



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA, UTILIZADA EN LOS
SISTEMAS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE BANANO, MACHALA - EL
ORO

CHACHA OCHOA NATALI SILVANA
INGENIERA AGRÓNOMA

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA, UTILIZADA EN LOS
SISTEMAS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE BANANO, MACHALA
- EL ORO

CHACHA OCHOA NATALI SILVANA
INGENIERA AGRÓNOMA

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA, UTILIZADA EN LOS SISTEMAS DE
RIEGO EN EL CULTIVO DE BANANO, MACHALA - EL ORO

CHACHA OCHOA NATALI SILVANA
INGENIERA AGRÓNOMA

CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE

MACHALA, 27 DE ABRIL DE 2021

MACHALA
2021

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA, UTILIZADA EN LOS SISTEMAS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE BANANO, MACHALA - EL ORO

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.revista.ingenieria.uady.mx

Fuente de Internet

6%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, CHACHA OCHOA NATALI SILVANA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA, UTILIZADA EN LOS SISTEMAS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE BANANO, MACHALA - EL ORO, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 27 de abril de 2021



CHACHA OCHOA NATALI SILVANA
0707064606

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por permitirme vivir y tener a una familia que me han brindado su apoyo y amor en especial a mis padres por apoyarme en mis estudios por ser los principales motores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí, mi madre por estar dispuesta a acompañarme a cada larga y agotadora noche de estudio.

Mediante estos agradecimientos de tesis quiero también agradecer a mi asesor de tesis el Ing. Julio Chabla por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos científico así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis .

Agradezco a todos mis amigos que fueron mis compañeros de clase durante los niveles de universidad ya que gracias a su amistad y apoyo moral que han aportado a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional. También a la Universidad Técnica de Machala por haberme aceptado a ser parte de ella y abierto las puertas para poder estudiar mi carrera, así como diferentes docentes que brindaron sus conocimientos.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con todo corazón mi Dios a mi madre Dolores Brigeda Ochoa y mi padre Victor Antonio Chacha por guiarme por el buen camino, por brindarme las fuerzas a seguir adelante porque sin sin ellos no lo habría logrado , sus dedicaciones a diario a lo largo de mi vida de protegerme y enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer.

A mis hermanos porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo por ser aparte de ser hermanos son mis mejores amigos en mi transcurso de vida, también a mis amigos y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

RESUMEN

El agua es un líquido vital indispensable para los seres humanos, animales y fines agrícolas. En este estudio se realizó análisis de diferentes fuentes de agua utilizada en la irrigación del cultivo de banano, como la proveniente de los ríos a través de canales de riego y de pozos profundos, con la finalidad de evaluar la calidad de la misma, en el Cantón Machala, usando los principales indicadores. La calidad de agua es un término usado para describir las características químicas y física del agua, y de ello depende del uso que se le daría; para obtener cultivos de alta calidad es necesario conocer las condiciones óptimas y bajo qué limitaciones puede emplearse para el uso agrícola principalmente, en regiones donde es escaso este recurso y aun con una calidad baja se desarrolla actividades agrícolas con la concebida reducción del rendimiento del cultivo.

El agua será de buena calidad para uso de riego agrícola permite una buena absorción, que conlleva a un adecuado el crecimiento de las plantas, que garantizan rendimiento óptimas sin ocasionar efectos perjudiciales al suelo; el contenido de sales puede ser la principal razón del deterioro de la calidad del agua agrícola, el uso de agua salina para el riego puede reducir la absorción de agua en las plantas, siendo la CE es el parámetro más importante para determinar peligros de salinidad al igual que el porcentaje sodio intercambiable.

Las diversas muestras de las dos fuentes de agua (canal y pozo) se seleccionaron al azar, estas fueron tomadas de seis diferentes fincas del cantón Machala y se realizó el análisis en el laboratorio de análisis de suelo –agua en NEMALAB y se determinó la concentraciones de los cationes, aniones, pH y conductividad eléctrica. Dando como resultado un bajo contenido de cationes y aniones en agua de pozo ha diferencia con el agua de canal, mediante un análisis estadístico se determina las diferencias de los parámetros físico-químico de las dos fuentes de agua pozo y canal, determinando los parámetros descriptivos, prueba de Shapiro Wills y correlación. Permitiendo conocer las condiciones en la que se encuentra el agua que son utilizadas para el riego en el cultivo de banano y dejar conocer el agua adecuada para el uso de riego, con la finalidad de obtener un mejor rendimiento y desarrollo en el cultivo.

En cuanto a las diferencias estadísticas significativas evidenciadas en el ANOVA unifactorial, se observó en el grupo de Cationes que el agua de Pozo contiene mayor contenido de Ca en comparación con la de Canal, puesto que el agua de las fincas que se suministran de Pozo presentaron valores de 1.01, 1.76 y 2.38 meq/l y el agua de las fincas que se suministran de Canal presentaron valores de 0.26, 0.33 y 0.65 meq/l, lo cual expresa un 75.9 % de diferencia de contenido de Ca. En las fincas suministradas de agua de pozo con los mayores valores de Ca expresaron los niveles de pH más bajo con 6.5, 6.8 y 7.1 inclinándose más hacia una clasificación ácida según (Arshad & Shakoor, 2017). En general, el agua suministrada de pozos en el cantón “Machala” son de tipo muy dura al expresar valores mayores a 54°H, por ello aporta mayor cantidad de sales principalmente de Ca y CO_3H^- las cuales en un suelo en estado cercano a punto de marchitez permanente se asocian formando Carbonatos de Calcio y generando condiciones no favorables para el desarrollo radicular.

La CE se correlaciona con la mayoría de las variables estudiadas; sin embargo, los SD (sólidos disueltos) tienen mejor correlación con ella con un valor de 0,99. De igual forma la variable dureza está en función de las sales Mg y Ca. La dureza presente en el agua de pozo son de clasificación muy dura que en el agua de canal por ende es recomendable el agua de canal en los sistemas de riego.

Palabras claves: Calidad del agua, Estadística descriptivos, Prueba de normalidad, Correlación, Conductividad eléctrica, pH.

ABSTRACT

Water is a vital liquid essential for human beings, animals and agricultural purposes. In this study, an analysis was carried out of different sources of water used in the irrigation of banana cultivation, such as that coming from rivers through irrigation channels and deep wells, in order to evaluate the quality of the same, in the Canton Machala, using the main indicators. Water quality is a term used to describe the chemical and physical characteristics of water, and it depends on the use that would be given to it; To obtain high-quality crops, it is necessary to know the optimal conditions and under what limitations it can be used for agricultural use mainly, in regions where this resource is scarce and even with low quality, agricultural activities are developed with the conceived reduction of crop yield.

The water will be of good quality for use in agricultural irrigation, it allows good absorption, which leads to adequate plant growth, which guarantees optimal performance without damaging the soil; the salt content can be the main reason for the deterioration of the quality of agricultural water, the use of saline water for irrigation can reduce the absorption of water in the plants, being the EC is the most important parameter to determine salinity hazards when same as the exchangeable sodium percentage.

The various samples from the two water sources (canal and well) were randomly selected, these were taken from six different farms in the Machal a canton and the analysis was carried out in the soil-water analysis laboratory in NEMALAB and the concentrations were determined. of cations, anions, pH and electrical conductivity. Resulting in a low content of cations and anions in well water has a difference with channel water, a statistical analysis determines the differences in the physical-chemical parameters of the two sources of well and channel water, determining the descriptive parameters. , Shapiro Wills test and correlation. Allowing to know the conditions in which the water that is used for irrigation in the banana crop is found and to reveal the adequate water for the use of irrigation, in order to obtain a better yield and development in the crop.

Regarding the significant statistical differences evidenced in the one-factor ANOVA, it was observed in the Cations group that the well water contains a higher Ca content compared to that of the Canal, since the water from the farms that are supplied from the Well presented Values of 1.01, 1.76 and 2.38 meq / l and the water from the farms supplied from Canal presented values of 0.26, 0.33 and 0.65 meq / l, which expresses a 75.9% difference in Ca content. Well water with the highest Ca values expressed the lowest pH levels with 6.5, 6.8 and 7.1 leaning more towards an acid classification according to (Arshad & Shakoor, 2017). In general, the water supplied from wells in the canton of Machala is very hard as it expresses values greater than 54°H, therefore it contributes a greater quantity of salts, mainly Ca and CO_3H^- , which in a soil in a state close to wilting point permanently associate forming Calcium Carbonates and generating unfavorable conditions for root development.

The CE is correlated with most of the variables studied; however, the SD (dissolved solids) have a better correlation with it with a value of 0.99. In the same way, the hardness variable is a function of the Mg and Ca salts. The hardness present in well water is of a very hard classification that in canal water, therefore canal water is recommended in irrigation systems.

