



Universidad Estatal Península de Santa Elena
Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera de Ingeniería Agropecuaria

**“COMPORTAMIENTO ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA
SALINIDAD DE SUELOS Y AGUAS DEL CENTRO DE APOYO
MANGLARALTO UPSE”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: José Luis Lino Suárez

La Libertad, 2019



Universidad Estatal Península de Santa Elena
Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera de Ingeniería Agropecuaria

**“COMPORTAMIENTO ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA
SALINIDAD DE SUELOS Y AGUAS DEL CENTRO DE APOYO
MANGLARALTO UPSE”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

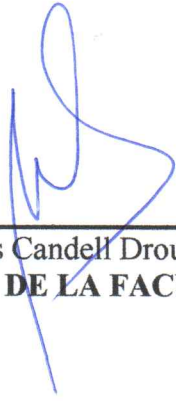
INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: José Luis Lino Suárez

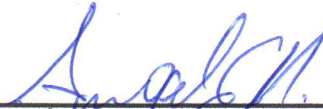
Tutor: Ing. Carlos Balmaseda Espinosa, PhD.

La Libertad, 2019

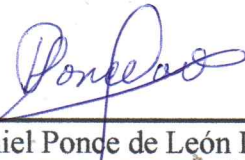
TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Andrés Candell Drouet, MSc.
DECANO DE LA FACULTAD



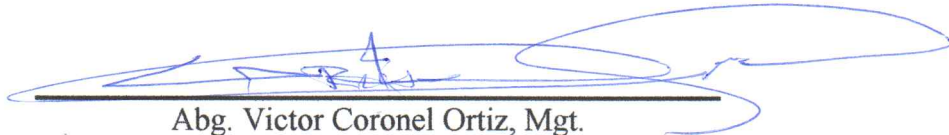
Ing. Ángel León Mejía, MSc.
**DOCENTE DELEGADO DEL
DIRECTOR (E) DE LA
CARRERA INGENIERIA
AGROPECUARIA**



Ing. Daniel Ponce de León Lima, PhD.
PROFESOR DEL ÁREA



Ing. Carlos Balmaseda Espinosa, PhD.
PROFESOR TUTOR



Abg. Victor Coronel Ortiz, Mgt.
SECRETARIO GENERAL

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por permitirme seguir adelante en cada etapa de mi vida, ya que sin el cada logro obtenido no sería posible.

A mis padres Jones y Nocilia, mis hermanos Cristian y Jaime, a mi prima Marjorie y abuelitos Guzmán y Livia, por el apoyo incondicional que me han brindado, sus consejos y valores que me convirtieron en la persona que soy, ya que sin ellos no hubiese sido posible cumplir cada etapa de formación.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, la Facultad de Ciencias Agrarias, por darme la oportunidad de formarme como profesional dentro de sus aulas, a los docentes y autoridades, por toda la ayuda y conocimientos brindados en el transcurso de mi etapa como estudiante.

Al Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM), por haber contribuido con los datos meteorológicos para el desarrollo de este trabajo de titulación.

A mi tutor, el Ing. Carlos Balmaseda Espinosa PhD. por proporcionarme los conocimientos, asesoría, sobre por todo la motivación y paciencia durante el desarrollo de este trabajo de titulación.

Finalmente agradezco a mis compañeros y amigos, por el apoyo y motivación recibido durante toda mi formación profesional.

José Luis Lino Suárez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre Nocilia, por siempre demostrarme su cariño y apoyo incondicional, a mi padre Jones que, a pesar de ya no encontrarse con nosotros, sé que este momento hubiera sido tan especial como lo es para mí.

A mis abuelos, hermanos, sobrinos y demás familiares por su apoyo constante, sirviendo de gran motivación para seguir adelante.

José Luis Lino Suárez

RESUMEN

El estudio se realizó en las zonas con aptitud agrícola del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE con una superficie aproximada de 11.6 hectáreas, localizado en la parroquia Manglaralto del cantón Santa Elena, el cual posee una precipitación anual de 385.2 mm y una temperatura media de 23.4 °C. Se evaluó el comportamiento espacial y temporal de la salinidad de suelos y aguas por medio de mediciones de Conductividad Eléctrica (CE) y pH en 40 puntos de muestreo a profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 50 cm. El muestreo fue realizado en los meses de diciembre del 2018 y mayo del 2019. Los análisis de 20 muestras fueron realizados por medio de dos técnicas, mediante el extracto de pasta de saturación y con una solución de suelo-agua 1:5, con el fin de encontrar el modelo de mejor ajuste, en este caso una ecuación de regresión lineal, que permitió estimar los valores CE en pasta saturada a partir de las mediciones en laboratorio de la CE en una solución agua:suelo 1:5. Con los resultados obtenidos se realizó la interpolación de los distintos mapas temáticos por medio del método Moving Average (promedios móviles), en donde en suelos a profundidades de 0 a 20 se encontraron tenores máximos de 2.32 y 0.91 dS/m en los meses de diciembre y mayo respectivamente. A las profundidades de 20 a 50 cm esos valores fueron mayores. Se asume que el agua de riego con una CE promedio en octubre de 4.1 dS/m es una de las principales fuentes de acumulación de sales en los suelos, al mismo tiempo es la que produce la lixiviación de las sales en las épocas de regadío. Para los valores resultantes de pH, en su mayoría son suelos neutros en ambos muestreos y en menores proporciones se encuentran suelos de pH ligeramente alcalinos.

Palabras clave: Suelos, Agua, Conductividad eléctrica, pH, Interpolación

ABSTRACT

The study was carried out in the agricultural areas of the Centro de Apoyo Manglaralto UPSE with an approximate surface of 11.6 hectares, located in the Manglaralto parish of Santa Elena canton, which has an annual rainfall of 385.2 mm and an average temperature of 23.4 °C. The spatial and temporal behavior of soil and water salinity was evaluated through measurements of Electrical Conductivity (EC) and pH at 40 sampling points at depths of 0 to 20 cm and 20 to 50 cm. The sampling was carried out in the months of december 2018 and may 2019. The analysis of 20 samples was carried out by means of two techniques, using saturation paste extract and a 1:5 soil-water solution, in order to find the best fitting model, in this case a linear regression equation, which allowed estimating the EC values in saturated paste from EC laboratory measurements in a 1:5 soil:water solution. With the results obtained, the interpolation of the different thematic maps was carried out by means of the Moving Average method, where in soils at depths of 0 to 20 maximum tenors of 2.32 and 0.91 dS/m were found in the months of December and May respectively. At depths of 20 to 50 cm these values were higher. It is assumed that irrigation water with an average EC in october of 4.1 dS/m is one of the main sources of salt accumulation in soils, at the same time it is the one that produces the leaching of salts in irrigation seasons. For the resulting pH values, most are neutral soils in both samples and in smaller proportions are slightly alkaline pH soils.

Keywords: Soil, Water, Electrical Conductivity, pH, Interpolation

El contenido del presente trabajo de titulación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	3
Objetivos específicos	3
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1. <i>Salinidad de los suelos</i>	4
1.1.1. Factores que influyen en la salinidad	4
1.1.2. Causas de salinidad.....	5
1.2. <i>Efecto de las sales en suelos y vegetación</i>	5
1.2.1. Relaciones hídricas	6
1.2.2. Balance de energía	7
1.2.3. Nutrición.....	7
1.3. <i>Efecto de la salinidad en los cultivos</i>	8
1.4. <i>Absorción de agua</i>	9
1.5. <i>Indicadores de salinidad en suelos y agua</i>	9
1.5.1. Medición y clasificación de la salinidad en suelos	10
1.5.2. Medición y clasificación de la salinidad en aguas	11
1.6. <i>Estudios de dinámica espacio temporal de la salinidad de los suelos y aguas</i>	12
1.6.1. <i>Métodos de interpolación</i>	13
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	15
2.1. <i>Ubicación y descripción del sitio</i>	15
2.2. <i>Características de los suelos</i>	16
2.3. <i>Características de las aguas</i>	17
2.4. <i>Manejo del estudio</i>	18
2.4.1. Determinación de puntos de muestreo de suelos	18
2.4.2. Toma de muestras de suelos	19
2.4.3. Identificación de puntos de muestreo	19
2.4.4. Toma de muestras de aguas	19
2.5. <i>Análisis de laboratorio</i>	20
2.5.1. Análisis de suelos	20
2.5.2. Análisis de aguas.....	21

2.5.3.	Conductividad eléctrica y pH en agua.....	21
2.6.	<i>Elaboración de mapas temáticos</i>	21
2.6.1.	Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica	21
2.6.2.	Interpolación.....	23
2.6.3.	Elaboración de mapas temáticos	23
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		25
3.1.	<i>Calibración mediante análisis de regresión para muestras de suelo</i>	25
3.1.1.	Análisis de regresión del muestreo a una profundidad de 0-20 cm	25
3.1.2.	Análisis de regresión del muestreo a una profundidad de 20-50 cm	26
3.2.	<i>Análisis de CE del suelo</i>	27
3.2.1.	CE de muestreo realizado a una profundidad de 0-20 cm	27
3.2.2.	CE de muestreo realizado a una profundidad de 20-50 cm	31
3.3.	<i>Análisis de pH del suelo</i>	35
3.3.1.	pH de muestreo a una profundidad de 0-20 cm.....	35
3.3.2.	pH de muestreo a una profundidad de 20-50 cm	39
3.4.	<i>Análisis de calidad de agua</i>	42
3.4.1.	Conductividad eléctrica	42
3.4.2.	pH.....	43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		44
	<i>Conclusiones</i>	44
	<i>Recomendaciones</i>	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Intervalos de conductividad eléctrica.....	6
Tabla 1. 2. Tolerancia de los cultivos en relación con la disminución de su rendimiento.....	8
Tabla 1. 3. Clases de agua según RIVERSIDE.	12
Tabla 2. 1. Condiciones climáticas de la zona.	16
Tabla 2. 2. Características químicas del suelo en el Centro de Apoyo Manglaralto.	16
Tabla 2. 3. Características químicas del agua de riego en el Centro de Apoyo Manglaralto	17
Tabla 2. 4. Capas informativas del SIG desarrollado en el Centro de Apoyo Manglaralto. ...	22
Tabla 2. 5. Tabla de atributos.	23
Tabla 3. 1. Resultados utilizados para la obtención de la ecuación de regresión para suelos de 0-20 cm.....	25
Tabla 3. 2. Resultados utilizados para la obtención de la ecuación de regresión para suelos de 20-50 cm.....	26
Tabla 3. 3. Precipitaciones registradas en el periodo de estudio.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Causas de salinización de los suelos.	5
Figura 1. 2. Clasificación de suelos según su salinidad y sodicidad.	10
Figura 1. 3. Diagrama para la clasificación de aguas para riego (RIVERSIDE).....	11
Figura 1. 4. Mapa temático de tres diferentes métodos de interpolación: (a) Moving Average, (b) Trend Surface, (c) Kriging.	14
Figura 2. 1. Ubicación del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.	15
Figura 2. 2. Mapa de uso de suelos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.	18
Figura 2. 3. Distribución de puntos de muestreo para los análisis de salinidad.	19
Figura 3. 1. Gráfica de dispersión para suelos de 0-20 cm.	25
Figura 3. 2. Gráfica de dispersión para suelos de 20-50 cm.	26
Figura 3. 3. Comparación de las clases de CE en suelos de 0-20 cm.....	27
Figura 3. 4. Mapa temático de CE de los suelos de diciembre del 2018 a una profundidad de 0-20 cm.	29
Figura 3. 5. Mapa temático de CE de los suelos de mayo del 2019 a una profundidad de 0-20 cm.	30
Figura 3. 6. Comparación de las clases de CE en suelos de 20-50 cm.....	31
Figura 3. 7. Mapa temático de CE de los suelos de diciembre del 2018 a una profundidad de 20-50 cm.	33
Figura 3. 8. Mapa temático de CE de los suelos de mayo del 2019 a una profundidad de 20-50 cm.	34
Figura 3. 9. Comparación de las clases de pH en suelos de 0-20 cm.....	35
Figura 3. 10. Mapa temático de pH de los suelos de diciembre del 2018 a una profundidad de 0-20 cm.	37
Figura 3. 11. Mapa temático de pH de los suelos de mayo del 2019 a una profundidad de 0-20 cm.	38
Figura 3. 12. Comparación de las clases de pH en suelos de 20-50 cm.....	39
Figura 3. 13. Mapa temático de pH de los suelos de diciembre del 2018 a una profundidad de 20-50 cm.	40
Figura 3. 14. Mapa temático de pH de los suelos de mayo del 2019 a una profundidad de 20-50 cm.	41

ÍNDICE DE ANEXOS

- Formato 1A.** Etiquetas para los muestreos de diciembre del 2018 y mayo del 2019.
- Tabla 1A.** Análisis de regresión para suelos a una profundidad de 0-20 cm.
- Tabla 2A.** Análisis de regresión para suelos a una profundidad de 20-50.
- Figura 1A.** Análisis de CE mediante el método de extracto de pasta saturada.
- Figura 2A.** Toma de muestras en los meses de diciembre del 2018 y mayo del 2019 respectivamente.
- Figura 3A.** Muestras recolectadas.
- Figura 4A.** Secado al ambiente de las muestras, previo al análisis de laboratorio.
- Figura 5A.** Preparación de muestras que fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Agraria para análisis mediante extracto de pasta de saturación.
- Figura 6A.** Triturado y pesaje de las muestras para su análisis mediante solución 1:5.
- Figura 7A.** Preparación de la solución 1:5 (una parte de suelo y 5 de agua).
- Figura 8A.** Filtrado de la solución para su posterior medición.
- Figura 9A.** Medición de CE en solución de 1:5.
- Figura 10A.** Medición de pH.
- Figura 11A.** Toma de muestra de las aguas del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.
- Figura 12A.** Medición de CE y pH de las aguas del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.

INTRODUCCIÓN

La salinidad en los suelos es uno de los principales problemas que afecta directamente a la producción de alimentos a escala mundial. Registros históricos indican que hubo grandes migraciones causadas por este problema en áreas cultivables. Se estima que alrededor de 10% a nivel mundial y entre un 25 - 50% de zonas de regadío estaban salinizadas en la década de los 90 provocada por la intervención antrópica. En la actualidad es un problema que se agudiza cada día por falta de conciencia ambiental, explotación irracional de recursos hídricos y otros factores edafoclimáticos que influyen en la salinidad de los suelos según Lamz y González (2013).

Mercado *et al.* (2011) señalan que el inadecuado manejo de láminas de riego, altas precipitaciones y los tipos de suelos son factores que provocan diferentes problemas de drenaje y salinización en áreas agrícolas, entre estos la degradación y la disminución del potencial productivo de los suelos.

Para Combatt *et al.* (2015) en la actividad agropecuaria se pueden presentar problemas de salinidad generados por un nivel freático poco profundo, es decir, que se encuentre a menos de dos metros de la superficie del suelo, ocasionados por las sales que se acumulan en el agua freática, que con frecuencia se convierten en una fuente importante de sales, que por efecto de la capilaridad se mueven hacia arriba, depositándose finalmente en la zona de crecimiento radicular de los cultivos.

Para estudios de salinidad de los suelos tradicionalmente son evaluados a partir de la conductividad eléctrica (CE) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), ambos se obtienen mediante la aplicación del método de extracción a partir de una pasta de saturación resultando en la clasificación de los suelos como suelos no salinos, suelos salinos, suelos sódicos y suelos salino-sódicos (Padilla, 2017).

