95 a 280,05 mg/l, siendo los sitios 1 y 2 donde se observan las mayores diferencias entre muestreo. El valor promedio más alto observado de la AT fue en el sitio 1 con un valor de 220,55 ( $\pm 79,90$ ) mg HCO<sub>3</sub><sup>-2</sup>/l; CV = 36,23% y el más bajo en el sitio 4 con 158,00 ( $\pm 33,94$ ) mg HCO<sub>3</sub><sup>-2</sup>/l; CV = 21,48%).



### 3.4. Hidroquímica del río Tipitapa

TABLA 3.  
Composición Hidroquímica de las aguas del río Tipitapa, octubre 2016 y febrero 2017

| Sitios<br>muestreados                | Hidroquímica (meq/l)        |                                 |                               |  | Sólidos<br>Totales<br>Disueltos<br>(mg/l) | Conductividad<br>Eléctrica<br>(dS/m) | Relación<br>Adsorción<br>de Sodio<br>(RAS) |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|---|--------------------------------------|--|
|                                      | Sodio<br>(Na <sup>+</sup> ) | Magnesio<br>(Mg <sup>+2</sup> ) | Calcio<br>(Ca <sup>+2</sup> ) | Bicarbonato<br>(HCO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> ) |   |                                      |  |
| <b>Octubre 2016 (Época lluviosa)</b> |                             |                                 |                               |  |   |                                      |  |
| Sitio 1                              | 1,926                       | 0,680                           | 1,500                         | 2,721  | 269,80                                    | 0,419                                | 1,845                                      |
| Sitio 2                              | 0,827                       | 0,280                           | 0,720                         | 1,639  | 145,46                                    | 0,197                                | 1,170                                      |
| Sitio 3                              | 2,349                       | 0,880                           | 1,120                         | 3,320  | 289,71                                    | 0,442                                | 2,349                                      |
| Sitio 4                              | 2,946                       | 0,920                           | 1,800                         | 3,640  | 314,23                                    | 0,495                                | 2,526                                      |
| Promedio                             | 2,010                       | 0,690                           | 1,290                         | 2,830  | 254,80                                    | 0,370                                | 1,970                                      |
| Desviación                           | 0,894                       | 0,293                           | 0,468                         | 0,881  | 75,12                                     | 0,150                                | 0,608                                      |
| CV                                   | 44,430                      | 42,440                          | 36,440                        | 31,120   | 29,48                                     | 41,810                               | 30,820                                     |
| <b>Febrero 2017 (Época seca)</b>     |                             |                                 |                               |  |   |                                      |  |
| Sitio 1                              | 3,652                       | 1,040                           | 2,240                         | 5,541  | 435,65                                    | 0,696                                | 2,852                                      |
| Sitio 2                              | 4,028                       | 1,340                           | 1,740                         | 5,121  | 447,16                                    | 0,719                                | 3,246                                      |
| Sitio 3                              | 2,971                       | 1,400                           | 1,100                         | 3,761  | 316,62                                    | 0,540                                | 2,657                                      |
| Sitio 4                              | 1,844                       | 0,920                           | 1,100                         | 2,680  | 215,42                                    | 0,387                                | 1,835                                      |
| Promedio                             | 3,120                       | 1,180                           | 1,550                         | 4,280  | 353,71                                    | 0,590                                | 2,650                                      |
| Desviación                           | 0,959                       | 0,232                           | 0,553                         | 1,307  | 109,46                                    | 0,154                                | 0,594                                      |
| CV                                   | 30,690                      | 19,720                          | 35,79                         | 30,570   | 30,95                                     | 26,370                               | 22,450                                     |