Keywords: Water quality, Descriptive statistics, Normality test, Correlation, Electrical conductivity, pH.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	1
DEDICATORIA	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	5
ÍNDICE	7
ÍNDICE DE CUADRO	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE ANEXOS	11
INTRODUCCIÓN	12
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
MARCO TEÓRICO	14
2.1 Calidad de agua para riego en la agricultura protegida.	14
2.2 Calidad de agua de riego empleado en plantación bananera	14
2.3 El uso de agua en la agricultura	14
2.4 El agua de riego y el contenido de sales	15
2.4.1. Salinidad	15
2.4.2 Conductividad eléctrica	16
2.4.3 Sólidos disueltos totales (SDT)	16
2.4.4 Salinidad efectiva	16
2.4.5 Sodicidad	17
2.4.6 Carbonato de sodio residual (CSR)	17
2.4.7 Relación de absorción de sodio (RAS)	17
2.5. Efectos de iones complejas	18
2.5.1 Sodio	18
2.5.2 Bicarbonato	18
2.5.3 Cloruro	18
2.5.4 Boro	19
2.5.5 Hierro	19
2.6 Valores normales del agua de riego	19
2.6.1 Conductividad eléctrica	20
2.6.2 Parámetro de la calidad del agua de riego para la agricultura	21
2.7 Restricciones en el uso del agua de riego	21
2.7.1 Salinidad	22
2.7.2 Infiltración	23
2.7.3 Toxicidad	23

MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1 Área de estudio	25
3.2 Muestreo y análisis	26
3.3 Análisis de la calidad del agua	27
3.4 Cálculo de índices de la calidad de agua	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 Caracterización de los parámetros físico-químicos del agua de riego utilizada en la producción bananera del Cantón Machala.	29
4.2 Analisis de Correlacion de Pearson	33
CONCLUSIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	36
ANEXOS	40

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1: Estándares de la calidad del agua de riego	20
Cuadro 2: Valores considerados normales en un análisis de agua de riego	20
Cuadro 3: Parámetro de la calidad de agua de riego para uso agrícola	21
Cuadro 4: Restricciones del agua de riego	22
Cuadro 5: Ubicación de las tomas de muestra de agua	25
Cuadro 6: Prueba de normalidad y Homocedasticidad de todos los conjuntos de datos.	30
Cuadro 7: Análisis univariado de las variables de estudio.	31
Cuadro 8: Contenido de sales en el agua de riego en diferentes fuentes de abastecimiento	31
Cuadro 9: Parámetros de salinidad determinada en diferentes fuentes de abastecimiento	32
Cuadro 10: Matriz de correlación de Pearson	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización geográfica de las muestras de agua	26
Figura 2: Análisis exploratorio de datos de las variables de estudio	29

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Toma de muestras del agua	40
Anexo 2: Muestras de agua llevadas al laboratorio	40
Anexo 3 : Resultados de las muestras de agua del canal del laboratorio de NemaLab	41
Anexo 4 : Resultados de las muestras de agua del pozo del laboratorio de NemaLab	42

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es el principal exportador mundial de banano y sus principales exportaciones al mercado de la Unión Europea representan alrededor del 40% . El banano es el principal representante del comercio del país después del petróleo la segunda fuente de ingreso económica.(Borja, 2016)

El cultivo del banano requiere de un suelo profundo, con textura y estructura fértiles un buen rendimiento de drenaje, el valor de pH varía débilmente ácido a débilmente alcalino y el contenido de carbonato de calcio no es alto. Es una planta con una alta incidencia en crecimiento, sistema radicular poco profundo, penetración débil suelo, escasa capacidad de absorción de agua, elevado consumo de agua; baja resistencia fisiológica a la sequía y la escasez de agua, debido a estos factores, se requiere un suministro de agua adecuado y continuo para una producción óptima. (Santacruz et al., 2020)

La calidad de agua para el riego afecta la productividad del banano; la productividad se reduce al valor de conductividad eléctrica . Además, el valor de la tasa de adsorción de sodio (RAS) y el valor de conductividad eléctrica (CE) conducen a una disminución en la penetración del agua en el suelo, lo que resulta en un grado leve o moderado de restricción en el agua de riego.(Araújo et al., 2018)

La calidad del agua está relacionada con los elementos o sustancias que contiene descubierto a partir de procesos naturales las actividades humanas son extremadamente ricas. Los estándares y objetivos para el uso futuro de esta agua variarán si desea utilizarlo para consumo humano, agrícola o industrial, etc. Los límites permitidos de varias sustancias en el agua son supervisados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) Panamericana de la Salud (OPS) y gobiernos; si es Ecuador, estos parámetros son administrados por el Ministerio de Ambiente (MAE).(Escobar et al., 2013)

El agua será de buena calidad para uso de riego agrícola cumpliendo con sus funciones básicas para el crecimiento de las plantas que garantizan rendimiento óptimas sin ocasionar efectos perjudiciales al suelo. La calidad del agua de riego puede considerarse que está

relacionada con la problemática del suelo-agua-planta porque además de considerar el aspecto nutricional de las plantas, en la que se utiliza sales solubles con material y que provocan verdaderos desequilibrios del ecosistema del suelo.

La calidad de agua en el riego es de suma importancia debido a su impacto potencial cuando el agua no cumple con los respectivos requisitos, puede existir organismos patógenos en el suelo es decir la calidad del agua se refiere a las características que pueden afectar al suelo y cultivo.(León et al., 2012)

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluación de la calidad de agua, utilizada en los sistemas de riego en el cultivo de banano, Machala- El Oro.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los parámetros físico-químicos del agua de riego utilizada en la producción bananera del Cantón Machala, por medio de análisis de laboratorio y análisis estadísticos para determinar la existencia de diferencias entre dos suministros: canal y pozo.
- Definir el análisis de los siguientes parámetros : salinidad efectiva(SE),salinidad potencial (SP), sólidos disueltos totales (SDT),relación de absorción de sodio(RAS) y carbonatos de sodio residual (CSR) de las muestras de agua en los puntos seleccionados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Calidad de agua para riego en la agricultura protegida.

El agua para la agricultura protegida está estrechamente relacionado con el concepto fertilizar, pasar parámetros de calidad incluyendo aspectos químicos, como: Sal disuelta (EC), la presencia relativa de sodio (RAS), contenido de carbonato y bicarbonato (determine el pH), la concentración de cloro y boro, Hierro y manganeso, del mismo modo irrigación, puede contener calcio, Magnesio y sulfato; lo que determina el resultado final aplicación en la preparación de fertilizantes de solución nutritiva (Gómez & Rodríguez, 2015).

2.2 Calidad de agua de riego empleado en plantación bananera

La calidad del agua de riego está relacionada con su impacto en el suelo y los cultivos como también su manejo, el uso de agua de riego solo puede producir cultivos de alta calidad mientras se mantienen las óptimas condiciones, las características del agua de riego que definen la calidad del agua varían según la fuente de agua basado principalmente en la geología y el clima, existen diferencias regionales en las características del agua, la calidad del agua local también puede variar mucho, dependiendo de si la fuente de agua proviene de cuerpos de agua superficiales (río y estanque) o de acuíferos subterráneos con cambios geológicos, y si el agua ha sido tratada químicamente (Islam & Shamsad, 2009).

La calidad de agua en el riego es de suma importancia debido a su impacto potencial cuando el agua no cumple con los respectivos requisitos, puede existir organismos patógenos en el suelo es decir la calidad del agua se refiere a las características que pueden afectar al suelo y cultivo (León et al., 2012).

2.3 El uso de agua en la agricultura

El crecimiento de la población no solo reduce la disponibilidad de agua, los recursos hídricos se extraen para uso de consumo humano y en actividades agrícolas el agua para la producción agrícola utiliza más agua dulce con un 77% procedente de aguas superficiales y el 23% extraído del agua subterránea, el agua de riego que se aplica a los cultivos vuelve al atmósfera a través de la transpiración de la planta y evaporación, dejando las sales disueltas

en el suelo , la utilización del agua es irrecuperable y no es devuelto al recurso hídrico, algunas prácticas de riego desperdician grandes cantidades de agua la mayoría de los agricultores utilizan métodos de inundación o canalización para regar sus cultivos (Pimentel et al., 1997).

2.4 El agua de riego y el contenido de sales

El aumento del contenido de sales puede ser la principal razón del deterioro de la calidad del agua agrícola, el uso de agua salina para el riego puede reducir la absorción de agua de las plantas al aumentar la presión osmótica de la solución del suelo, lo que reduce la transpiración y la fotosíntesis en última instancia reduce el rendimiento de la planta hasta que alcance un valor umbral, por encima del cual el rendimiento disminuye linealmente con el aumento gradual de la salinidad mientras tanto no se presente estas condiciones el rendimiento del cultivo no será afectado (Silber et al., 2015).

La salinidad es la concentración de sales inorgánicas disueltas en agua en relación con una unidad de volumen, el agua de riego contiene sal disuelta, la cantidad, el tipo de sal dependen de la fuente y el proceso antes de su uso, los principales solutos son aniones y cationes aunque también se pueden encontrar otros componentes, el alto contenido de sal en el agua de riego se acumulará en el suelo, lo que dificultará el traslado a las raíces (Valles-Aragón & Ojeda-Barrios, 2017).

2.4.1. Salinidad

La salinidad del agua está íntimamente relacionada con la salinidad del suelo. Existen varios parámetros para lograr medir la salinidad: en análisis de campo, la salinidad del agua se expresa como conductividad eléctrica (CE), medida en mmho cm^{-1} o dS m^{-1} . Una dinámica evidente es que a medida que un río disminuye su pendiente y coincidiendo con zonas bajas de la cuenca. La acumulación de agua produce el ascenso del nivel freático hacia a la superficie del suelo, aumentando la salinización del mismo (Torres & Acevedo, 2008).