Según Porta *et al.* (1999) y Silva (2000) citados por Combatt *et al.* (2015) para el estudio de las aguas existen varias formas de clasificación, la mayoría basadas en la relación de adsorción de sodio (RAS) y la conductividad eléctrica (CE), siendo el método más empleado el estudio de la CE para representar la concentración de las sales solubles en agua, esto se manifiesta por el inverso de la resistividad eléctrica

que es la capacidad que tiene el agua para conducir electricidad, la cual crece de manera proporcional a medida que aumenta la concentración de sales.

La provincia de Santa Elena se caracteriza por ser una zona semiárida, debido a sus características edafoclimáticas presenta problemas de salinización en los suelos. La salinidad es provocada por los bajos niveles de precipitación, que según García *et al.* (2017) entre los años 1982-2011 la precipitación media fue de 260.4 mm/año, distribuida en una estación lluviosa en los meses de diciembre a mayo, y una estación seca de junio a noviembre. Este fenómeno se repite periódicamente cada año, trayendo como consecuencias niveles de producción muy inferiores en comparación con otras zonas, siendo uno de los mayores problemas en áreas bajo riego debido a la presencia de suelos afectados por la salinidad, lo cual conlleva a una constante disminución de la producción agropecuaria (Proaño y Briones, 2015).

Según el MAG (2017) la superficie total cultivada en la provincia de Santa Elena es de 15351 ha aproximadamente, en las cuales existen dos problemas que enfrenta el ecosistema, uno de ellos es el aumento de la salinidad en el suelo provocada por el uso de sistemas inadecuados de irrigación con aguas de baja calidad, y la deficiente disponibilidad de agua de riego, debido a las escasas precipitaciones en relación al consumo de los cultivos. Ante esta situación, para suplir las necesidades hídricas de las plantas las aguas son extraídas, en algunas zonas, de pozos que están cerca de los cultivos, pudiéndose considerar que contienen un porcentaje de agua reciclada (Hidalgo, 2015).

Investigaciones realizadas por Villón (2017) demuestran que la salinidad de las aguas del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE, han ido empeorando en los últimos años, prueba de ello es que hasta el año 2010 su clasificación era de C3S1, notándose el incremento de la conductividad eléctrica a niveles críticos, produciendo antagonismos en la absorción de nutrientes en las plantas en el año 2016 en el que se clasificaron como C5S1.

El Centro de Apoyo Manglaralto UPSE es un área que sirve para investigación y producción agropecuaria, cuenta con cultivos de ciclo corto y cultivos perennes, además de pastos para la alimentación de ganado bovino, caprino y porcino, por lo

que se considera de gran importancia un estudio de salinidad en los suelos y aguas usados, y así optimizar la producción generada en dicha zona.

Con los antecedentes mencionados se formula el siguiente **Problema científico**:

¿Cuál es el comportamiento espacial y temporal de la salinidad de los suelos y calidad del agua de riego en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE?

Para dar respuesta a este problema se propone la siguiente **Hipótesis**:

El comportamiento espacial y temporal de la salinidad de los suelos y aguas del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE presenta una dinámica relacionada a los periodos climáticos húmedo y seco.

El estudio se ejecutó a partir de los siguientes **Objetivos**:

Objetivo General

Evaluar el comportamiento espacial y temporal de la salinidad en los suelos y las aguas del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.

Objetivos específicos

1. Determinar el comportamiento espacial y temporal de la salinidad de los suelos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.
2. Valorar el comportamiento temporal de la calidad de las aguas del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. *Salinidad de los suelos*

Según Martínez *et al.* (2015) la salinidad de los suelos y las aguas puede tener origen natural o antrópico, siendo considerado un problema que se presenta con mayor frecuencia en las zonas áridas y semiáridas del mundo, esto debido a las bajas precipitaciones, inadecuado manejo de las aguas de riego y los fertilizantes, presentándose en todos los suelos con mayor o menor grado de acumulación, afectando directamente en la fertilidad de los mismos.

Para Porta *et al.* (2008) los suelos salinos son aquellos que contienen cantidades importantes de sales más solubles que el yeso, lo que provoca una disminución de productividad de la mayoría de los cultivos y plantas sensibles. La concentración se mide por medio de la conductividad eléctrica (CE) en un extracto de pasta saturada, teniendo como umbral una $CE \geq 4$ dS/m a 25°C.

1.1.1. Factores que influyen en la salinidad

Gallart (2017) manifiesta que entre los factores que influyen en la salinidad se encuentran las siguientes circunstancias:

- a) **Calidad de agua de riego:** el uso de agua cargada de sales y de agua recirculada provocan la salinización de los suelos, ya que tras el proceso de evapotranspiración las sales se acumulan en los perfiles superficiales del suelo.
- b) **Aridez climática:** en climas áridos la salinidad suele ser mayor, esto se debe a que las precipitaciones son menores a la evapotranspiración del suelo, provocando un déficit de humedad en el suelo, que al secarse pasarán a los perfiles superficiales del suelo. Además, las escasas precipitaciones no favorecen al lavado de los suelos, promoviendo la acumulación de las sales.
- c) **Nivel freático:** afectan de manera doble a la salinidad de los suelos, ya que además de impedir el lavado y la eliminación del exceso de las sales aplicadas a los cultivos, también facilitan el ascenso capilar de las sales disueltas que se encuentran en el nivel freático.

- d) **Factores topográficos de forma:** en las depresiones topográficas el nivel freático puede encontrarse más elevado y presentar una mayor concentración de sales que zonas más elevadas, esto debido a la disolución, lixiviación y transporte de materiales de zonas más elevadas.

1.1.2. Causas de salinidad

Moreno (2013) indica que el origen de las sales en aguas y suelos son prácticamente los mismos y están ampliamente relacionados. La salinidad del agua se da debido a la disolución de los minerales constituyentes de las rocas, los suelos en un origen primario son afectados por la salinidad desde la meteorización de las rocas. Puede estar producida por: origen primario resultado de procesos de meteorización, sales fósiles, aporte directo de aguas salobres del mar, influencia de la capa freática y la influencia antrópica (Figura 1.1).

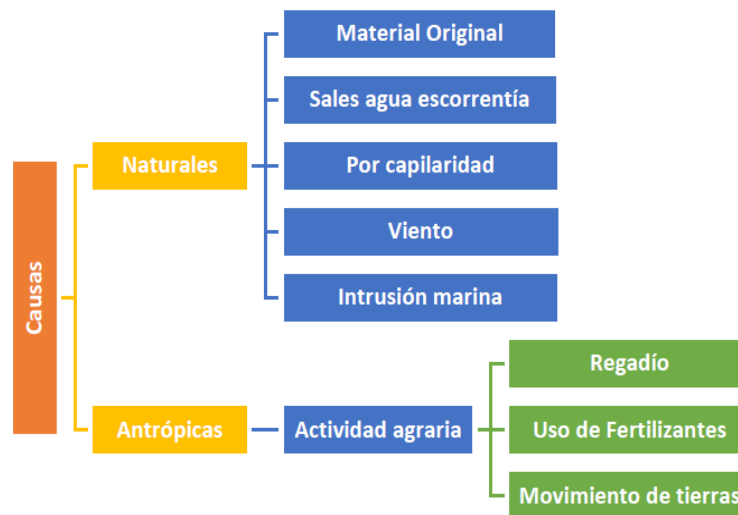


Figura 1. 1. Causas de salinización de los suelos.

1.2. Efecto de las sales en suelos y vegetación

El efecto de la salinidad sobre las plantas es diverso y variable. Existe una clasificación que agrupa a las plantas en halófitas y no halófitas, las primeras son aquellas que poseen mecanismos de resistencia a la salinidad, aunque el grado de tolerancia que tienen es muy variable. La mayor parte de plantas cultivadas son consideradas como no halófitas (Padilla, 2017).

Según Martínez *et al.* (2010) la fuente original de sales proviene de los minerales primarios que conforman las rocas, mientras que las sales solubles provienen en su mayoría, de las sales que se encuentran disueltas en el agua de riego. Si las precipitaciones son muy bajas, es decir, menores a 380 mm anuales, las sales solubles se quedan en el suelo y, al evaporarse el agua, las sales ascienden por capilaridad hacia la superficie del suelo, formándose los suelos salinos.

Zambrano (2012) indica los efectos de salinidad de los suelos, de acuerdo a los diversos intervalos de conductividad eléctrica (CE) determinados mediante un extracto de saturación, los cuales se detallan en la Tabla 1.1.

Tabla 1. 1. Intervalos de conductividad eléctrica.

Tipo de suelo	Salinidad	CE (dS/m)	Efectos
Normales	Muy ligera	0-2	Casi nulos.
	Ligera	2-4	Pueden afectar a los cultivos sensibles.
Salinos	Media	4-8	La mayoría de los cultivos son afectados
	Fuerte	8-16	Sólo pueden prosperar los cultivos tolerantes.
	Muy fuerte	>16	Sólo se desarrollan cultivos muy tolerantes.

Fuente: Zambrano (2012)

Los efectos de la salinidad se pueden agrupar en tres aspectos diferentes: relaciones hídricas, balance de energía y nutrición.

1.2.1. Relaciones hídricas

Morales *et al.* (2012) indican que el estrés salino altera las relaciones hídricas de la planta a través de los estrés osmótico e hídrico. En respuesta al estrés, las plantas pueden desarrollar el mecanismo de ajuste osmótico, el que aun en condiciones de déficit hídrico mantiene una adecuada turgencia que les permite el crecimiento, el transporte, la acumulación y la compartimentación de los iones orgánicos e inorgánicos fundamentalmente en las plantas superiores. Como efecto de esto puede provocar la sequedad fisiológica, en la que cultivos que se encuentran en suelos salinos, aunque exista una humedad elevada, las plantas sufren estrés hídrico, estas se secan y acaban muriendo.

1.2.2. Balance de energía

Padilla (2017) señala que esta teoría no describe completamente todos los efectos perjudiciales de la salinidad, ya que las plantas en ocasiones no sufren estrés hídrico, pero son afectadas considerablemente en su altura. Esto se debe al ajuste osmótico, en donde las plantas, al aumentar la presión osmótica de la solución del suelo, se ven obligadas a una adaptación osmótica de sus células para poder seguir absorbiendo agua, esta adaptación requiere un consumo de energía que provoca un menor crecimiento. La disminución del crecimiento de las plantas se atribuye a que las sales afectan a la división celular, producen un engrosamiento prematuro de las paredes celulares y limitan el crecimiento de forma irreversible.

1.2.3. Nutrición

En el aspecto nutricional, se produce una serie de importantes modificaciones, debido, a las variaciones de pH que afectan a la disponibilidad de los nutrientes, y por otro, a las interacciones ocasionadas por la presencia en exceso de determinados elementos. Esto sucede con los cloruros y nitratos y fosfatos, el calcio y el sodio o los del potasio y sodio. La dominancia de calcio provoca antagonismos, entre otros, sobre el potasio, magnesio, hierro, boro y zinc. Sin embargo, existen relaciones de sinergismo entre potasio y el hierro y entre el magnesio y fósforo. Igualmente, la presencia en exceso de ciertos iones puede provocar toxicidad, debido a su acumulación en distintas partes de las plantas, como pueden ser las semillas, los tallos y las hojas. Los más significativos, en este aspecto, son los cloruros, el sodio y el boro (Padilla, 2017).

Martínez *et al.* (2011) manifiestan que los suelos se vuelven improductivos debido a la alta concentración de sales, esto se hace evidente cuando la concentración supera el límite óptimo, comenzando a producirse los efectos salinos aumentando la presión osmótica del suelo en relación a las células existentes en las raíces, afectando la entrada de iones nutritivos en los pelos radiculares. El sodio (elemento altamente higroscópico), atrapa las moléculas del agua del suelo provocando la reducción de la absorción y traslocación de nutrientes como el K y el Ca, elementos indispensables para mantener la integridad de la membrana celular de la raíz.

En la Tabla 1.2. se muestran el grado de tolerancia de los cultivos en función de la conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación de acuerdo a lo señalado por la FAO.

Tabla 1. 2. Tolerancia de los cultivos en relación con la disminución de su rendimiento.

Disminución del rendimiento	0 %	10 %	25 %	50 %	100 %
Cultivos	Conductividad eléctrica del extracto de saturación (dS/m)				
Algodón	7.7	9.4	13.0	17.0	27.0
Maíz	1.7	2.5	3.8	5.9	10.0
Maíz forrajero	1.8	3.2	5.2	8.6	15.0
Haba	1.6	2.6	4.3	6.8	12.0
Frijol	1.0	1.5	2.3	3.6	6.3
Melón	2.2	3.6	5.7	9.1	16.0
Pepino	2.5	3.3	4.4	6.3	10.0
Pimiento	1.5	2.2	3.3	5.1	8.6
Tomate	2.5	3.5	5	7.6	13.0
Limón	1.7	2.3	3.3	4.8	8.0

Fuente: FAO

1.3. Efecto de la salinidad en los cultivos

Para Ramírez y Hernández (2016), la mayoría de los cultivos son susceptibles al estrés salino, siendo afectados principalmente con la reducción de la productividad, producto a una inadecuada nutrición. La intensidad de afectación de las plantas depende de factores como: las características morfológicas de la especie, el cultivar, el estado fenológico en el que se encuentre, los tipos de sales solubles presentes, la duración e intensidad del estrés y las condiciones edafoclimáticas.

Cuando existe una acumulación de sales en la zona radicular de los cultivos, se tiene un problema que afecta en la producción, debido a que no permite que las raíces de los cultivos extraigan suficiente agua, esto influye en la disminución de su crecimiento llegando a presentar síntomas similares a los que provoca la sequía. Estos síntomas varían dependiendo del estado fenológico en el que se encuentren las plantas, si se presentan en la primera etapa de crecimiento las tonalidades que

aparecen son verde azulado, bulbo blanquecino, estas características se pueden tomar como un indicador de concentración de sales según Torres y Acevedo (2008).

Porta *et al.* (2008) indican que el crecimiento de las plantas es afectado desfavorablemente, que varía de unas plantas a otras, para un mismo valor de CE. En plantas no halófitas la salinidad provoca una inhibición irreversible de crecimiento y otros efectos como:

- Retardo en la nacencia, que con un elevado contenido de humedad puede no tener lugar.
- Menor área foliar y talla de la planta teniendo un crecimiento más lento, incluso puede llegar a no ser completo.
- Menor producción de materia seca.
- Necrosis (quemaduras en los bordes de las hojas).
- Hojas con coloración verdosa más oscura que en plantas normales.
- Disminución de rendimientos en los cultivos.
- Muerte de las plantas antes de completar su desarrollo, en el caso de ser condiciones de salinidad extremas.

1.4. Absorción de agua

Según García *et al.* (2010), uno de los mayores efectos del estrés salino es la reducción de la capacidad de absorción del agua, que puede manifestarse como estrés hídrico causando la reducción de expansión foliar y pérdida de turgencia, las células vegetales en condiciones salinas equilibran su potencial hídrico perdiendo agua, produciendo la pérdida del potencial osmótico y la turgencia. La disminución de la conductividad hídrica produce cambios que se presentan bajo condiciones salinas como la reducción del área foliar, parte aérea, en la raíz, entre otros.

1.5. Indicadores de salinidad en suelos y agua

Otero *et al.* (2008) señalan que los indicadores utilizados para la caracterización y diagnóstico de la afectación provocada por la salinidad en los suelos son la conductividad eléctrica (CE), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y pH.

Los mismos autores indican que existen otros índices o indicadores auxiliares provenientes de los análisis físicos y químicos, como la relación de adsorción de sodio (RAS), relación de sodio intercambiable (RSI), densidad, curvas de retención de humedad, entre otros.

1.5.1. Medición y clasificación de la salinidad en suelos

Según Díaz (2015), la salinidad de los suelos suele comúnmente variar con el tiempo y puede ser uniforme en el espacio. La distribución de las sales depende de la magnitud de la lixiviación y drenaje de los suelos, siendo generalmente uniforme en el suelo y se presentan cambios en la profundidad, o puede ser irregular y tener concentraciones de sal similares a las del agua usada en los riegos.