CV: Coeficiente de Variación

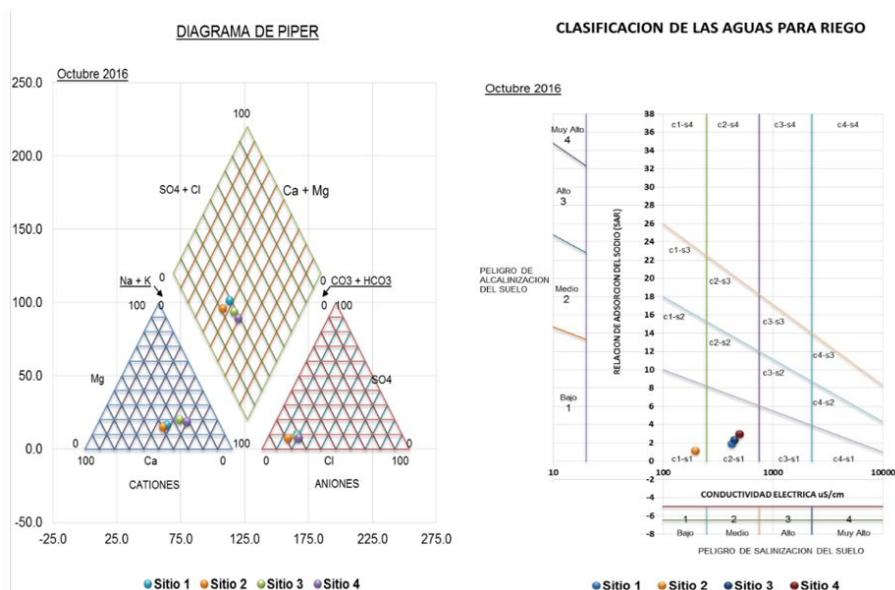


FIGURA 2. Hidroquímica y calidad para riego de las aguas del río Tipitapa. Octubre 2016 (Época lluviosa).

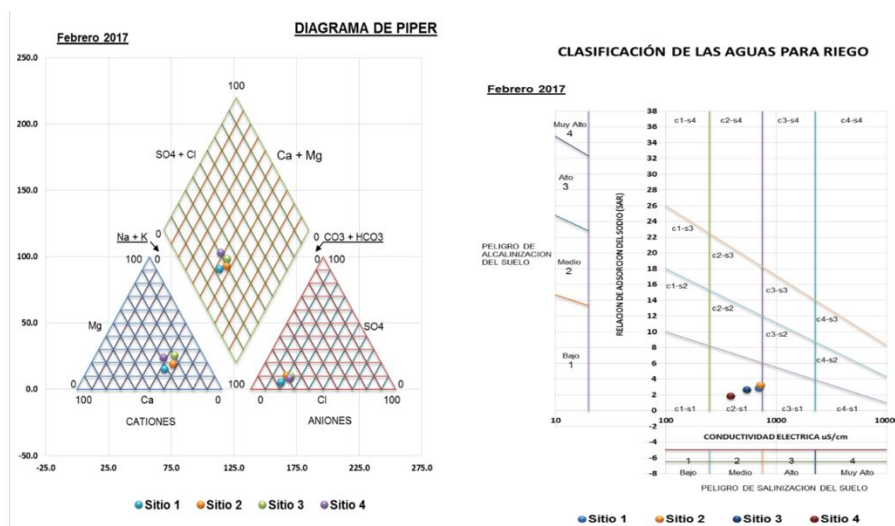


FIGURA 3. Hidroquímica y calidad para riego de las aguas del río Tipitapa. Febrero 2017 (Época seca).

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. pH de las aguas del río Tipitapa

La variabilidad en los valores de pH de las aguas, a lo largo del río Tipitapa, está marcada por el pH de las aguas del sitio 1 observado eventualmente en octubre del 2016. En cambio, a mediados, de febrero 2017 el valor del pH del sitio 2 fue el que contribuyó a esa variación (tabla 1). Los valores máximos observados de pH obedecen a concentraciones relativamente altas de iones carbonatos ( $\text{CO}_3^-$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^{-2}$ ) (tabla 2) y consecuentemente a los altos valores en alcalinidad. Este último ion ( $\text{HCO}_3^{-2}$ ) tiene un dominio longitudinal sobre las concentraciones del resto de iones componentes (tablas 2 y 3) de la hidroquímica de las aguas del río Tipitapa. Los valores de pH observados en esta investigación son similares a los reportados

por estudios previos (CIRA, 2011) y no implican efectos negativos para la biota del río según el rango de valores guías para la protección de la vida acuática (6,5 - 9,0 Unds de pH) (CWQG/CCME, 2008), así como también, no limitan el uso de estas aguas para el riego. Sin embargo, el monitoreo de esta variable en el río es de suma importancia, dado que elevados valores de pH en conjunción con otros factores ambientales, tales como la luz, la poca velocidad del agua y la alta disponibilidad de nutrientes en el río Tipitapa, podrían favorecer el desarrollo de cianobacterias (algas azul-verdosas) que alteran la calidad del agua (ACUMAR, 2009). En cambio, valores bajos de pH, provocan daños en las branquias de algunos peces; el umbral de daño para el caso de ictioespecies tolerantes a pH ácido se encuentra entre los 5,2 a 5,6 (ACUMAR, 2009).