La salinidad es un problema común que enfrentan los agricultores debido al agua de riego que contiene sal soluble. Ya sean extraídos del agua de manantial, desviados de un arroyo o

extraídos del agua, todos contienen una gran cantidad de sustancias químicas disueltas en la formación geológica a través de la cual fluye la solución, es posible que el agua con alto contenido de sal ya esté en el nivel freático (Alemu & Desta, 2017).

2.4.2 Conductividad eléctrica

El agua limpia o pura no es un buen conductor de electricidad en cambio cuando presenta sales disueltas se puede producir de forma proporcional a la cantidad de sales que se encuentren. Esto se utiliza para lograr medir la salinidad en términos de conductividad eléctrica y se expresa en $S\ m^{-1}$. La gran cantidad de aguas que se utilizan para riego presentan conductividades eléctricas menores a $0.1\ S\ m^{-1}$ pero en aguas subterráneas normalmente presentan valores superiores en lo cual se ocupa las unidades decisiemen y microsiemen ($1dS\ m^{-1} = \mu S\ cm^{-1}$) que facilita la expresión de manera práctica y conveniente en la mayoría de los casos (García, 2012).

2.4.3 Sólidos disueltos totales (SDT)

El SDT es una medida de la sustancia en una muestra de agua, es básicamente la suma de todos los sales minerales, metales y sulfatos disueltos en el agua que pasan por un filtro de tamaño de poro de $2.0\ \mu m$ o menor permitiendo describir la densidad del agua, es un buen indicador de la calidad del agua, no es un parámetro completamente especificado pero es una variable aceptada en una investigación (H. y Shar N., 2019).

SDT por debajo de $1000\ mg.L$ es recomendable para fines de riego, no es recomendado un alto SDT en la mayoría de los cultivos, ya que podría afectar la salinidad del suelo y el agua en los poros se concentraría cuando estos sean absorbidos por las raíces por osmosis (Malakar et al., 2019).

2.4.4 Salinidad efectiva

La salinidad efectiva es una estimación del peligro que puede causar la sal que se encuentra soluble en el agua de riego porque pasa a formar parte del agua del suelo, porque considera la precipitación posterior en forma de sales insolubles (Hidalgo, 2015).

La salinidad efectiva es una estimación del peligro que representan las sales solubles en el agua de riego como parte de la solución del suelo, porque tiene en cuenta la precipitación de carbonato de calcio y carbonato de magnesio, es más importante cuando el contenido de carbonato y bicarbonato en el agua es alto (Pérez Molina, 2019).

2.4.5 Sodicidad

La sodicidad se define en términos de relación a la concentración relativa de sodio (Na) con respecto a otros cationes en el agua y se utiliza para conocer la idoneidad del agua de riego (Lingaswamy & Saxena, 2015).

La sodicidad mide la posible influencia del sodio en las propiedades físicas del suelo, cuando se encuentra un elevado contenido de sodio en el agua de riego el calcio y magnesio se precipitan en la solución del suelo debido al efecto de carbonatos y bicarbonatos haciendo que el sodio se concentre reemplazando por el calcio y magnesio en un intercambio catiónico, causando (Pérez Molina, 2019).

2.4.6 Carbonato de sodio residual (CSR)

El CSR muestra que una vez que los cationes de calcio y magnesio reaccionan con los aniones de carbonato y bicarbonato, el sodio es peligroso. Si el complejo de cambio de suelo es rico en iones de sodio y la disolución del suelo perderá agua, la salinidad se reducirá, entonces cuando el suelo se dispersa con sedimento con partículas más finas, las partículas del suelo se dispersarán y causarán impermeabilidad y condiciones anaeróbicas (Puñales & Aguilar, 2016). Carbonato de sodio residual cuando el contenido de carbonato y bicarbonato en el agua de riego es mayor que Ca^{2+} , Mg^{2+} , es posible formar carbonato de sodio debido a su alta solubilidad del carbonato de sodio puede permanecer en la solución (Gómez & Rodríguez, 2015).

2.4.7 Relación de absorción de sodio (RAS)

El contenido de sodio en el agua de riego, utilizando la siguiente clasificación de absorción de sodio (RAS) predice el papel del sodio en el agua de riego, que se convertirá en parte del suelo, conforme al contenido de sodio se obtenga en el agua para su riego se clasifican en

cuatro clases: agua baja , media alta y muy alta. Los diferentes niveles de sodio (RAS) en el suelo se adquieren de diversas aguas (Can-Chulim & Ortega-Escobar, 2014).

El (RAS) indica el peligro potencial del agua en equilibrio con el suelo, sin embargo, muchos otros factores pueden afectar el saldo anterior y cambiar la relación, cuando el agua de riego contiene mucho sodio en la solución se acumulará, causando que el suelo se desflocule y perdida la estructura (Rodríguez et al., 2008).

2.5. Efectos de iones complejas

2.5.1 Sodio

El sodio al igual que el cloruro, es uno de los elementos más tóxicos y comunes el exceso de sodio en el agua de riego puede llegar a afectar daños a los cultivos, los cultivos afectados muestran síntomas como quemaduras, hojas rizadas y muerte de tejidos esta los valores superiores a 80 ppm normalmente no son permitido para agua de riego (Rivas & Aubrum, 2015).

2.5.2 Bicarbonato

El bicarbonato en el agua de riego incluso si ya no presenta un problema de alcalinización del suelo, todavía son preocupación porque se deben tomar medidas para su neutralización aplicando ácido y finalmente estos se pierden en la atmósfera convirtiéndose en CO₂ dando como resultado una fuente de contaminación potencial (Gómez & Rodríguez, 2015).

2.5.3 Cloruro

El cloruro son iones comunes en el agua de riego aunque el contenido de cloruro es muy bajo, es muy importante para las plantas, pero altas concentraciones de cloruro pueden ser tóxicas para cultivos sensibles y altas concentraciones de cloruro pueden causar más problemas en condiciones de riego elevadas (Bauder et al., 2011).

2.5.4 Boro

El boro es un elemento esencial en proporciones menores, pero la alta concentración de este elemento tiende a ser tóxico, la toxicidad puede ocurrir en cultivos sensibles en concentraciones por debajo de 1,0 ppm. el suelo y el agua de riego que contiene suficiente B no necesita fertilizante adicional con B porque la toxicidad se presenta en proporciones bajas, se recomienda analizar el agua para el uso de riego antes de aplicar B a los cultivos de regadío (Bauder et al., 2011).

2.5.5 Hierro

El contenido de este elemento en el agua está controlado por el proceso de equilibrio químico como redox, precipitación de hidróxidos, carbonatos y sulfatos, el valor de concentración del hierro está entre 1 y 10 ppm, menos de 0.5 ppm en agua oxigenada. El aumento de Fe^{2+} , Fe^{3+} en aguas ácidas puede llegar a 100 ppm (Escobar et al., 2013).

El hierro ferroso Fe^{2+} conocido como “hierro de agua transparente” se encuentra en agua que no contiene oxígeno, tales como agua de pozos hondos y agua subterránea, el Dióxido de Carbono reacciona con el hierro en la tierra para formar bicarbonato de hierro soluble en agua produciendo iones ferrosos. El hierro Férrico Fe^{3+} también es conocido como “agua roja de hierro” se forma del hierro ferroso el cual ha estado expuesto a oxígeno, combinado con el hierro para formar los iones férricos, estas partículas oxidadas son visibles en agua servida (Vega et al., 2017).

2.6 Valores normales del agua de riego

Las principales fuentes de agua de riego para el cultivo son agua de canal y agua de pozo, estas dos fuentes de agua contienen cantidades considerables de sustancias innecesarias en el agua que afectaría la fertilidad del suelo como también el crecimiento y rendimiento del cultivo, estas sustancias provienen de productos naturales o artificiales dependiendo del tipo de sustancias y cantidad resultando un deterioro de la calidad del agua los estándares de la calidad de agua varían de diferentes organizaciones según el Laboratorio regional de salinidad de EE.UU. y FAO (Arshad & Shakoor, 2017).

Cuadro 1: Estándares de la calidad del agua de riego

Water Quality Classification	Salinity Hazard		SAR (meq/L)	RSC (meq/L)
	EC at 25 °C (Micromhos/cm)	TDS (mg/L)		
Excellent	<250	<160	Upto 10	<1.25
Good	250-750	160-500	10-18	1.25-2.5
Medium	750-2250	500-1500	18-26	>2.5
Bad	2250-4000	1500-2500	>26	-
Very Bad	>4000	>2500	>26	-

Fuente : Laboratorio regional de salinidad de EE.UU. y FAO

El agua para el uso de riego se toma como referencia para análisis de agua se define por la concentración de iones específicos de cationes y aniones como aniones de baja proporción y la disponibilidad de las sales solubles (Petitón & Cuello, 2007). Según el laboratorio de NemaLab los valores normales considerados para el análisis del agua de riego como se muestra en la tabla 2 .