Moreno (2013) indica que la obtención de la conductividad eléctrica se realiza mediante el método de extracto de saturación, siendo la manera más fiable y precisa para la determinación de la salinidad del suelo. La USDA propone el valor umbral que define los suelos salinos de los no salinos es de 4 dS/m, y los clasifica en cuatro clases (Figura 1.2):

- Suelos normales: aquellos que no están afectados por sales o acumulación de sodio.
- Suelos salinos: son los que contienen suficientes sales solubles para influir en la productividad de los cultivos.
- Suelos sódicos: suelos que se ven afectados por el contenido de sodio intercambiable en el complejo de cambio.
- Suelos salino sódicos: son los peores suelos, ya que presentan características de contener un exceso de sales solubles y sodio intercambiable.

Conductividad del extracto de saturación (dS/m)					
		Valor 0	4	Valor	
Porcentaje de sodio Intercambiable (%)	0	Suelos normales	Suelos salinos	0	
	15	Suelos sódicos	Suelos salino-sódicos	13	
				Relación de adsorción de sodio	

Figura 1. 2. Clasificación de suelos según su salinidad y sodicidad.

1.5.2. Medición y clasificación de la salinidad en aguas

De acuerdo a Combatt *et al.* (2015) para medir la salinidad de las aguas existen diversos métodos relacionados al uso de indicadores como la relación de adsorción de sodio (RAS) y la conductividad eléctrica (CE). La CE es el método mayormente empleado para expresar la concentración de sales solubles en agua.

Para Moreno (2013) la salinidad en aguas se mide mediante la conductividad eléctrica del agua (CE_w) a una temperatura de 25°C y se obtiene mediante el uso de un conductímetro. La clasificación se basa en la combinación de la CE con otros parámetros como el RAS, PSI, entre otros, o únicamente en la medida de CE.

Existe un diagrama para la clasificación de aguas para riego (RIVERSIDE) en donde se relaciona una serie de clases de agua para riego en función del peligro de salinización y sodificación que puedan provocar (Figura 1.3). Además de las limitaciones y recomendaciones de uso que tienen las distintas clases de agua (Tabla 1.5).

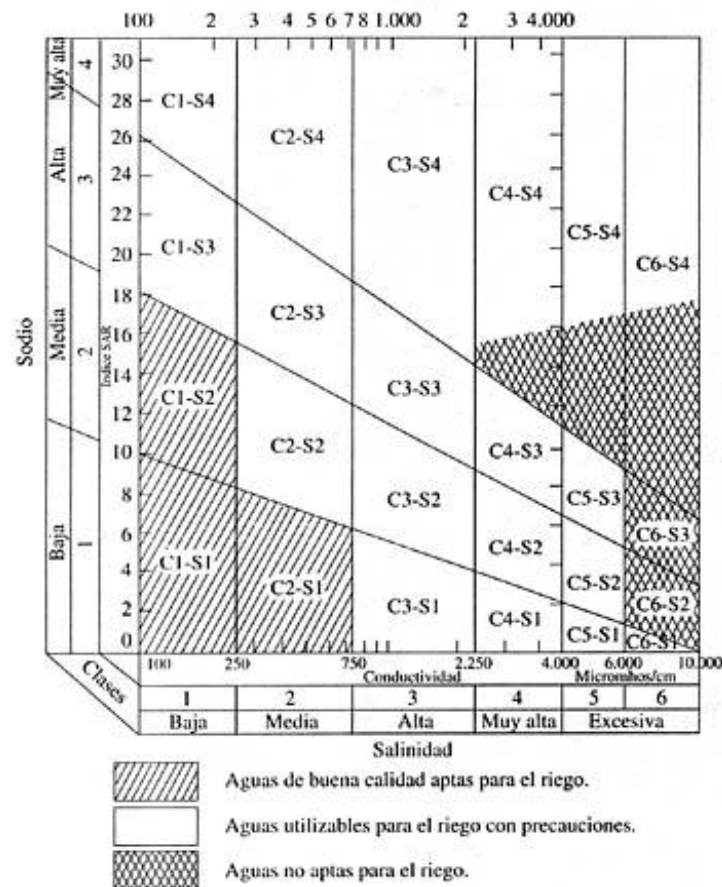


Figura 1. 3. Diagrama para la clasificación de aguas para riego (RIVERSIDE).

Tabla 1. 3. Clases de agua según RIVERSIDE.

Tipo	Calidad
C1 0 – 0.25 dS/m	Agua de baja salinidad: Puede usarse en la mayoría de cultivos. No produce salinidad excepto en suelos de muy baja permeabilidad.
C2 0.25 – 0.75 dS/m	Agua de salinidad moderada: Son de buena calidad para riego en cultivos que toleren moderadamente la salinidad. Puede usarse cuando haya un grado elevado de lavado.
C3 0.75 – 2.25 dS/m	Agua de salinidad media-alta: No debe de usarse en suelos con drenaje deficiente. El cultivo seleccionado debe ser tolerante a la salinidad.
C4 2.25 – 4 dS/m	Agua de salinidad alta: No apropiada para riego en condiciones normales, solo se debe usar en suelos permeables, con un drenaje adecuado, debiendo aplicar en exceso para lograr un buen lavado.
C5 4 – 6 dS/m	Agua de salinidad muy alta: Generalmente no apropiadas para riego, pudiéndose usar en suelos de muy alta permeabilidad, con frecuentes riegos y en cultivos de alta tolerancia a sales.
C6 > 6 dS/m	Agua de salinidad excesiva: No aptas para el riego
S1	Agua baja en sodio: Puede usarse para riego de la mayoría de los cultivos, con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.
S2	Agua media en sodio: En suelos con textura fina, el sodio representa un problema considerable, ya que altera las condiciones físicas del suelo. Solo se puede usar en suelos de textura gruesa o en suelos con buena permeabilidad.
S3	Agua alta en sodio: Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayoría de suelos, por lo que necesitarían prácticas especiales de manejo.
S4	Agua muy alta en sodio: Inadecuada para riego, excepto cuando la salinidad sea baja (C1) o media (C2) y cuando se apliquen mejoradores de suelo.

Fuente: Moreno (2013)

1.6. Estudios de dinámica espacio temporal de la salinidad de los suelos y aguas

Para Rodríguez et al. (2012) los estudios de dinámica de salinidad son importantes, ya que la salinidad es sin duda uno de los principales problemas que afecta al recurso suelo, fenómeno que ocurre en todo el mundo y ha ido en incremento a través del

tiempo, siendo las zonas bajo riego objeto del proceso de salinización, traduciéndose este proceso como una limitante de la producción agrícola, llegando a causar la disminución de crecimiento y reducción de rendimiento en cultivos no tolerantes.

Mercado *et al.* (2011) realizaron un estudio de la dinámica de sales en el distrito de riego La Doctrina con un área de 4160 ha., localizado en Colombia; en donde se muestrearon 27 pozos de observación con su respectiva nivelación topográfica, además tres muestreos de suelos alrededor de los pozos. Los análisis realizados para aguas se determinó indicadores como conductividad eléctrica, pH, cationes, aniones y concentración total de sales. Mientras que para los suelos se determinó mediante el extracto de saturación del suelo la conductividad eléctrica, pH, cationes y aniones en solución de suelo en intercambiables y azufre.

Con los resultados obtenidos se prepararon mapas temáticos de la salinidad de los suelos y aguas freáticas, con la finalidad de analizar su variación espacial y temporal.

Méndez y Zapata (2010) determinaron la variabilidad espacial de la salinidad en suelos del sistema de riego Taiguaguay, ubicado en Venezuela; se recolectaron 254 muestras de suelo del estrato superficial (0-20 cm). Se determinó mediante el extracto de saturación de suelos la conductividad eléctrica. Además, se realizaron mapas temáticos de la zona y evaluaron la variación espacial de los suelos.

1.6.1. Métodos de interpolación

Para Coaguila *et al.* (2013) en la actualidad se utilizan diversos métodos para analizar y predecir valores de una variable distribuida en espacio o tiempo, los cuales no se consideran independientes, ya que están correlacionados unos con otros. Cada método de interpolación ofrece distintos desempeños, dependiendo de las características que se disponga, se debe determinar el método más apropiado que mejor se ajuste a cada situación espacial y/o temporal. Para lo cual propone tres distintos métodos de interpolación a partir de puntos: Moving Average, Trend Surface y Kriging (Figura 1.4).

Moving Average (Medias móviles), es un método directo a partir de puntos, puede ser exacto o no dependiendo del factor de ponderación, puede ser aplicado para numerosos conjuntos de datos, extrayendo tendencias intermedias de un número

definido de puntos, siendo igual a la media aritmética de los puntos vecinos (Domínguez, 2015).

Trend Surface (Superficie de tendencia), es un método analítico e inexacto a partir de puntos, usado para separar y describir ciertos componentes de variación presentes en los datos disponibles, haciendo que la interpretación sea más fácil, puesto a que cada observación generada se considera como resultado de la adición de un componente o tendencia (Coaguila *et al.*, 2013)

Kriging, es un método geoestadístico capaz de cuantificar la estructura de los datos y su autocorrelación, mediante el uso de variogramas usados para realizar las predicciones correspondientes. Además, es considerado de mucha utilidad en la agricultura de precisión, ya que demuestra ser eficiente en la discriminación de áreas con diferentes características de importancia agronómica (Henríquez *et al.*, 2013).

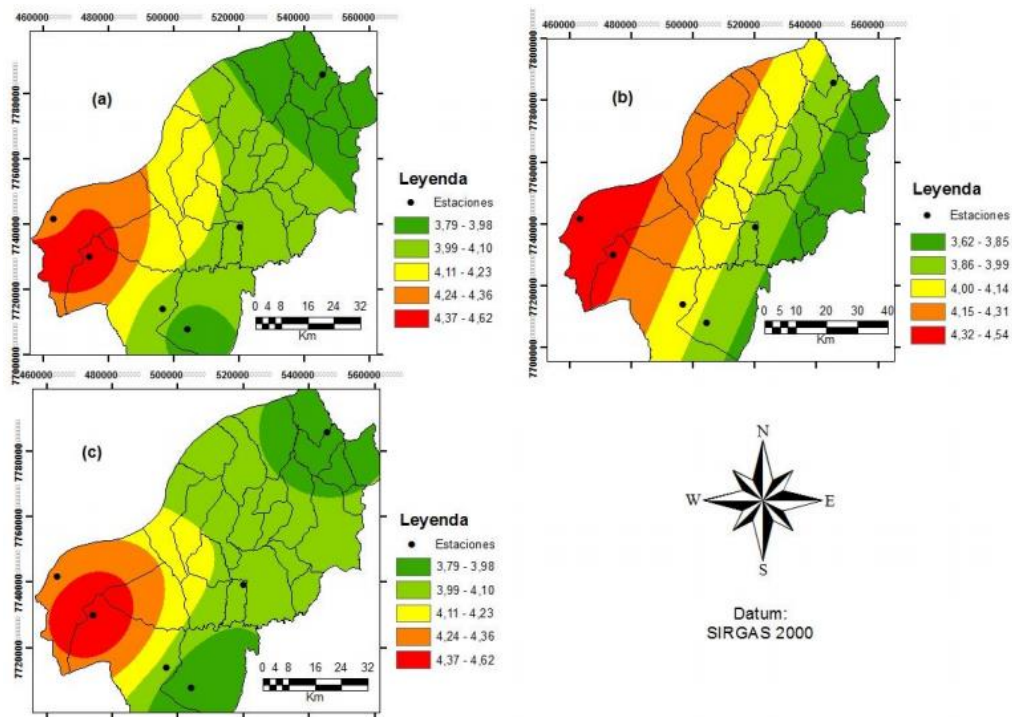


Figura 1. 4. Mapa temático de tres diferentes métodos de interpolación: (a) Moving Average, (b) Trend Surface, (c) Kriging.

Para la selección del método de interpolación que mejor se ajuste a los datos se debe considerar distintos criterios, en el caso del Kriging se realizan variogramas que indican si existe o no una distribución normal, ya que depende en gran medida de la estructura espacial de los datos, donde entre más fuerte sea la correlación espacial, mejor va a ser la calidad del mapeo (Villatoro *et al.* 2008).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación y descripción del sitio

El estudio se realizó en las áreas agrícolas del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE, que se encuentra ubicado en la parroquia Manglaralto, 55 km al norte de la ciudad de Santa Elena, provincia del mismo nombre. Las coordenadas UTM, de un punto central, corresponden a 9796375 Sur y 528964 Este, zona 17S Datum WGS 1984; posee una altura de 11 msnm y una topografía plana con pendiente menor al 1%. En la Figura 2.1. se puede apreciar la macrolocalización del área de estudio.



Figura 2. 1. Ubicación del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.

El Centro de Apoyo Manglaralto UPSE cuenta con una extensión aproximada de 22.6 ha, las cuales están divididas para usos productivos, tales como: uso forestal, cultivos perennes, cultivos de ciclo corto, pastizales y producción pecuaria.

La parroquia de Manglaralto se caracteriza por presentar dos épocas al año desde el punto de vista del clima: húmeda comprendida por los meses de diciembre a mayo y seca los meses de junio a noviembre. Los valores promedio mensuales de algunas variables climáticas del año 2017 de la zona se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1. Condiciones climáticas de la zona.

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura media (°C)	Evaporación (mm)	Heliofanía (horas)
ENERO	107.2	26.1	149.3	110.6
FEBRERO	39.2	26.2	141.2	146.5
MARZO	102.0	26.5	146.2	161.7
ABRIL	2.2	25.7	145.7	198.1
MAYO	11.0	24.2	141.6	120.3
JUNIO	25.9	22.2	89.1	46.6
JULIO	30.1	21.1	73.3	34.7
AGOSTO	8.2	21.1	98.0	82.0
SEPTIEMBRE	12.4	21.6	113.2	96.8
OCTUBRE	29.6	21.4	100.2	56.3
NOVIEMBRE	13.6	21.9	102.0	65.9
DICIEMBRE	3.8	23.1	159.4	236.3
	$\Sigma = 385.2$	$\bar{x} = 23.4$	$\Sigma = 1459.2$	$\bar{x} = 112.9$

Fuente: INAMHI (2017)

2.2. Características de los suelos

Los suelos que predominan en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE son de textura franco arcillo limoso, con un pH de 7.7 (ligeramente alcalino), suelo no salino con una CE de 0.91 ms/cm. En la Tabla 2.2. se pueden observar las características químicas de los suelos de la zona.

Tabla 2. 2. Características químicas del suelo en el Centro de Apoyo Manglaralto.

Elementos	Cantidad (ug/mL)	Interpretación
pH	7.7	Ligeramente alcalino
Nitrógeno	36	Medio
Fósforo	22	Alto
Potasio	1185	Alto
Calcio	3098	Alto
Magnesio	587	Alto
Azufre	41	Alto

Elementos	Cantidad (ug/mL)	Interpretación
Zinc	1.1	Bajo
Cobre	7.1	Alto
Hierro	21	Medio
Manganeso	4	Bajo
Boro	0,63	Medio

Fuente: Santos (2015).

2.3. Características de las aguas

En la Tabla 2.3. se muestran los resultados de un muestreo de las aguas del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE, en donde se indica que su salinidad es mediana a alta, con un bajo contenido de sodio 98.1 mg/L.

La clase del agua es C3S1, la cual es considerada de alta salinidad y bajo contenido en sodio, pudiéndose utilizar para el riego en la producción agrícola en cultivos tolerantes a la salinidad.