#### 4.2. Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Totales Disueltos (STD)

Al igual que en otros ecosistemas lóticos, la conductividad eléctrica de las aguas del río Tipitapa (figura 5) tiene una dependencia lineal ( $CE = -56,787 + 1,746 \times STD$ ,  $r^2 = 0,9985$ , octubre 2016;  $CE = 87,267 + 1,4082 \times STD$ ,  $r^2 = 0,9988$ , febrero 2017) con los sólidos disueltos los cuales son elementos químicos ionizados, principalmente sales minerales, que se encuentran de forma natural o por incidencia antrópica. En la mayoría de los cuerpos de agua dulces los valores de esta variable van desde 10 hasta 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sin embargo, en aguas contaminadas estos valores aumentan. Históricamente, los valores de la CE de las aguas del río Tipitapa han variado desde 539,0 hasta 1327,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Rueda Hernández, 2006); (CIRA, 2011) no obstante, los valores medidos en esta investigación corresponden a un mínimo de 197,0 y un máximo de 718,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (tabla 1), ambos observados en el sitio 2 en octubre 2016 y en febrero del 2017 respectivamente. Estas observaciones manifiestan el efecto de dilución y/o reconcentración de sales. Los datos históricos y las concentraciones cuantificadas en esta investigación revelan que las aguas del río Tipitapa son aguas mineralizadas. Según Roldán (2008), los valores de CE para este tipo de agua deben estar entre 500 y 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Al comparar estos valores con los valores observados eventualmente en octubre 2016 y febrero 2017 (tabla 1), algunos de ellos están dentro del rango; en general, para época lluviosa es menor y en época seca se encuentran ligeramente dentro del mismo.

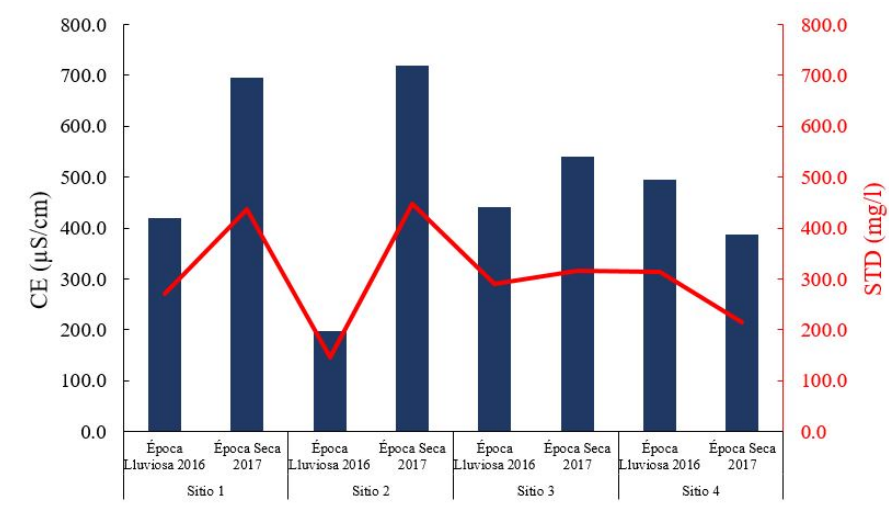


FIGURA 5.

Comportamiento de la Conductividad Eléctrica (CE) y Concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD) en las aguas del río Tipitapa, octubre 2016 (Época lluviosa) y febrero 2017 (Época seca)

El comportamiento espacial y temporal de los STD y el de la CE en las aguas del río Tipitapa tienen un patrón similar (figura 5). Los valores altos de ambas variables podrían obedecer a la pérdida del volumen



de agua por evaporación y los valores menores estarían relacionados con la dilución por las lluvias de los minerales presentes. Sin embargo, esta dilución enmascara la influencia que tiene sobre la composición química de las aguas la carga mineral originada por la meteorización local del material geológico. Datos históricos revelan cambios en los STD en las aguas del río que van desde 341,02 hasta 803,04 mg/l (Rueda Hernández, 2006); (CIRA, 2011). En esta investigación se observó que las concentraciones de los STD (figura 5) son inferiores a la normativa ambiental de INAA (1996), la cual considera un valor máximo permisible de 3000 mg/l para estos ecosistemas.