Cuadro 2: Valores considerados normales en un análisis de agua de riego

Valores considerados normales en un Análisis de Agua de Riego			
pH	6 a 8.5	K	0 - 0.2 meq/l
NO ₃ ⁻	0 - 31 mg/l	Ca	0 - 10 meq/l
NO ₂ ⁻	0 - 5 mg/l	Mg	0 - 5 meq/l
P	0 - 2 mg/l	Na	0 - 3 meq/l
Zn	0 - 5 mg/l	Cl	0 - 15 meq/l
Cu	0 - 0.2 mg/l	SO ₄ ⁼	0 - 20 meq/l
Mn	0 - 2 mg/l	RAS	0 - 6 meq/l
Fe	0 - 5 mg/l	CO ₃ ⁼	0 - 0.1 meq/l
B	0 - 2.5 mg/l	HCO ₃ ⁻	0 - 6 meq/l

Fuente: Laboratorio de análisis NEMALAB

2.6.1 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad del agua para conducir electricidad, el agua pura es un mal conductor de electricidad, la CE indica el total de sólidos disueltos que hay en el agua y es el parámetro más importante para determinar peligros de salinidad e idoneidad del agua para riego su unidad de medida es $\mu\text{S}/\text{cm}$, La CE entre 0.4 a 1.2 ds/m permite el

crecimiento y desarrollo de las plantas con moderada tolerancia a sales (Lingaswamy & Saxena, 2015).

2.6.2 Parámetro de la calidad del agua de riego para la agricultura

El agua de diferentes fuentes se usa no solo para consumo humano sino también para la agricultura se proporciona niveles de referencia en medición del grado de restricción del agua para el uso de riego en la agricultura como también permite visualizar los niveles de peligro de daño que se describen en la tabla 3: (Gómez & Rodríguez, 2015).

Cuadro 3: Parámetros de la calidad de agua de riego para uso agrícola.

Parámetro	Unidad	Grado de restricción		
		Ninguno	Leve a moderado	Severo
Salinidad				
Conductividad eléctrica	dS.m ⁻¹	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0
Sólidos disueltos totales	mg.L ⁻¹	< 450	450-2000	> 2000
Salinidad efectiva	me.L ⁻¹	< 3.0	3.0-15.0	>15.0
Salinidad potencial	me.L ⁻¹	< 3.0	3.0-15.0	>15.0
Sodicidad				
Carbonato de sodio residual	me.L ⁻¹	< 1.25	1.25-2.5	>2.5
Relación de adsorción de sodio	me.L ⁻¹	< 3.0	3.0-9.0	> 9.0
Efecto de iones específicos				
Sodio	me.L ⁻¹	< 5.0	5.0-10.0	> 10.0
Bicarbonatos	me.L ⁻¹	< 1.5	1.5-8.5	> 8.5
Cloruros	me.L ⁻¹	< 4.0	4.0-10.0	> 10.0
Boro	mg.L ⁻¹	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0
Hierro	mg.L ⁻¹	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5

Fuente: (Gómez & Rodríguez, 2015)

2.7 Restricciones en el uso del agua de riego

Para la evaluación del agua de riego es dar solo la primera dirección, en las plantas deben observarse síntomas que indiquen una cierta reacción de sales. En cuanto al suelo, es necesario realizar análisis periódicos para que podamos controlar el cambio en el contenido de sales a lo largo del tiempo para determinar los valores y concentraciones de los parámetros determinados en esta Norma Oficial Ecuatoriana NTE INEN 2169:98.

Cuadro 4: Restricciones del agua de riego

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN *		
		Ninguno	Ligero-Moderado	Severo
Salinidad: (1)				
CE (2)	milimhos/cm	0,7	0,7-3,0	>3,0
SDT (3)	mg/l	450	450-2000	>2000
Infiltración: (4)				
RAS=0-3yCE=		0,7	0,7-0,2	<0,2
RAS=3-6yCE=		1,2	1,2-0,3	<0,3
RAS=6-12yCE=		1,9	1,9-0,5	<0,5
RAS=12-20yCE=		2,9	2,9-1,3	<1,3
RAS=20-40yCE=		5,0	5,0-2,9	<2,9
Toxicidad por iones específicos (5)				
Sodio:				
Irrigación superficial RAS (6)	meq/l	3,0	3,0-9,0	>9
Aspersión	meq/l	3,0	3,0	
Cloruros:				
Irrigaciónsuperficial	meq/l	4,0	4,0-10,0	>10
Aspersión	meq/l	3,0	3,0	
Boro:				
	mg/l	0,7	0,7-3,0	>3
Efectos misceláneos (7)				
Nitrógeno (N-NO ₃ -)	mg/l	5,0	5,0-30,0	>30
Bicarbonato (HCO ₃ -) Solo aspersión	meq/l	1,5	1,5-8,5	>8,5
pH	Rango normal		6,5-8,4	

Fuente:NTE INEN 2169:98

2.7.1 Salinidad

Las sales se acumulan en el perfil del suelo en exceso, aparecen problemas de salinidad, en suelo salino el cultivo no absorbe la cantidad de agua necesaria provocando un estrés hídrico, las sales son solubles y se transporta principalmente por el agua, la disponibilidad adecuada del H₂O permite una mejor producción en el cultivo, en lugares con alto contenido de salinidad acumuladas en la zona radicular, la práctica de lixiviación de sales es necesario para su reducción de nivel de sales (Arshad & Shakoor, 2017).

2.7.2 Infiltración

Los problemas de infiltración surge cuando la tasa de infiltración (es la velocidad en la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie) a menor tasa de infiltración hay poca disponibilidad de agua para las raíces de las plantas o permaneciendo en la superficie del suelo, la necesidad del agua y los nutrientes no estarán disponibles para el cultivo, la tasa de infiltración del agua también varía ampliamente y sería la estructura del suelo, compactación, materia orgánica disponible , calidad del agua y componentes químicos del suelo (Arshad & Shakoor, 2017).

2.7.3 Toxicidad

- Sodio

La toxicidad del sodio no se identifica tan fácilmente como la toxicidad del cloruro, los típicos síntomas de toxicidad son quemaduras en las hojas y tejidos muertos en los bordes externos de las hojas en comparación con los síntomas del cloruro la presencia de sus síntomas ocurre inicialmente en la punta de las hojas, normalmente se requiere de un prolongado periodo antes de que acumule altas concentraciones tóxicas, las principales síntomas aparecen en las hojas viejas, comenzando en los bordes inferiores hasta propagarse hacia adentro de las venas y la hoja central (Ayers & Westcot, 1985).

La concentración de Na y Cl en los cultivos sensibles a la toxicidad de estos elementos en especial en riego por aspersión debido a la directa absorción del agua en las hojas causando un daño foliar , una alta elevación de estos elementos ocasionan varios daños en los cultivos aunque algunos cultivos son tolerantes, también existe otros factores que causan daño como la temperatura, la insolación y la humedad relativa (Aragüés Lafarga, 2011).

- Cloro

La toxicidad del cloruro es más común en el agua, el suelo no absorbe ni retiene el cloruro por lo que se mueve con el agua del suelo y esta es absorbido por el cultivo, se traslada mediante la transpiración y se acumula en las hojas, si el cloruro en las hojas excede la tolerancia del cultivo, se presenta síntomas de lesiones con quemaduras o sequedad del tejido en las puntas de las hojas a medida que aumenta su gravedad, la necrosis excesiva

producida por el cloruro suele ser acompañada con la caída de hojas o defoliación en cultivos sensibles a este elemento (Ayers & Westcot, 1985).

- Boro

El boro se traslada a través del xilema y se acumula al final de la transpiración, los síntomas foliares incluyendo la clorosis y necrosis se extiende en la parte superior de la hoja, la presencia de lesiones marrones se forman en los márgenes y luego cubre gran parte de la superficie de la hoja, las hojas más viejas por lo general son las primera en ser las más afectadas, también el exceso del B debilita generalmente las raíces y el rendimiento de la planta (Brdar-Jokanović, 2020).

- pH

La concentración de iones de hidrógeno (H^+), e iones de hidroxilo (OH^-) en el agua, para determinar , los valores del ph varían de 1 a 14, si presenta un ph inferior a 7 se llama agua ácida, pero si contiene un valor igual a 7 se denomina como agua neutra y más de 7 se llama agua alcalina, el ph del agua y suelo no causa daño directamente al crecimiento de la planta , pero sí afecta la eficacia de la coagulación y la floculación del agua (Arshad & Shakoor, 2017).

El en la mayoría de los metales causan un efecto de equilibrio en la solubilidad adsorción e intercambio de iones en el suelo, un elevado pH los metales son removidos y adsorbidos los coloides bajando su biodisponibilidad, es decir la retención de los cationes metálicos aumenta si el pH es elevado, se reduce al acidificar el suelo o el agua, el ph y la conductividad eléctrica no limitan el uso del agua para riego (Mancilla, Uscanga, & Reyes., 2012)).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El área de estudio se orienta a la determinación de la calidad de agua en el cultivo de banano localizada entre las coordenadas: 3°16'00" latitud Sur y 79°58'00" longitud Oeste, en el Cantón "Machala" Provincia de "El Oro", con una superficie de 66,5 km², sus límites son al Norte: Los cantones El Guabo y Pasaje, Sur y Este: Cantón Santa Rosa, Oeste: Archipiélago de Jambelí.

Los lugares establecidos fueron (6) puntos seleccionados al azar, para llevar a cabo la evaluación de su calidad, estos lugares fueron geo-referenciados empleando el uso de un GPS. En el siguiente Cuadro N°5: se muestra los puntos establecidos para el muestreo.

Cuadro 5 : Ubicación de las toma de muestras de agua

PUNTO DE MUESTREO	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS	
		S	W
Pozo 1	Portón	3 16 9.62	79 53 24,87
Pozo 2	Corralitos	3 19 50.52	79 52 55.16
Pozo 3	La Chana	3 22 49.97	79.54.39.28
Canal 1	Santa Ines	3 17 22.73	79 54 40.86
Canal 2	Germania	3 14 35.71	79 54 10.01
Canal 3	Pineda	3 21 16.77	79 53 23.36

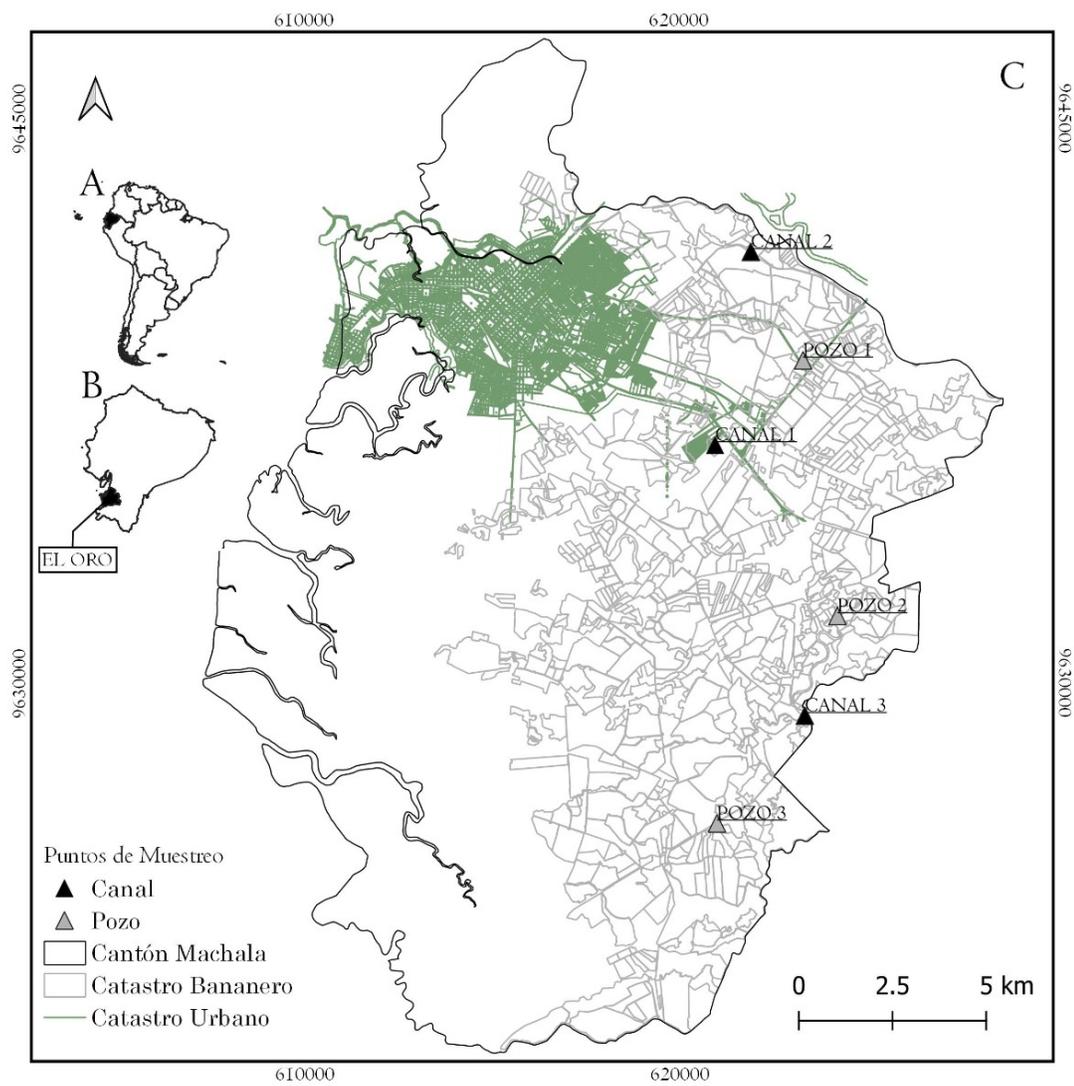


Figura 1: Localización geográfica de las muestras de agua

Fuente : Autor

3.2 Muestreo y análisis

Para la recolección las muestras de agua se utiliza una botella ámbar de 750 ml, previo a la toma de la muestra, se enjuaga el envase de 2 a 3 con el agua a muestrear y taptarla sin dejar cámara de aire, se puede dejar un mínimo sin llenar para poder sellar una vez hecho esto es recomendable guardar en un lugar fresco y con una etiqueta adhesiva para

identificarla de una muestra con la otra, para evitar una alteración en los resultados la muestras de agua deben ser llevada directo al laboratorio en el menor tiempo posible.

3.3 Análisis de la calidad del agua

Para determinar la calidad de agua para el riego se examinan los siguientes parámetros:CE, pH, cationes, aniones , elementos tóxicos, cloruros y bicarbonatos (CO_3H^-), mediante estos datos se determinará los siguientes parámetros: Salinidad efectiva (SE), Salinidad potencial(SP), carbonatos de sodio residual (CSR), Relación de absorción de sodio (RAS). (Gómez & Rodríguez, 2015)

3.4 Cálculo de índices de la calidad de agua

- Salinidad efectiva

La salinidad efectiva (SE) se calcula en base a los valores de diferentes concentraciones de calcio, sulfato de magnesio, carbonato y bicarbonato, todos expresados como meq L-1(Gómez & Rodríguez, 2015).

El cálculo de la salinidad efectiva se realizó siguiendo los siguientes parámetros y reglas de decisión:

$$1. \text{ Si } Ca^{2+} > (CO_3^{2-} + CO_3H^- + SO_4^{2-})$$

$$\text{Entonces : } SE = \Sigma \text{ cationes} - (CO_3^{2-} + CO_3H^- + SO_4^{2-})$$

$$2. \text{ Si } Ca^{2+} < (CO_3^{2-} + CO_3H^- + SO_4^{2-}) \text{ pero } Ca > (CO_3^{2-} + CO_3H^-)$$

$$\text{Entonces : } SE = \Sigma \text{ cationes} - Ca^{2+}$$

$$3. \text{ Si } Ca^{2+} < (CO_3^{2-} + CO_3H^-) \text{ pero } (Ca^{2+} + Mg^{2+}) > (CO_3^{2-} + CO_3H^-)$$

$$\text{Entonces: } SE = \Sigma \text{ cationes} - (CO_3^{2-} + CO_3H^-)$$

$$4. \text{ Si } (Ca^{2+} + Mg^{2+}) < (CO_3 + CO_3H^-)$$

Entonces : $SE = \Sigma \text{ cationes} - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$

Nota: Si la $\Sigma \text{ cationes} < \Sigma \text{ aniones}$ deberá emplearse está última en lugar de la $\Sigma \text{ cationes}$.

- Salinidad potencial

La salinidad potencial es un indicador para estimar el peligro de las concentraciones de los iones cloruro y sulfatos, el índice se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$SP = [Cl^-] + \frac{1}{2}[SO_4^{2-}]$$

La unidad está expresada por $m\acute{e}l. L^{-1}$.

- Carbonato de Na residual (CSR)

El cálculo del carbonato de sodio residual (CSR) se utiliza para predecir la tendencia del calcio y el magnesio a precipitarse en el suelo después del riego, si el agua está muy carbonatada cuando esto sucede, la proporción relativa de sodio en el suelo aumentará, es decir a pesar de la presencia de RAS, existe el riesgo de sodificación en el suelo a pesar de no cambia el contenido de sodio (Puñales & Aguilar, 2016). Cuando la diferencia es negativa no existe el problema y el valor del CSR puede suponerse igual a cero.

Este índice se calcula de la siguiente manera:

$$CSR = (CO_3^{2-} + CO_3H^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}).$$

- Relación de absorción de Na (RAS)

Los valores del RAS se pueden tolerar si la salinidad del agua de riego aumenta, por el contrario si baja el RAS del agua puede ser peligrosa en el suelo si la CE es baja (Puñales & Aguilar, 2016). Esta relación permite definir el peligro potencial a un aumento de Na, Ca y Mg.

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

Donde: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} son las concentraciones de los iones sodio, calcio y magnesio respectivamente, expresados en meq L-1.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de los parámetros físico-químicos del agua de riego utilizada en la producción bananera del Cantón Machala.

Como resultado del análisis exploratorio de datos se observó que todos los conjuntos de datos no presentaron valores atípicos, por lo que se asume la representatividad de la muestra. **Figura 2.**

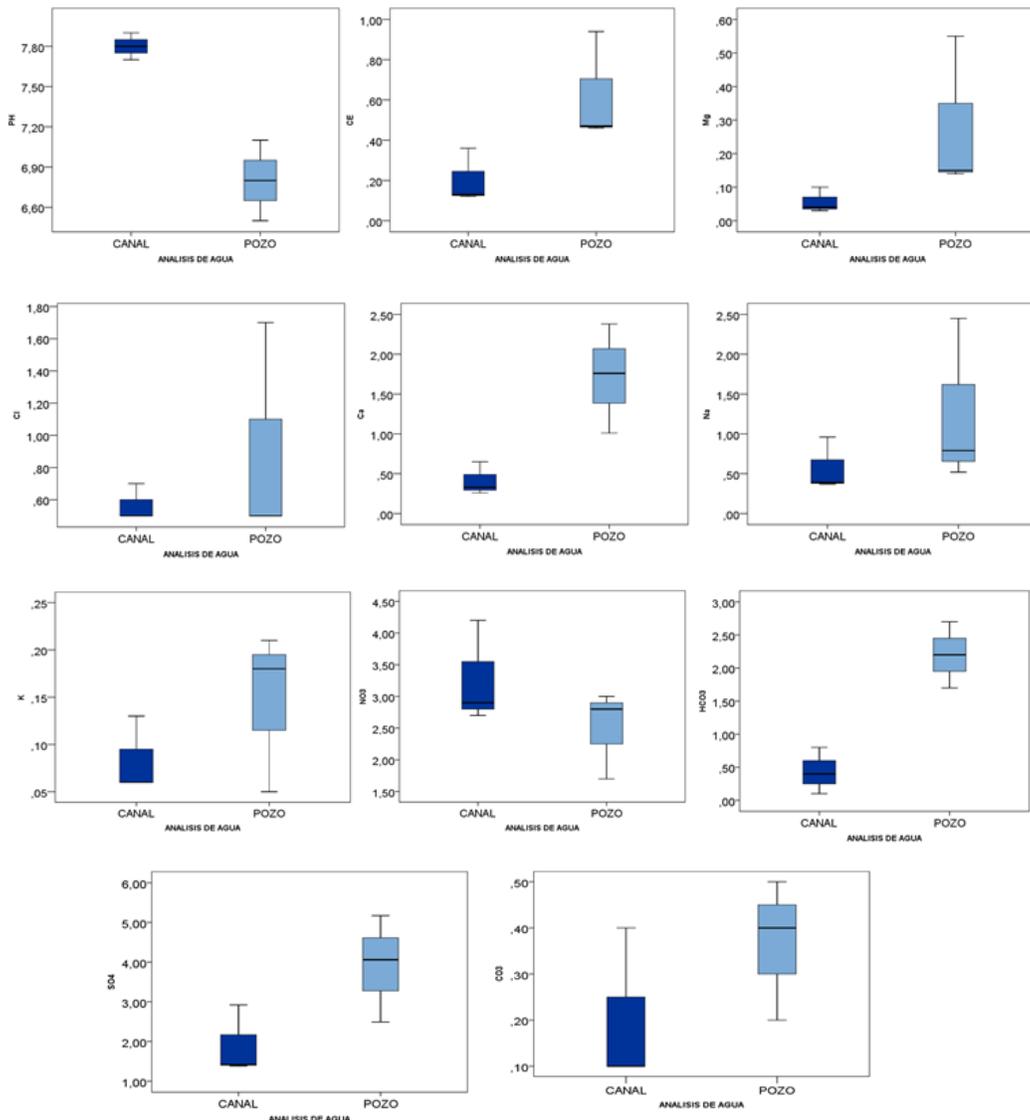


Figura 2. Análisis exploratorio de datos de las variables de estudio

Los supuestos de normalidad y homocedasticidad se corroboraron por medio de las pruebas de Shapiro Wilk y Test de Levene, donde se observó que todas las variables cumplieron con el supuesto de homocedasticidad al arrojar valores de P-valor mayor al nivel de significancia, sin embargo, en el supuesto de normalidad se observó que las variables: Cl, K y CO_3 presentaron valores de P-valor menor a la significancia. **Cuadro 6.**

Cuadro 6. Prueba de normalidad y Homocedasticidad de todos los conjuntos de datos.

Variable		Shapiro-wilk	Levene
		Sig	Sig
pH	Canal	1.000	0.275
	Pozo	1.000	
CE	Canal	.070	0.145
	Pozo	.035	
DUREZA	Canal	.281	0.208
	Pozo	.842	
SD	Canal	.645	0.302
	Pozo	.035	
Cl	Canal	.000	0.03
	Pozo	0.000	
Na	Canal	.057	0.073
	Pozo	.247	
Ca	Canal	.323	0.225
	Pozo	.895	
Mg	Canal	.253	0.03
	Pozo	.041	
K	Canal	.000	0.169
	Pozo	.339	
NO₃	Canal	.235	0.676
	Pozo	.274	
SO₄	Canal	.044	0.568
	Pozo	.811	
CO₃H	Canal	.843	0.708
	Pozo	1.000	
CO₃	Canal	.000	0.692
	Pozo	.637	
SP	Canal	.584	0.203
	Pozo	.034	
CSR	Canal	.463	0.199
	Pozo	.377	
RAS	Canal	.171	0.242
	Pozo	.656	

Por medio de un análisis de varianza univariada se determinó la existencia o ausencia de diferencias estadísticas entre las dos fuentes de agua: Pozo y Canal. Como resultado se observó que las variables pH, Dureza, Ca y CO_3H^- expresaron diferencias estadísticas significativas arrojando valores de P-valor mayor al nivel de significancia, en contraste, las demás variables de estudio no fueron estadísticamente distintas. **Cuadro 7.**

Cuadro 7. Análisis univariado de las variables de estudio.

ANOVA	
VARIABLE	SIG
pH	.005
CE	.076
DUREZA	.049
SDT	.072
Cl	.457
Na	.344
Ca	.035
Mg	.178
K	.309
NO ₃	.007
SO ₄	.097
CO ₃ H	.284
CO ₃	.279
SP	.177
CSR	.183
RAS	.901

En cuanto a las diferencias estadísticas significativas evidenciadas en el ANOVA unifactorial, se observó en el grupo de Cationes que el agua de Pozo contiene mayor contenido de Ca en comparación con la de Canal, puesto que el agua de las fincas que se suministran de Pozo presentaron valores de 1.01, 1.76 y 2.38 meq/l y el agua de las fincas que se suministran de Canal presentaron valores de 0.26, 0.33 y 0.65 meq/l, lo cual expresa un 75.9 % de diferencia de contenido de Ca de acuerdo con (Petición & Cuello, 2007), el nitrato (NO_3) manifiesta que existe contaminación media en el canal 1, con un valor de 0.34 meq.l encontrándose fuera de las cantidades establecidas, como lo indica NemaLab el valor permitido es de (0.2 meq.l). **Cuadro 8.**

Cuadro 8. Contenido de sales en el agua de riego en diferentes fuentes de abastecimiento.

LOCALIDAD	CATIONES(meq/L)				ANIONES (meq/L)			
	Ca	K	Mg	Na	NO ₃	SO ₄	Cl	CO ₃ H ⁻

P1. PORTÓN	1,01	0,21	0,14	0,79	0,24	4,06	0,5	1,7
P2.CORRALITOS	1,76	0,18	0,15	0,52	0,23	2,49	0,5	2,7
P3.CHANA	2,38	0,05	0,55	2,45	0,13	5,17	1,7	2,2
C1. SANTA INES	0,26	0,06	0,03	0,37	0,34	1,42	0,5	0,8
C2.GERMANIA	0,33	0,006	0,04	0,39	0,23	1,38	0,5	0,4
C3.PINEDA	0,65	0,13	0,1	0,96	0,22	2,92	0,7	0,1

En cuanto a la diferencia existente en función del pH entre el agua de Pozo y Canal está relacionada a la diferencia de Ca, puesto que cuando la concentración de calcio disminuye permite el aumento de pH y por ende la alcalinización, esto se evidencia ya que en las fincas suministradas de agua de pozo con los mayores valores de Ca expresaron los niveles de pH más bajo con 6.5, 6.8 y 7.1, inclinándose más hacia una clasificación ácida según (Arshad & Shakoor, 2017), en contraste con las fincas suministradas con agua de Canal que presentaron los menores valores de Ca y los mayores valores de pH con 7.7, 7.9 y 7.8 direccionando a una clasificación básica.

Cuadro 9. Parámetros de salinidad determinada en diferentes fuentes de abastecimiento

	CE ds/m	Dureza	pH	SDT mg/l	SE (meq.l)	SP (meq.l)	RAS (meq.l)	CSR (meq.l)
POZO 1	0.46	59.3	6.5	68.6	0.25	2.53	1.04	0.40
POZO 2	0.47	95.3	6.8	64.9	0.70	1.75	0.53	0.43
POZO 3	0.94	146.0	7.1	189.9	2.73	4.28	2.02	1.30
CANAL 1	0.13	14.4	7.7	244.3	0.43	1.21	0.97	0.12
CANAL 2	0.12	18.4	7.9	249.6	0.02	1.91	0.91	0.56
CANAL 3	0.36	39.8	7.8	498.1	0.09	2.16	1.52	0.23

La Dureza del agua en la fincas suministradas de agua de Pozo presentó los mayores valores con 59.3, 95.3 y 146 grados hidrométricos, situación que se esperaba puesto que este indicador de la calidad del agua está basado en los contenidos de Ca y Mg y los mayores valores estadísticamente significativos presentó el tipo de agua de pozo.

La CE no presentó diferencias estadísticas significativas ubicándose en un rango de 0.12 a 0.94 ds/m asignándose una clasificación adecuada, puesto según (Lingaswamy & Saxena, 2015)) entre 0.4 a 1.2 ds/m permite el crecimiento y desarrollo de las plantas con moderada tolerancia a sales.

En general, el agua suministrada de pozos en el cantón “Machala”. son de tipo muy dura al expresar valores mayores a 54 grados hidrométricos, por ello aporta mayor cantidad de sales principalmente de Ca y CO_3H^- las cuales en un suelo en estado cercano a punto de marchitez permanente se asocian formando Carbonatos de Calcio y generando condiciones no favorables para el desarrollo radicular, en cambio el agua suministrada de Canal aporta sales en menores cantidades, situación importante a tener en cuenta en diseños de sistema de riego según la calidad del suelo.

4.2 Analisis de Correlacion de Pearson

En el **cuadro 10** se puede observar la correlación existente entre las variables de estudio, expresándose de dos tipos: directa e inversa.

La CE se correlaciona con la mayoría de las variables estudiadas; sin embargo, los SD (sólidos disueltos) tienen mejor correlación con ella con un valor de 0,99. De igual forma la variable DR (dureza) está en función de sales de magnesio (Mg) y calcio (Ca), con lo que se puede corroborar en el cuadro la fuerte correlación que estas poseen. Los SD conservan el valor más alto de correlación (0,94) con el mineral magnesio, y este a la vez se relaciona mejor con la concentración residual de sodio.

Cuadro 10: Matriz de correlación de Pearson

	pH	CE	DR	SD	Cl	Na	Ca	K	Mg	NO ₃	SO ₄	CO ₃	CSR	RAS	CO ₃ H	SP
pH	1															
CE	-0,56	1														
DR	-0,58	0,96	1													
SD	-0,59	0,99	0,95	1												
Cl	-0,10	0,86	0,79	0,83	1											
Na	-0,23	0,92	0,82	0,90	0,98	1										
Ca	-0,62	0,94	0,99	0,93	0,74	0,77	1									
K	-0,71	0,05	0,05	0,10	-0,45	-0,29	0,11	1								
Mg	-0,37	0,96	0,92	0,94	0,96	0,97	0,89	-0,23	1							
NO ₃	0,27	-0,83	-0,80	-0,77	-0,76	-0,81	-0,77	0,02	-0,81	1						
SO ₄	-0,61	0,93	0,81	0,93	0,76	0,87	0,78	0,20	0,86	-0,75	1					
CO ₃	-0,26	0,56	0,69	0,47	0,54	0,48	0,70	-0,23	0,64	-0,70	0,34	1				
CSR	-0,38	0,84	0,81	0,78	0,85	0,86	0,78	-0,23	0,91	-0,83	0,78	0,79	1			
RAS	0,45	0,04	0,05	0,07	0,03	0,03	0,07	0,67	0,01	0,04	0,07	0,06	0,05	1		
CO ₃ H															1	
SP																1

Refleja una correlación directa con la conductividad eléctrica con la dureza al igual que el Mg, presentando un valor de 0.96 según (Solís-Castro et al., 2018) mencionan que la dureza es uno de los componentes en el agua que generan la conductividad, aunque existen otras iones que la incrementan como por ejemplo: el agua cargada de cloruro de sodio como es el caso de la intrusión salina en acuíferos. Sin embargo, en la mayoría de las aguas subterráneas (pozos y nacientes) existe una relación entre la dureza y la conductividad.

5. CONCLUSIONES

El agua suministrada de pozos en el cantón “Machala” son de tipo muy dura al expresar valores mayores a 54 °H (grados hidrométricos), con mayor cantidad de sales principalmente de Ca (1.01, 1.76 y 2.38 meq/l) y CO_3H^- (1.7, 2.7 y 2.2 meq/l) las cuales en un suelo con déficit hídrico se asocian formando Carbonatos de Calcio y generando condiciones no favorables para el desarrollo radicular.

El agua suministrada de Canal aporta sales en menores cantidades de Ca (0.26, 0.33 y 0.65 meq/l) y CO_3H^- (0.8, 0.4 y 0.1 meq/l), situación importante a tener en cuenta en diseños de sistema de riego según la calidad del suelo, los SD conservan una correlación (0,94) con el mineral magnesio y este a la vez se relaciona mejor con la concentración residual de sodio.

La CE se correlaciona con la mayoría de las variables estudiadas, los sólidos disueltos tienen mejor correlación con ella con un valor de 0,99. La dureza está en función de las sales Mg y Ca. La dureza presente en el agua de pozo son de clasificación muy dura que en el agua de canal por ende es recomendable el agua de canal en los sistemas de riego.

Las aguas que contienen mayor cantidad de bicarbonatos de Ca y de Mg, representan la principal forma de alcalinidad, las concentraciones de Na, Cl y Mg, encontradas en los pozos cercanos a la costa se deben a la intrusión marina, la aportación de calcio por la lixiviación de materiales que componen la estratigrafía del acuífero, que son lavados por los flujos de agua subterránea.

6.BIBLIOGRAFÍA

- Alemu, M. M., & Desta, F. Y. (2017). Irrigation water quality of River Kulfo and its implication in irrigated agriculture, South West Ethiopia. *International Journal of Water Resources Development*. <https://doi.org/10.5897/IJWREE2016.0703>
- Aragüés Lafarga, R. (2011, June). *Calidad del agua para el riego: efectos sobre plantas y suelos. I*, 8–23.
- Araújo, J. J. D. E., Mendonça, V., Pereira, M. F. S., & Souza, M. D. E. F. (2018). AGRONOMIC CHARACTERISTICS OF THE PACOVAN ORGANIC BANANA IN IRRIGATION SYSTEMS IN THE AÇU-RN VALLEY. *Revista Caatinga*, 31(2), 370–378.
- Arshad, M., & Shakoor, A. (2017). Irrigation Water Quality. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 31 (2), 102–123.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture: Vol. 29*.
researchgate.net.
- Bauder, T. A., Waskom, R. M., Sutherland, P. L., & Davis, J. G. (2011). *Irrigation water quality criteria*. mountainscholar.org.
https://mountainscholar.org/bitstream/handle/10217/182905/AEXT_005062014.pdf?sequence=13
- Borja, J. (2016). La producción de banano bajo el sistema de comercio justo: un análisis del caso ecuatoriano. *Siembra*, 3(1), 7–10.
- Brdar-Jokanović, M. (2020). Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21 (4), 1424.

- Can-Chulim, Á., & Ortega-Escobar, H. M. (2014). Calidad del agua para riego en la Sierra Norte de Puebla, México. *Tecnología Y Ciencias*, 5(5), 77–96.
- Escobar, M. J., Terneus, E., & Yáñez, P. (2013). El plancton como bioindicador de la calidad del agua en zonas agrícolas andinas, análisis de caso. *Qualitas*, 5(1), 17–37.
- García, Á. O. (2012). *Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego*. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica.
[http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- Gómez & Rodríguez. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19(1), 39–50.
- Hidalgo, Y. G. (2015). Calidad del agua con fines de riego. *Ojeando la Agenda*, 35, 1.
- H. y Shar N., J. S. S. (2019). Analysis of Total Dissolved Solids and Electrical Conductivity in Different Water Supply Schemes of Taluka Chachro, District Tharparkar. *Quaid-E-Awam*, 17 (01), 1–5.
- Islam, M. S., & Shamsad, S. (2009). Assessment of irrigation water quality of Bogra District in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 34(4), 507–608.
- León, G. S. de, de León, G. S., de San Luis, P. “agua y. S. E. C., México, A. C., Hernández, Y. P., Salazar, H. C., Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma San Luis Potosí. México, & Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma San Luis Potosí. México. (2012). Calidad del agua en pozos de la red de monitoreo del acuífero del valle de San Luis Potosi, México. In *Aqua-LAC* (Vol. 4, Issue 1, pp. 49–59).
<https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2012-v4-1-06>
- Lingaswamy, M., & Saxena, P. R. (2015). Water quality of fox Sagar Lake, Hyderabad, Telangana State, India, its suitability for irrigation purpose. *Int. J. Adv. Res. Sci.*

- Technol*, 4(8), 490–494.
- Malakar, A., Snow, D. D., & Ray, C. (2019). Irrigation Water Quality—A Contemporary Perspective. *WATER*, 11(7), 1482.
- Mancilla, Uscanga, & Reyes. (2012). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista Internacional*, 28 (1), 39–48.
- Pérez Molina, A. (2019). Riesgo de Sodicidad en los Suelos de Cantón Milagro, Guayas-Ecuador en Época de Estiaje. *Revista Politécnica*, 42(2), 15–22.
- Petitón, J. P., & Cuello, G. H. (2007). Valoración de la calidad del agua del Arroyo Guachinango, con fines de riego. *Biologicas: Revista de La Des Ciencias Biologico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo*, 16(3), 6–8.
- Pimentel, D., Houser, J., Preiss, E., White, O., Fang, H., Mesnick, L., Barsky, T., Tariche, S., Schreck, J., & Alpert, S. (1997). Water Resources: Agriculture, the Environment, and Society. *Bioscience*, 47(2), 97–106.
- Puñales, T. T., & Aguilar, C. B. (2016). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(1), 46–61.
- Rivas, P., & Aubrum, J. (2015). Importancia del análisis de agua. *Boletín Hortícola*, año 19, no. 53. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/103288>
- Rodríguez, M., D'Urso, C., Rodríguez, G., & Sales, A. (2008). Evaluación de la calidad de aguas para riego de la cuenca del río Calera, Tucumán, Argentina. *Ciencia*, 3, 15–28.
- Santacruz, A., Ornelas-García, C. P., & de León, G. P. (2020). Incipient genetic divergence or cryptic speciation? *Procamallanus* (Nematoda) in freshwater fishes (*Astyanax*). *Zoologica Scripta*, 49(6), 768–778.
- Silber, A., Israeli, Y., Elingold, I., Levi, M., Levkovitch, I., Russo, D., & Assouline, S.

- (2015). Irrigation with desalinated water: A step toward increasing water saving and crop yields. *Water Resources Research*, 51(1), 450–464.
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 31(1), 35.
- Torres, A., & Acevedo, E. (2008). El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. *Idesia (Arica)*, 26(3), 31–44.
- Valles-Aragón, M. C., & Ojeda-Barrios, D. L. (2017). Calidad del agua para riego en una zona nogalera del Estado de Chihuahua. *Revista Internacional*, 33(1), 85–97.
- Vega, A. G. G., Zárate, G. H., Yáñez, P. A. J., Gonzalez, S. H., & Reaxión. Revista arbitrada de divulgación científica de la Universidad Tecnológica de León. (2017, September 27). *Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea del municipio de Apan, Hidalgo, México*.
http://201.116.238.51/Art_Determinacion_de_hierro_y_manganeso_en_el_agua_subteranea_del_municipio_de_Apan_Hidalgo_Mexico.html
- NTE-INEN-2169:98.<https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf>

7.ANEXOS



Anexo 1: Toma de muestras del agua



Anexo 2: Muestras de agua llevadas al laboratorio



NEMALAB S.A.

En convenio con el MAG - PRODE y AGEAP

e-mail: nemalab@epapic.com.ec

KM 1 1/2 (ANTIGUA VIA FERREA) SN Y GRUPO BOLIVAR, EL CAMBIO - MACHALA, EL ORO Tel: (03) 292184 Fax: (03) 9768254

08/03/2021

Pág: 1 / 1

Cliete: CHACHA OCHOA NATALI SILVANA

Remite: SRTA NATALI CHACHA O

Propiedad: TESIS DE GRADO

Localización: Sitio Parroquia Cantón Provincia
MACHALA EL ORO

Documento No: 00054673

Fecha de Muestreo: 26/02/2021

Fecha de Ingreso: 27/02/2021

Fecha de Salida: 08/03/2021

Resultados e Interpretación de: ANALISIS DE AGUAS PARA RIEGO

Cód. de Muestra	No. de Muestra	pH	mg / l										meq/l								dS/m	
			NO3-	NO2-	P-PO4	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Dureza	S.T.D.	K	Ca	Mg	SO4=	CO3=	HCO3=	Cl	Na		R.A.S.
8747	AG. DE CANAL - STA INES	7.7	4.20	0.030	1.77	0.00	0.00	0.83	0.02	0.31	14.4	68.6	0.06	0.26	0.03	1.42	0.10	0.80	0.50	0.37	0.97	0.13
8748	CANAL HDA GERMANIA	7.9	2.90	0.019	0.38	0.00	0.00	0.35	0.03	0.30	18.4	64.9	0.06	0.33	0.04	1.38	0.40	0.40	0.50	0.39	0.91	0.12
8749	CANAL.FCA. PINEDA	7.8	2.70	0.265	0.83	0.00	0.00	0.02	0.02	0.37	39.8	189.9	0.13	0.65	0.15	2.92	0.10	2.00	0.70	0.96	1.52	0.36

Valores considerados normales en un Análisis de Agua de Riego			Tipo de Agua	DUREZA Como Carbonato de Calcio	PELIGROSIDAD SALINA	CONDUCTIV. ELECT dS/m	
pH	6 a 8.5	K	0 - 0.2 meq/l	Blanda	< 17.1	C1 Baja	Hasta 0.25
NO3-	0 - 31 mg/l	Ca	0 - 10 meq/l	Ligeramente Dura	17.1 - 51.3	C2 Moderada	0.25 - 0.75
NO2-	0 - 5 mg/l	Mg	0 - 5 meq/l	Moderadamente Dura	51.4 - 119.7	C3 Mediana a Alta	0.75 - 2.25
P	0 - 2 mg/l	Na	0 - 3 meq/l	Dura	119.8 - 179.5	C4 Alta	2.25 - 4.0
Zn	0 - 5 mg/l	Cl	0 - 15 meq/l	Muy Dura	> 179.5	C5 Muy Alta	4.0 - 6.0
Cu	0 - 0.2 mg/l	SO4=	0 - 20 meq/l			C6 Excesiva	> 6.0
Mn	0 - 2 mg/l	RAS	0 - 6 meq/l				
Fe	0 - 5 mg/l	CO3=	0 - 0.1 meq/l				
B	0 - 2.5 mg/l	HCO3-	0 - 6 meq/l				

Estos resultados pueden ser sujetos de comparación, siempre y cuando se utilice la misma metodología utilizada en este Laboratorio.

Esta Hoja de Resultados es válida sólo con firma y sello en original.

BIOQ. MARCELA PRINCEIRA L.
Jefe de Laboratorio



ENGLAURETA PRINCEIRA L.
Secretaría

F04001R

Anexo 3: Resultados de las muestras de agua del canal del laboratorio de Nemalab



NEMALAB S.A.

En convenio con el MAG - PRODE y AGEAP

e-mail: nemalab@lapovic.com.ec

KM 1 1/2 (ANTIGUA VIA FERREA) S/N Y GRUPO BOLIVAR, EL CAMBIO - MACHALA, EL ORO Tel: (093) 2992184 Fax: (093) 97658254

13/03/2021

Pág: 1 / 1

Cliete: CHACHA OCHOA NATALI SILVANA

Remitente: SRTA.SILVANA CHACHA

Propiedad: TESIS DE GRADO

Localización: Sitio Parroquia Cantón Provincia
MACHALA EL ORO

Documento No: 00054682

Fecha de Muestreo: 02/03/2021

Fecha de Ingreso: 03/03/2021

Fecha de Salida: 13/03/2021

Resultados e Interpretación de: ANALISIS DE AGUAS PARA RIEGO

Cód. de Muestra	No. de Muestra	pH	mg / l										meq/l						dS/m			
			NO3-	NO2-	P-PO4	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Dureza	S.T.D.	K	Ca	Mg	SO4=	CO3=	HCO3=		Cl	Na	R.A.S.
8753	STA.MARTHA-PORTON	6.5	3.00	0.025	0.66	0.00	0.00	0.21	0.02	0.46	57.3	244.3	0.21	1.01	0.14	4.06	0.20	1.70	0.50	0.79	1.04	0.46
8754	LA POZA-CORRALITO	6.8	2.80	0.081	0.57	0.00	0.01	0.00	0.01	0.51	95.3	249.6	0.18	1.76	0.15	2.49	0.40	2.70	0.50	0.52	0.53	0.47
8755	PCA-LA CHANA	7.1	1.70	0.227	0.23	0.00	0.00	0.00	0.10	0.39	146.0	498.3	0.05	2.38	0.55	5.17	0.50	2.20	1.70	2.45	2.02	0.94

Valores considerados normales en un Análisis de Agua de Riego				Tipo de Agua	DUREZA Como Carbonato de Calcio	PELIGROSIDAD SALINA	CONDUCTIV. ELECT dS/m
pH	6 a 8.5	K	0 - 0.2 meq/l	Blanda	< 17.1	C1 Baja	Hasta 0.25
NO3-	0 - 31 mg/l	Ca	0 - 10 meq/l	Ligeramente Dura	17.1 - 51.3	C2 Moderada	0.25 - 0.75
NO2-	0 - 5 mg/l	Mg	0 - 5 meq/l	Moderadamente Dura	51.4 - 119.7	C3 Mediana a Alta	0.75 - 2.25
P	0 - 2 mg/l	Na	0 - 3 meq/l	Dura	119.8 - 179.5	C4 Alta	2.25 - 4.0
Zn	0 - 5 mg/l	Cl	0 - 15 meq/l	Muy Dura	> 179.5	C5 Muy Alta	4.0 - 6.0
Cu	0 - 0.2 mg/l	SO4=	0 - 20 meq/l			C6 Excesiva	> 6.0
Mn	0 - 2 mg/l	RAS	0 - 6 meq/l				
Fe	0 - 5 mg/l	CO3=	0 - 0.1 meq/l				
B	0 - 2.5 mg/l	HCO3-	0 - 6 meq/l				

Estos resultados pueden ser sujetos de comparación, siempre y cuando se utilice la misma metodología utilizada en este Laboratorio.

Esta Hoja de Resultados es válida sólo con firma y sello en original.

BIOQ. MARTHA MOREIRA L.
Jefe de Laboratorio



ING. NARCISA PINTADO
Secretaria

Anexo 4: Resultados de las muestras de agua del pozo del laboratorio de Nemalab