Tabla 2. 3. Características químicas del agua de riego en el Centro de Apoyo Manglaralto

Elementos	Cantidad	Unidad
CE	911	mS/cm
Calcio	90.9	mg/L
Magnesio	14.4	mg/L
Sodio	98.1	mg/L
Potasio	7.3	mg/L
CO₃	ND	meq/L
HCO₃	4.6	meq/L
Cl	2	meq/L
SO₄	4	meq/L
pH	7.4	
RAS	3	
PSI	2	
% Na	42.64	
Clase	C ₃ S ₁	

Fuente: Santos (2015)

2.4. Manejo del estudio

2.4.1. Determinación de puntos de muestreo de suelos

La superficie del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE tiene diversas clases de usos de los suelos: Agricultura, Agropecuaria, Pecuaria, Conservación y Protección, Antrópico (edificaciones) y un área destinada al paso del oleoducto perteneciente a Petroecuador como se puede observar en la Figura 2.2.

La ubicación de los puntos de muestreo, para la ejecución de la investigación, se hizo a partir de la identificaron en el campo las zonas que están siendo cultivadas y que mantienen una constante frecuencia de riego, la base cartográfica empleada fue la capa de uso de los suelos que se halla en el sistema de información geográfica desarrollado.

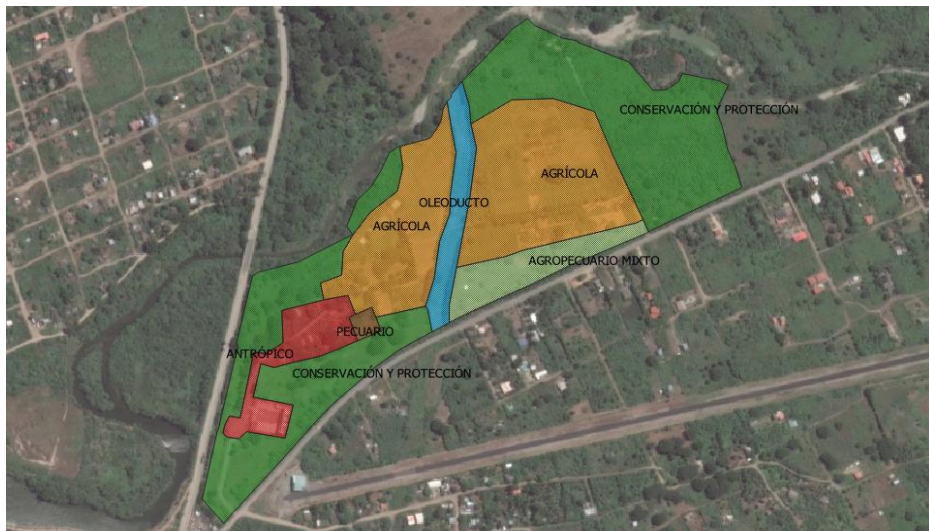


Figura 2. 2. Mapa de uso de suelos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.

A partir de la observación realizada, se identificaron las zonas de estudio que están compuestas por suelos usados en la agricultura, agropecuaria y parte de la zona de conservación, sectores en los que son cultivados con frecuencia y algunos en las que se tiene proyectado cultivar, contando con una extensión para el estudio aproximada de 11.6 ha. Luego se crearon cuadrículas a distancias de 50 x 50 m (debido a que el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE cuenta con poca pendiente), marcando cada intersección formada con un punto, obteniendo un total de 40 puntos de muestreo (Figura 2.3).



Figura 2. 3. Distribución de puntos de muestreo para los análisis de salinidad.

2.4.2. Toma de muestras de suelos

Se realizaron dos muestreos de suelos durante la ejecución de la investigación, el primero en el mes de diciembre (final de la época seca) y el segundo en el mes de mayo (final de la época húmeda).

Para la toma de muestras en cada punto se limpió un área de 1 x 1 m, en donde el punto central fue marcado con el GPS, luego se procedió a recolectar una muestra compuesta bajo un esquema de tres repeticiones de los primeros 20 cm de suelo y otra en la capa de 20 a 50 cm de profundidad. Cada muestra fue registrada, embolsada y etiquetada para su análisis de laboratorio.

2.4.3. Identificación de puntos de muestreo

Para la identificación de los puntos de muestreo se implementó una etiqueta en la que consta un identificador formado por números que corresponden al orden de toma de muestra, la fecha de muestreo, la profundidad de la muestra tomada, el lugar y el nombre del predio, el nombre de la persona que toma las muestras, además se registraron las coordenadas geográficas de cada punto con un GPS.

2.4.4. Toma de muestras de aguas

La toma de muestras de aguas se realizó en una de las válvulas del sistema de riego de los cultivos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE, recogiendo aproximadamente 500 mL.

2.5. Análisis de laboratorio

2.5.1. Análisis de suelos

La conductividad eléctrica (CE) del extracto de pasta saturada es uno de los indicadores más empleados para determinar la salinidad de los suelos, sin embargo, en los laboratorios de la Universidad Estatal Península de Santa Elena no es posible hallarla.

Por la razón antes mencionada, se realizó la calibración mediante un análisis de regresión, en donde se buscó encontrar la relación que existe entre la CE del extracto de pasta saturada y la CE cuando se emplea una solución 1/5, es decir, una parte de suelo y cinco de agua.

Se envió un total de 20 muestras al Laboratorio de Suelo-Agua-Planta de la Universidad Agraria del Ecuador, a las que se les determinó la conductividad eléctrica mediante el método de pasta saturada. A esas mismas muestras se les halló la CE en una solución de suelo-agua de 1/5, el procedimiento se detalla a continuación:

- Se ponen a secar al ambiente las muestras de suelo, luego se tritura hasta que queden las partículas del suelo desagregadas destruyendo los terrones y se tamiza para evitar contaminación en la solución a preparar.
- Se pesan 20 g de cada muestra de suelo en una balanza de precisión.
- Se introducen los 20 g de suelo en un vaso precipitado.
- Agregar lentamente 100 mL de agua destilada en el vaso precipitado.
- Se agita la solución durante aproximadamente 30 minutos.
- Se filtra la solución con ayuda de papel filtro.
- Una vez se haya filtrado la solución, se extrae una alícuota para su respectiva medición.
- Se mide la CE de la solución mediante un conductímetro.
- Se registran los datos obtenidos de cada muestreo en dS/m.
- Se mide y registra el pH mediante un pHmetro.

Una vez obtenidos los resultados del Laboratorio de la Universidad Agraria del Ecuador y el Laboratorio del CIAP de la UPSE, se analizaron mediante la técnica

estadística de regresión lineal utilizando el software InfoStat, con el fin de desarrollar una ecuación a partir de la cual se pueda predecir el valor de una variable conociendo la otra.

A partir de las ecuaciones resultantes, se recalcularon los valores medidos en los muestreos realizados en los meses de diciembre del 2018 y mayo del 2019, en el Laboratorio del CIAP por medio de las fórmulas obtenidas, y los resultados fueron registrados para el posterior análisis generados por los mapas temáticos.

2.5.2. Análisis de aguas

Para el análisis de conductividad eléctrica (CE) y pH de las muestras de agua se extrajeron de la muestra 50 mL con una alícuota, utilizando conductímetro y pHmetro, se hallaron esos indicadores.

2.5.3. Conductividad eléctrica y pH en agua

En la muestra de las aguas del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE, se determinó la conductividad eléctrica (dS/m) y pH, se clasificó de acuerdo a las normas RIVERSIDE para evaluar la calidad de agua de riego en función del peligro de salinización y posteriormente se realizó un análisis de la variación temporal de la salinidad, con muestreos realizados anteriormente.

2.6. Elaboración de mapas temáticos

2.6.1. Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica

Con el objetivo de facilitar el manejo de la información espacial se desarrolló un Sistema de Información Geográfica (SIG), para ello se aprovecharon las bondades de interoperabilidad que poseen los softwares QGIS e ILWIS.

En la Tabla 2.4 se presentan las características de las capas informativas que conforman el SIG desarrollado y en la Tabla 2.5 los atributos que conforma cada capa.

Tabla 2. 4. Capas informativas del SIG desarrollado en el Centro de Apoyo Manglaralto.







Nombre	Símbolo	Representación	Tipo	Dominio		Software empleado
Perímetro muestreo		Vectorial	Polígono	Identificador	Longitud: 10 Precisión: 0	QGIS
CE_UPSE_Ma		Vectorial	Punto	Valor	Longitud: 10 Precisión: 0.01	QGIS
pH_UPSE_Ma		Vectorial	Punto	Valor	Longitud: 10 Precisión: 0.01	QGIS
Perímetro UPSE		Vectorial	Polígono	Identificador	Longitud: 10 Precisión: 0	QGIS
Uso de suelos		Vectorial	Polígono	Clases	Longitud: 80	QGIS
Google Satellite		Raster	Pixel			QGIS

Tabla 2. 5. Tabla de atributos.

Capas	Atributos	Tipo
CE_UPSE_Ma	CE Dic2018_20	Numérico
	CE Dic2018_20-50	Numérico
	CE May2019_20	Numérico
	CE May2019_20-50	Numérico
pH_UPSE_Ma	pH Dic2018_20	Numérico
	pH Dic 2018_20-50	Numérico
	pH May2019_20	Numérico
	pH May2019_20-50	Numérico
Uso de suelo	Tipo de uso	Clases

2.6.2. Interpolación

Con el fin de crear mapas temáticos que contribuyan a entender el comportamiento espacial y temporal de los suelos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE se realizó la interpolación de los puntos de muestreo.

Con las herramientas del módulo de *Statistics* del software ILWIS, específicamente la *Spatial Correlation* de mapas de puntos se intentó determinar la posible relación espacial entre los datos obtenidos en cada muestreo de salinidad y de esa manera seleccionar el método más apropiado para la interpolación.

Dado que no existe correlación espacial en los datos de Conductividad Eléctrica y de pH se seleccionó el método *Moving Average* (promedios móviles) para la interpolación de los distintos mapas temáticos.






2.6.3. Elaboración de mapas temáticos

Con la información generada se realizaron mapas temáticos de la salinidad y pH de los suelos a profundidades de 0 a 20 cm y 20 a 50 cm, con el fin de analizar su variación espacio temporal, usando los softwares ILWIS y QGIS.








En cada caso se crearon representaciones que ayudan a identificar los rangos de CE y pH en los que se encuentran los distintos tipos de suelo.

Para la identificación de la CE se utilizó:

 Normal (0 – 1)

	Muy ligera (1 – 2)
	Ligera (2 – 4)
	Media (4 – 8)
	Fuerte (8 – 16)
	Muy fuerte (>16)

Para la identificación del pH:

	Fuertemente ácido (<5.5)
	Moderadamente ácido (5.6 – 6.0)
	Ligeramente ácido (6.1 – 6.5)
	Neutro (6.6 – 7.3)
	Ligeramente alcalino (7.4 – 7.8)
	Medianamente alcalino (7.9 – 8.4)
	Fuertemente alcalino (>8.5)

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Calibración mediante análisis de regresión para muestras de suelo

3.1.1. Análisis de regresión del muestreo a una profundidad de 0-20 cm

En la Tabla 3.1. se exponen los resultados de CE conseguidos por los métodos de pasta saturada y solución suelo-agua 1/5, datos que fueron usados para la obtención de la ecuación de regresión para las muestras a la profundidad de 0 – 20 cm.

Tabla 3. 1. Resultados utilizados para la obtención de la ecuación de regresión para suelos de 0-20 cm.

No. de muestreo	CE (pasta saturada)	CE Solución suelo-agua 1/5
1	0.41	0.11
6	1.86	0.32
11	1.26	0.28
15	0.67	0.14
16	1.25	0.26
18	1.70	0.30
22	0.69	0.20
27	0.61	0.18
33	0.46	0.11
38	0.47	0.14

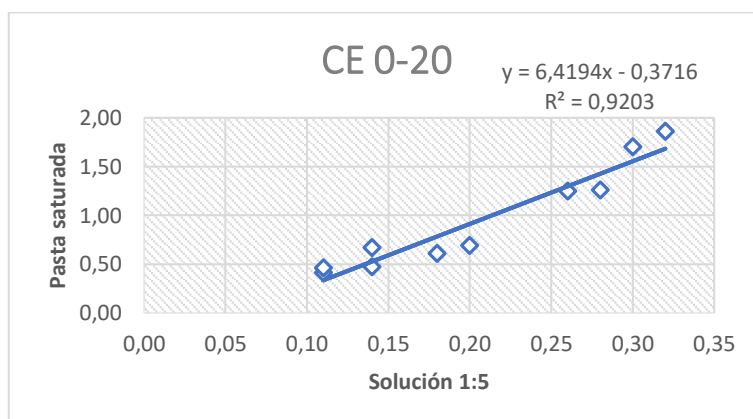


Figura 3. 1. Ajuste para suelos de 0-20 cm.

En la Figura 3.1. se observa el diagrama de dispersión resultante de los datos de CE obtenidos por los dos métodos ensayados. El mejor ajuste es a la ecuación de la recta, con un coeficiente de determinación R^2 de 0.92, lo cual significa que existe una

certeza de un 92% de que los valores obtenidos sean similares a los obtenidos mediante el método de extracto de saturación. La ecuación obtenida es la siguiente:

$$CE_{ext_{0-20}} = m(CE_{1:5_{0-20}}) + b$$

$$CE_{ext_{0-20}} = 6.4194(CE_{1:5_{0-20}}) - 0.3716$$

Morales y Vilorio (2007) indican que los modelos de regresión lineal con coeficientes de determinación mayores a 90% predicen más exactas y precisas en valoraciones de análisis de suelos.

3.1.2. Análisis de regresión del muestreo a una profundidad de 20-50 cm

En la Tabla 3.2. se pueden observar los resultados de CE obtenidos mediante los métodos de extracto de saturación y solución suelo-agua 1/5, estos datos se usaron para la determinación de la ecuación de regresión para muestras a una profundidad de 20 – 50 cm.

Tabla 3. 2. Resultados utilizados para la obtención de la ecuación de regresión para suelos de 20-50 cm.

No. de muestreo	CE (pasta saturada)	CE Solución suelo-agua 1/5
1	1.12	0.22
6	1.61	0.29
11	1.02	0.20
15	0.56	0.16
16	1.13	0.20
18	1.77	0.31
22	0.51	0.15
27	0.50	0.13
33	0.35	0.10
38	0.44	0.11

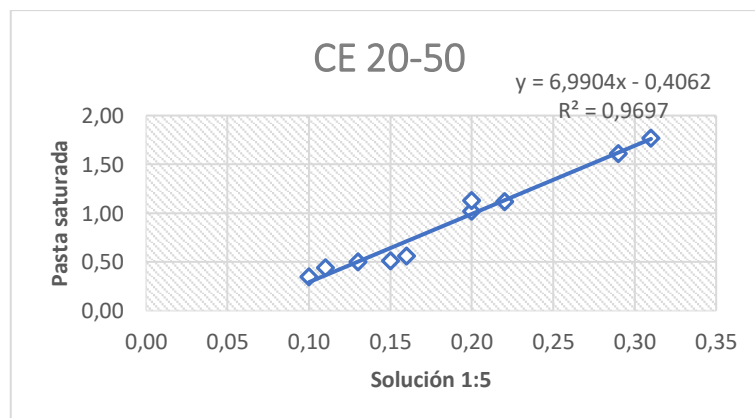


Figura 3. 2. Ajuste para suelos de 20-50 cm.