### 4.3. Cationes y Aniones

La disolución de los cationes y aniones (figura 6 y 7) en las aguas del río Tipitapa es evidente en el período de lluvia, mientras que en el período estival se observa la reconcentración de los mismos productos de la pérdida del volumen de agua por evaporación.

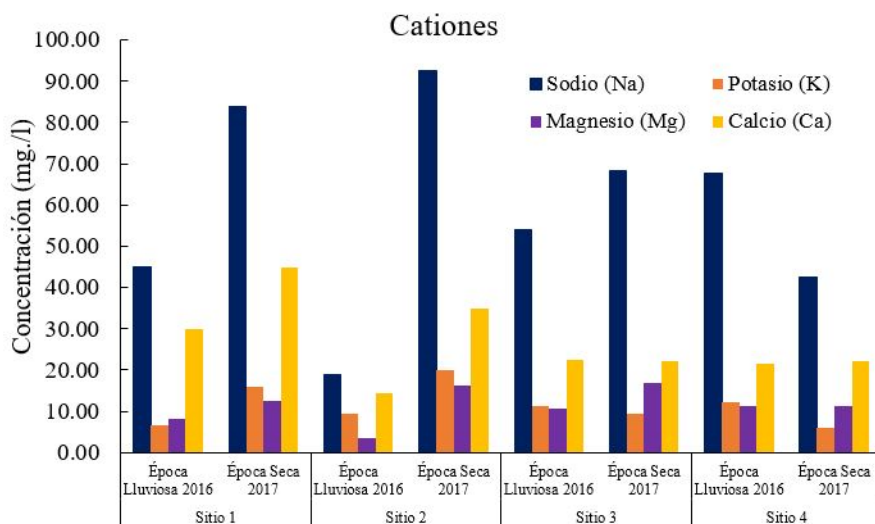


FIGURA 6. Concentraciones de macro cationes de las aguas del río Tipitapa observadas en octubre 2016 (Época lluviosa) y febrero 2017 (Época seca)

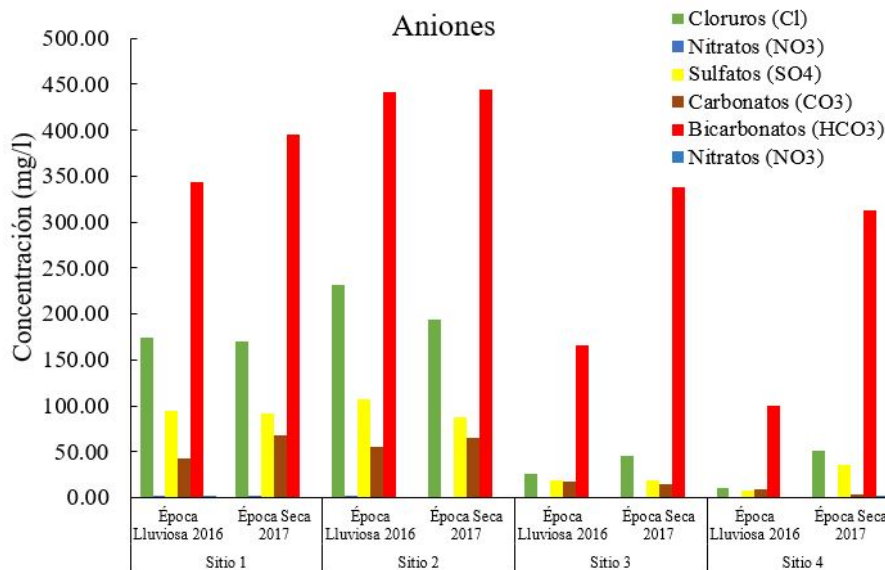


FIGURA 7. Concentraciones de macro aniones en las aguas del río Tipitapa observadas en octubre 2016 (Época lluviosa) y febrero 2017 (Época seca).

