

Evaluación de la Calidad del Agua de Riego Proveniente de la Acequia Tilipulo Enríquez-Cotopaxi Mediante la Relación de Absorción de Sodio (RAS)

Rodríguez, Suly^{1,*} ; Jaramillo, Soraya¹ ; Zurita, Dominic¹ ; Valdiviezo, Amanda¹ ; Choloquina, Carlos¹ 

¹Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Quito, Ecuador

Resumen: El presente estudio tiene como objetivo evaluar la calidad del agua de la acequia Tilipulo Enríquez mediante la Relación de Absorción de Sodio (RAS) como indicador y así determinar si es apta o no para el riego de cultivos tomando como referencia las Normas Riverside. Para lo cual, se tomaron muestras en tres puntos del cantón Latacunga y uno de Saquisilí: Tanicuchí, Guaytacama, Saquisilí y Poaló. Se obtuvo como resultado que en el punto de muestreo 1 perteneciente a Tanicuchí, el agua es de buena calidad y apta para el riego, debido a que presenta fallas geológicas con pendientes entre 5 y 25%, además de que en esta zona del río Yanayacu aporta agua a la acequia aumentando su cauce y disminuyendo la conductividad del recurso hídrico, favoreciendo la calidad del agua. Además, al comparar estos resultados con Guaytacama (punto 2) y Saquisilí (punto 3) las aguas son utilizables para el riego con precauciones, ya que, estos territorios presentan pendientes entre 5 y 12%, un clima con temperaturas entre 12 a 15°C y precipitaciones entre 400 a 500 mm factores que contribuyen al aumento de conductividad y la salinidad de sus aguas. Por último, en el punto 4 de muestreo ubicado en Poaló el agua es de buena calidad y apta para el riego, pues esta zona es húmeda lluviosa y presenta mayor caudal lo cual incide principalmente en la disminución de la conductividad y concentración de sodio. Finalmente, este estudio en la acequia Tilipulo Enríquez puede aportar para futuras investigaciones, soluciones para la prevención y cuidado del agua de esta acequia.

Palabras clave: agua, acequia, índice RAS, muestreo, riego.

Evaluation of the Quality of Irrigation Water from the Tilipulo Enríquez-Cotopaxi Acequia Through the Sodium Absorption Ratio (SAR)

Abstract: The objective of this study is to evaluate the quality of the water in the Tilipulo Enríquez canal using the Sodium Absorption Ratio (SAR) as an indicator and thus determine whether or not it is suitable for irrigation of crops, taking as a reference the Riverside Standards. For which, samples were taken in three points of the Latacunga canton and one of Saquisilí: Tanicuchí, Guaytacama, Saquisilí and Poaló. It was obtained as a result that at the sample point 1 belonging to Tanicuchí, the water is of good quality and suitable for irrigation, due to the fact that it has geological faults with high slopes of up to 25%, in addition to the fact that in this area the Yanayacu River provides water to the ditch by increasing its channel and decreasing the conductivity of the water resource. Compared with Guaytacama (point 2) and Saquisilí (point 3), the waters are usable for irrigation with precautions, since these territories have slopes between 5 and 12%, a climate with temperatures between 12 and 15 °C and rainfall between 400 at 500 mm factors that contribute to the increase in conductivity and salinity of its waters. Finally, at sampling point 4 located in Poaló, the water is of good quality and suitable for irrigation, since this area is humid and rainy, with a higher flow, which mainly affects the decrease in conductivity and sodium concentration. Finally, this study in the Tilipulo Enríquez ditch may contribute to future research on solutions for the prevention and care of the water in this ditch.

Keywords: water, ditch, SAR index, sampling, irrigation.

1. INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca en su Plan Nacional de Riego y Drenaje del periodo 2012-2027 menciona que el Ecuador posee un abundante sistema hídrico

y es suficiente para abastecer las necesidades del agua para riego en la agricultura. En una superficie total de 3.1 millones de hectáreas, donde solo 942.000 representa la tercera parte y están siendo utilizadas para este fin.

*suly@hotmail.es

Recibido: 16/07/2021

Aceptado: 22/02/2022

Publicado en línea: 23/03/2022

10.33333/rp.vol49n2.06

CC 4.0

En general, los problemas que afectan a los recursos hídricos del Ecuador se derivan de actividades antropogénicas como la extracción de minerales, el crecimiento poblacional, la escasez de servicios básicos y alcantarillado, el uso excesivo de agroquímicos, la deforestación, la expansión de la agricultura y ganadería (Jiménez, 2015). Esto da como resultado altas concentraciones de metales pesados, nitratos, nitritos, fosfatos, tensoactivos, material orgánico, hidrocarburos y agentes patógenos que afectan a la salud y al equilibrio ambiental (Gil, 2013). La contaminación por origen natural del agua en el país según Romero (2010) proviene del arrastre de los sedimentos, de la interacción de calor y los restos de materia orgánica y en un determinado tiempo estos son depurados naturalmente por las características físicas y químicas, propias de cada cuerpo de agua.

En el Foro de los Recursos Hídricos (2013), la inversión del gobierno a nivel nacional en cuanto a la infraestructura y la red de riego ha sido del 12%. Mientras que por propia inversión comunitaria ha sido del 82% ya que la mayor parte es administrada, operada y mantenida por las mismas comunidades aledañas al recurso hídrico. Según los datos de la Secretaría Nacional del Agua (2015), existen 9.952 sistemas hídricos de los cuales 6.603 son destinadas para consumo directo, 124 para agua potable y 3.225 para riego. Weemaels (2009) indica que de las 3 140.000 hectáreas de cultivo en el Ecuador, el 30% cuenta con infraestructura para riego, mientras que el 70% utiliza riego por gravedad.

Por otro lado, la Organización de Alimento y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) en su informe del 2012 manifiesta que la agricultura debe ser sostenible para garantizar el abastecimiento de alimentos sin tener efectos ambientales, sanitarios y socioeconómicos. Además, según Vera (2012) advierte que la calidad de agua que se utiliza en la producción de los alimentos debe cumplir con los estándares normativos propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), ya que el agua debe estar libre de componentes tóxicos que puedan bioacumularse en el organismo de los seres vivos. La FAO (2012) propone medidas para la agricultura sostenible como las instalaciones de sistemas de monitoreo para la calidad de agua, planes de prevención de impactos negativos por las actividades agrícolas, optimización de los residuos generados, reducción de los agroquímicos, prevención de riesgos por escorrentías y sedimentos, tratamiento de aguas residuales, manejo de plagas, generación de compostaje y educación ambiental en las comunidades sobre los efectos que provocan los productos químicos como los plaguicidas, fungicidas y herbicidas.