En la Figura 3.2. se observa un diagrama de dispersión de los resultados obtenidos por distintos métodos. Al igual que en la profundidad anterior es la ecuación de la recta la de mejor ajuste, con un coeficiente de determinación R^2 de 0.97, lo que indica que hay un 97% de certeza de que los valores resultantes de la ecuación sean parecidos a los obtenidos mediante el extracto de saturación, la ecuación es la siguiente:

$$CE_{ext_{20-50}} = m(CE_{1:5_{20-50}}) + b$$

$$CE_{ext_{20-50}} = 6.9904(CE_{1:5_{20-50}}) - 0.4062$$

3.2. Análisis de CE del suelo

3.2.1. CE de muestreo realizado a una profundidad de 0-20 cm

En la conductividad eléctrica (CE) de los suelos a una profundidad de 0 – 20 cm, se registran en el mes de diciembre del 2018 suelos normales a suelos con salinidad ligera. Este tipo de suelos ocupan el 89.66% (10.4 hectáreas) de la superficie del terreno. En segundo lugar están los suelos con CE muy ligera con el 10.34% (1.2 hectáreas).

En el muestreo realizado en el mes de mayo del 2019, los suelos normales se incrementaron al 100% del terreno (11.6 hectáreas), indicando que los suelos con salinidad muy ligera disminuyeron su nivel de CE llegando a ser normales (Figura 3.5).

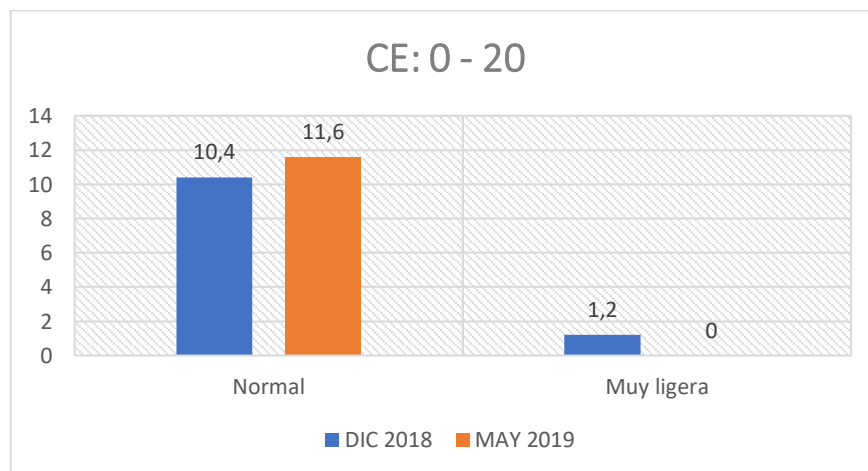


Figura 3. 3. Comparación de las clases de CE en suelos de 0-20 cm.

Se determinó mediante una prueba de Friedman con una significancia de $P < 0.05$, que existe una diferencia significativa entre los muestreos realizados en los meses de diciembre del 2018 y mayo del 2019 (Tabla 3.3).

Tabla 3. 3. Prueba de Friedman para suelos a una profundidad de 0-20 cm.

Muestreo	Suma	Media	n	
Mayo 2019	45.5	1.14	40	a
Diciembre 2018	74.5	1.86	40	b

De acuerdo a datos tomados por la CENAIM¹ entre los meses de diciembre del 2018 y mayo del 2019, en la parroquia Manglaralto se registraron precipitaciones de 4699 mL, que equivalen a 4,7 mm (Tabla 3.4), siendo considerado como nivel muy bajo de precipitación, por lo tanto la disminución de la salinidad de los suelos en los 20 cm superiores al comparar ambos muestreos, probablemente se deba al lavado generado por el riego de los cultivos.

Tabla 3. 4. Precipitaciones registradas en el periodo de estudio.

	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	TOTAL
Precipitación (mL)	65	628	2476	1090	86	354	4699

Fuente: CENAIM (2019)

En los mapas temáticos del mes de diciembre del 2018 (Figura 3.3) se observa que las zonas con el nivel más alto son las del cultivo de cacao (2.32 dS/m), mientras que mayo del 2019 (Figura 3.4) los niveles de CE descienden hasta valores normales.

Según FAO, cultivos como el frijol tienen una disminución en su rendimiento con una CE superior a 1.5 dS/m. Zambrano (2012) indica que para suelos con CE inferiores a 2, los efectos en los cultivos pueden ser casi nulos, mientras que superiores a 2 dS/m podrían afectar a cultivos sensibles. Basados en estos planteamientos se puede pronosticar que la salinidad de los suelos del Centro de Apoyo Manglaralto no constituye un peligro potencial para el desarrollo de los cultivos.

¹ Datos de la Estación Meteorológica de la CENAIM (Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas) de la ESPOL, San Pedro, Manglaralto. Junio 2019.

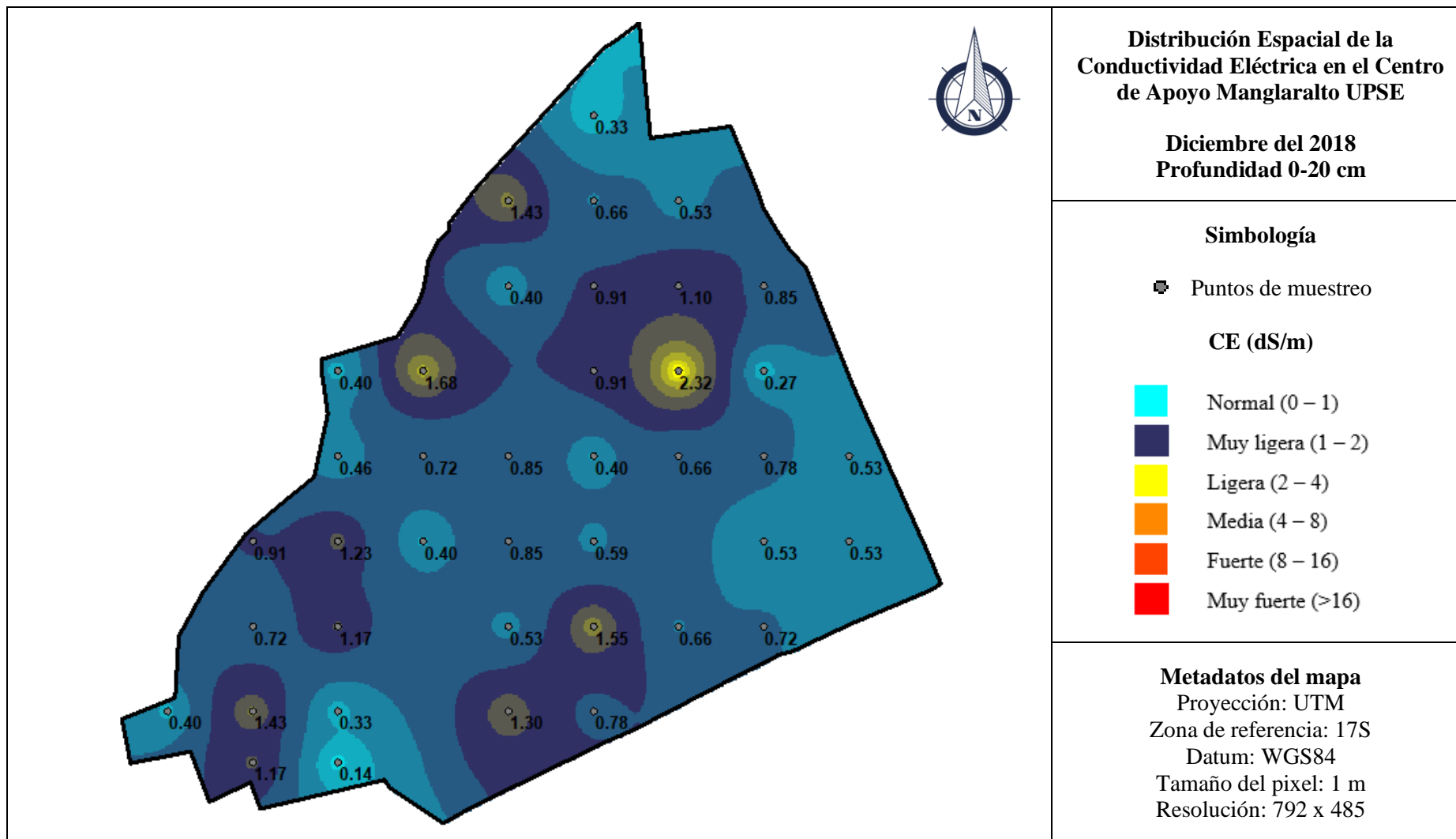


Figura 3. 4. Mapa temático de CE de los suelos de diciembre del 2018 a una profundidad de 0-20 cm.

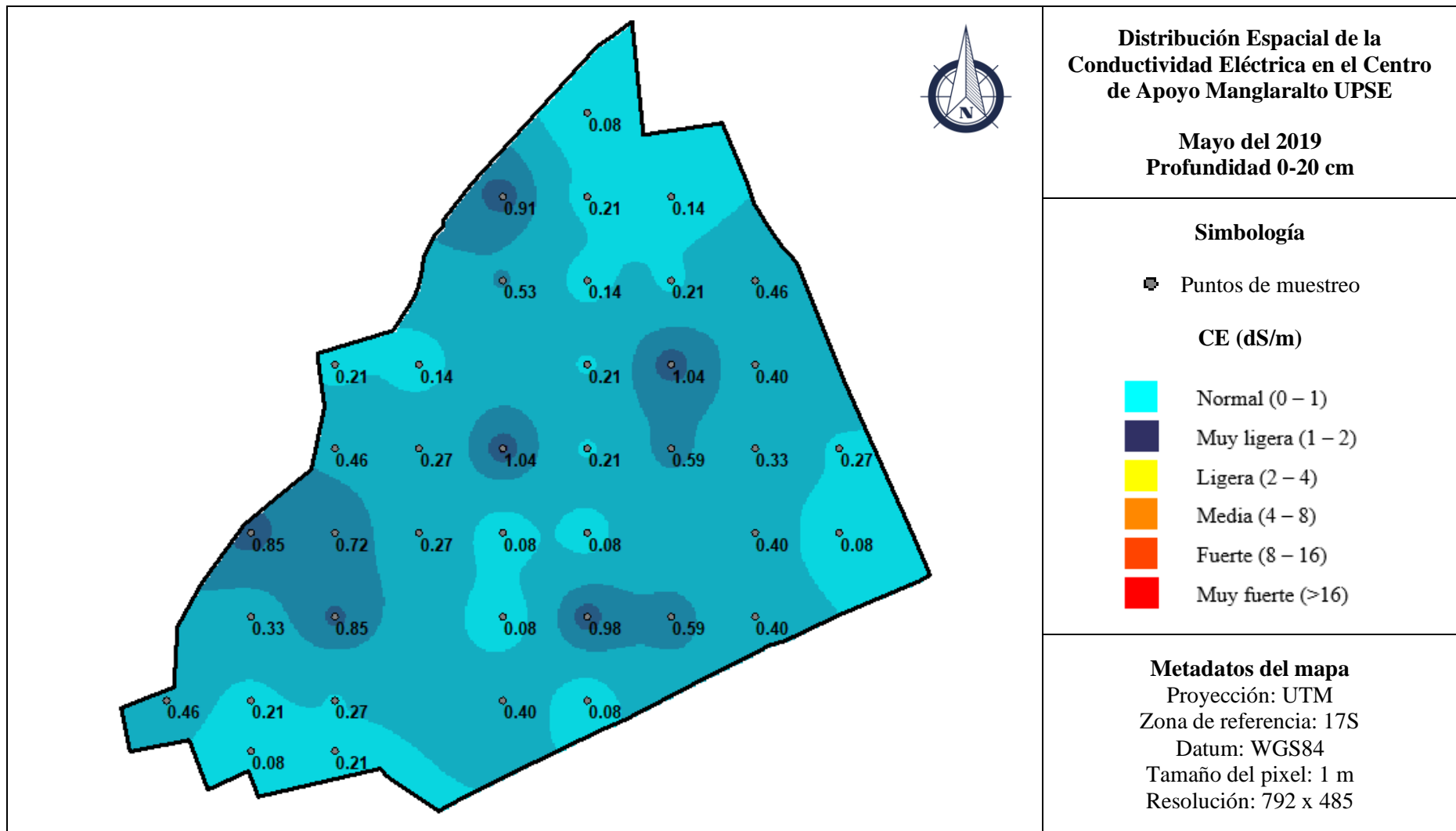


Figura 3. 5. Mapa temático de CE de los suelos de mayo del 2019 a una profundidad de 0-20 cm.

3.2.2. CE de muestreo realizado a una profundidad de 20-50 cm

En los resultados de CE de los suelos a una profundidad de 20 – 50 cm, en el mes de diciembre del 2018 se registran suelos que van desde normales hasta suelos con CE ligera, siendo los que más superficie abarcan los suelos normales con 93.10% de la superficie del terreno (10.8 hectáreas), seguidos de muy ligera con 6.90% (0.8 hectáreas).

En mayo del 2019, los suelos normales incrementaron a 100.00% (11.6 hectáreas) y disminuyeron los suelos con una CE muy ligera a 0.00% (Figura 3.6).

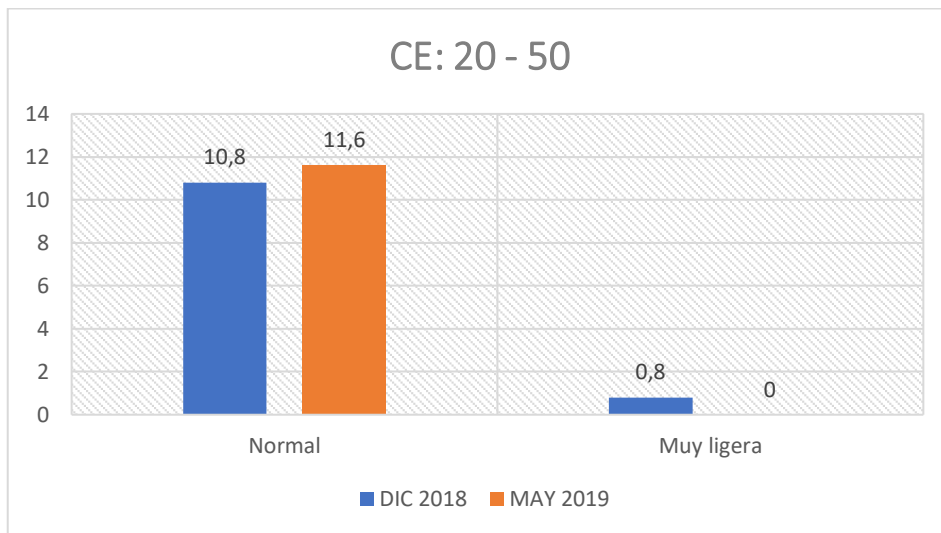


Figura 3. 6. Comparación de las clases de CE en suelos de 20-50 cm.

En la Tabla 3.5 se muestra que existe una diferencia significativa entre los muestreos realizados en los meses de diciembre del 2018 y mayo del 2019, mediante una prueba de Friedman con una significancia de $P < 0.05$.

Tabla 3. 5. Prueba de Friedman para suelos a una profundidad de 20-50 cm.

Muestreo	Suma	Media	n	
Mayo 2019	49.0	1.23	40	a
Diciembre 2018	71.0	1.78	40	b

Se puede observar además en los mapas temáticos de diciembre del 2018 (Figura 3.7) que las zonas con mayor nivel de CE son en el cultivo de pastos (2.46 dS/m),

situación que no cambia en mayo del 2019 (Figura 3.8), ya que los valores más altos se encuentran en zonas destinadas al mismo cultivo.

Según Mesa (2003) especies gramíneas como Tanzania (*Panicum maximum*) y King Grass (*Pennisetum purpureum*), pastos cultivados en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE son resistentes a la salinidad de los suelos, por lo tanto, los valores no representan un peligro para su desarrollo.