El comportamiento de los contaminantes químicos en las aguas naturales está en dependencia de las condiciones hidráulicas, condiciones ambientales y de las propiedades fisicoquímicas que predominan en éstas. La presencia del  $\text{CO}_2$  disuelto y de sus especies ionizadas como el  $\text{HCO}_3^-$  y el  $\text{CO}_3^{2-}$  en las aguas, influyen en los equilibrios de precipitación y disolución de compuestos inorgánicos (Barceló, et al., 2002). Las concentraciones de los macro-iones de la mayoría de las aguas superficiales en el mundo tienden a existir en las siguientes proporciones:  $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} \geq \text{Na}^+ > \text{K}^+$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  o  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ ; por la secuencia de Chebotarev los iones calcio y bicarbonatos son los predominantes y le confieren el carácter químico al agua (Padilla & García, 2012). Los resultados de esta investigación reflejan que las aguas del río Tipitapa presentan una distribución de iones según sus concentraciones en el siguiente orden:  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2}$  para los cationes y en relación a los aniones el orden es:  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ , con bajas concentraciones de  $\text{NO}_3^-$ , posiblemente relacionadas por la acción antrópica (tabla 2). Según estas observaciones, las aguas son clasificadas como bicarbonatadas-sódicas-cálcicas, agua de características mixtas influenciadas posiblemente por la composición geológica de la zona, tales como las formaciones cuaternarias predominantes (INETER & OIEA, 2011) y su meteorización producida por las precipitaciones (1,200 - 1,400 mm) las cuales se presentan irregulares en su distribución interanual producto de la variabilidad climática (Castillo, 2018).

#### 4.4. Dureza Total (DT) y Alcalinidad Total (AT)

La DT de las aguas se clasifica según la concentración de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) presente definiéndose en, aguas blandas (<75 mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ ), aguas moderadamente duras (75 - 150 mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ ), aguas duras (150 - 300 mg/l) y muy duras (>300 mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ ) (Roldán P. & Ramírez R., 2008). Por tanto, según esta clasificación las aguas del río Tipitapa son aguas con moderada dureza (tabla 4).

TABLA 4.  
Valores promedios de Dureza total (DT) y Alcalinidad total (AT) de las aguas del río Tipitapa

| Sitios<br>muestreados | Concentración (CaCO <sub>3</sub> ) (mg/l) |             |             |             | Valor de referencias (mg/l)                                       |  |
|-----------------------|---|-------------|-------------|-------------|---|--|
|                       | DT  |             | AT          |             | DT  | AT   |
|                       | Oct<br>2016                               | Feb<br>2017 | Oct<br>2016 | Feb<br>2017 | Aguas<br>moderadamente<br>duras:<br>75-150 mg/l<br>(Roldán, 2008) | < 75<br>(Baja)<br>> 150 (Alta)<br>(Kevern, 1989) |
| Sito 1                | 109,00                                    | 164,00      | 164,05      | 277,05      |   |  |
| Sito 2                | 50,00                                     | 154,00      | 81,95       | 280,05      |   |  |
| Sito 3                | 100,00                                    | 125,00      | 166,00      | 188,05      |   |  |
| Sito 4                | 100,00                                    | 101,00      | 182,00      | 134,00      |   |  |

Los valores de alcalinidad total presentaron un comportamiento temporal y espacialmente heterogéneo (CV<sub>min</sub>: 21,48; CV<sub>máx</sub> 36,23). Se observó una disminución en las concentraciones del CaCO<sub>3</sub> de las aguas del río en los sitios 3 y 4 (Figura 6) ubicados después del sistema lagunar de Tisma, evidenciando la capacidad de amortiguamiento del humedal.