Sin embargo, las deficientes políticas ecuatorianas tomadas en los gobiernos anteriores han generado conflictos en la sociedad perjudicando a la calidad y cantidad de agua que se utilizaba para distintas actividades humanas. Estas políticas beneficiaban principalmente a las industrias privadas, nacionales y extranjeras de tipo extractivas, donde el mal manejo de este recurso afectó negativamente a aquellas comunidades que previamente lo utilizaban y también a los ecosistemas acuáticos (Zapata, 2008). En Ecuador, no existe autoridad competente que tome la postura de mediador para resolver los conflictos entre las comunidades sobre el aprovechamiento del agua. Estos conflictos se acentúan en las

épocas de sequía de los meses de junio y julio ya que hay escasez de agua (Proaño, 2002).

Grandes sistemas de riego en el país fueron creados por los indígenas de la época colonial las cuales favorecían a los hacendados. Hoy en día, comunidades enteras ya tienen mayor acceso al agua, pero ciertas haciendas privadas aún se rehúsan en facilitar estas necesidades. Además, aún continúan empleando técnicas de riego poco eficientes, que han provocado el deterioro en los suelos productivos (Jiménez, 2015).

Tanicuchí es una parroquia del cantón de Latacunga. Tiene una altitud promedio de 2.981 m.s.n.m., una extensión de 54 km² y una temperatura promedio de 18 °C (GADP Tanicuchí, 2019). Limitada con ciertas parroquias: al norte con Pastocalle, al sur con Guaytacama, al este con Mulaló y al oeste con Toacaso.

Dentro del mismo cantón está ubicada en la parroquia Guaytacama. Tiene una superficie de 32 km² a una altitud de 2.859 m.s.n.m. por lo cual la temperatura promedio es de 14°C, catalogado como clima templado andino. Limitando con otras parroquias rurales como Toacaso y Tanicuchí en el norte, al sur con San Felipe y Poaló, en el este con Mulaló y Aláquez, por último, al oeste con Saquisilí (GADP Guaytacama, 2014).

La última parroquia perteneciente al cantón de Latacunga en este estudio es Poaló. Tiene una extensión de 75.36 km², ubicada a una altitud promedio de 3.560 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 10 °C, igualmente con un clima templado andino. Limita al norte con la parroquia de Saquisilí, al sur con la parroquia Once de Noviembre, al este con el cantón de Latacunga y al oeste nuevamente con Saquisilí (GADP San José de Poaló, 2015).

Por último, la parroquia de Saquisilí ubicada en el cantón del mismo nombre, tiene una extensión de 205.4928 km², una altitud entre 2.240 a 4.280 m.s.n.m., limita con tres cantones: al norte, sur y este con Latacunga, al oeste con Pujilí y Sigchos, se registran temperaturas entre 6 °C y 14 °C en todo su territorio (GADMC Saquisilí, 2015).

Según los datos recopilados por el (INEC, 2010) en las parroquias pertenecientes al cantón Latacunga, en el año 2010 la población correspondiente de Tanicuchí fue de 12.831 habitantes, 9.668 en Guaytacama y 5.709 en Poaló. Se estima que en la siguiente década 2020 la cantidad de habitantes será de: 14.336 en Tanicuchí, 10.802 en Guaytacama y 6.379 para Poaló.

Pese al crecimiento poblacional que se registra, los niveles de pobreza para Guaytacama son altos, denotando el poco desarrollo de la parroquia. Mientras que en Poaló el índice de necesidades básicas insatisfechas y de pobreza es aún mayor, con el 98.1%. Por otra parte, en Tanicuchí se encuentra la zona industrial de Lasso considerada como una fuente importante de empleo para la parroquia.

Para el cantón Saquisilí según las proyecciones del INEC en el 2020 la población será de 31.478 habitantes. Comparado con el decrecimiento de los caudales de agua a causa del crecimiento poblacional, que indica una tendencia negativa en el abastecimiento del líquido vital para esta población (GADMC Saquisilí, 2015).

Con respecto a las actividades antropogénicas realizadas en Tanicuchí, la economía de la parroquia es movida en un gran porcentaje por las industrias ubicadas en su territorio, formando el parque industrial entre los cuales se encuentran empresas como: Aceropaxi, Indulac, La Avelina, Lácteos Tanicuchí, Sancela, Aglomerados Cotopaxi, Textiles Río Blanco y algunas florícolas. Estas son las principales fuentes de empleo para la población, además se mantienen las actividades agrícolas y ganaderas en varias haciendas de la zona (GADP Tanicuchí, 2019).

En la parroquia de Guaytacama en su sector primario económico se encuentran las actividades de la agricultura que se basan en la siembra de maíz, cereales, hortalizas y en especial de brócoli. Además, dentro de esta actividad se toma en cuenta las zonas ganaderas y actividades pecuarias. Como sector terciario de la economía, se encuentra el comercio debido a la cercanía con la parroquia de Saquisilí que tiene una gran influencia en intercambios comerciales. Así como también se han registrado que lo pobladores tienen pequeños negocios o emprendimientos. El trabajo principal que se da en la zona es netamente de labores agrícolas, seguido de las empresas florícolas y en una minoría las actividades de artesanías (GADP Guaytacama, 2014).

Dentro de la parroquia de Poaló un aproximado de 84,59% de los pobladores se dedican a las actividades de agricultura, ganadería y silvicultura. El 5,65% a la manufactura, el 6,68% al sector público y el 3,08% al comercio. Debido a la ubicación geográfica y a su elevada altitud las actividades pecuarias se dan en un bajo porcentaje, ya que representa un alto costo el empleo de técnicas de producción pecuaria (GADP San José de Poaló, 2015).

En el Cantón Saquisilí existe una población económicamente activa (PEA), de la cual actualmente cerca del 52,08% de la población total se dedica a la actividad primaria como: agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Otro porcentaje de la población realiza actividades secundarias, es decir, industria y manufactura correspondiente al 4,34%, dentro de las actividades terciarias están las relacionadas con actividades de servicio y comercio representando el 40,60% de la economía (GADMC Saquisilí, 2015).

Las zonas de estudio descritas anteriormente, poseen una red hídrica conformada por distintos ríos como Chinchil, Pumacunchi y Cutuchi. También existen quebradas, acequias y zanjas que muchas aún no están identificadas con sus nombres. La acequia de Tilipulo Enríquez es parte de este sistema hídrico y es utilizada para el riego en la agricultura de los sectores ya mencionados. Es importante la calidad de agua de riego ya que interfiere en la capacidad de producción de los suelos. Navarro (2012) afirma que con una mala calidad de agua para riego, afecta negativamente las características del suelo como: alteración de sus propiedades fisicoquímicas,

elevadas concentraciones de sales, cambios en el pH, disminución de la capacidad de intercambio iónico y acumulación de trazas de compuestos tóxicos, entre otros.