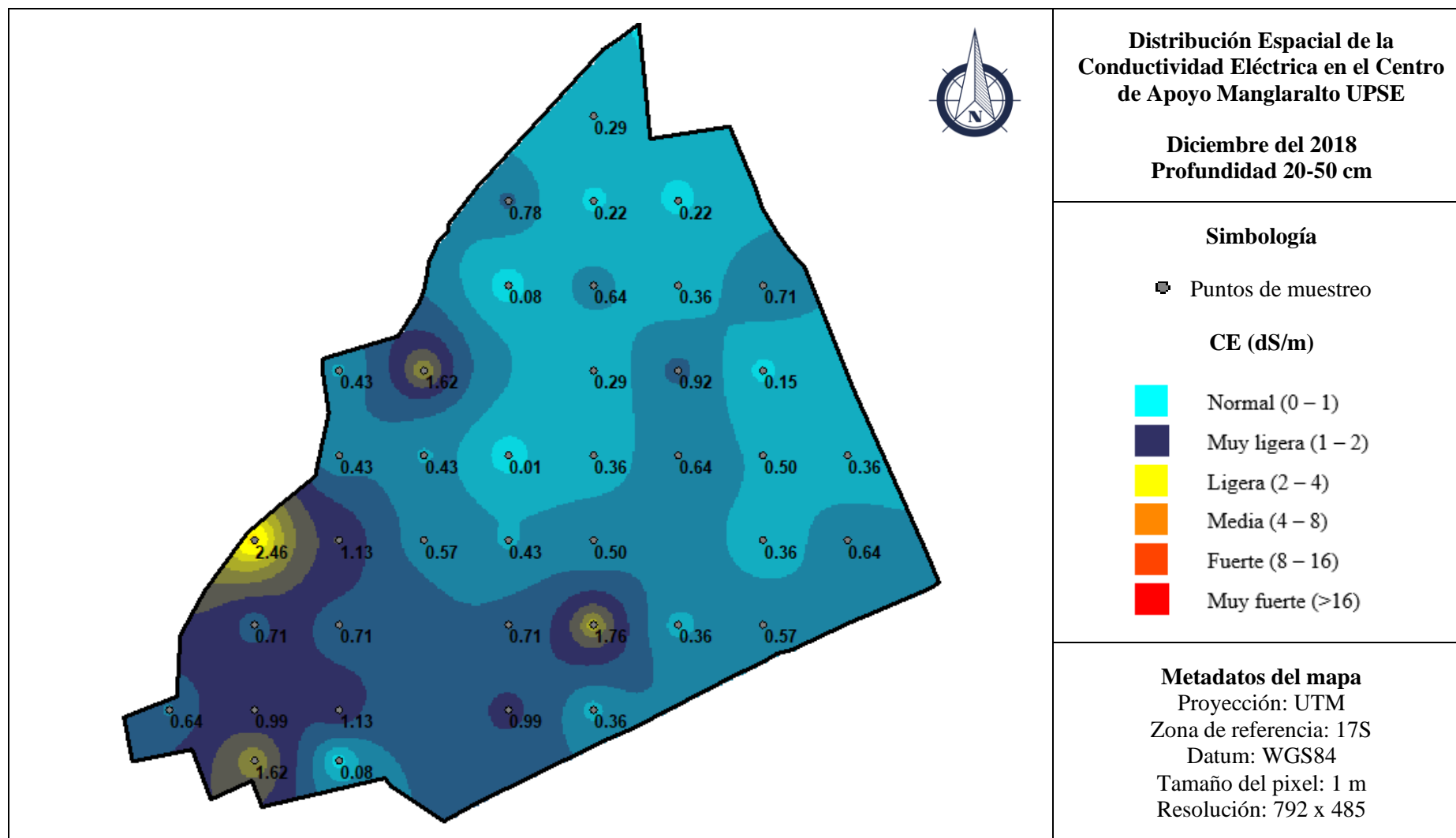


Figura 3. 7. Mapa temático de CE de los suelos de diciembre del 2018 a una profundidad de 20-50 cm.

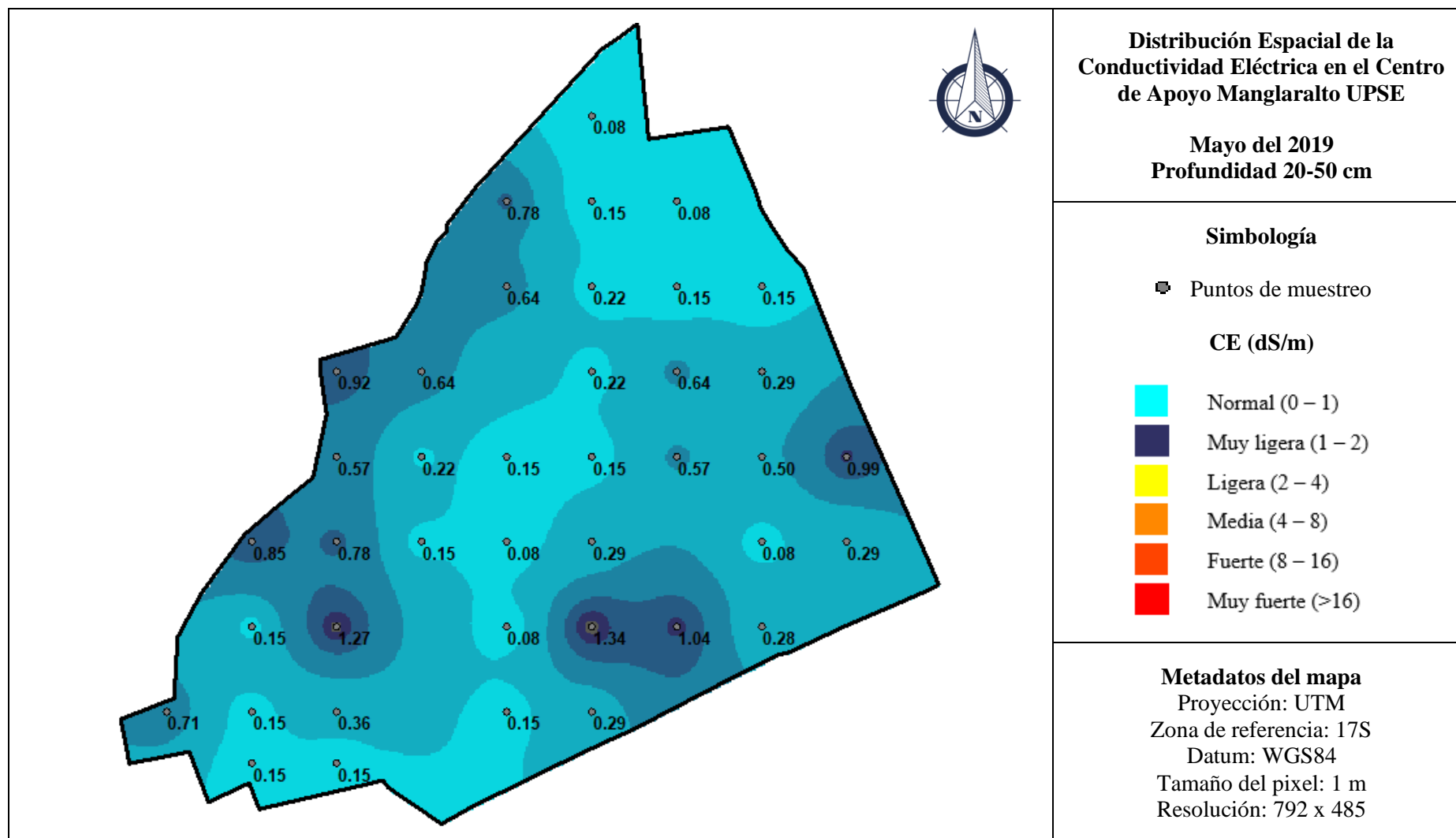


Figura 3. 8. Mapa temático de CE de los suelos de mayo del 2019 a una profundidad de 20-50 cm.

3.3. Análisis de pH del suelo

3.3.1. pH de muestreo a una profundidad de 0-20 cm

Se obtuvo los resultados a una profundidad de 0 – 20 cm del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE en los meses de diciembre del 2018 y mayo del 2019 mediante el uso de pHmetro. Los valores medidos oscilan de neutro a ligeramente alcalinos, teniendo en el mes de diciembre un mínimo de 6.53 y un máximo de 7.80, siendo un 82.76% de la superficie del terreno con un pH neutro y un 17.24% ligeramente alcalino. Por otra parte, en el mes de mayo se registró un mínimo de 6.83 y un máximo de 7.84, teniendo un 82.76% del terreno con un pH neutro y ligeramente alcalino con un 17.24%.

Según Sierra *et al.* (2014) la disponibilidad de nutrientes depende del pH del suelo, siendo en suelos neutros en donde la mayoría está disponible de manera adecuada para las plantas, para suelos con pH alcalino pueden existir elevados niveles de Ca, Mg y Mo, baja disponibilidad de Fe, Mn y Zn.

Osorio (2012) plantea que para suelos neutros hay una alta disponibilidad de nutrientes como Ca y Mg, algunos cultivos podrían mostrar deficiencias en macronutrientes y la disponibilidad de P en el suelo podría ser baja, mientras que para suelos alcalinos existe una baja disponibilidad de P y micronutrientes, altos niveles de Ca y Mg, y el Na puede llegar a ser un problema para los cultivos.

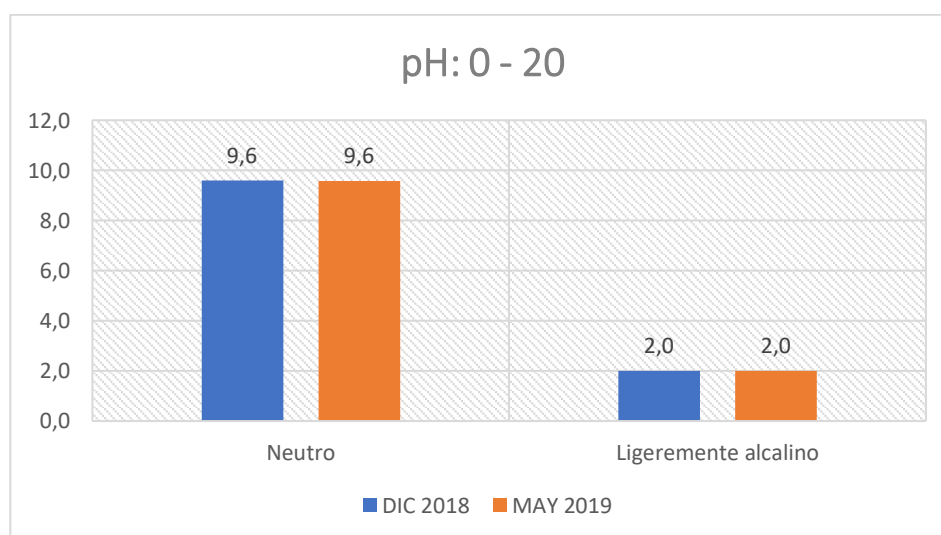


Figura 3. 9. Comparación de las clases de pH en suelos de 0-20 cm.

En el caso de los suelos con pH neutro la superficie total no cambió entre los meses de diciembre del 2018 y mayo del 2019, ya que en ambos casos se encontró una superficie de 9.6 hectáreas, al igual que los suelos con pH ligeramente alcalino ya que entre los meses de diciembre del 2018 y mayo del 2019 la superficie fue de 2.0 hectáreas (Figura 3.9).

En la Figura 3.10 del mes de diciembre del 2018 se observa que hay varias zonas que tienen un pH alcalino, en donde hay cultivos de cacao y pastos, en el mes de mayo del 2019 (Figura 3.11) cultivos como el café y pastos pueden ser afectados en la disponibilidad de nutrientes.

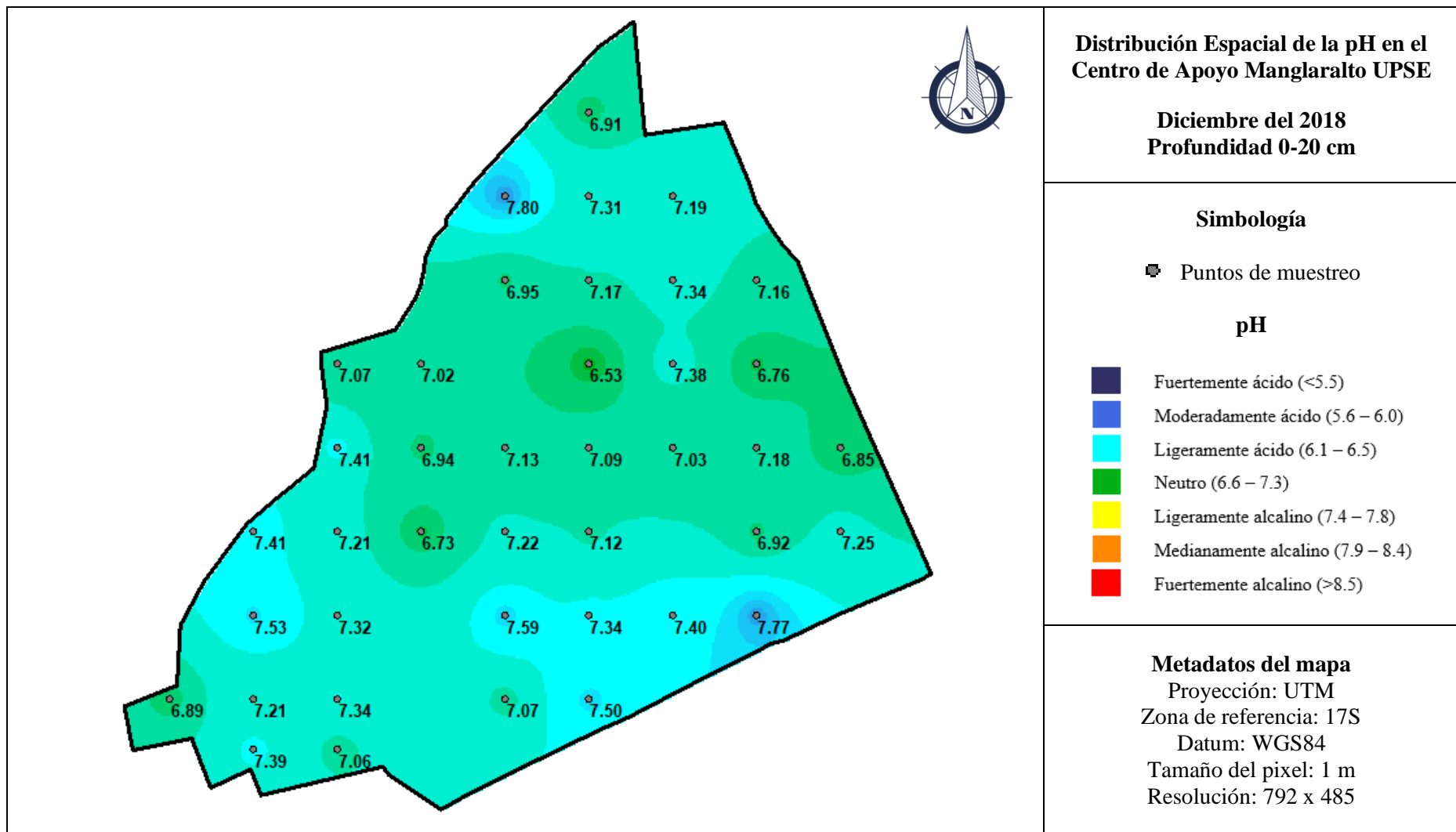


Figura 3. 10. Mapa temático de pH de los suelos de diciembre del 2018 a una profundidad de 0-20 cm.