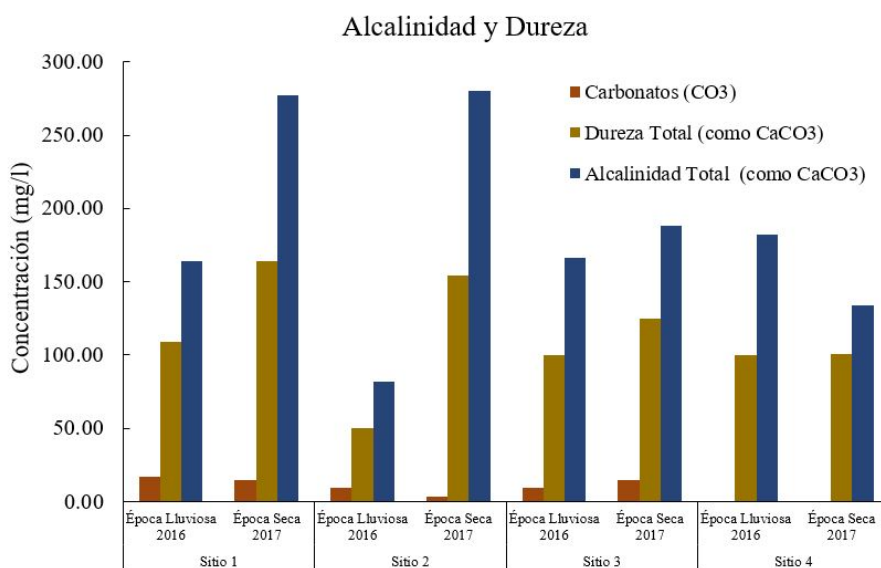


FIGURA 8.  
Comportamiento de la Alcalinidad y Dureza total en las aguas del río Tipitapa observado en octubre 2016 (Época lluviosa) y febrero 2017 (Época seca).

Al comparar las concentraciones de la Alcalinidad total con los rangos establecidos (tabla 5) podemos afirmar que las aguas del río Tipitapa presentan una alta alcalinidad, lo que le confiere un pH básico y una CE característica de aguas mineralizadas.

#### 4.5. Hidroquímica

La hidroquímica de las aguas (figuras 2 y 3) del río Tipitapa es bicarbonatada-sódica (HCO<sub>3</sub>-Na) en los sitios 1, 2 y 3, según las muestras colectadas en octubre 2016, mientras que en el sitio 4, cercano al lago

Cocibolca, esta es bicarbonatada-cálcica-magnésica ( $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ ), el cual es muy similar a las aguas del Lago Cocibolca (Zamorio A., 2018), reafirmando de esta forma la alta presencia del ion  $\text{HCO}_3^-$  en las aguas de la zona de inter lagos. El carácter hidroquímico de las aguas de los sitios 1, 2 y 3 puede estar vinculado a aguas que pueden provenir del lago Xolotlán o aguas de descarga regional, aguas subterráneas maduras provenientes del acuífero Las Sierras. Otros estudios reportan la hidroquímica del río Tipitapa y la laguna de Tisma (Zamorio A., 2018) como  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  con tendencia a Cl. La naturaleza hidroquímica que presentan ambos cuerpos de agua manifiesta que lago Xolotlán alimenta significativamente al caudal del río. Las aguas del sitio 4, por su proximidad al lago Cocibolca, podrían tener incidencias de las aguas del lago ya que este muestra un tipo  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$  (Zamorio A., 2018). Como podemos observar, la mineralización en las aguas del río Tipitapa tiene una composición dominada por la presencia de cationes como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  y el anión  $\text{HCO}_3^-$ . A pesar de la presencia de estos iones, estas aguas son clasificadas de baja peligrosidad en relación a la alcalinización del suelo y de bajo a medio con respecto a la salinización. Al analizar el diagrama de clasificación de las aguas para riego (figuras 2 y 3) estas son aptas para la irrigación en la mayoría de los cultivos de la zona como, arroz, caña, frijol, maíz, legumbres, etc.

Para febrero 2017, la hidroquímica de las aguas no cambió presentando condiciones bicarbonatadas-sódicas ( $\text{HCO}_3\text{-Na}$ ) en los sitios 1, 2 y 3, mientras que el sitio 4 su característica fue bicarbonatadas-cálcicas-magnésicas ( $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ ) (figura 2), clasificándolas como agua de salinidad media, apta para el riego de cultivos tolerantes a la salinidad y de bajo contenido en  $\text{Na}^+$  ubicándolas en aguas para el riego en la mayoría de cultivos (figura 8).

Las características químicas del agua que se utilizan para riego están influenciadas por el contenido de sales en el agua, viéndose reflejadas en parámetros como la relación CE/STD (Conductividad Eléctrica/Sólidos Totales Disueltos), RAS (Relación de Adsorción de Sodio), la alcalinidad, la dureza y pH del agua. Ninguno de los rangos de los parámetros evaluados presentó valores que se consideraran anómalos o que indiquen que las aguas del río Tipitapa no son aptas para la irrigación de cultivos en su cuenca. La calidad de algunas fuentes de agua puede variar significativamente de acuerdo a la época del año (lluviosa o seca) por tanto, el monitoreo de la calidad de las aguas a una escala de mayor resolución a lo largo del año podría reflejar los cambios en la hidroquímica del ecosistema a causa del entorno ambiental.

## 5. CONCLUSIONES

El carácter hidroquímico de las aguas del río Tipitapa actualmente no está influenciado por actividades antrópicas e indica que hasta el momento su estado de mineralización no le confiere un peligro de RAS a sus aguas

Según las referencias de evaluación consultadas, las características físicas y químicas de las aguas del río Tipitapa le inferen actualmente calidad para riego.

## 6. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) y Vice Rectorado de Investigación, por el apoyo brindado a través de los Fondos para la Investigación (FPI).

Al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua a través del Proyecto Regional RLA 7/019 "Desarrollo de indicadores para determinar el efecto de plaguicidas, metales pesados y contaminantes emergentes en los ecosistemas acuáticos continentales importantes para la agricultura y la industria agropecuaria" (ARCAL CXXXIX).

## REFERENCIAS

- ACUMAR. (Abril de 2009). *Criterios utilizados para la definición de los valores asociados a cada zona de uso*. <http://www.acumar.gov.ar/ACUsentencias/ndoza/2009abril/060409e/AnexoIIusos060409.pdf>
- APAH. (2012). *American Public Health Association (APAH). Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewater*. 22 ed. APHA.
- Banco Mundial. (5 de Noviembre de 2013). *Prioridades de Política e Inversión Para Reducir la Degradación Ambiental de la Cuenca del Lago de Nicaragua (Cocibolca). Los Principales Desafíos Ambientales*. [www.worldbank.org/lac](http://www.worldbank.org/lac).
- Barceló, I., Allende, I., Solís, H., Bussy, A.-L., & González, C. (2002). Determinación del estado de equilibrio de un sistema hídrico. *Revista de la Sociedad Química de México*, 46(2), 93-104.
- Castillo, F. (2018). *Evaluación de la calidad ambiental del Humedal Refugio de Vida Silvestre Sistema Lagunar de Tisma, Masaya, Nicaragua*. Managua: FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE (UNA).
- CIRA. (2011). *Evaluación del Impacto de la Calidad de Agua del lago Xolotlán sobre el río Tipitapa y el área inmediata en el lago Cocibolca (Estación lluviosa, Diciembre 2010 y Estación seca, Abril 2011)*. CIRA/UNAN-Managua.
- CWQG/CCME. (2008). *Canadian Water Quality Guidelines*. Toronto: Canadian Council of Ministers of the Environment.
- INAA. (1996). *Normativa Ambiental para la clasificación de Recursos Hídricos*. : Gobierno de Nicaragua.
- INETER. (2010). *Identification and assessment of hydrological flows between the lakes of Managua and Nicaragua, Applying Nuclear Techniques for the Development of a Management Plan for the Watershed of the Great Lakes*. Managua: Name of OIEA - Experto Hidrogeólogo, Sergio Iriarte Díaz.
- INETER, & OIEA. (2011). *Caracterización hidrogeológica e isotópica del acuífero Tipitapa-Malacatoya en la zona del estrecho interlagos*. Proyecto OIEA & INETER.
- IRENA. (1981). *El agua subterránea en el área de Tipitapa-Las Banderas-San Juan-San Isidro*. Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente (IRENA).
- Kevern, R. (1989). *Alkalinity water, classification systems. volume Part 1*. Michigan: The Michigan.
- MARENA. (2001). *Informe del Estado Ambiental en Nicaragua*. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA).
- Padilla, T. A., & García, N. (2012). Hidroquímica del agua superficial de la subcuenca del río Quiscab, *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17-20.
- Roldán P., G., & Ramírez R., J. J. (2008). *Fundamentos de Limnología neotropical*. Universidad de Antioquia.
- Rueda Hernández, M. (2006). Comportamiento de las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de la Laguna de Tisma en el año 2000 y 2005. (UNAN-Managua, Ed.) *Universidad y Ciencias*, 2(3).
- Zamorio A., M. J. (2018). *Evaluación de la migración de contaminantes desde el Lago Xolotlán hacia el Lago Cocibolca*. CIRA.