En este estudio, se va a analizar la Relación de Absorción de Sodio (RAS) como un indicador de calidad del agua (Ecuación 1) y así determinar si es apta o no para el riego en los cultivos. Cuando el agua tiene altas concentraciones de sodio mayores al calcio y magnesio, provoca la dispersión de coloides y genera debilidad en la estructura microscópica del suelo ya que descompone las partículas arcillosas y también impide el paso del agua y aire. Según Catelon (2015), cuando el sodio es abundante el suelo pierde la capacidad de conducir agua y oxígeno, generando un ambiente anaerobio, acumulando sales que no son nutrientes para las plantas afectando a su capacidad reproductiva (Quintero, 2015). Es importante, realizar este análisis mencionado cada tres o cuatro años para verificar la variabilidad de la calidad del agua de riego. Los resultados de este parámetro van a depender de la frecuencia de los riegos, la cantidad del agua que se utilice y de los sistemas de riego presurizados (Herrera, 2016).

Según García (2012), los estudios realizados por el Laboratorio de Salinidad del USDA se ha demostrado que el índice RAS es efectivo para determinar un balance del agua con el suelo. El índice RAS se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

Dónde: Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} se expresan en unidades de: $\frac{meq}{L}$.

2. ARÉA DE ESTUDIO

Complementando lo anterior, según Sánchez (2003), existen muchas acequias en el país que fueron construidas por las comunidades aledañas como lo es la acequia de este estudio llamada Tilipulo Enríquez. A lo largo de la trayectoria de la acequia atraviesa las parroquias de Tanicuchí, Guaytacama, Saquisilí y Poaló, pertenecientes a la provincia de Cotopaxi, en mayor extensión esta acequia está situada en el cantón de Latacunga en Tanicuchi, Guaytacama y Poaló y en menor proporción atravesando el cantón de Saquisilí.

3. METODOLOGÍA

Para realizar la determinación del índice RAS, se analizó la acequia de Tilipulo Enríquez en el mes de diciembre del 2020, se pueden observar los puntos de muestreo (Figura 1), que pertenecen a las parroquias de Tanicuchí como punto 1, la parroquia de Guaytacama y Saquisilí como puntos 2 y 3. Finalmente, la parroquia de Poaló como punto 4.

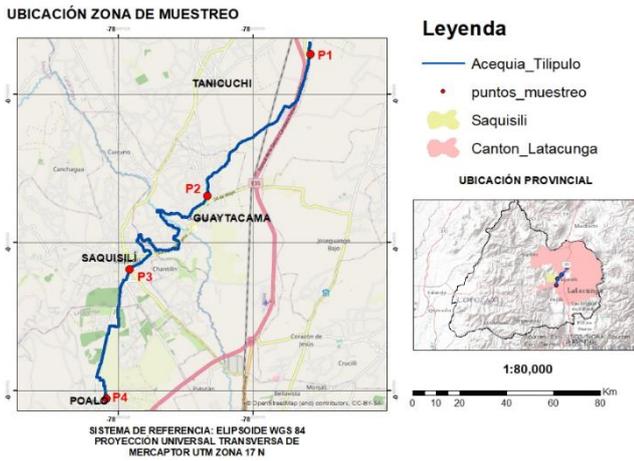


Figura 1. Mapa puntos de muestreo en la zona de estudio

A continuación, en la Tabla 1, se detallan las coordenadas UTM correspondientes a los puntos de muestreo del estudio.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo (WGS84 UTM 17N)

Punto	Sector	Coordenadas	
1	Tanicuchi	766273.490 E	9914596.089 N
2	Guaytacama	762599.974 E	9909525.821 N
3	Saquisilí	759809.607 E	9906902.892 N
4	Poaló	759809.607 E	9906902.892 N

Posteriormente se describe cada punto de muestreo establecido, para saber el nivel de contaminación que presentan por actividades antropogénicas, que se detalla a continuación.

En el punto 1 de muestreo perteneciente a la parroquia de Tanicuchí, se visualizó ganado vacuno en las proximidades de la acequia. Además, debido a la falta de conciencia ambiental de los moradores se presenciaron restos de residuos sólidos en la acequia como fundas plásticas, contenedores de comida, generando un foco de contaminación. El proveedor de estos residuos es una gasolinera que se encuentra en sus proximidades.

En el punto de muestreo 2, perteneciente a la parroquia de Guaytacama se encontraron cultivos de maíz, también se pudo visualizar una tubería que pasa por encima de la acequia, la cual tiene como finalidad recoger agua para regar los cultivos. Este cuerpo de agua se encuentra cercana a las autopistas de tránsito, siendo propensa a la acumulación de residuos sólidos urbanos. Pero no en gran cantidad, ya que periódicamente dentro de la parroquia se realizan mingas para limpiar las calles y los cuerpos de agua de esta zona.

En la parroquia de Saquisilí, perteneciente al punto de muestreo 3, resalta su entrada, en la cual el canal de la acequia se encuentra abierto y soportado por hormigón armado. Se pudo observar en su mayoría fundas plásticas, y pedazos de madera cerca de la acequia.

Como último punto está la parroquia de Poaló, se encuentra cerca de la Unidad Educativa Poaló García Moreno. Se

presenció una gran cantidad de residuos sólidos urbanos como tanques plásticos, fundas y envolturas, como también acumulación de materia orgánica. Esto es debido a que se encuentra en una zona muy transitada por los habitantes, dejando sus desperdicios cerca de la canaleta.

Obtenidas las muestras de agua se procedió a implementar los siguientes métodos:

Determinación de sodio en agua mediante espectroscopia de emisión atómica

La espectroscopia por emisión atómica (OES) es utilizada para la determinación y cuantificación de elementos químicos debido a que no requiere lámparas especiales para cada elemento a analizar. Esta metodología se basa en el hecho de que una vez que se excita un átomo de un elemento específico este emite luz con un patrón característico de longitudes de onda (un espectro de emisión) a medida que vuelve al estado base (Agilent Technologies, 2016).

Según West, et al. (2015), la espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP) es la fuente más popular y usada en espectrometría de emisión. Dicha espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) puede ser aplicada en el monitoreo de aguas, determinación de trazas de elementos en agua, y análisis cuantitativo de elementos en muestras de agua.

En esta metodología se utiliza un plasma acoplado inductivamente con argón para desolvatar, atomizar y excitar los átomos de la muestra líquida. La intensidad de la luz emitida se mide mediante una detección óptica en las longitudes de onda características de los elementos de interés. Estas medidas pueden compararse con un patrón para cuantificar la concentración de los elementos en la muestra (Agilent Technologies, 2016).