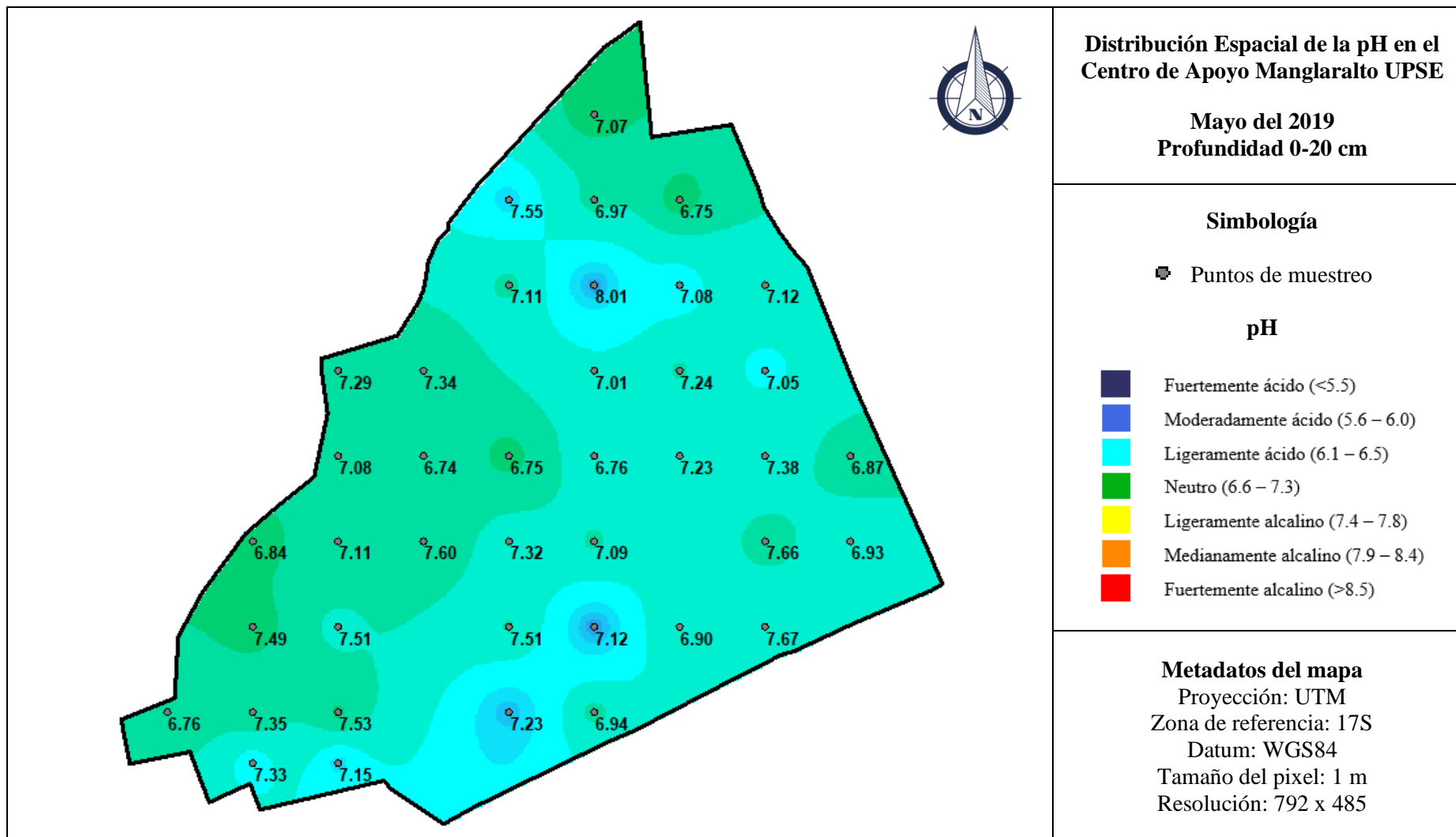


Figura 3. 11. Mapa temático de pH de los suelos de mayo del 2019 a una profundidad de 0-20 cm.

3.3.2. pH de muestreo a una profundidad de 20-50 cm

Los resultados de las muestras a una profundidad de 20 – 50 cm, en los meses de diciembre del 2018 y mayo del 2019, indican que los valores obtenidos fluctúan entre suelos neutros y moderadamente alcalinos, teniendo en el mes de diciembre un mínimo de 6.74 y un máximo de 8.01, con un 77.59% de la superficie del terreno con pH neutro y el 22.41% con suelos de pH ligeramente alcalino; mientras que en el mes de mayo se obtuvo un valor mínimo de 6.7 y máximo de 7.9, siendo un 87.93% suelos neutros y 12.07% ligeramente alcalinos.

Según Osorio (2012), en suelos con pH mayores a 8.00 pueden existir severas limitaciones en la disponibilidad de varios nutrientes como Fe, Mn, Cu, B y Zn, pudiendo el Na llegar a niveles tóxicos para los cultivos.

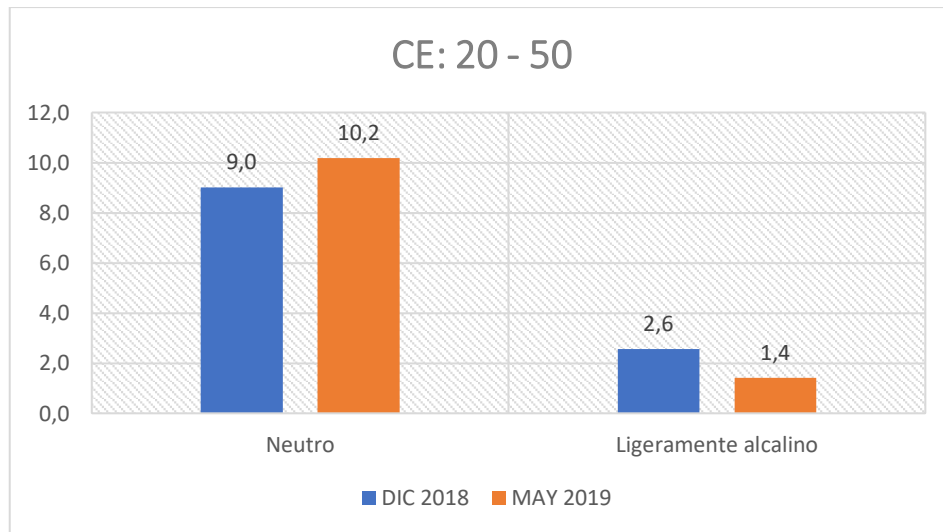


Figura 3. 12. Comparación de las clases de pH en suelos de 20-50 cm.

Los suelos con pH neutro en diciembre del 2018 representaban 9 hectáreas, en la cual hubo una ganancia, ya que en mayo del 2019 incrementó a 10.2 hectáreas, por otra parte en los suelos ligeramente alcalinos existió una pérdida ya que en diciembre se registró una superficie de 2.6 a 1.4 hectáreas en mayo del 2018 (Figura 3.12).

En las Figura 3.13 y 3.14 se observa que en el mes de diciembre hay una zona que llega a un pH superior a 8.00 siendo considerado como moderadamente alcalino en el cultivo de café, mientras que en el mes de mayo se observan altos valores en los cultivos de pastos y zonas usadas para cultivos hortícolas.

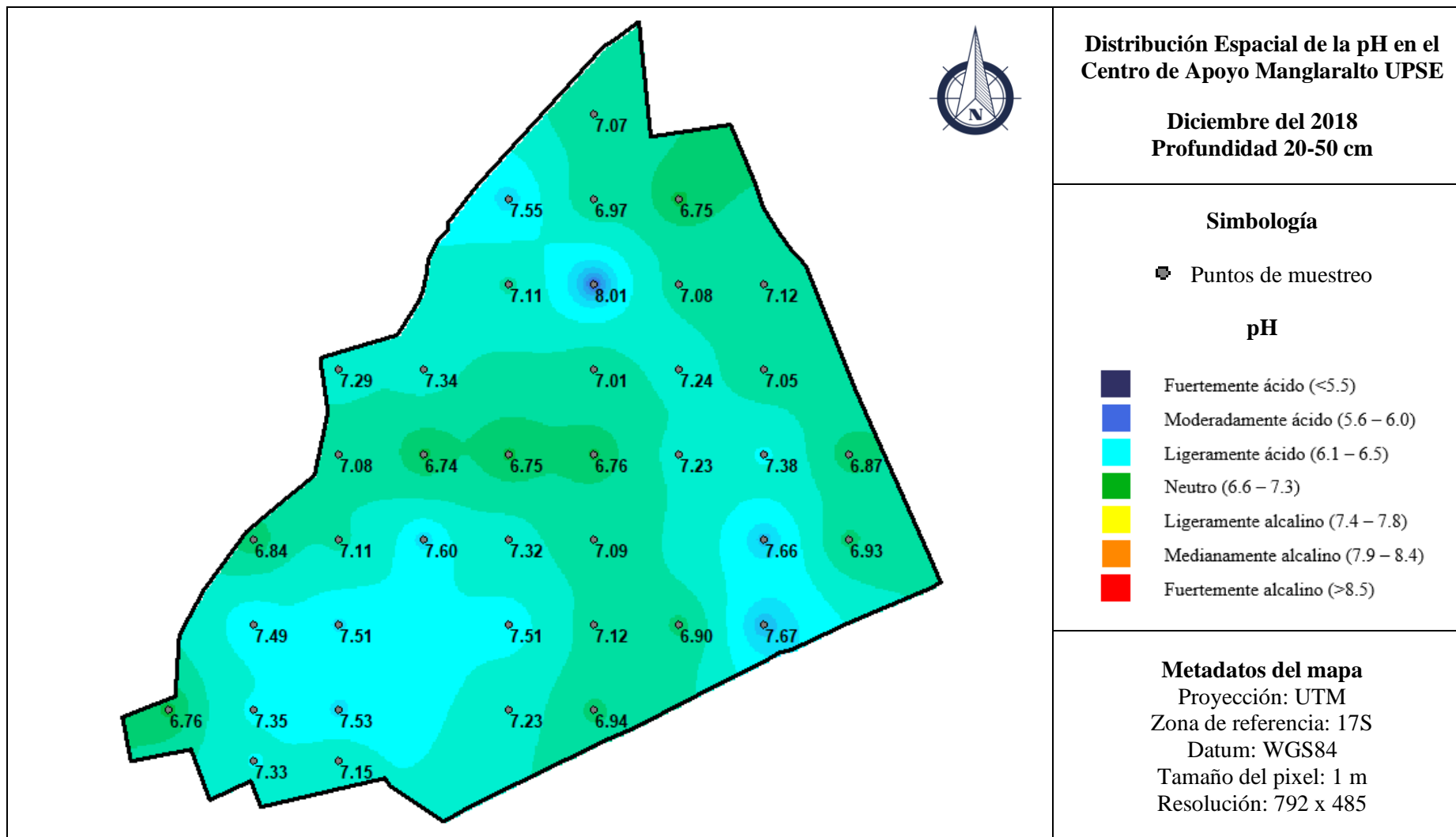


Figura 3. 13. Mapa temático de pH de los suelos de diciembre del 2018 a una profundidad de 20-50 cm.

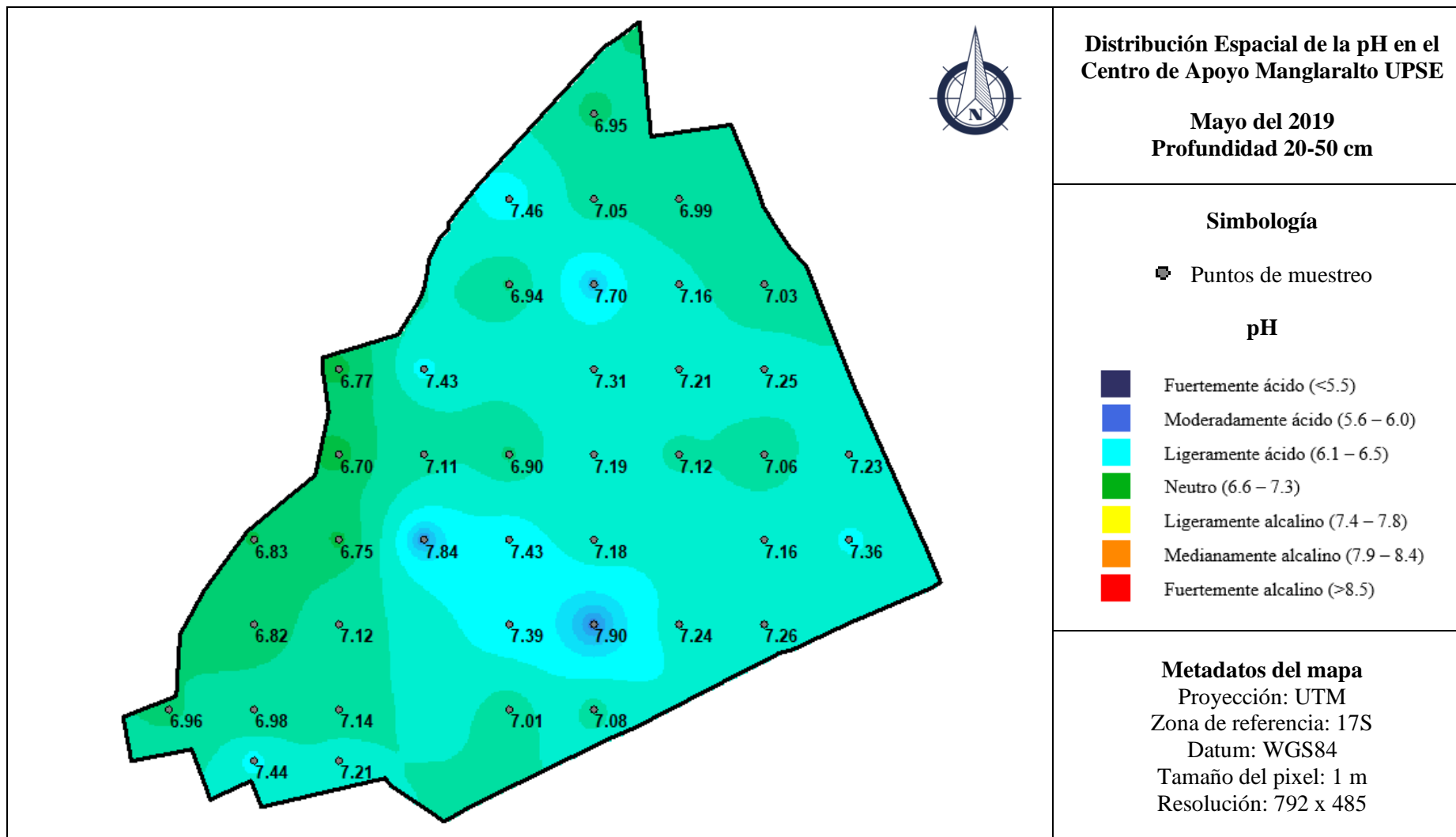


Figura 3. 14. Mapa temático de pH de los suelos de mayo del 2019 a una profundidad de 20-50 cm.

3.4. Análisis de calidad de agua

3.4.1. Conductividad eléctrica

Para el análisis de conductividad eléctrica de las aguas del Centro de Apoyo UPSE Manglaralto se tomaron muestras directamente del agua utilizada para el riego de los cultivos en el mes de mayo, y medidos en el Laboratorio del CIAP de la UPSE con la ayuda de un conductímetro, cuyo resultado fue de 1.40 dS/m siendo clasificado como C3 (salinidad media-alta) de acuerdo a RIVERSIDE, la cual no debe ser usada en suelos con drenaje deficiente, y los cultivos deben ser tolerantes a la salinidad, variando en 0,49 dS/m en referencia a lo obtenido por Santos (2015) 0,91 dS/m de los análisis realizados en la misma zona, quien la clasificó como C3S1 de acuerdo a su calidad.