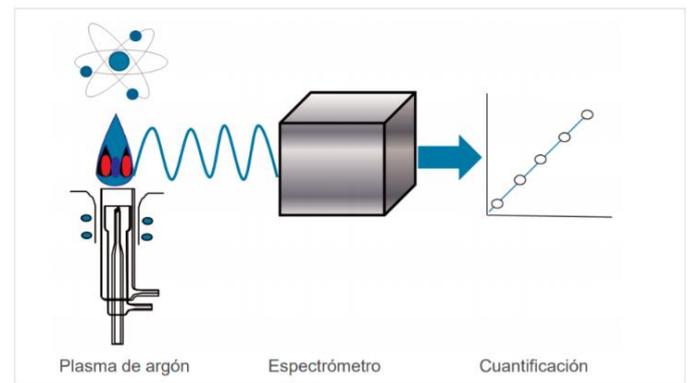


Figura 2. Diagrama esquemático simplificado del sistema de espectrofotómetro de ICP-OES (Agilent Technologies, 2016)

Para la Espectroscopia de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), se utilizan plasmas de gases inertes ionizados (Ar normalmente), altamente energéticos, que permiten alcanzar temperaturas de 6.500 °C a 10.000 °C. El Ar fluye a través de una antorcha formada por tres tubos concéntricos generalmente de cuarzo. Un serpentín de Cu rodea la parte superior de la antorcha y está conectado a un generador de radio-frecuencia. Cuando el Ar fluye

tangencialmente a través de los tubos, una chispa produce electrones que inician la ionización del gas: $\text{Ar} \rightarrow \text{Ar}^+ + e^-$ (Hernández, 2010).

Posteriormente, el generador de radio-frecuencia origina un campo electromagnético que acelera estos electrones, haciéndolos altamente energéticos. Ellos inducirán la ionización del Ar por colisiones con sus átomos, formándose el plasma, donde la resistencia al movimiento de las partículas cargadas dará lugar a las temperaturas características. Es entonces cuando la muestra se introduce en un aerosol, donde es desolvatada, vaporizada y atomizada, para después excitarse átomos neutros e iones, que al regresar a su estado basal emitirán radiación (Hernández, 2010).

Se observa más a detalle los componentes de un espectrofotómetro para emisión atómica que consta de un atomizador o ionizador (A), un monocromador de gran resolución (M), el detector multiseñal (D), y un dispositivo de lectura (L).

Determinación de Calcio y Magnesio mediante espectrofotometría de Absorción Atómica

En el estudio, se procedió a trabajar con el método de espectrofotometría de absorción atómica y la cuantificación mediante una curva de calibración lineal. Se utilizó el modo de absorción, con una lámpara de cátodo hueco específica para magnesio y calcio, con las siguientes longitudes de onda: 285,2 nm y 422,7nm respectivamente, usando la mezcla de aire y acetileno para la llama en las porciones y flujo recomendados por el manual del espectrofotómetro usado para el análisis el cual fue de marca Thermo, serie Solaar (Pérez, 2014).

Dentro de la metodología, las muestras de agua recolectadas fueron almacenadas en un refrigerador a una temperatura de 4°C para ser preservadas. De igual forma para evitar posibles contaminantes los materiales a usarse fueron lavados con una solución de ácido nítrico al 10% V/V. Posteriormente, se procedió a preparar todas las muestras, para lo cual previamente se preparó dos Erlenmeyer de 125 mL marcados con blanco, dos con estándar de Ca y Mg y los necesarios para las muestras recogidas; agitándolo vigorosamente para homogeneizar la muestra. Con una probeta de 50 mL se toma una alícuota de 50 mL de agua desionizada para el blanco; 50mL del estándar de control de 1mg/L de (Ca y Mg) y 50 mL de las muestras recogidas. Entre cada toma de alícuota se enjuagó la probeta dos veces con agua desionizada y por último con agua acidulada. Adicionar a cada Erlenmeyer anteriormente preparado, 5ml de HNO_3 más 1 mL de peróxido de hidrógeno al 30% y agitar suavemente, preparadas las muestras se inicia el proceso de digestión el cual consta de un calentamiento suave a 100°C en una placa calentadora eléctrica, por aproximadamente 2 horas y media hasta que quede un residuo cercado a los 5 mL del volumen inicial. Transcurrido el tiempo, se saca el residuo y se deja enfriar para luego enjuagar las paredes de los Erlenmeyer con agua acidulada.

Finalmente, se prepara los embudos de polipropileno con papel filtro en los soportes correspondientes de manera que el vástago quede dentro de los balones aforados clase A de 50 mL de boca ancha; transferir el producto de la digestión de los Erlenmeyer a los balones correspondientes, enrasándolos con agua acidulada (Gaitan, 2004). Realizada la digestión se procede a ingresar la muestra al equipo de absorción atómica para su posterior medición. Antes de ser ingresadas se debe calibrar el espectrofotómetro de tal forma que de una curva lineal.

Norma de calidad de agua para riego Riverside

Según Acosta-García & Salvadori (2017), Richars L.A. propuso en 1954 al Laboratorio de Salinidad de Riverside un resumen de los criterios de clasificación de salinidad, conductividad e índice S.A.R. en un llamativo sistema (Figura 3).

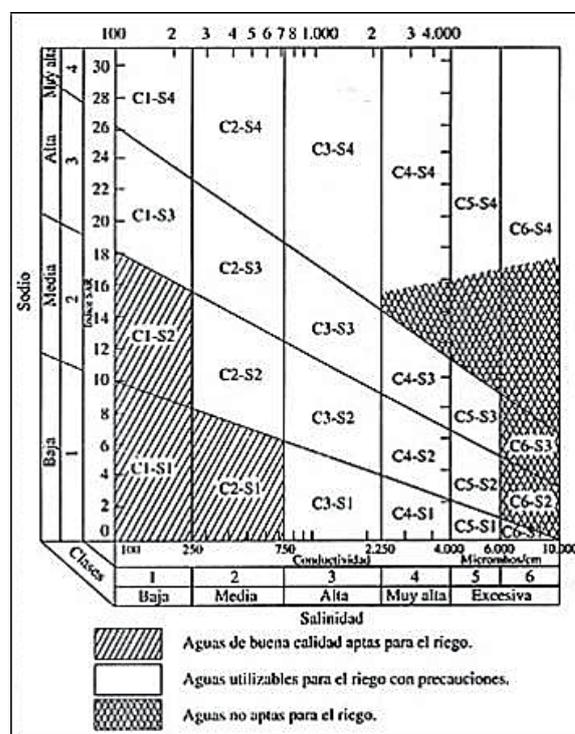


Figura 3. Sistema propuesto por el Laboratorio de Salinidad de Riverside (Acosta-García & Salvadori, 2017)

Basa su estudio en dos criterios fundamentales, la conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) y el índice S.A.R, el índice C es conductividad y la S el índice S.A.R, estas se convierten en categorías o clases de aguas (Acosta-García & Salvadori, 2017). Cada índice tiene un subíndice numérico cuyo valor aumenta variando de 1 a 4 en S.A.R y de 1 a 6 en la conductividad, de acuerdo con la correlación se puede determinar si un agua es apta o no para el riego (Quishpe, 2016). Según Mera (2017), como norma general a medida que los subíndices reciben números más altos la calidad del agua es muy baja. Las categorías que presentan son:

Tabla 2. Clasificación del peligro de salinización y restricción de uso para aguas según Laboratorios de salinidad Riverside

Clase	Peligro de salinización	C.E (mS cm ⁻¹ a 25 °C)	Restricción de uso
C1	bajo	< 0,25	Apta
C2	Moderado	0,25-0,75	Apta
C3	Medio	0,75-2,25	Apta con precauciones
C4	Alto	2,25-4	Apta con precauciones
C5	Muy alto	4-6	No apta
C6	excesivo	>6	No apta

Fuente: (Acosta-García & Salvadori, 2017)

Tabla 3. Clasificación de peligrosidad sódica según Laboratorios de salinidad Riverside, en función del índice SAR

Clases	Peligro de sodificación	RAS	Restricciones de uso
S1	Baja peligrosidad sódica	0-10	Apta
S2	Mediana peligrosidad sódica	10-18	Apta con precauciones
S3	Alta peligrosidad sódica	18-26	Apta con precauciones
S4	Muy alta peligrosidad sódica	>26	No apta

Fuente: (Acosta-García & Salvadori, 2017)

Para obtener el índice de conductividad eléctrica (C) y salinidad (S) (Figura 3), se debe trazar una línea partiendo desde la línea de conductividad y una línea horizontal desde la línea SAR, donde la intersección indica la categoría de C y S (Acosta-García & Salvadori, 2017).

Un ejemplo para interpretar de mejor manera es el agua de una muestra con un índice de salinidad de 1 y una conductividad de 1148 ($\mu\text{S cm}^{-1}$), dando como intersección la categoría de C3-S1 que se analiza como un cuerpo de agua baja en sodio, por lo tanto, es óptima para utilizarla en riegos de cultivos tolerables como la remolacha azucarera, espárrago, espinaca, dátil, algodón, cebada y césped. Cabe decir que los cultivos tolerantes al sodio mencionados anteriormente dependerán también de la planta, el clima, las condiciones del suelo y de las técnicas agronómicas utilizadas (Acosta-García & Salvadori, 2017).

Además, para el análisis de los datos obtenidos en esta investigación se ha empleado una estadística descriptiva y desviación estándar.

4. RESULTADOS

En este artículo se ha analizado la calidad de muestras de agua de riego provenientes de la acequia Tilipulo Enríquez en la provincia de Cotopaxi, Ecuador. La Tabla 4 muestra las determinaciones físico-químicas obtenidas. El pH de las muestras estudiadas fluctuó entre 7,66 y 8,05 (media 7,86 \pm DE 0,16), indicando su naturaleza alcalina. Con los valores de conductividad eléctrica (CE), se obtuvo una media de 0,805 $\mu\text{S/cm}$ (\pm DE 0,253) con un rango mínimo y máximo de 0,550 y 1,120 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente. Las concentraciones de iones que contribuyeron a la salinidad del agua en orden decreciente fueron sodio, calcio, magnesio y potasio. Como se ha descrito, el sodio fue el catión predominante con valores promedio de 67,86 mg/L (\pm DE 31,92). Con respecto a la dureza del agua, se puede apreciar que la media es 239,05 con un rango entre 175,2 y 307,9.

Tabla 4. Características físicoquímicas de calidad de agua medidas en la acequia Tilipulo

#	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Na (mg/L)	pH	Dureza	CE (mS cm ⁻¹)
1	26,8	9,76	29,42	55,87	8,05	183,7	0,66
2	38,26	17,46	52,85	114,49	7,9	289,4	1,12
3	47,67	13,51	44,74	58,87	7,82	307,9	0,89
4	27,78	4,72	24,38	42,2	7,66	175,2	0,55

En la Tabla 5, se muestra una comparación entre los parámetros físicoquímicos medidos en el muestreo y los límites definidos para la calidad del agua para riego de acuerdo con la FAO y el Ministerio de Medio Ambiente de Ecuador.

Tabla 5. Comparación de los límites mínimos y máximo de calidad del agua definidos por la FAO y el Ministerio de Medio Ambiente de Ecuador

Parámetros físicoquímicos	Límite mínimo	Límite máximo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Químicos						
Magnesio (mg/L)	0 [†]	60,75 [†]	26,8	38,26	47,67	27,78
Potasio (mg/L)	0 [†]	152,49 [†]	9,76	17,46	13,51	4,72
Calcio (mg/L)	0 [†]	408 [†]	29,42	52,85	44,74	24,38
Sodio (mg/L)	0 [†]	920 [†]	55,87	114,49	58,87	42,2
pH	6,5 [§]	8,4 [§]	8,05	7,9	7,82	7,66
Físicos						
CE (mΩ/cm)	0,7 [§]	> 3,0 [§]	0,66	1,12	0,89	0,55
Dureza	-	-	183,7	289,4	307,9	175,2
Otros						
RAS	< 3,0 [§]	> 9,0 [§]	1,8	2,9	1,5	1,4

Sin datos.

[†] Límites definidos por la FAO (1).[§] Límites definidos por la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua del Ministerio de Ambiente de Ecuador (2).

De acuerdo con lo establecido por estas dos instituciones, los parámetros químicos de las muestras tomadas en la acequia Tilipulo Enríquez se encuentran dentro de los límites considerados para su empleo como agua de riego.

Por otra parte, en la Figura 4 se puede observar la correlación entre la RAS y la CE frente la correlación entre la concentración de cationes y la CE resultantes de los modelos realizados.

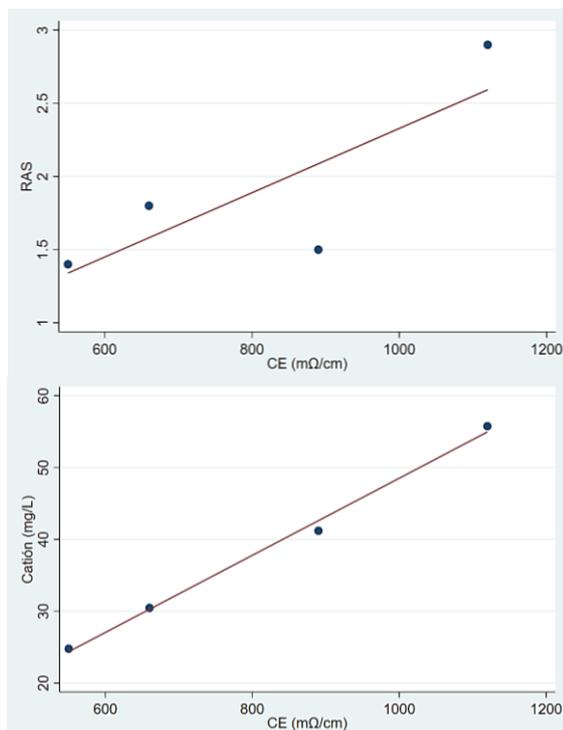


Figura 4. Correlación entre RAS y CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) vs Cationes (mg/L) y CE ($\text{m}\Omega/\text{cm}$)

La R^2 para el modelo entre las variables RAS y CE es de 0,6546, mientras que la R^2 para el modelo entre las variables cationes y CE es de 0,9949.

Al considerar la norma Riverside para la determinación de la calidad del agua, se puede apreciar que las muestras 1 y 4 corresponden a la clasificación C2 y S1, mientras que las muestras 2 y 3 se encuentran en la clasificación C3-S1, como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de las muestras según las Normas Riverside

CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	RA S	Clasificación Normas Riverside	CLASE
0,660	1,8	Aguas de Buena Calidad Aptas para el riego	C2-S1 Baja en Sodio y Media en Salinidad
0,112	2,9	Aguas Utilizables para el riego con precauciones	C3-S1 Baja en Sodio y Alta en Conductividad
0,890	1,5	Aguas Utilizables para el riego con precauciones	C3-S1 Baja en Sodio y Alta en Conductividad
0,550	1,4	Aguas de Buena Calidad Aptas para el riego	C2-S1 Baja en Sodio y Media en Conductividad

Fuente: (Acosta-García & Salvadori, 2017)

5. DISCUSIONES

En el presente estudio, se comparó los resultados obtenidos con la norma de calidad de agua para riego Riverside, destacando que el recurso hídrico de la acequia Tilipulo Enríquez puede ser usado para riego de cultivos en los sectores de Tanicuchí y Poaló, debido a que el agua es baja en sodio y media en conductividad. Mientras que en las zonas de Guaytacama y Saquisilí puede usarse la acequia para riego con

precauciones, ya que el agua es baja en sodio y alta en conductividad, lo cual podría ocasionar deficiencia en el crecimiento de los cultivos. Por lo tanto, al analizar las características de cada zona de muestreo se obtuvo que:

Conforme con los valores obtenidos para el punto 1 perteneciente al sector de Tanicuchí, siendo $0,660$ ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) de conductividad eléctrica y 1,8 de RAS, Tabla 6, se clasifica como agua apta para riego debido a que la parroquia está en una zona de grandes fallas geológicas con pendientes altas, variando entre 5 a 25% ocasionando que los valores de conductividad eléctrica sean bajos (GADPR Tanicuchi, 2016). Por lo tanto, la cantidad de sales es menor y la calidad de agua para riego es excelente. Además, la captación de agua se la hace desde el río Yanayacu aportando con un caudal de 473,69 L/s a la acequia, por lo tanto, esta condición influye en la disminución de los valores de conductividad ya que a mayores caudales se presenta menor conductividad eléctrica. De igual forma debido a que el río antes mencionado se ubica dentro del parque nacional Llanganates, que es un área protegida; favorece así que al comienzo de la acequia el recurso hídrico se mantenga sin daños o alteraciones (GADP Tanicuchí, 2019).

En el punto 2 de muestreo ubicado en Guaytacama, se obtuvo $0,112$ ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) de conductividad eléctrica y 2,9 de RAS, Tabla 6, la cual es un tipo de agua utilizable para riego con precauciones a causa del elevado contenido de sodio, dureza y RAS, cuyos valores respectivamente son 114,49 mg/L, es de 289,4 mg/L en Tabla 5 y 2,9 en la Tabla 6, valores elevados con respecto a los demás puntos de muestreo. Asociándose a este factor con toxicidades específicas por los altos contenidos de iones de sodio en las aguas de regadío que afecta a la permeabilidad del suelo y es la posible causa de problemas de infiltración (Mera & Vasquez, 2017). El elevado valor de RAS en este sector incrementa el riesgo de sodificación, tomando en cuenta que el RAS corresponde a la relación de la concentración de sodio con respecto a la de calcio y magnesio, para determinar así el riesgo de sodificación (Demin, 2016). También se ve afectada la productividad de los cultivos de la zona, al no existir un drenaje adecuado en el suelo y las plantas no toleren elevada salinidad.

Con respecto al punto 3 correspondiente a Saquisilí, se obtuvieron los siguientes valores: 307,9 mg/L de dureza, Tabla 5, $0,890$ ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) de conductividad eléctrica y 1,5 de RAS, Tabla 6, lo cual indica que es utilizable para riego con precauciones. Debido a que a mayor contenido de sales en el agua mayor será el esfuerzo que realizan las plantas para obtenerla, ya que, se incrementa el potencial osmótico del suelo (Castellón et. al., 2015). Además, se registra una alta conductividad en el sector, como indicador de alta concentración de sales en el agua y por ende incide en la dureza de la misma.

Otros factores que han influenciado en los puntos 2 y 3 de muestro, Guaytacama y Saquisilí es la presencia de pendientes de inclinación regular, suaves o ligeramente onduladas entre 5 a 12%, con un clima con temperaturas entre 12 a 15°C y precipitaciones entre 400 a 500 mm (GAD de la Provincia de Cotopaxi, 2015). Además, estas zonas son medianamente secas, por lo que al aumentar la temperatura y disminuir las

precipitaciones aumentan la conductividad y la salinidad. Por lo tanto, al recurso hídrico de ambos sectores se ha clasificado como aguas utilizables para riego con precaución, motivo por el cual estas aguas podrán usarse en cultivos que soporten la salinidad, ya que las sales disueltas incrementan el esfuerzo que la planta debe realizar para absorber el agua, y en la medida que disminuye el contenido de agua y aumenta la concentración de sales el potencial de la planta decrece y ocasionaría una reducción en la producción agrícola (Pocoy, 2015).

En el punto de muestreo 4 en el sector de Poaló, se obtuvo $0,550(\mu\text{S cm}^{-1})$ de conductividad eléctrica y 1,8 de RAS, Tabla 6, los cuales permitieron clasificar como agua apta para riego debido a su baja conductividad eléctrica y salinidad. Estos resultados se deben a que el suelo tiene características similares a la zona de Tanicuchí. Este se considera como un sector húmedo y lluvioso, con variaciones entre 92 y 95% de humedad, además de precipitaciones entre 700 y 800 mm (GADM Santiago de Píllaro, 2021). Por lo tanto, en este punto de muestreo la acequia al presentar mayores caudales afecta ciertas características del recurso hídrico, como baja conductividad y disminución en la concentración de sodio.

La parroquia cuenta con un canal de riego en buenas condiciones que permite llegar a más usuarios conectados a esta red, disminuyendo así la posibilidad de erosionar la capa arable del suelo y sus nutrientes; además de optimizar el uso del recurso hídrico. Se demuestra que, al contar con un sistema de riego tecnificado, en referencia al componente ambiental, infraestructura, método y una distribución de parcelas o cultivos, alcanza mayor eficacia de riego. (GADP San José de Poaló, 2015).

6. CONCLUSIONES

El análisis de la calidad de agua mediante el índice SAR permitió evaluar con éxito la calidad del agua de riego proveniente de la acequia Tilipulo Enríquez de la parroquia Poaló.

El punto 1 sector de Tanicuchí, según los resultados obtenidos, el agua es de buena calidad, apta para el riego con concentraciones bajas de sodio y mediana salinidad, esto debido a que es el primer punto donde el agua se capta del río Yanayacu. El cual al ser parte de una zona protegida de los Llanganates posee poca contaminación e intervención antropogénica que favorece a su buena calidad.

El punto 2 ubicado en Guaytacama, proporcionó resultados con las más altas concentraciones de sodio y con un SAR de 2,9. Este sector se clasifica como agua óptima para utilizarse para riego con precauciones. Este comportamiento se debe a cultivos aledaños que usan elementos tóxicos provenientes de pesticidas y fungicidas que al atravesar la parroquia Guaytacama, está propensa a las actividades humanas industriales que desarrollan las florícolas, invernaderos y brocoleras. Otros factores que afectan al trayecto de la acequia son la erosión del suelo y las rocas, la baja precipitación junto a altas temperaturas que dan lugar a la acumulación de sales (GADP Guaytacama, 2014).

El punto 3 del sector Saquisilí presenta las mismas características del punto anterior, es decir, se clasifica como aguas óptimas para utilizarse para riego, pero con precauciones. Esto se debe a que comparten estrechamente los mismos factores climatológicos y antropogénicos, actividades industriales como las florícolas, invernaderos y brocoleras que se desarrollan aún por estos sectores.

El punto 4 ubicado en Poaló, es una de las zonas más aptas para el riego que se clasifican como aguas de buena calidad con concentraciones bajas de sodio y mediana conductividad. Se explica este comportamiento favorable gracias a las características geológicas, su ubicación geográfica que provoca que tengan baja conductividad y salinidad. En este tramo de la acequia, el recorrido es a través de una canaleta de hormigón, lo cual no favorece a la erosión del suelo y no está en contacto con actividades industriales (GADP San José de Poaló, 2015).

El estudio permite exponer a los pobladores de Poaló que el agua empleada para sus actividades de riego si bien no posee restricciones hay que considerar e informar sobre el uso con precaución, es decir, cada actividad relacionada con el cuerpo hídrico se debe tener cuidado puesto que el agua está moderadamente contaminada; esto permite a los representantes y las directivas de aguas implementar medidas preventivas, como principales actividades a tener en cuenta son: fomentar mingas de limpieza de la acequia con equipo protección personal y restringir el uso directo del agua de la acequia para fines pecuarios, domésticos y recreativos.

Este estudio aporta con información importante que será de utilidad para futuras investigaciones ya que el incremento de la población, la demanda de alimentos, consumo de productos que no son de primera necesidad han provocado una alta demanda del agua de la acequia. Este antecedente ayudaría a proponer proyectos en torno a este cuerpo hídrico en la parroquia Poaló y así facilitar a la toma de decisiones.

REFERENCIAS

- Acosta-García, J., & Salvadori, J. (2017). *Evaluación De La Calidad De Agua Para Riego Mediante El Empleo De Criterios Actualizados*. [Tesis Ingeniería]. Argentina: U.N.L.Pam.
- Agilent Technologies. (14 de Marzo de 2016). Fundamentos de Espectroscopia Atómica: Hardware.
- Aguirre, J. (2019). *Propiedades fisicoquímicas del suelo*. Obtenido de Edafología: <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema05/ccc.htm>
- Ayers R, W. D. (1994). *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and drainage paper. Obtenido de <http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E00.htm>
- Barrows, H., & Drosdoff, M. (1958). *Comparación de metodos para determinar la capacidad de intercambio de base de algunos suelo de planicie costera baja del sureste de Estados unidos*. Madrid: Sociedad Estadounidense de Ciencias del suelo.
- CAIRO. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Nanegalito*. Quito.
- Castellón, J., Bernal, R., & Hernández, M. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19-1, 39-50,

- ISSN 1665-529-X. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46750924004.pdf>
- Demin, P. (2016). Calidad de agua de riego. Variación espacial y temporal en el canal Principal del Este del dique Las Pirquitas, provincia de Catamarca. *Revista estudios ambientales*, 4(1). 4-18.
- FAO. (2012). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos. Riego y drenaje-55*.
- Foro de los Recursos Hídricos. (2013). *Hacia una nueva ley Aguas Transformadora*. Quito: Tiraje.
- GAD de la Provincia de Cotopaxi. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial Cotopaxi 2025*. Cotopaxi: Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Cotopaxi (GAD Cotopaxi).
- GADM Santiago de Pillaro. (18 de Mayo de 2021). *Municipalidad de Santiago de Pillaro*. Obtenido de Municipalidad de Santiago de Pillaro: https://www.pillaro.gob.ec/?page_id=3343
- GADMC Saquisilí. (2015). *Actualización Del Plan Participativo Intercultural De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Saquisilí*. Saquisilí.
- GADP Guaytacama. (2014). *Contenidos Del Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial De Guaytacama*. Latacunga.
- GADP San José de Poaló. (2015). *Plan De Desarrollo Y De Ordenamiento Territorial*. Latacunga.
- GADP Tanicuchí. (2019). *Gad Parroquial Rural De Tanicuchi*. Obtenido de <https://tanicuchi.gob.ec/cotopaxi/datos-generales/>
- GADPR Tanicuchí. (2016). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia "San Lorenzo de Tanicuchi"*. Cotopaxi: GADPR San Lorenzo de Tanicuchi.
- Gaitan, M. S. (2004). *Determinación de metales con digestión ácida y solubles lectura directa por espectrofotometría de absorción atómica*. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- García, A. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *IAH*, 27-36.
- García, M. (2013). *Análisis químico de suelos y aguas*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Gil, H. A. (2013). Tecnologías verdes para el aprovechamiento de aguas residuales urbanas: análisis económico. *Revista Ambiente & Agua*, 8(3), 118-128. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1174>
- Gobierno Parroquial Nanegalito y Fundación Imaymana. (2011). *Plan De Desarrollo Territorial Participativo 2011*.
- Hernández, D. J. (2010). Espectrometría óptica atómica. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 14(41). 3-10.
- Herrera, A. (2016). *Análisis de relación de absorción de sodio*. Obtenido de Microlab Industrial: <http://www.microlabindustrial.com/parametros/propiedades-agregadas/707/relacion-de-absorcion-de-sodio#:~:text=L%20Relaci%C3%B3n%20de%20Absorci%C3%B3n%20de%20Sodio%20%28RAS%2C%20o,RAS%2C%20el%20agua%20es%20menos%20apta%20para%20riego>.
- INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Jiménez, S. (2015). *Evaluación de la contaminación en el sistema riego en la acequia Tambo, para la optimización del recurso hídrico*. [Tesis Ingeniería]. Universidad Técnica del Norte - Ibarra, Ecuador.
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *INDESIA (Arica)*, 24(1), 49-61. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>.
- Loaiza, S. (2014). *Obtención de biol a partir de estiércol de ganado porcino y vacuno producido en la finca Bella María, cantón Quito, sector Nanegalito*. Universidad Internacional SEK, Quito.
- López, H., Oropeza, I., & Betancourt, C. (2017). Determinación de la concentración de calcio, magnesio y potasio en agua potable de consumo humano, empleando la técnica de espectroscopia atómica. *Revista de Investigación de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador*, 41(90), 120-133.
- MAGAP. (2013). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2012-2027*. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 5-13. Quito.
- Maldonado, A. (2016). *Evaluación de diferentes dosis de hexametafosfato de sodio en la determinación de tres tipos texturales de suelo, mediante el método de bouyoucos*. [Tesis Ingeniería]. Quito: Universidad central del Ecuador.
- Maldonado, E. (2014). *Propuesta de Gestión y Desarrollo de Turismo Sostenible para las ruinas arqueológicas de Tulipe*. [Tesis Ingeniería]. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Mera & Vasquez. (2017). *Determinación De La Calidad De Agua Para Riego En El Sistema De Conduccion, Santa Ana*. [Tesis Ingeniería]. Universidad Técnica de Manabí. Santa Ana.
- Meza, J. (15 de abril de 2015). *Museos de Quito*. Obtenido de <https://museosdmjennifermeza.wordpress.com/2015/04/30/comp-lejo-arqueologico-de-tulipe/>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua*. Quito. Obtenido de Available from: <http://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC155128/>
- Muñoz, A. (2020). *La importancia de conocer la capacidad de intercambio catiónico del suelo*. Obtenido de Contexto Ganadero: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/la-importancia-de-conocer-la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- Navarro, V. H. (2012). *Hablemos de Riego*. Ibarra.
- Pérez, E. (2014). Idoneidad del método de análisis de magnesio en agua potable por absorción atómica con curva de calibración cuadrática. *Tecnología en Marcha*, 27(4), 23-29.
- Pocoy, Y. (2015). *Calidad del agua para riego en el centro de investigación y producción agrícola*. [Tesis Ingeniería] Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Proaño, M. (2002). *Primer Foro de los Recursos Hídricos*. Quito - Ecuador: CAMAREN – MANRECUR.
- Quintero, L. (2015). *La Relación de Absorción de Sodio*. Obtenido de Fertilab: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/Vista/La-Relacion-De-Adsorcion-De-Sodio.php>
- Quinteros, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglhuayco. *in Siembra*. 6(2), 046-057. <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>
- Quishpe, M. J. (2016). *Evaluación de la calidad físico química y bacteriológica del agua de riego de la Estación Experimental de*

Cota Cota. [Tesis Ingeniería] Universidad Mayor de San Andrés. La Paz.

Rodríguez, B. (2009). *Movilidad, Biodisponibilidad y Degradación inducida de isómeros de hexaclorociclohexano (HCH) en suelos contaminados*. [Tesis Ingeniería]. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.

Romero, A. A. (2010). *Contaminación ambiental y calentamiento global*. Mexico: Trillas.

Sánchez, J. (2020). *Fertilidad del suelo y nutrición*. Obtenido de UNNE: <http://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>

Sanchez, J. Z. (2003). *Visión Integral y análisis de sistemas de riego*. Quito: RUVENZ.

Secretaría de Ambiente Distrito Metropolitano de Quito . (2015). *Plan de Monitoreo, Control y Vigilancia Ambiental en la ACUS Maspi-Guaycuyacu-Sahuangal y Sistema Hídrico y Arqueológico Pachijal, Distrito Metropolitano de Quito* . Quito.

Soto, S. (2010). *Concepto de Capacidad de Intercambio Catiónico en el suelo*. Universitat Politècnica de València.

Tanicuchí, G. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Cotopaxi: Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Tanicuchi.

Vera, M. C. (2012). Análisis de la directiva europea: paradigma de la justificación y establecimiento de los valores paramétricos. el caso concreto de los plaguicidas. *Revista Española de Salud Pública*, 86(1) 21-35.

Weemaels, N. (2009). *Uso y aprovechamiento del agua*. Quito.

West, D. M., Skoog, D. A., Holl, F. J., & Crouc, S. R. (2015). *Fundamentos de Química Analítica* (9na Edición ed.). México D.F: Cengage Learning Editores, S.A. .

Zapata, A. (2008). *Una aproximación a los conflictos por el agua en el Ecuador*. Quito: Aline Arroyo.



Soraya Abigail Jaramillo Castro, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central del Ecuador (UCE).



Lorena Dominic Zurita Calle, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central del Ecuador (UCE).



Amanda Gabriela Valdiviezo Aguilar, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central del Ecuador (UCE)

BIOGRAFÍAS



Suly Margoth Rodríguez Ayala, PhD. en Recursos Naturales y Medio Ambiente. Docente de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central del Ecuador (UCE). Ha realizado investigaciones de contaminación y remediación ambiental y publicado varios artículos científicos.



Carlos Anibal Choloquinga Changoluisa, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central del Ecuador (UCE)