Según Pertierra² (2019), en comunicación personal, los valores de CE de agua en el mes de octubre de los años de 2017 y 2018, alcanzaron 3.6 dS/m y 4.6 dS/m respectivamente, siendo consideradas como C4 y C5, es decir, son de salinidad alta y muy alta, esta última no es apropiada para el riego y solo deben emplearse en cultivos muy tolerantes a las sales.

El contenido de sales en las aguas de riego que se emplean en el Centro de Apoyo Manglaralto, se incrementa de la época húmeda a seca, siendo las aguas del periodo seco no aptas para el riego de los cultivos.

Es de suponer que el incremento de la salinidad de los suelos observado al final del período seco podría ser de origen antrópico, provocado por las láminas de riego que suplen las necesidades hídricas de los cultivos, siendo aplicadas en la época húmeda de dos veces por semana por dos horas cada riego, mientras que en la época seca de dos a tres veces por tres horas cada riego dependiendo de las temperaturas presentes. Esos tiempos de riego permiten aplicar una sobredosis que lixivia las sales del suelo en algunos casos.

² Ing. Rosa Pertierra Luna, PhD; docente de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. 25 de junio de 2019.

3.4.2. pH

El pH de la muestra de agua tomada fue de 7.6, siendo superior a la medida por Santos (2015), que obtuvo un pH de 7.4. Ese valor es adecuado para el riego de cultivos agrícolas según Ayers y Westcot (1987).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Es posible estimar la CE en pasta a partir de mediciones de la CE con relación 1:5, a partir del modelo de regresión lineal determinado. La relación entre la conductividad eléctrica determinada en pasta saturada y con una relación suelo:agua 1:5 responde a un modelo de regresión lineal, con un coeficiente de determinación superior al 92%.

La salinidad de los suelos de las áreas agrícolas del Centro de Apoyo Manglaralto varía entre los períodos húmedo y seco, en este último se encuentran los mayores valores absolutos.

Al final del período seco (mes de diciembre), en los primeros 20 cm de profundidad, el 89.66% (10.4 hectáreas) de la superficie se clasifica como suelos normales y en segundo lugar están los suelos con CE muy ligera con el 10.34%. En el mes de mayo los suelos normales fueron la totalidad de la superficie estudiada.

La salinidad de los suelos del Centro de Apoyo Manglaralto no constituye un peligro potencial para el desarrollo de los cultivos.

El pH de los suelos en más del 82% de la superficie estudiada es neutro.

La principal fuente de acumulación de sales en los suelos es el agua empleada en el riego, que alcanza tenores superiores a 4.0 dS/m en la estación seca y luego desciende a 1.4 dS/m durante la estación húmeda.

Es probable que la reducción de la salinidad de los suelos se deba al lavado generado por las sobredosis de agua aplicadas durante el riego a los cultivos.

Recomendaciones

Continuar este tipo de investigaciones, ya que es importante el monitoreo continuo de los indicadores de salinidad de suelos y aguas, para conocer a que se debe el comportamiento del rendimiento y desarrollo de los cultivos.

Equipar el laboratorio del CIAP, para que sea posible la medición de otros parámetros químicos del suelo como porcentaje de sodio intercambiable (PSI), indicador de sodicidad de los suelos.

Establecer una estación meteorológica en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE, para conocer los parámetros climáticos presentes en la parroquia Manglaralto, lugar donde se realizan distintos tipos de investigaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayers, R. y Westcot D 1987. La calidad del agua en la agricultura. *Estudio FAO Riego y Drenaje*, 29 Rev. 1; Roma.

Coaguila D., Tangerino F., Freitas Y. y Gonçalves D. 2013. *Análisis comparativo de métodos de interpolación espacial utilizando datos de evaporación*. Instituto Regional de Ciencias Ambientales. Universidad Estatal Paulista.

Combatt E., Narváez H. y Bustamante I. 2015. Estimación de la salinidad en aguas freáticas del área de influencia de la desembocadura del río Sinú-Córdoba, Colombia. *Idesia*. 33(3), pp. 55-63.

Díaz L. 2015. *Bases fisiológicas y morfológicas de la respuesta de *Jatropha curcas* L. al estrés hídrico y salino*. Editorial Universitaria. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/upsesp/detail.action?docID=4183643>

Domínguez W. 2015. *Representación espacial por interpolación con kriging de los contaminantes, criterio para analizar la situación de la contaminación atmosférica en la zona metropolitana del valle de Toluca en el año 2011*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma del Estado de México.

Gallart F. 2017. *La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia*. Tesis de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural. Universidad Politécnica de Valencia.

García M., García G. y Sanabria M. 2010. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento, daño oxidativo y concentración foliar de metabolitos secundarios en dos variedades de carota (*Phaseolus vulgaris* L.). *Interciencia*. 35(11), pp. 840-846.

García I., Romero P., Jiménez S. y Jordá L. 2017. Evolución climática en la costa de Ecuador por efecto del cambio climático. *DYNA*. 84(203), pp. 37-44.

Henríquez C., Méndez J. y Masís R. 2013. Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el análisis kriging y su validación. *Agronomía Costarricense*. 37(2). pp. 71-82.

Hidalgo G. 2015. *Evaluación de láminas de riego en el rendimiento del cultivo de sandía (Citrullus lanatus T.) híbrido Royal Charleston en la parroquia Manglaralto, provincia de Santa Elena*. Tesis de Ingeniero Agropecuario. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

INAMHI. 2017. *Anuario meteorológico*. N° 53-2013. Ecuador.

Lanz A. y González M. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*. 34(4), pp. 31-42.

MAG. (2017). *Cifras agroproductivas*. Disponible en línea: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>

Martínez N., López C., Basurto M. y Pérez R. 2011. Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia Chihuahua*. 5(3), pp. 156-161.

Méndez F. y Zapata F. 2010. Variabilidad espacial de la salinidad en suelos regados con aguas residuales del sistema de riego Taiguaiquay, Venezuela. *Interciencia*. 35(5), pp. 357-362.

Mercado T., Ortega M., Arenas A. y Combatt E. 2011. Dinámica de sales en el distrito de riego La Doctrina, Colombia. *Idesia*. 29(1), pp. 83-90.

Mesa D. 2003. Obtención de plantas resistentes a la salinidad para suelos cubanos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 37(3), pp. 217-226.

Morales D., Rodríguez P., Dell'Amico J., Sánchez-Blanco M. y Torrecillas A. 2012. Efecto del precondicionamiento a la salinidad en las relaciones hídricas, el intercambio gaseoso y la conductividad hidráulica de las raíces en las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos tropicales*. 33(3), pp. 57-62.

Morales A. y Vilorio J. 2007. Confiabilidad de modelos de regresión para predecir retención de agua en suelos de la cuenca alta del río Guarico, Venezuela. *Edafología*. 14(1), pp. 19-24.

Moreno H. 2013. *Evaluación espacio-temporal de las aguas y suelos de la zona colindante al lago de la Albufera de Valencia: intento de recuperación*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Osorio N. 2012. pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*. 1(4), pp. 1-4.

Otero L., Francisco A., Gálvez V., Morales R., Sánchez I., Labaut M., Vento M., Cintra M. y Rivero L. 2008. *Caracterización y evaluación de la salinidad*. Disponible en: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5420/salinidad.pdf>

Padilla L. 2017. *Variabilidad espacial de la salinidad en suelos del distrito de riego 014, Mexicali Baja California*. Tesis. Universidad Autónoma del Estado de México.

Porta J., López-Acevedo M. y Poch R. 2008. *Introducción a la edafología. Uso y protección del suelo*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/upsesp/detail.action?docID=3175738>

Proaño J. y Briones C. 2015. *Gestión de riego y la salinidad en cultivos de la Península de Santa Elena y la cuenca del río Guayas*. Guayas: XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.

Ramírez W. y Hernández L. 2016. Tolerancia a la salinidad en especies cespitosas. *Pastos y Forrajes*. 39(4), pp. 235-245. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/upsesp/detail.action?docID=5349973>

Rodríguez R., Larreal M. y Moreno J. 2012. Comportamiento de la conductividad eléctrica en dos series de suelo del sector caño San Miguel, municipio Mara, estado Zulia, Venezuela durante un periodo de tres años. *Revista Científica UDO Agrícola*. 12(4), pp. 881-889.

Santos J. 2015. *Efecto de diferentes regímenes de humedad en el comportamiento productivo del maíz en las condiciones edafoclimáticas de Manglaralto, Santa Elena*. Tesis de Ingeniero Agropecuario. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Sierra A., Simonne E. y Treadwell D. 2014. *Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en la producción de hortalizas*. Universidad de Florida.

Torres A. y Acevedo E. 2008. El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afecta el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. *Idesia*. 27(2), pp. 31-44.

USDA. 2014. *Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 51. Version 2.

Villatoro M., Henríquez C. y Sancho F. 2008. Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense*. 32(1), pp. 95-105.

Villón J. 2017. *Comportamiento productivo de nueve genotipos de cacao (Theobroma cacao L.) en el quinto año de producción en el Centro de Producción y Prácticas Manglaralto de la UPSE*. Tesis de Ingeniero Agropecuario. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Zambrano F. 2012. *Efectos de la aplicación de mejoradores de salinidad del suelo en el rendimiento y calidad de sandía (Citrullus lanatus T.)*. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Guayaquil.

ANEXOS

Formato 1A. Etiquetas para los muestreos de diciembre del 2018 y mayo del 2019



 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA LUGAR: MANGLARALTO PREDIO: CENTRO DE APOYO UPSE MANGLARALTO UBICACIÓN: 528739; 9796260 N° MUESTRA: 1 PROFUNDIDAD: 0 – 20 cm FECHA DE MUESTREO: Diciembre del 2018 TOMADO POR: JOSÉ LUIS LINO SUÁREZ	1	 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA LUGAR: MANGLARALTO PREDIO: CENTRO DE APOYO UPSE MANGLARALTO UBICACIÓN: 528739; 9796260 N° MUESTRA: 1 PROFUNDIDAD: 0 – 20 cm FECHA DE MUESTREO: Mayo del 2019 TOMADO POR: JOSÉ LUIS LINO SUÁREZ	2
---	---	--	---

Tabla 1A. Análisis de regresión para suelos a una profundidad de 0-20 cm.

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
CE _{ext (0-20)}	10	0.92	0.91	0.04	-4.49	-3.48

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
Const	-0.37	0.15	-0.71	-0.04	-2.55	0.0340		
CE_{1:5 (0-20)}	6.42	0.67	4.88	7.96	9.61	<0.0001	83.18	1.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gL	CM	F	p-valor
CE_{1:5 (0-20)}	2.39	1	2.39	92.33	<0.0001
Error	0.21	8	0.03		
Total	2.60	9			

Tabla 2A. Análisis de regresión para suelos a una profundidad de 20-50

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R2	R2 Aj	ECMP	AIC	BIC
CE _{ext (20-50)}	10	0.97	0.97	0.01	-15.22	-14.31

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
Const	-0.41	0.09	-0.61	-0.21	-4.68	0.0016		
CE_{1:5 (20-50)}	6.99	0.44	5.98	8.00	16.01	<0.0001	229.01	1.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gL	CM	F	p-valor
CE_{1:5 (20-50)}	2.25	1	2.25	256.38	<0.0001
Error	0.07	8	0.01		
Total	2.32	9			



INFORME DE LABORATORIO
UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
LABORATORIO DE SUELO – PLANTA – AGUA

Facultad de Ciencias Agrarias, Guayaquil, Ecuador. Teléf.: +593-42439995 – 42439394. E-mail: yogarcia@uagraría.edu.ec

No.	Muestra	CE (dS/cm)
1	1 (0-20cm)	0.41
2	1 (20-50cm)	1.12
3	6 (0-20cm)	1.86
4	6 (20-50cm)	1.61
5	11 (0-20cm)	1.26
6	11 (20-50cm)	1.02
7	15 (0-20cm)	0.67
8	15 (20-50cm)	0.56
9	16 (0-20cm)	1.25
10	16 (20-50cm)	1.13
11	18 (0-20cm)	1.70
12	18 (20-50cm)	1.77
13	22 (0-20cm)	0.69
14	22 (20-50cm)	0.51
15	28 (0-20cm)	0.61
16	28 (20-50cm)	0.50
17	34 (0-20cm)	0.46
18	34 (20-50cm)	0.35
19	39 (0-20cm)	0.47
20	39 (20-50cm)	0.44

Métodos empleados	
Conductividad Eléctrica (CE)	Extracto de saturación y determinación por <u>conductometría</u>

Clasificación del suelo	Conduct. Eléctrica en el extracto de saturación (dS/cm)	Efecto en el cultivo
No salino	0 - 2	No afecta a los cultivos
Ligeramente salino	2 - 4	Puede disminuir los rendimientos de los cultivos sensibles
Moderadamente salino	4 - 8	Disminuye el rendimiento de la mayoría de los cultivos
Salino	8 - 16	Rendimiento satisfactorio solo de cultivos tolerantes
Extremadamente salino	> 16	Rendimiento satisfactorio solo de cultivos muy tolerantes

Ing. Yoansy García Ortega Ms.C
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Figura 1A. Análisis de CE mediante el método de extracto de pasta saturada



Figura 2A. Toma de muestras en los meses de diciembre del 2018 y mayo del 2019 respectivamente.



Figura 3A. Muestras recolectadas



Figura 4A. Secado al ambiente de las muestras, previo al análisis de laboratorio.



Figura 5A. Preparación de muestras que fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Agraria para análisis mediante extracto de pasta de saturación

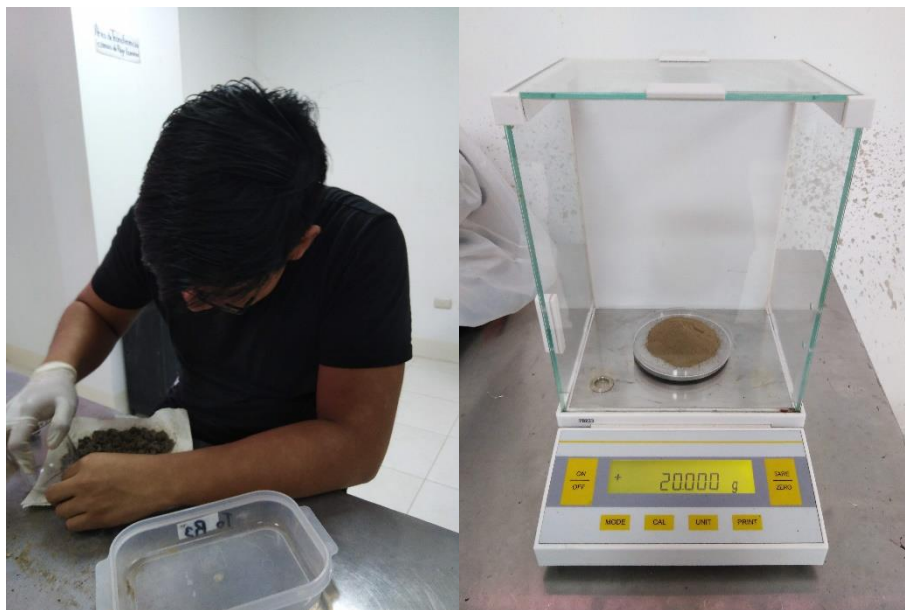


Figura 6A. Triturado y pesaje de las muestras para su análisis mediante solución 1:5



Figura 7A. Preparación de la solución 1:5 (una parte de suelo y 5 de agua)



Figura 8A. Filtrado de la solución para su posterior medición



Figura 9A. Medición de CE en solución de 1:5



Figura10A. Medición de pH



Figura 11A. Toma de muestra de las aguas del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE



Figura 12A. Medición de CE y pH de las aguas del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE