



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

**DIRECCIÓN ESPECÍFICA DE CIENCIAS
AMBIENTALES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO**

Trabajo de Tesis

*Impacto del riego en la salinidad de los suelos en el Centro
de Innovación, Investigación, Producción y Enseñanzas
Agropecuarias (CIPEA) El Plantel 2022- 2023.*

Autores

Br. Jeyner Enoc Rizo Alvir

Br. Sergio Francisco Martínez Polanco

Asesores

MSc. Harvin Bonilla Escoto

MSc. Jorge Antonio Gómez Martínez

**Presentado a la consideración del honorable comité
evaluador como requisito final para optar al grado
de Ingeniero en Recursos Naturales**

**Managua, Nicaragua
Marzo, 2025**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la dirección específica de Ciencias Ambientales y el cambio climático como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Recursos Naturales

Miembros del Comité Evaluador

	
<grado académico y nombre> Presidente	<grado académico y nombre> Secretario
<grado académico y nombre> Vocal	
Lugar y fecha: <Municipio>, Nicaragua, <día/mes/año>	

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de tesis a **Dios** quien siempre estuvo conmigo en mis dificultades, siempre me brindo paciencia, inteligencia, salud, sabiduría para que pudiera cumplir mi meta.

A mis padres Aura Meneses y Francisco Martínez quienes siempre me apoyaron moral y económicamente, ya que sin su confianza y sacrificios no hubiera podido salir adelante.

A amigos, primos y personas cercanas quienes me motivaron a seguir adelante a pesar de las adversidades.

A quienes creyeron en mí siempre.

Br. Sergio Francisco Martínez 1

DEDICATORIA

A Dios, mi guía y fortaleza, por iluminar mi camino y darme la sabiduría y fuerza necesarias para superar los retos que encontré en este proceso. Gracias por tu amor incondicional y por estar siempre a mi lado.

A mi familia en especial a mi mamá Blanca Alvir y mis herman@s, por su amor, apoyo y sacrificio. Ustedes han sido mi mayor fuente de motivación y mi refugio en los momentos difíciles. Esta tesis es el reflejo de todo lo que me han enseñado y de la confianza que siempre han tenido en mí.

Y a todos aquellos que creyeron en mí, que me alentaron y me ayudaron a mantenerme firme en mis sueños. Su apoyo ha sido invaluable, y este logro también es suyo.

Br. Jeyner Enoc Rizo Alvir 2

AGRADECIMIENTO

A lo largo del desarrollo de esta tesis, he contado con el apoyo, la guía y la motivación de muchas personas, a quien quisiera expresar mi más profundo agradecimiento.

A **Dios**, sobre todas las cosas por haberme permitido elegir esta profesión tan importante en mi vida, por darme la fortaleza, la energía y la motivación de seguir luchando para terminar mis estudios Universitarios.

A mi madre Aura María Meneses y mi padre Francisco José Martínez, mi más sincero agradecimiento los que con gran sacrificio siempre me apoyo económicamente para yo poder terminar mis estudios.

A mis asesores, MSc. Harvin Bonilla Escoto, MSc. Jorge Antonio Gómez Martínez, quienes dedicaron su tiempo durante el proceso de investigación.

A la Universidad Nacional Agraria por haberme dado la oportunidad de concluir mis estudios en este bello lugar.

A todas aquellas personas directas e indirectas quienes aportaron para que este proyecto de vida se lograra.

Sergio Francisco Martínez Polanco 1

AGRADECIMIENTO

Quiero comenzar expresando mi más profundo agradecimiento a Dios, quien ha sido mi guía constante a lo largo de todo este proceso. Gracias por darme la sabiduría, la fuerza y la perseverancia para superar los desafíos que se presentaron en el camino. Sin su apoyo y bendiciones, no habría logrado llegar hasta aquí.

A mi madre Blanca Alvir, quienes siempre han sido mi mayor apoyo incondicional. Gracias por su amor, sacrificio y por ser el pilar fundamental de mi vida. Su confianza en mí ha sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante, incluso cuando los momentos se tornaban difíciles.

A mis hermanos, quienes con su apoyo, comprensión y compañía han sido una fuente de fortaleza. Gracias por estar siempre a mi lado, por ser mi refugio en los días de incertidumbre y por hacerme sentir que siempre cuento con ustedes.

A mis asesores, MSc. Harvin Bonilla Escoto, MSc. Jorge Antonio Gómez Martínez, quienes con su paciencia, conocimiento y dedicación me guiaron a lo largo de este proceso. Gracias por sus valiosos consejos, por creer en mi proyecto y por ofrecerme su tiempo y experiencia. Su orientación fue crucial para dar forma a esta tesis y superar los obstáculos que surgieron en el camino. A la Universidad Nacional Agraria por haberme dado la oportunidad de concluir mis estudios en este bello lugar.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Este logro es tanto mío como de cada uno de ustedes. Sin su amor, apoyo y sabiduría, este proyecto no habría sido posible. ¡Gracias por estar siempre a mi lado y por ser parte fundamental de este logro!

Br. Jeyner Enoc Rizo Alvir 2

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS	IX
ABSTRACT	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
III. MARCO DE REFERENCIA	3
3.1. Antecedentes	3
3.2. Bases conceptuales	4
3.3. Propiedades del suelo como indicadores de salinidad.	6
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1. Ubicación del estudio	12
4.2. Condiciones climáticas	13

4.3. Suelo	13
4.4. Geología	13
4.5. Hidrogeología	14
4.6. Diseño de la investigación	14
4.6.1. Variables evaluadas	15
4.6.2. Salinidad del suelo	15
4.6.3. Índices de Salinidad	16
4.6.4. Correlación	18
4.6.5. Incidencia de la calidad de agua de riesgo en la salinidad de los suelos.	18
4.6.6. Clasificación de la Conductividad Eléctrica	19
4.7. Análisis de datos	21
4.7.1. Salinidad en los suelos	21
4.7.2. Correlación	21
4.7.3. Calidad de agua de riesgo	22
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
5.1. Salinización en los suelos	23
5.1.1. pH	23
5.1.2. Conductividad Eléctrica	24
5.2. índices de salinidad	25
5.2.1. Estimación de salinidad NDSI	27
5.3. Correlación de Conductividad Eléctrica e Índices Espectrales	29
5.4. índices de calidad de agua de riego	31
5.4.1. RAS	31
5.5. RAS^o ajustado	33
5.6.-Carbonato de sodio residual (CSR)	34
5.7.-Salinidad Efectiva (SE)	34
5.8.-Salinidad Potencial (SP)	35
VI. CONCLUSIONES	36
XII. RECOMENDACIONES	37
XIII. LITERATURA CITADA	38

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Coordenadas de los puntos de muestreo del área de estudio	16
2. Índices espectrales	17
3. Relaciones iónicas	19
4. Clasificación de la CE empleadas para riego según el laboratorio de salinidad de riverside	20
5. Clasificación de la ce empleadas para riego según la FAO	20
6. Clasificación de las aguas de riego según su salinidad efectiva	21
7. Clasificación de las aguas de riego según su salinidad potencial	21
8. Resultados de análisis de agua	31

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Mapa de isoyetas	4
2. Localización área de estudio. Centro de Investigación, Producción, Extensión y Enseñanzas Agropecuarias (CIPEA) El Plantel	12
3. Diagrama de flujo del proceso de investigación	14
4. Comportamiento del pH	23
5. Comportamiento de la CE	25
6. Índices espectrales calculados	26
7. Comportamiento de la salinidad (NDSI)	28
8. Correlación de índices y conductividad eléctrica	29
9. Clasificación riverside	32
10. Clasificación FAO	33

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1. Base datos de muestreo in situ	43
2. Resultados de laboratorio del análisis de agua.	50
3. Resultados de análisis químicos del suelo (muestra 1)	51
4. Resultados de análisis químicos del suelo (muestra 2)	52
5. Resultados de análisis químicos del suelo (muestra 3)	53
6. Resultados de análisis químicos del suelo (muestra 4)	54
7. Área de estudio, centro de investigación, producción, extensión y enseñanza agropecuarias (CIPEA) el plantel	55
8. Muestreo in situ (CE y pH) a través de multiparámetro	55

RESUMEN

La salinidad en los suelos es un problema que restringe las actividades agrícolas, provoca la disminución de la capacidad productiva de los suelos y rendimiento de los cultivos, afecta la calidad ecológica del medio ambiente. Así, el objetivo del presente estudio es evaluar el impacto del riego en la salinización de los suelos del Centro de Innovación, Investigación, Producción y Enseñanzas Agropecuarias (CIPEA) El Plantel 2022-2023. Para ello, se realizó mediciones *in situ* tanto de Potencial de Hidrogeno (pH) y Conductividad Eléctrica (CE) en 19 puntos, en parcelas con cultivos a lo largo del tiempo, permitiendo observar el comportamiento de la salinidad y la incidencia del agua de riego que tuviera sobre el suelo. Se descargaron imágenes satelitales sentinel 2, donde se calculó Índice de salinidad (SI), Índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI), Índice de agua de diferencia normalizado mejorado (ENDWI), Índice de salinidad de diferencia normalizada (NDSI), Índice de sequía de diferencia normalizado (NDDI), donde, se realizó una correlación entre los datos recolectados en campo y datos extraídos de imágenes satelitales para determinar la incidencia de la calidad del agua de riego en el proceso de la salinización. Se tomaron cuatro muestras de suelo y una muestra de agua para hacer analizados en laboratorio, con los resultados se calculó, Relación de Absorción de Sodio (RAS) modificado, Carbonato de Sodio Residual (CSR), Salinidad Efectiva (SE) y Salinidad Potencial (SP). Se determinó que en los meses de verano existe un aumento del pH y CE, esto debido a que en los meses secos es donde se usa con más frecuencia el agua de riego. Con respecto a las muestras de agua la relación de adsorción de sodio sin corregir usando la clasificación del laboratorio de salinidad RIVERSIDE, se encuentra en mediana peligrosidad sódica, la restricción de uso es apta con precauciones, estas aguas se pueden usar en suelos de textura gruesa o con buena permeabilidad. Usando la clasificación que hace la FAO, la adsorción de sodio es de baja peligrosidad sódica con restricción de uso apta. Considerando estos resultados las afectaciones por salinidad se verán a lo largo del tiempo, también se recomienda recuperar los suelos mediante la aplicación de enmienda química o aplicación de técnicas de lavado.

ABSTRACT

Soil salinity is a problem that restricts agricultural activities, causes a decrease in the productive capacity of soils and crop yields, and affects the ecological quality of the environment. Thus, the objective of this study is to evaluate the impact of irrigation on soil salinization at the Center for Innovation, Research, Production, and Agricultural Teaching the Campus (CIPEA) El Plantel Experimentation and Validation Unit 2022-2023. To do this, in situ measurements of both Hydrogen potential (pH) and Electrical Conductivity (EC) were carried out at 19 points, in plots with crops over time, allowing the behavior of salinity and the incidence of irrigation water on the soil to be observed. Sentinel 2 satellite images were downloaded, where the Salinity Index (SI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Normalized Difference Water Index (ENDWI), Normalized Difference Salinity Index (NDSI), Normalized Difference Drought Index (NDDI) were calculated, where a correlation was made between the data collected in the field and data extracted from satellite images to determine the incidence of irrigation water quality in the salinization process. Four soil samples and a water sample were taken to be analyzed in the laboratory, with the results the modified Sodium Adsorption Ratio (RAS), Sodium Carbonate (CSR), Effective Salinity (SE) and Potential Salinity (SP) were calculated. It was determined that in the summer months there is an increase in pH and CE, this is because in the dry months is when irrigation water is used more frequently. Regarding the water samples, the sodium adsorption ratio, uncorrected using the RIVERSIDE salinity laboratory classification, is of medium sodium hazard, the restriction of use is suitable with precautions, these waters can be used in soils with a coarse texture or with good permeability. Using the classification made by the FAO, the sodium adsorption is of low sodium hazard with suitable use restriction. Considering these results, the effects of salinity will be seen over time, it is also recommended to recover the soils by applying a chemical amendment or applying washing techniques.

I. INTRODUCCIÓN

El recurso suelo es el más estudiado en el mundo, también es un recurso no renovable, pero utilizado para diferentes necesidades, la agricultura es principal sector de aprovechamiento, el cual, se asegura el alimento, tanto para consumo humano como animal, dependiendo como sea manejado agronómicamente se logra obtener buenos rendimientos de producción, ganancia de peso o producción de leche en la ganadería (Hernández, 2022).

En la actualidad, la salinidad en los suelos puede causar restricciones en las actividades agrícolas, donde no importa si son grandes o pequeñas áreas de terrenos, ya que provoca la disminución de la capacidad productiva de los suelos y bajos rendimiento de los cultivos, afecta la calidad ecológica del medio ambiente, principalmente afecta las zonas donde la evaporación superficial y la absorción de agua por las plantas exceden el nivel de las precipitaciones, lo que origina un movimiento ascendente de las sales disueltas en las aguas subterráneas, desplazándose estas hacia la superficie del suelo, degradando con frecuencia las condiciones estructurales y químicas de los suelos (Mata-Fernández *et al.*, 2014).

La presente investigación se realizó en la Unidad Experimentación y Validación Finca El Plantel (UEVP), la cual, pertenece a la Universidad Nacional Agraria, dicha investigación surge de resultados obtenidos de un estudio previo denominado Planificación de fertilización del área agrícola, Unidad de Experimentación y Validación el Plantel donde se encontró un aumento en el pH en los últimos años.

En la Unidad Experimentación y Validación Finca El Plantel constantemente se usa riego para los cultivos, por ellos, la investigación está basada en la evaluación del riego y si hay un aumento en la salinidad de los suelos, la cual, se dio a conocer mediante mediciones que se realizaron en campo, donde se midieron parámetros como conductividad eléctrica, pH, por otra parte, la descarga de imágenes satelitales donde se calcularon índices espectrales y por ultimo muestra de agua para su respectivos análisis.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el impacto del riego en la salinización de los suelos de la Unidad de Experimentación y Validación el Plantel desde noviembre del 2022 hasta agosto del 2023.

2.2. Objetivos específicos

- Describir el comportamiento a lo largo del tiempo de la salinidad del suelo en áreas irrigadas y no irrigadas del área de estudio.
- Correlacionar la variable de Conductividad Eléctrica con los índices espectrales de imágenes satelitales descargadas.
- Determinar la incidencia de la calidad de agua de riego en la salinidad del suelo del área de estudio.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Antecedentes

Morales (2021) Realizo estudio denominado Caracterización de la oferta, demanda, y calidad del agua subterránea para riego en El Plantel, realizó un análisis de calidad de agua para riego, donde se encontró que la calidad del agua según la clasificación de RIVERSIDE con respecto al RAS es clasificada C2-S1, lo cual, quiere decir que estas aguas se pueden usar para riego, pero con control para evitar la salinidad.

Hernández (2022) En su estudio denominado “Planificación de fertilización del área agrícola, unidad de experimentación y validación el plantel”, encontró que existe una carencia en los contenidos de materia orgánica, fósforo, nitrógeno, altos contenidos de potasio, calcio, magnesio, y CLC, y valores bajos en magnesio y zinc.

Rivera y Dolmos (2022) Evaluaron las propiedades físicas del suelo en la infiltración del agua en la finca El Plantel, determinando que la infiltración es un factor con variabilidad correspondientes a condiciones húmedas del suelo, propiedades fisicoquímicas del suelo y otros factores, donde al relacionarlas hubo influencia en la infiltración del agua y que las condiciones de humedad tuvieron influencia ya que las pruebas fueron realizadas en temporada de lluvia.

Alaniz y Cruz (2018) Evaluaron el patrón de humedecimiento del agua en el sistema de riego por microaspersión en La Finca El Plantel, donde concluyeron que los valores más altos en humedad y lámina infiltrada se dan en los extremos de laterales del sistema de riego por microaspersión Finca El Plantel esto se debe al efectos de la topografía, esto porque que la tubería que distribuye se encuentra en la zona más elevada del área y los parámetros hidráulicos muestran que influyen más en la uniformidad del traslape entre diámetro mojado.

Por último, Díaz y Herrera (2019) Realizaron análisis de uniformidad de intensidad de aplicación del agua de sistema de riego por aspersión donde concluyeron que el parámetro hidráulico que más influye en la uniformidad de aplicación es el solapamiento existiendo un 47.45% para el marco de separación de 18x18 m y mediante los mapas de isoyetas se observa

que la distribución espacial de la intensidad de aplicación es buena ubicada en tres puntos norte, sureste y noreste.

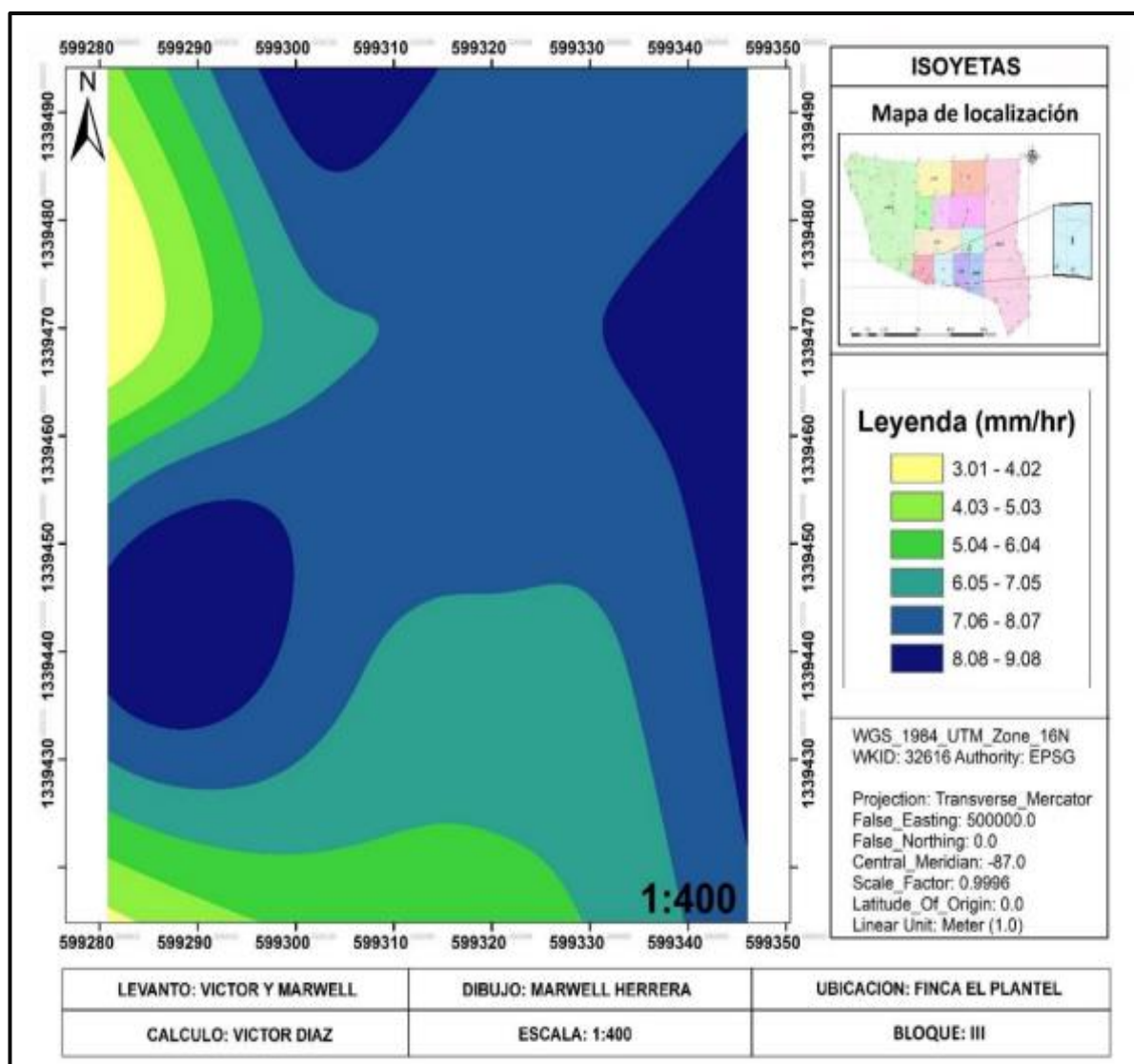


Figura 1. Mapa de isoyetas Díaz Quiroz & Herrera Pérez, (2019)

3.2. Bases conceptuales

El suelo

A como lo señala Navarro y Navarro (20013) El suelo (*del latín Sollum= piso*) es un recurso natural único, irremplazable y vital para todos los organismos de la tierra. Es principalmente la capa fina de la corteza terrestre usada por las raíces de las plantas, las cuales, buscan soporte,

agua y nutrientes. Este recurso se forma en una capa dura llamado material parental o roca sólida, también en sedimentos no consolidados bajo la influencia de plantas, microorganismos, animales del suelo, agua y aire.

Sistemáticamente el suelo funciona como soporte de las plantas, por otra parte, funciona como reservas de agua y también sirve para el funcionamiento de otros elementos que son necesarios para el desarrollo de la vegetación. Se le conoce por ser el hábitat de gran cantidad de seres vivos como pequeños animales, insectos, microorganismos (hongos y bacterias) lo cual, tienen influencia en la vida y desarrollo de las plantas de una forma u otra. (Navarro y Navarro, 2013)

El suelo se considera un sistema muy abierto, también dinámico, este se constituye por tres fases. “La fase sólida la constituyen los componentes inorgánicos y los orgánicos, donde se forman espacios (poros, cámaras, galerías, grietas y otros) en el que se hallan las fases líquida y gaseosa (principalmente oxígeno y dióxido de carbono)” (Forsythe, 2000 citado por Hernández, 2021).

“El suelo exhibe una serie de propiedades físicas, químicas, físico-químicas y biológicas que determinan su uso y manejo. Las propiedades derivadas de las fases sólidas, y líquidas, y sus interacciones afectan el comportamiento general del suelo” (Adams, 1995, p.121).

Factores formadores de suelo

Según Boul *et al.*, 1980 citado por Ramírez, (1997). Cuando se habla de factores se refiere a los "factores o agentes, fuerzas o condiciones que influyen, han influido o pueden influir sobre la formación del material suelo, con la potencialidad de modificarlo". Entre estos factores ambientales externos están las siguientes:

Organismos: Entre ellos podemos identificar macroorganismos, mesoorganismos y microorganismos, que son o pueden ser de origen vegetal o animal. Estos influyen al suelo química y físicamente donde aportan materiales orgánicos como suministro de nutrientes, transformando los diferentes compuestos y realizando cambios en la mecánica de sus agregados.

Clima: Uno de los factores ambiental más activo y de mayor trascendencia en cuanto al desarrollo de los suelos; actuando acorde al grado de intensidad y frecuencia. Entre los factores climáticos más representativo está la precipitación, la temperatura, los vientos y los fenómenos

de evapotranspiración. Estos factores influyen sobre el pH, el contenido de materia orgánica, la formación de horizontes en los suelos y el funcionamiento microbiológico, etc.

Material parental: Es el material de origen de la formación de suelo, teniendo como principio la influencia del clima, los organismos que son los factores más activos, los cuales, lo convierte y se obtiene como resultado un tipo de suelo específico. De este proceso se obtienen las propiedades físicas como color, textura, profundidad, mineralogía, etc. Por otra parte, las propiedades químicas, fertilidad, pH, y el porcentaje de materia orgánica, etc.

Relieve: Nos referimos a las formas del terreno y la pendiente, influye directamente en depósitos o arrastre de materiales, los cuales, determinan la profundidad del suelo la concentración de sales y la degradación o erosión etc.

Tiempo: Es la edad en donde los factores formadores han intervenido para el desarrollo del suelo. A través del tiempo se pueden conocer suelos jóvenes, maduros o altamente desarrollados. De la composición de todos los factores antes mencionados, se da origen a los suelos, en los cuales, surgen una serie de procesos generales que van a caracterizar a cada uno.

3.3. Propiedades del suelo como indicadores de salinidad.

Salinidad del suelo

Podemos entender a la salinidad como una degradación química del suelo que puede cambiar significativamente en su comportamiento físico. Las sales presentan en el suelo una distribución heterogénea siendo un sistema complejo, esta es variable en el espacio y tiempo a diferentes escalas. El comportamiento del contenido de sales es variable y cambia con respecto a la estación del año, incrementando su concentración en la temporada de seca o verano, lo cual, influye directamente en el estado físico de la superficie del suelo, permitiendo la no filtrabilidad del agua en el suelo. (Sumner y Naidu, 1998 citado por Badaracco, 2021)

El proceso de la salinización es generalmente natural que se da en los suelos, donde se acumulan sales solubles en agua. La sal con mayor predominio que causa este fenómeno es el cloruro de sodio (ClNa), por otra parte, también es de conocimientos otras sales como el Cloruro de Potasio CLK. Con respecto a la salinidad de los suelos, se debe tomar en cuenta que pueden ser primaria (de origen natural), es decir, ya sea porque el material parental o roca madre es salina, también que la capa freática aporte de sales, o sales cíclicas marinas. Por el contrario, puede ser por otra

causa a considerar que es la salinización de origen secundario, es decir, la salinidad aportada por la acción del hombre. En este caso el uso de riego con aguas de mala calidad o la fertilización con sales puede dar lugar a procesos de salinización inducidos sobre el perfil del suelo. (Moreno y Ibáñez, s. f.)

Conductividad eléctrica del suelo

Una de las variables a medir para conocer si hay indicios de afectaciones por salinidad en los suelos es realizar medición de la CE, la cual, se puede medir en campo utilizando instrumento que mida la conductividad eléctrica. La CE del suelo es una medida indirecta de la concentración de sales. Hay que tener en cuenta que generalmente el suelo tiene disueltas sales, por lo que se puede encontrar baja conductividad eléctrica, pero nunca nula. Las sales tienen ventajas sobre los organismos que las consumen disueltas en el agua, sin embargo, el tener un exceso de sales va afectar tanto al crecimiento de las plantas como a la actividad de los microorganismos del suelo. (Cremona y Enriquez, 2020)

La conductividad eléctrica también varía en un amplio rango dependiendo de varios factores, como el material de origen roca madre o los factores que forman el suelo. Ejemplo de esto es la alta conductividad eléctrica en zonas áridas, donde estas sales naturales del suelo no pudieron ser lavadas por las lluvias en los procesos de formación de suelos. (Cremona y Enriquez, 2020)

pH en el suelo

Por otra parte, otra variable que puede ayudar a detectar salinidad mediante mediciones en campo es el pH, el cual, es un parámetro que nos indica el grado de acidez o que grado de alcalinidad tiene un suelo estando en contacto con el agua. Este indicador ambiental que es generado en la solución del suelo se encarga de condicionar todas las reacciones químicas y biológicas que en ella ocurren. Con esta medición se conoce la concentración del ion Hidrógeno en la solución del suelo con un rango desde el 0 al 14 a mayor valor, menor es la concentración. De esta forma, se debe considerar que si un suelo tiene un pH de 7 es neutro, con rangos mayores (7 a 14) se lo considera un suelo alcalino y con valores menores (7 a 0), se lo denomina suelo ácido. (Cremona y Enriquez, 2020)

Se encuentran suelos que naturalmente pueden tener un pH que varíe entre 3,5 y 10. Estos valores son asociados al material de origen en el suelo y de la rapidez con la que los procesos formadores de suelo, mediante la interacción del clima, la biota conformada por la vegetación y organismos del suelo, y el relieve, a lo largo del tiempo actuaron sobre él. A largo plazo el suelo tiende a reducir el pH en su desarrollo natural. Por lo tanto, en zonas secas donde los suelos son jóvenes o poco evolucionados, su pH suele estar por encima de 7, mientras que en las zonas más húmedas se encuentra por debajo de ese valor. (Cremona y Enriquez, 2020)

La teledetección como herramienta para conocer la salinidad en los suelos

Mediante la teledetección se puede conocer si hay salinidad en los suelos, se descargan imágenes satelitales de un sitio determinado, dichas imágenes son procesadas para conocer índices que indican la presencia de salinidad, mediante la combinación de bandas espectrales tales como B2 color azul, la B4 color rojo, B8 infra rojo cercano y la B11 infrarrojo de onda corta.

Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son compuestas por una matriz digital de puntos de píxel, que se asemejan a una fotografía, los sensores montados a bordo de un satélite que órbita alrededor de la tierra en el espacio son los encargados de capturarlas. Mientras los satélites avanzan por su órbita observa toda la superficie con detectores que registran la reflexión de la energía electromagnética, emisiones, temperatura, o variables de elevación topográfica o geofísica. Estas imágenes son diferenciadas por el número de bandas, la región del espectro electromagnético que registra cada banda, el tamaño de la escena, su resolución espacial (nivel de detalle) y su resolución temporal (tiempo que tarda en recapturar la información de una zona). (Martínez y Díaz, 2005 citado por López, 2021)

Satélite Sentinel

El Programa de Observación de la Tierra de la Comisión Europea (Copernicus) este anteriormente fue conocido como Monitoreo Global para el Medio Ambiente y la Seguridad (GMES), es coordinado con la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Comisión Europea (COM), teniendo como objetivo principal la observación del medio ambiente, también reunir, almacenar datos, analizarlos y tomar de decisiones eficaces de los productos elaborados. Por otra parte, hay que destacar que el Componente Espacial Copernicus (CSC) engloba a la familia Sentinel

de seis series de misiones satelitales, de estas ya cuatro se han lanzado y los restantes será a partir de 2025. (Chiri, 2023)

Las misiones llevan consigo una variedad de tecnologías, entre las que se destacan instrumentos de imágenes de radar y multiespectrales que servirán para el monitoreo terrestre, oceánico y atmosférico: Para la descarga de imágenes se utiliza Sentinel -2, la cual, está compuesta por constelación de dos satélites de imágenes ópticas, es utilizada generalmente en la observación global de la tierra en alta resolución. Dicha constelación de satélite de Sentinel-2A se lanzó el 23 de junio de 2015 y Sentinel-2B lo siguió el 7 de marzo de 2017.

El **Índice de Salinidad (Salinity Index: SI)**, “Utiliza como principal las combinaciones de bandas espectrales, estas bandas son sensibles a las propiedades reflectantes. Este índice de salinidad colabora a detectar y cuantificar la presencia de salinidad en la superficie del suelo” (Chiri, 2023).

El **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)** “Ampliamente es una medida muy usada en teledetección para estimar, evaluar y monitorear la densidad y el estado de la vegetación. También, puede indicar indirectamente problemas de salinidad” (Chiri, 2023).

Finalmente, el **Índice de Salinidad de Diferencia Normalizada (NDSI)** “Este es uno de los índices espectral usado en teledetección para identificar y cuantificar la salinidad del suelo. También, se calcula la diferencia normalizada entre bandas específicas del espectro electromagnético que son sensibles a las propiedades de los suelos salinos” (Manrique Centeno, 2021 citado por Chiri, 2023).

Calidad de agua de riego

Para conocer la calidad de agua de riego se necesita realizar análisis del agua, este ayudara a conocer y calcular las relaciones iónicas que serán las principales bases para saber si se cuenta con el agua indicada para el riego de los cultivos.

Se puede hablar de calidad de agua de riego, cuando se trata de calidad en relación con salinidad. Sin embargo, hay otros criterios de calidad. Pero refiriéndonos a salinidad, un factor importante para la salinidad del suelo es el riego, cuando no es manejado correctamente. La calidad de agua de riego es definida a partir de tres criterios esenciales: Salinidad en sentido restringido,

sodicidad y toxicidad. Por cada caso, lo que se toma en cuenta es el riesgo potencial del uso del agua. (Pizarro, 1996)

Relación de adsorción de sodio (RAS):

“El Laboratorio de salinidad de RIVERSIDE (U.S.) clasifica la peligrosidad de sodificación del suelo por el agua de riego en función de su índice RAS” (Acosta y Salvadori, 2017).

Relación de adsorción de sodio corregido (RAS°)

“En 1987, la FAO demostró que el índice RAS se encuentra sobrestimado por lo que ellos propusieron calcular el RAS°, realizando una corrección al valor del Calcio (Ca°), el cual, fue introducido en la fórmula” (Acosta y Salvadori, 2017).

Carbonato de sodio residual (CSR)

Es llamado también como Índice de Eaton, la sodificación del suelo es un peligro agravado y se acelera cuando está en presencia de carbonato o bicarbonato de sodio en el agua. Entre las reacciones que se generan están las siguientes: En suelos ácidos: $\text{Coloide-H} + \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Coloide-Na} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$; En suelos neutros y alcalinos: $\text{Coloide-Ca} + 2 \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Coloide-Na}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Estas reacciones son favorecidas cuando aumenta la concentración de la solución del suelo por evapotranspiración del agua. Para estimar el peligro de sodificación del suelo por el contenido de carbonatos y bicarbonatos del agua en relación con el sodio, se utiliza el parámetro llamado Carbonato de Sodio Residual. (Acosta y Salvadori, 2017)

Salinidad Efectiva (SE):

Esta parte es una valoración más real del peligro que muestran las sales solubles, lo cual, se presentan en el agua para riego, cuando pertenecen a la solución del suelo, estas toman en cuenta la precipitación de las sales menos solubles (CaCO_3 , MgCO_3 y CaSO_4), las cuales, dejan de precipitar cuando aumenta de la presión osmótica de la solución del suelo. (Acosta y Salvadori, 2017)

Salinidad Potencial (SP):

La SP cuando en el suelo la humedad utilizable es menor al 50% las sales últimas que sobran en solución son Cl^- y SO_4^{2-} . Este índice de SP es el más adecuado para conocer el peligro de

estas sales, que son las encargadas de aumentar la presión osmótica. En este caso, la salinidad potencial indica la concentración de cloruros y sulfatos que suelen causar afectaciones a los cultivos tomando en cuenta la permeabilidad del suelo. (Acosta y Salvadori, 2017)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

La presente Investigación se realizó en el Centro de Innovación, Investigación, Producción, Extensión y Enseñanza Agropecuaria (CIPEA) El Plantel está ubicado en el departamento de Masaya, Nicaragua, pertenece a la Universidad Nacional Agraria (UNA). Está se encuentra ubicado en carretera Tipitapa-Masaya kilómetro 30. Con respecto a los suelos pertenecen a la serie de Zambrano del departamento de Masaya en las coordenadas de latitud norte $12^{\circ} 07' 30''$ 'N y longitud oeste $86^{\circ} 05' 27''$. La Unidad de Experimentación y Validación (CIPEA) El Plantel, tiene un área total de 160 ha equivalente a 222 manzanas, el área destinada para uso agrícola es de 15.27 ha que equivale a 22 manzanas (Hernández, 2022).

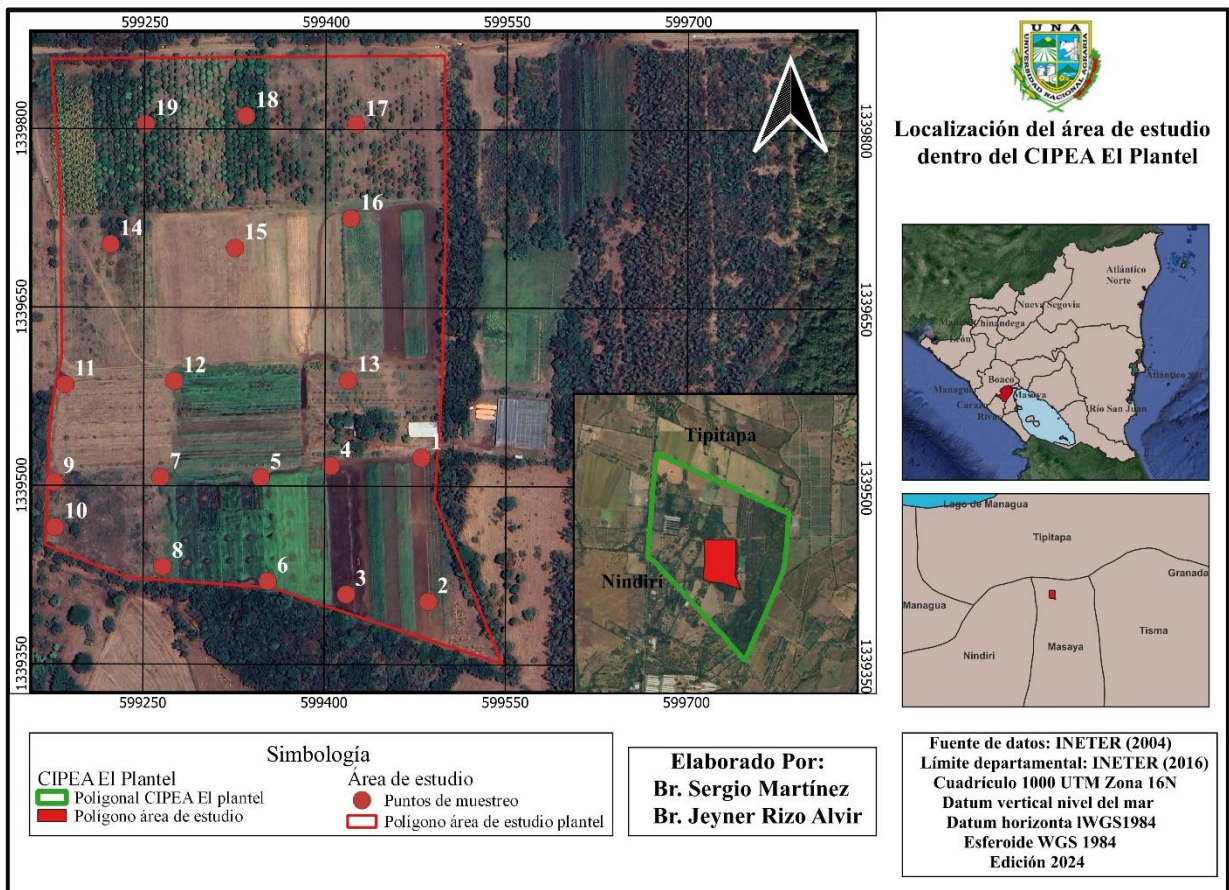


Figura 2. Localización área de estudio. Centro de Investigación, Producción, Extensión y enseñanzas Agropecuarias (CIPEA) El Plantel

4.2. Condiciones climáticas

EL Centro de Investigación, Producción, Extensión y Enseñanza Agropecuarias (CIPEA) El Plantel., se sitúa en la zona baja del corredor seco, las precipitaciones oscilan entre 800 a 1000 mm/año, la mayor parte de estas precipitaciones suelen ser desde mayo a octubre, presentando un periodo muy corto de sequía a mediados de julio y agosto, se le denomina Canícula. La temperatura media es de 26.6 C⁰, pertenece a una zona de vida de bosque seco tropical, una evapotranspiración potencial de 1400 mm. (Somarriba, 1989, citado por Hernández, 2022)

4.3. Suelo

Estos suelos pertenecen a la serie Zambrano considerados suelo bien desarrollados a moderadamente superficiales, poseen un buen drenaje, un subsuelo que presenta arcillas con coloración pardo rojizo oscuro, que se encuentran en un estrato duro continuo y con fragmentos. Estos suelos se desarrollaron durante las expulsiones de ceniza de los volcanes que también descansa sobre arcilla, toba parcialmente meteorizada o arena y escoria cementada. Estos suelos generalmente tienen una permeabilidad moderada, su capacidad de humedad es moderada a moderadamente elevada, y una zona radicular moderadamente profunda a moderadamente superficial. Es un lugar de vida transicional entre Bosque Tropical Seco y Bosque Subtropical Húmedo. Su vegetación en su tiempo fue caracterizada con una moderada densidad, pero actualmente la deforestación a avanzado, y los suelos están siendo ocupados para cultivos y pastos. (Catastro, 1971 citado por Morales, 2021)

4.4. Geología

En el área estudiada están presentes lavas de basalto, piroclastos consolidados y semiconsolidados, y depósitos aluviales muy resientes. Los piroclastos son de tiempo cuaternario y también hay depósitos aluviales que se establecen sobre el basalto, así como depósitos de cenizas finas y medias depositadas de erupciones volcánicas recientes que se presentan dentro de los perfiles de suelos con cierto grado de consolidación conocidos como talpetate. (Catastro, 1971 citado por Morales, 2021)

4.5. Hidrogeología

El área de estudiada es perteneciente al acuífero La Sierra, este acuífero es el más productivo encontrado en nuestro país. Hidrogeológicamente lo que caracteriza a este acuífero y lo más predominante es que son: acuífero poroso, alternados con acuitardos del grupo las Sierras con material principal de los depósitos aluviales y de tiempo cuaternarios que son de origen volcánicos. (Krasný y Hecht, 1998 citado por Morales, 2021)

4.6. Diseño de la investigación

El diseño de investigación establece las bases metodológicas necesarias para alcanzar los objetivos de este estudio, cuyo propósito es evaluar el impacto del agua de riego en la salinidad de los suelos del CIPEA El plantel, Cabe destacar, que la investigación es tipo correlacional y este diseño integra un enfoque cuantitativo y espacial.

Para la comprensión de las diferentes fases, se elaboró un diagrama de flujo (figura 2) que sintetiza las actividades principales de esta investigación. Este esquema permite visualizar de manera clara cada proceso de la investigación.

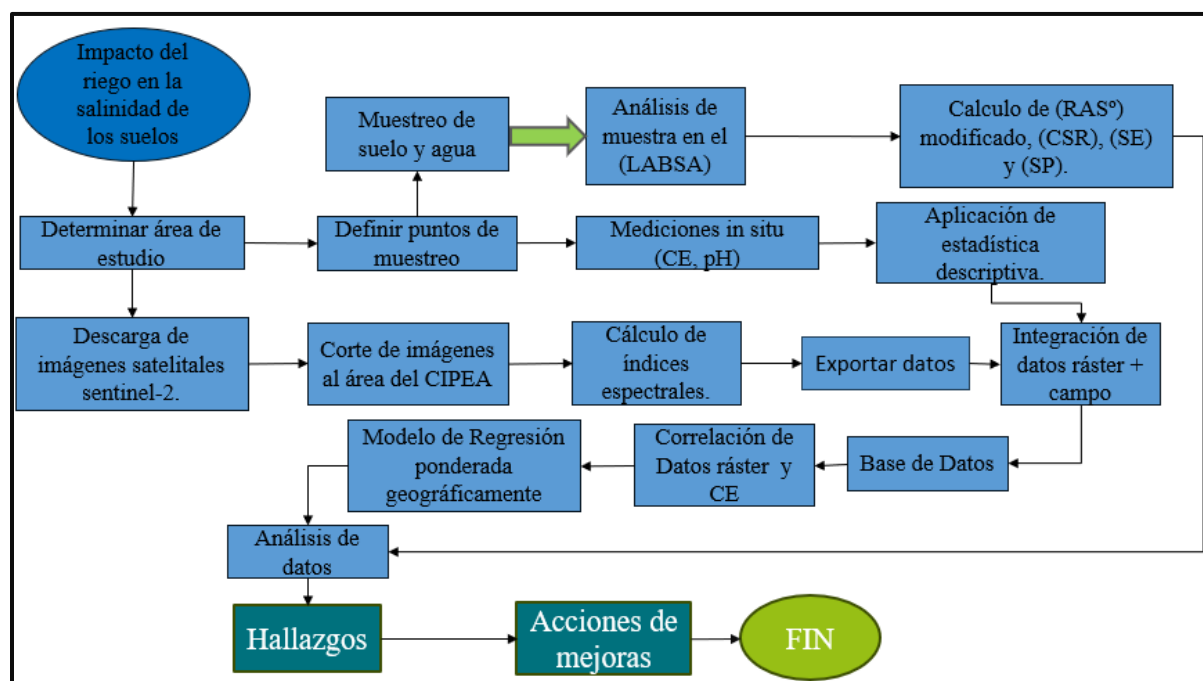


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de investigación

4.6.1. Variables evaluadas

Las variables evaluadas están ligadas de acuerdo con los objetivos planteados. Así, para el primer objetivo específico describir el comportamiento de la salinidad a lo largo del tiempo, la variable que interesa es la salinidad del suelo. Los indicadores de esta variable son: potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE).

Por parte del segundo objetivo de correlacionar la salinidad las variables evaluadas se encuentran pH, CE, Índice de Salinidad (SI), Índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI), Índice de agua de diferencia normalizado mejorado (ENDWI), Índice de salinidad de diferencia normalizada (NDSI), Índice de sequía de diferencia normalizado (NDDI).

Del tercer objetivo que es determinar la calidad del agua se desglosa la variable incidencia de la calidad de agua de riego en la salinidad del suelo. Asimismo, a través del análisis de laboratorio del agua de riego se calcularon la Relación de Absorción de Sodio Modificado (RAS°), Carbonato Sódico Residual (CSR), salinidad efectiva (SE) y la Salinidad Potencial (SP).

4.6.2. Salinidad del suelo

La salinidad del suelo se determinó mediante mediciones *in situ*, tanto de pH como la Conductividad Eléctrica (CE) en una solución de suelo a tres profundidades, las cuales, fueron de 10 cm, 20 cm y 30 cm. Las mediciones se realizaron en cinco giras de campo, se definieron 19 puntos de muestreo en el área de estudio, se tomó en cuenta el tipo de uso actual del suelo para la selección, por otra parte, se tomó en cuenta la ubicación de los aspersores de riego y áreas que no se irrigaba.

Por otra parte, se realizaron mediciones en meses secos y húmedos, esto para validar el comportamiento de las variables en los distintos escenarios. Cabe destacar que, se tomó de manera puntual, cuatro muestras de suelo y se llevaron a laboratorio para sus respectivos análisis.

En la recolección de datos se utilizaron diferentes métodos, todo ello en dependencia de la naturaleza del parámetro a medir y analizar. El pH y la conductividad eléctrica del suelo a diferentes profundidades se efectuó a través de mediciones *in situ* usando multiparámetro de

campo. Para ello, se extrajo una muestra de suelo de 15 cm³ a una profundidad de 10 cm, 20 cm, 30 cm ya establecidas y se aplicó agua destilada correspondiente a 2.5 veces el volumen de la muestra de suelo (37.5 cm³) la metodología utilizada es la saturación de base.

Cuadro 1. Coordenadas de los puntos de muestreo del área de estudio

Coordenadas de los puntos de muestreo del área de estudio					
ID	E	N	ID	E	N
1	599480	1339524	10	599177	1339465
2	599486	1339403	11	599185	1339585
3	599418	1339409	12	599275	1339588
4	599405	1339517	13	599419	1339589
5	599347	1339507	14	599421	1339725
6	599353	1339420	15	599425	1339804
7	599264	1339507	16	599334	1339811
8	599266	1339432	17	599251	1339804
9	599176	1339503	18	599222	1339703
			19	599325	1339700

N= Coordenada Norte (Latitud), E= Coordenada Este (Longitud).

4.6.3. Índices de Salinidad

Se usó Sentinel 2, para la descarga de imágenes satelitales, las cuales, se toma en cuenta las fechas cercanas a las mediciones tanto del pH y CE *in situ*. Para la descarga de las imágenes se utilizó Google Earth Engine, que es una plataforma que nos permite realizar análisis de datos medioambientales, de esta misma manera, se utilizó la herramienta *Earth Engine Code Editor*. Se descargaron las imágenes para posteriormente realizar los cálculos de los índices los que se detallan en el cuadro 2 índices de Salinidad.

Cuadro 2. Índices espectrales

ID	Índice espectral	Expresión de cálculo	Referencia
1	Índice de salinidad (SI)	$SI = \frac{(B2 - B4)}{B2 + B4}$	Khan <i>et al.</i> (2005) citado por García-Reyes <i>et al.</i> , (2020)
2	Índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI)	$NDVI = \frac{(B8 - B4)}{B8 + B4}$	Guida-Johnson, (2021)
3	Índice de agua de diferencia normalizado mejorado (ENDWI)	$ENDWI = \frac{(B8 - B11)}{B8 + B11}$	Chen <i>et al.</i> (2005) García-Reyes <i>et al.</i> , (2020)
4	Índice de salinidad de diferencia normalizada (NDSI)	$NDSI = \frac{(B4 - B8)}{B4 + B8}$	Asfaw et al., (2018) citado por Centeno 2021
5	Índice de sequía de diferencia normalizado (NDDI)	$NDDI = \frac{(NDVI - ENDWI)}{NDVI + ENDWI}$	Gu et al. (2007) citado por Reyes et al. (2021)

B2: banda 2 color azul (0.45-0.52 μm), B3: banda 3 color verde (0.54-0.57 μm), B4: banda 4 color rojo (0.65-0.68 μm), B8: infrarrojo cercano o NIR (0.78-0.9 μm), B11: infrarrojo de onda corta o SWIR (1.56-1.65 μm).

Como parte de la recolección de datos las imágenes satelitales Sentinel 2 fueron extraídas de la plataforma Copérnico, accediendo a *Google Earth Engine* realizando un preprocesamiento, donde cada imagen se filtró por fecha correspondientes a 15 días, 7 días antes y 7 días después de cada muestreo y por nubosidad a menos de 30%, luego se realizó un enmascaramiento de nubes utilizando la banda QA60 para luego hacer la estimación de los índices utilizados para evaluar la salinidad en el suelo.

4.6.4. Correlación

Obtenido los datos de las mediciones in situ de conductividad eléctrica y los cálculos de índices espectrales se procedió a realizar una correlación entre estas variables. Esto para determinar los índices que están relacionados con salinidad. Los cual, ayuda a identificar que variables tienen un impacto considerable para ser usadas en el modelo de Regresión Ponderada Geográficamente.

4.6.5. Incidencia de la calidad de agua de riego en la salinidad de los suelos.

Para conocer la calidad de agua de riego y determinar si el agua de riego contribuye al aumento de la salinidad, se recolectó una muestra de agua del pozo que se encuentra en el área de estudio y que irriga las áreas. Dicha muestra de agua fue remitida al Laboratorio de Suelo y Agua (LABSA). Posteriormente, obtenido los resultados se calcularon las relaciones iónicas, entre las cuales están: Relación de adsorción de sodio corregido o modificado (RAS^o), Relación de adsorción de sodio sin corregir (RAS), Carbono Sódico Residual (CSR), Salinidad Efectiva (SE) y Salinidad Potencial (SP). En el cuadro número 3 se detallan las relaciones iónicas y su fórmula para realizar los cálculos.

Cuadro 3. Relaciones Iónicas

ID	Relación iónica	Expresión matemática	Referencia
1	Relación de absorción de sodio (RAS) modificado	$RAS^o = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca^o + Mg)}{2}}}$	Pizarro, (1996)
2	Carbonato Sódico Residual (CSR)	$CSR = (CO_3^{-2} + H_2CO_3^{-1}) - (Ca^{+2} + Mg^{+2})$	Aguilar <i>et al.</i> , (2019)
3	Salinidad Efectiva (SE)	$SE = \sum cationes - (CO_3^{-2} + H_2CO_3^{-1} + SO_4^{-2})$	Gómez <i>et al.</i> , (2015)
4	Salinidad Potencial (SP)	$SP = Cl^{-1} + \frac{1}{2}SO_4^{-2}$	Balmaceda <i>et al.</i> , (2006)

En el caso de la recolectó muestra de agua al pozo de la unidad, la cual se remitió al laboratorio para su debido análisis. En este particular, se realiza purga del pozo por al menos cinco minutos y luego, la muestra se preserva con hielo hasta su traslado al laboratorio.

4.6.6. Clasificación de la Conductividad Eléctrica

Richards (1954), realizo una propuesta ante el laboratorio de Salinidad de RIVERSIDE (E.E.U.U.), donde sugiere clasificar el peligro de salinización de los suelos según la conductividad eléctrica del agua utilizada para el riego tomando en cuenta el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Clasificación de la CE empleadas para riego según el Laboratorio de Salinidad de Riverside.

Clase	Peligro de Salinización	CE (mS/cm)	Restricciones de uso
C 1	Bajo	< 0,25	Apta
C 2	Moderado	0,25-0,75	Apta
C 6	Medio	0,75-2,25	Apta con precauciones
C 4	Alto	2,25-4	Apta con precauciones
C 5	Muy alto	4-6	No apta
C 6	Excesivo	>6	No acta

Ayres y Westcott (1985) cita por Acosta y Salvadori, 2017 proponen ante la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y alimentación (FAO), que se debe clasificar el peligro de salinización de los suelos según la conductividad eléctrica del agua utilizada para el riego de acuerdo con la siguiente tabla.

Cuadro 5. Clasificación de la CE empleadas para riego según la FAO

Clases	Riesgo de salinización	C.E (mS.cm ⁻¹ a 25°C)	Restricción de uso
C 1	Sin riesgo	< 0,7	Apta
C 2	Riesgo moderado	0,7-3	Apta con precauciones
C 3	Riesgo alto	>3	No apta

Cuadro 6. Clasificación de las aguas de riego según su Salinidad Efectiva

Salinidad Efectiva (mmolc. L ⁻¹)	Restricción de uso
< 3	Apta
entre 3 y 15	Apta con precauciones
>15	No apta

Cuadro 7. Clasificación de las aguas de riego según su Salinidad Potencial

Salinidad Potencial (mmolc. L ⁻¹)	Restricción de uso
< 3	Apta
entre 3 y 15	Apta con precauciones
>15	No apta

4.7. Análisis de datos

4.7.1. Salinidad en los suelos

Se realizó estadística descriptiva para analizar el comportamiento de las variables medidas en campo, usando la herramienta Rstudio se obtuvieron los datos estadísticos tanto del pH y CE de una solución de suelo. Entre los datos estadísticos están: la media, la mediana y desviación Estándar. Dicho análisis estadístico indica el comportamiento de las variables evaluadas.

4.7.2. Correlación

El análisis va centrado en establecer una relación de regresión para las diferentes profundidades (10 cm, 20 cm y 30 cm) que permitieran comparar las variables de los datos de campo y los

índices espectrales. Una vez identificado los índices que se relacionan con Conductividad Eléctrica se aplicó el modelo de Regresión Ponderada Geográficamente (GWR) esto con el fin, de analizar como varían las relaciones entre las variables considerando las características del área de estudio.

4.7.3. Calidad de agua de riesgo

Con los datos obtenido de los análisis de agua realizado en laboratorio, se realiza los cálculos para conocer las relaciones iónicas. Después de la realización de los cálculos y teniendo los valores, se evalúan y se comparan con las clasificaciones de la calidad de agua de riego propuestas por la FAO y por el Laboratorio de Salinidad *Riverside*.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Salinización en los suelos

5.1.1. pH

En la Figura 4, se presenta el comportamiento del pH a través de las mediciones realizadas en cinco momentos, el comportamiento abarca los meses de noviembre, febrero, marzo, abril y agosto.

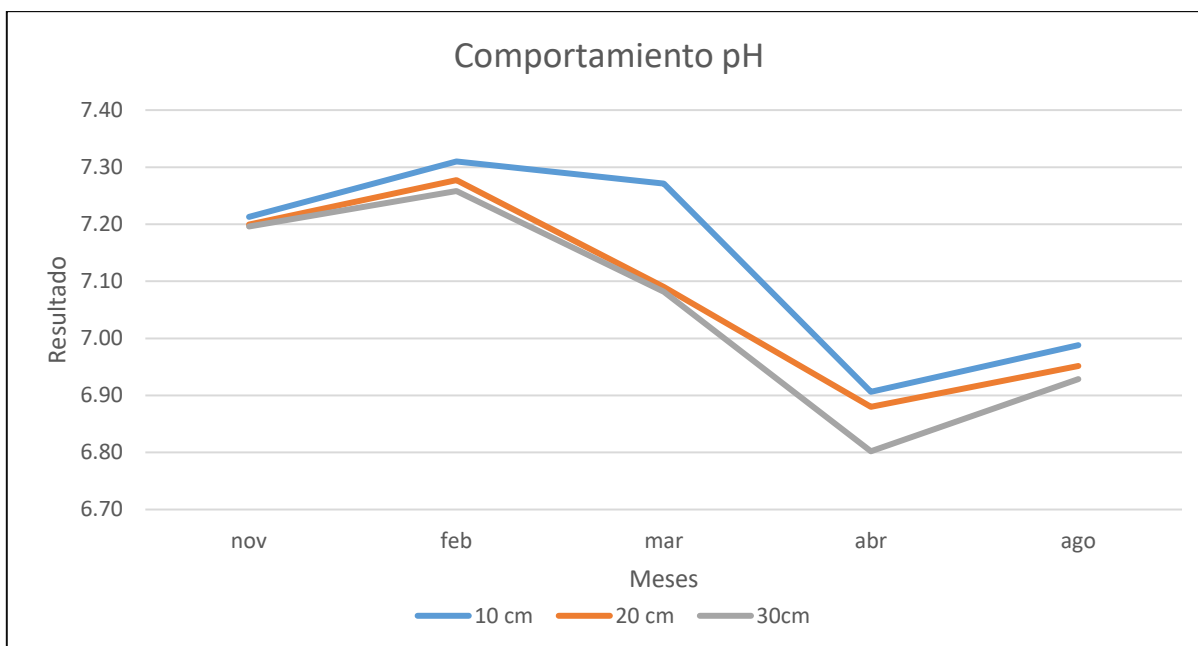


Figura 4. Comportamiento del pH

El comportamiento del pH a través de las mediciones se observa un patrón que desde noviembre hay un aumento en cuanto se acerca a los meses secos, cabe destacar que esa época se empieza a disminuir las precipitaciones. A medida que se acercan los meses más secos los rangos de pH por mes aumentan, siendo estos meses donde las precipitaciones son pocas o nulas, es donde con mayor frecuencia es aplicado el riego por aspersión.

En el libro denominado química del suelo, se destaca que el pH del suelo, en regiones donde predomina exceso de lluvia, son susceptibles de acidificarse, debido a una elevada lixiviación que elimina cationes básicos de los horizontes del suelo. Por el contrario, en regiones donde cae poca lluvia y existe una elevada evaporación esto puede dar lugar a la salinización del suelo y aumento del pH. (Domenech, 2000)

Las reacciones débiles de disociación e hidrólisis causan una condición alcalina (valores de pH altos) por lo que los materiales húmicos experimentan una descomposición para formar humatos de Na altamente móviles (Pawluk 1982 citado por Miller y Brierly). La materia orgánica en el suelo es soluble y se dispersa fácilmente en soluciones de NaOH a pH alto. (Russell 1973 citado por Miller y Brierly)

5.1.2. Conductividad Eléctrica

En la figura 5, se presenta el comportamiento de la variable conductividad eléctrica, la cual, presenta resultados de las mediciones realizadas a tres profundidades.

Como se puede observar en la figura tres, la profundidad de 10 cm gráfico A la CE va en aumento desde noviembre hasta agosto, la conductividad empieza entre 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en noviembre incrementando de manera constante, alcanzando un valor promedio superior de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el mes de agosto. En abril y agosto se muestra mayor variabilidad de las mediciones y bajas en los de más meses, siendo así indica que hay fluctuación en la salinidad del suelo en esta profundidad.

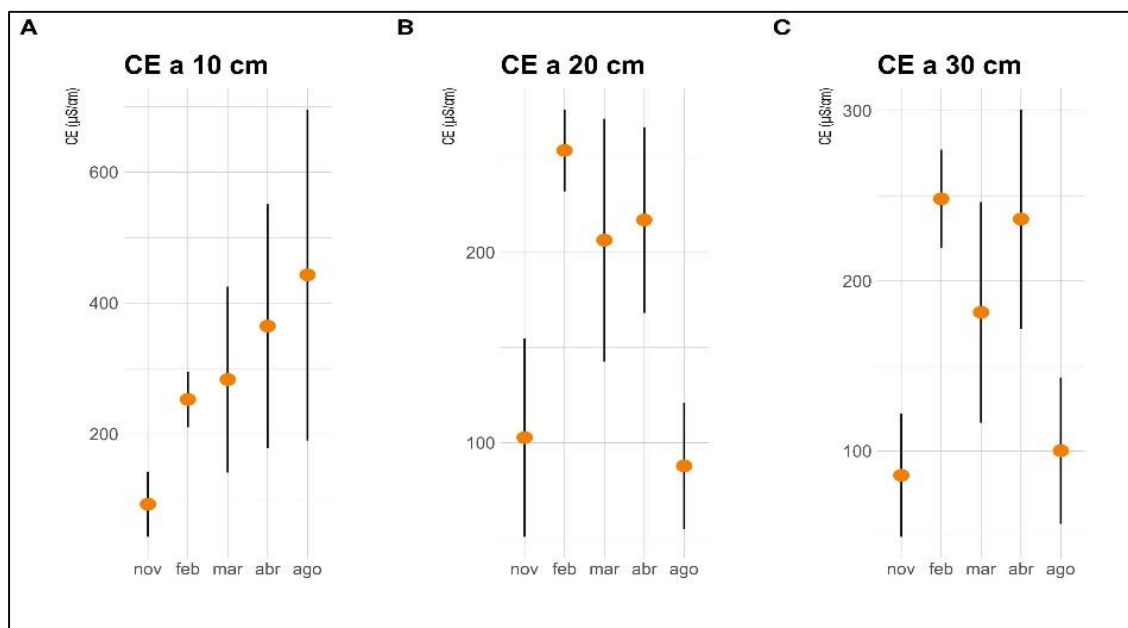


Figura 5. Comportamiento de la CE

Para esta profundidad de 20 cm se muestra que la CE empieza desde 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en noviembre fluctuando entre 100 y 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ siendo menor en comparación a la profundidad de 10 cm, en los meses que siguen se observa un aumento de la CE entre marzo y abril, siendo los valores de agosto los más bajos

En esta profundidad se observa una fluctuación entre 100 a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ siendo la más baja entre las profundidades evaluadas, en esta profundidad la variable es menor. La CE es más alta en la profundidad de 10 cm y va disminuyendo en medida que la profundidad aumenta.

La acción de la evaporación, el contenido de agua empieza a disminuir, mientras que las concentraciones de sales permanecen constantes, ni la evaporación del agua del suelo ni su absorción por las raíces eliminan las sales. Esto quiere decir que a medida que disminuye la humedad aumenta la concentración de sales. (Pizarro, 1996)

5.2. índices de salinidad

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los cálculos de cada índice para la identificación de salinidad en el área de estudio.

Para el índice de Salinidad de Diferencia normalizada (NDSI) (gráfico A de la figura 6), aquí se muestran valores negativos, se observa un aumento desde el mes de noviembre al mes de marzo

y luego vuelve a disminuir en abril a agosto, esto sugiere una baja salinidad con una tendencia de aumento conforme pasa el tiempo.

En el periodo seco la salinidad es mayor representativamente, ya que se presenta un aumento de la conductividad donde las sales están más concentradas, manifestando mayor potencial, mientras que en los meses húmedos se encuentran diluidas. (Porta *et al.* 1999 citado por Narváez *et al.* 2024)

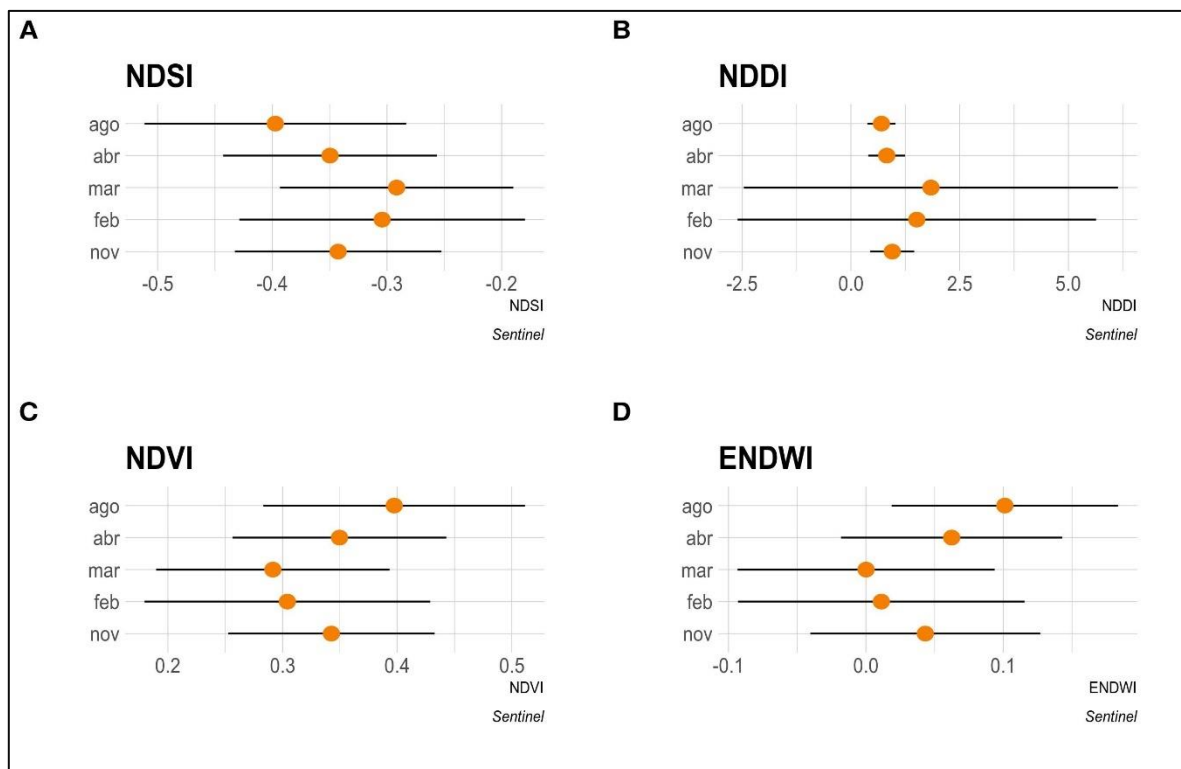


Figura 6. Índices espectrales calculados

El Índice de Sequía de diferencia Normalizada NDDI (grafico B de la figura 6) muestra una variación entre los meses, en noviembre el índice muestra condiciones ligeramente secas de igual manera para el mes de abril y agosto, en febrero se muestran valores más secos con mayor variabilidad en este mes, mientras que, en abril y marzo los valores están más cercanos a cero presentando condición neutra (ni muy seco ni muy húmeda).

Para el Índice de Vegetación Diferencial Normalizada NDVI (gráfico C de la figura 6), los valores disminuyen desde noviembre a marzo, esto indica la disminución de la densidad de

vegetación, la desviación estándar muestra una mayor dispersión hacia agosto, probablemente debido a las condiciones favorables de humedad, la vegetación aumenta en agosto, pero, no es homogénea, algunas zonas presentan vegetaciones más densas que otras en el área de estudio esto debido al tipo de uso de suelo.

EL Índice de Diferencia Normalizada de Agua EDWIN (grafico D de la figura 6), se observa que el mes de agosto presenta mayor disponibilidad de agua en la vegetación y el suelo, mientras que noviembre y los meses posteriores reflejan condiciones más secas, en abril vuelve a aumentar la disponibilidad de agua hasta alcanzar el valor más alto en agosto.

5.2.1. Estimación de salinidad NDSI

En la figura 7, se presenta el comportamiento de la salinidad desde noviembre a agosto a través de la aplicación del índice de salinidad de diferencia normalizada, a continuación, se describen los resultados:

En noviembre se refleja que, en las áreas de riego, predomina el área con salinidad moderada y baja, en áreas con riego hay zonas con salinidad altas, probablemente el riego no es un factor de acumulación de salinidad en ese momento.

En febrero se observa un aumento en salinidad tanto en zonas irrigadas y no irrigadas especialmente en la parte sur y centro, en las zonas con riego es más notorio el aumento de la salinidad lo que puede significar que el riego está comenzando a tener influencia por la evapotranspiración esto debido a temperaturas altas por época de verano.

El agua cuando está presente en el suelo suele tener mayor impacto en el estado de la salinidad, por lo tanto, el estrés es mayor en época seca y cuando en la capa superior del suelo existe una mayor concentración de sales se debe a la evapotranspiración que excede a la precipitación o al agua de riego. (García et al. 2021)

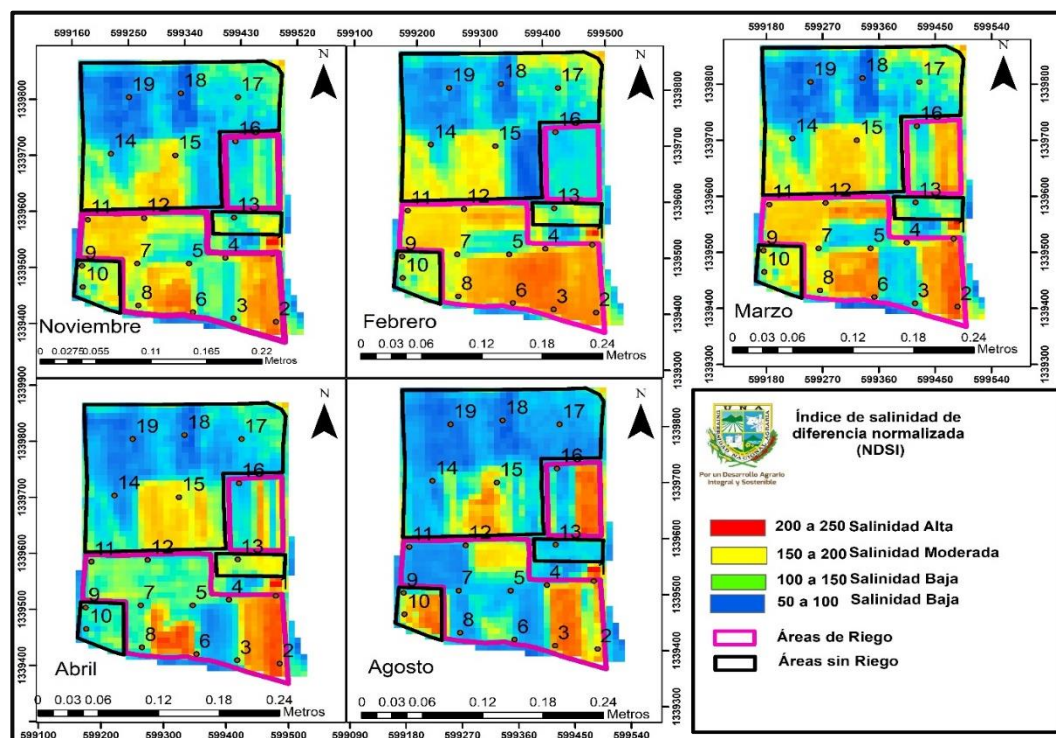


Figura 7. Comportamiento de la salinidad (NDSI)

En marzo parte del área sin riego presenta valores altos y moderados de salinidad y en las áreas con riego predominan áreas con salinidad moderada notorio en la zona sur.

En abril se observa la disminución de salinidad en gran parte del área presentando mayor salinidad en puntos 4 a 6, 6 a 8 y 15,16.

En agosto se registra una mejora significativa en la salinidad, con mayor presencia de salinidad baja, las áreas sin riego siguen presentando algunos puntos aislados de salinidad alta, pero, con menor intensidad que los otros meses esto puede ser debido a la presencia de lluvias en este mes.

Ajhuacho y Tanaka (s.f) “Enfatizan que la precipitación es un factor muy importante para el lavado de las sales en la superficie del suelo”.

5.3. Correlación de Conductividad Eléctrica e Índices Espectrales

En la figura 8, presenta las relaciones entre la variable CE tomada en campo a tres profundidades 10 cm, 20 cm, 30 cm y los índices espectrales procesados con imágenes satelitales.

La relación entre el NDDI con la CE a 30cm y 20 cm (Figura 8), muestra una relación baja positiva y un nivel negativo con CE a 10 cm, indicando que la salinidad es mayor en áreas más secas.

Relación del NDSI con CE a 30 cm (Figura 8), es positiva (0.33) de igual forma con la CE a 20cm (0.42) mientras que la CE a 10cm presenta un valor negativo (-0.16) indicando que los niveles más altos de salinidad se presentan a mayor profundidad mientras que en la superficie se ve afectado por el riego superficial.



Figura 8. Correlación de índices y conductividad eléctrica. Nota: NDVI = Índice de vegetación de diferencia normalizada; ENDWI = Índice de agua de diferencia normalizado mejorado, NDDI = Índice de sequía de diferencia normalizado; NDSI = Índice de salinidad de diferencia normalizada

El NDVI (Figura 8), muestra correlaciones negativamente moderada con las CE en todas las profundidades esto indica que la vegetación disminuye a mayor salinidad.

La relación del ENDWIN con la CE presenta una relación negativa lo que este comportamiento sugiere que suelos más húmedos la acumulación de sales en menor.

Relaciones entre las variables el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI), como se puede observar (figura 8), muestra una variación positiva con el Índice de Humedad (ENDWI) de 0.86 esto indica que las áreas que presentan mayor vegetación son las que tiene mayor humedad. Con respecto a la relación las variables el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) tiene una variación negativa con NDDI de -0.78 y una relación negativamente de -1 con el NDSI esto afirma que la vegetación, los niveles de salinidad y estrés por sequía son bajos teniendo en cuenta que la vegetación y la sequía son inversamente proporcionales.

El índice de humedad y el índice de sequía (figura 8), muestran una relación negativa de -0.93 el cual, indica que son inversamente proporcionales entre la humedad y el estrés hídrico. El índice de salinidad del suelo tiene una relación negativa con índice de humedad de -0.86, por otro lado, el índice de sequía tiene una relación positiva con el índice de salinidad de 0.78, se puede afirmar que la salinidad tiende a aumentar con las sequías.

5.4. Índices de calidad de agua de riego

Se presentan los resultados obtenidos del análisis de agua de pozo, realizado con el objetivo de evaluar la calidad del agua de riego, tales resultados se presentan en el cuadro 8 y gráfico para una mejor interpretación.

Cuadro 8. Resultados de análisis de agua

Resultado de análisis de Agua de Pozo							
pH	CE	Aniones		Cationes			
		Bicarbonato (HCO ₃)	Cloruro	Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio
7.83	451	4.73	0.49	0.45	0.24	4.54	0.41

De acuerdo con los criterios de peligrosidad de salinización propuesta por el laboratorio de *Riverside* la conductividad eléctrica de la muestra de agua que fue llevada a laboratorio, esta presenta una salinidad moderada, de clase C2, es agua de salinidad moderada, se puede usar en casi la mayoría de los cultivos en los suelos que presenten buena permeabilidad. En caso de permeabilidad deficiente del suelo, se debe elegir los cultivos, evitar los que son sensibles a sales, también se debe realizar riego de lavado de vez en cuando. (Laboratorio de Salinidad de *Riverside* citado por Acosta y Salvadori, 2017)

Por otra parte, según los criterios de peligro de salinización y restricciones del uso de las aguas usadas para riego según la FAO. Clasifica a la conductividad eléctrica de la muestra enviada a laboratorio como clase 1 y su restricción de uso de agua apta.

5.4.1. RAS

Con las concentraciones de sodio, magnesio y calcio se calculó la Relación de Adsorción de Sodio, la cual, es usada para clasifica la peligrosidad de sodificación del suelo por el agua de riego en función del RAS, esta clasificación según el Laboratorio de Salinidad de *RIVERSIDE*.

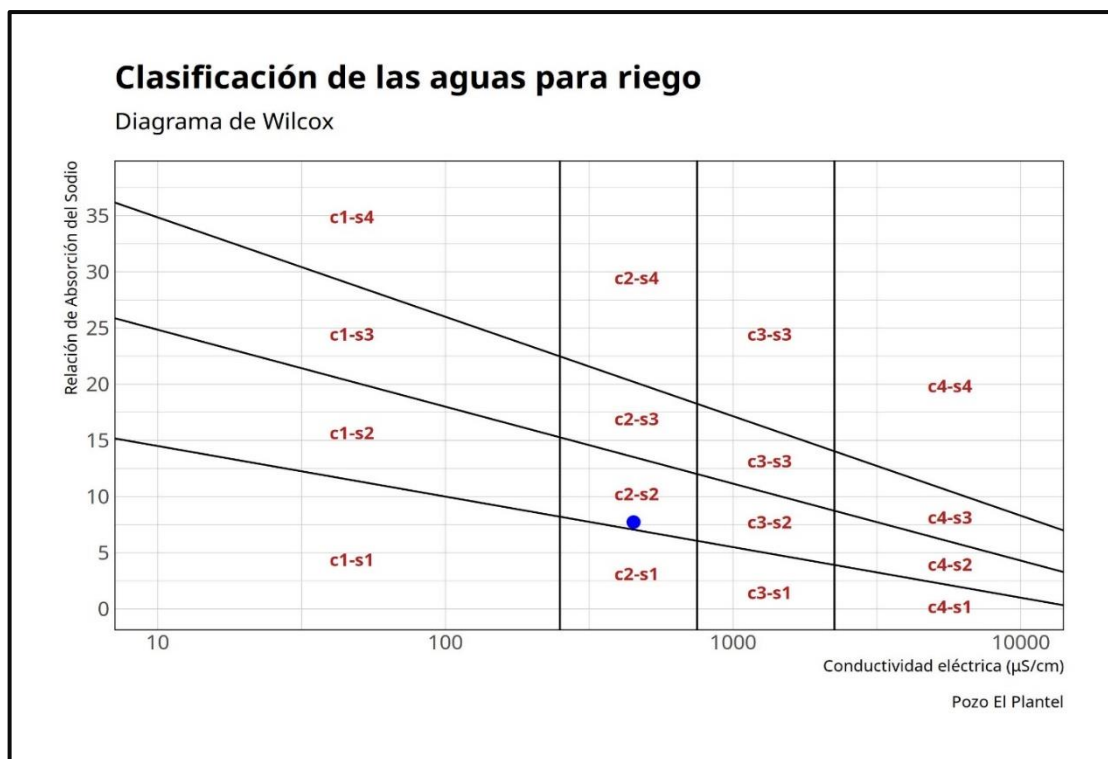


Figura 9. Clasificación RIVERSIDE

Conociendo el resultado del RAS, se estableció la clasificación de la muestra de agua extraída del área de estudio, lo cual, según la norma del Laboratorio de Salinidad de RIVERSIDE, esta agua es clasificada como C2-S2, a como se muestra en la figura 7.

La clasificación C2-S2 (figura 9), indica bajo peligro de sodificación, apta para riego en algunos casos es recomendable usar exceso volumen de agua, agua con bajo contenido de sodio, sin embargo, se pueden presentar problemas en cultivos muy sensibles al sodio. En estudios anteriores de la misma área de estudio, las aguas de la finca el Plantel, “se clasificaron como C2-S1, lo cual, indica aguas aptas para riego controlado para evitar problemas de salinidad, presentando un grado de salinidad” (Morales 2021).

5.5. RAS^o ajustado

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos de la investigación sobre la relación de adsorción de sodio modificado. El RAS corregido presenta un resultado de 7.96, que en la figura 10 se encuentra entre riesgo severo y riesgo ligero o moderado, con respecto a la clasificación de sodificación que propuso la FAO, está clasificada como mediana peligrosidad sódica y su restricción de uso es clasificada como apta, pero con precauciones.

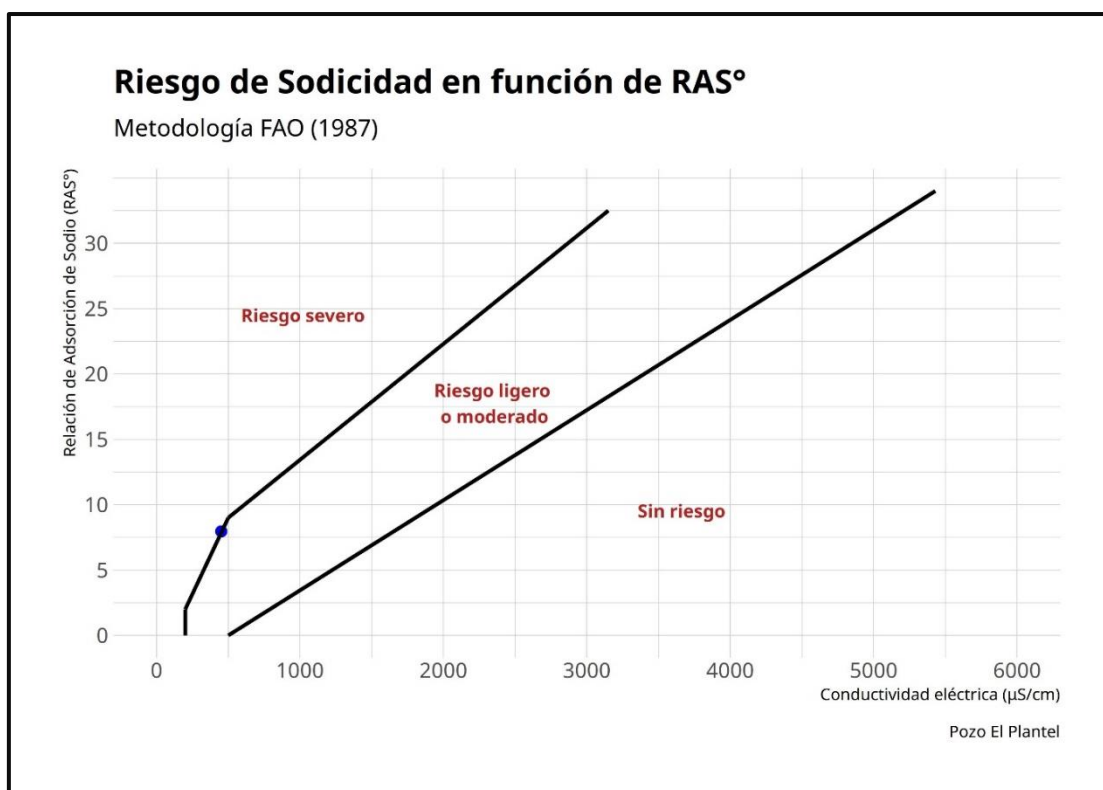


Figura 10. Clasificación FAO

Los

altos porcentajes de sodio tienen un efecto importante sobre la estructura del suelo, además, que puede provocar problemas de toxicidad. Sobre los coloides de suelo actúan unas fuerzas de atracción y de repulsión, cuando domina la fuerza de atracción los coloides floculan y se forman agregados y los poros son de gran tamaño, los suelos presentan buena permeabilizad y aireación. Cuando dominan las fuerzas de repulsión los coloides se dispersan, perdiendo el suelo su estructura. Esta se puede explicar mediante la teoría de Capa Doble Difusa (CDD), donde las arcillas están rodeadas de dos capas de iones. En este caso, existe un efecto por sodio, el sodio es absorbido en las superficies externas de la Capa Doble Difusa (CDD), mientras que el calcio

es por las internas. Cuando el sodio tiene mayor porcentaje que el calcio, el predominio de sodio en las partes externas aumenta el espesor de la Capa Doble Difusa (CDD), lo cual provoca la dispersión. (Pizarro, 1996)

Un suelo disperso redundo en que se bloquea el sistema poroso, también ocasiona la disminución de la infiltración, ocasiona también que disminuya la conductividad hidráulica y en consecuencia la saturación e inundación superficial en el suelo. Los suelos con grandes cantidades de sodio tienden a desarrollar encostramiento superficial, cuarteo y agrietamiento en seco, también tiene otros efectos como la disminución la circulación de oxígeno. (Sánchez, 2015)

5.6.-Carbonato de sodio residual (CSR)

Al implementar el índice CSR usado como un criterio para ver si en el área de estudio existe peligro de sodificación, los resultados del cálculo fueron de 4.04 mmol/l, el cual, se clasifica en aguas no aptas para riego, esto por ser mayor a 2,5 que es la clasificación que utiliza el Laboratorio de Salinidad de Riverside.

Según Acosta y Salvadori (2017) Cuando no es apta para riego, se debe que las condiciones del agua usada para riego los contenidos de carbonato y bicarbonato es mayor al calcio y al magnesio, estas sales ya precipitadas, la concentración relativa de sodio aumenta, estas concentraciones alcanzan valores que causan que los iones calcio y magnesio adsorbidos en la superficie del complejo de intercambio del suelo sean desplazados y que se produzca la floculación.

5.7.-Salinidad Efectiva (SE)

Según los resultados del análisis de agua, la calificación del agua para riego según la Salinidad Efectiva dio un resultado de 4.95 mg/l, el cual, indica en su restricción uso como apta con precauciones.

Ortiz Olguin (2000), destaca que en lugares donde el agua presenta altas concentraciones de los cationes de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) en una solución, estos se precipitan en los suelos, entre ellos están carbonato de calcio y magnesio, también el sulfato de calcio. La salinidad promedio se reduce a la mitad, las sales permanecen en solución como sodio, los cloruros de Ca y Mg y

sulfato de magnesio estos representan la salinidad efectiva del agua. (Citado por Acosta y Salvadori 2017)

5.8.-Salinidad Potencial (SP)

Se utilizó el índice de salinidad potencial como uno de los criterios para conocer el peligro de salinización en la zona de estudio, los valores obtenidos, el cual, dio 0.49 mmol/l. esta resulta apta para su empleo como agua de riego. La salinidad potencial es consecuente con respecto a la salinidad efectiva, al precipitar las sales menos solubles, estos quedan en solución cloruros, sulfatos y bicarbonatos.

Dichos aniones elevan drásticamente la presión osmótica y trabajan niveles bajos de humedad. La salinidad potencial brinda un resultado de tener en cuenta de las consecuencias de estas últimas sales en los procesos de salinización de suelos, teniendo en cuenta que la presencia de estas sales obstaculiza el crecimiento y desarrollo de cultivos a largo plazo. (García Hidalgo, 2015)

VI. CONCLUSIONES

El comportamiento de la salinidad durante el periodo de estudio se ve reflejado aumento progresivo y significativos en los meses más secos, esto se ve en los aumentos de conductividad eléctrica y pH en los primeros 10 cm del suelo en las zonas donde hay mayor irrigación. Por su parte, en las áreas irrigadas se presentan mayor incidencia de salinidad.

El análisis de la correlación entre la salinidad del suelo y los índices que fueron procedentes de las imágenes satelitales, permitieron poder observar patrones importantes donde la salinidad suele ser mayor en áreas con menor vegetación, mayor estrés hídrico por áreas irrigadas, y menor humedad. Los resultados destacan el potencial de las imágenes satelitales como herramienta de monitoreo efectiva para el monitoreo de la salinidad en el suelo de una manera remota.

Los resultados con respecto al RAS, según la FAO la restricción se encuentra entre riesgo moderado y riesgo severo. Y según la clasificación de RIVERSIDE, esta es apta con precaución. La salinidad efectiva y la salinidad potencial es apta y por último el carbonato de sodio residual se clasifica en no apta. Considerando estos resultados las afectaciones por salinidad se verán a mediano plazo.

XII. RECOMENDACIONES

Se sugiere implementar lavado de suelo con agua que sea baja en sales, que ayudara para reducir la salinidad en área de estudio realizándose en los meses de transición entre la temporada seca y la temporada de lluviosa esto con el fin de aprovechar las lluvias iniciales de mayo aprovechando la lixiviación reduciendo la salinidad acumulada durante los meses secos.

Se puede realizar un monitoreo a través de herramientas como imágenes satelitales esto para identificar las zonas con mayor porcentaje de sales y así optimizar agua. Estos métodos de usar teledetección y sensores remotos para determinar la salinidad son muy efectivos y usados.

También se recomienda uso de enmienda química, específicamente yeso agrícola como una estrategia para mitigar los niveles de salinidad y mejorar el uso del suelo en el área estudiada

XIII. LITERATURA CITADA

- Acosta García, J. C., y Salvadori Verón, J. A. (2017). Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados. https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/1376/a_acoeva602.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Adams, M. (1995). *Fundamentos de química de suelos*. CDCH UCV. https://books.google.com.ni/books?hl=es&lr=&id=rjeVU6XFajEC&oi=fnd&pg=PA13&dq=Fundamentos+de+qu%C3%ADmica+de+suelos&ots=OQKDLwON0N&sig=OuzOTdp7VeW62RK5juOKJlscEts&redir_esc=y#v=onepage&q=Fundamentos%20de%20qu%C3%ADmica%20de%20suelos&f=false
- Aguilar, C., Tartabull, T., Labaut, Y., y Ferradaz, R. (2019). Principales procesos que impactan la calidad del agua para el riego en pozos costeros del centro sur cubano. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35, 541-552. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.02>
- Ajhuacho, E., y Tanaka, S. (2003). Recuperación y disminución de la salinidad del suelo. *artículos de investigación. Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia*, (2), 31-36. https://www.cetabol.bo/sitio/images/recursos/menu/suelos/publicaciones/2_recuperacion_y_disminucion_de_la_salinidad_del_suelo.pdf
- Alaniz Ramírez, D., y Cruz Herrera, J. J. (2018). *Evaluación del patrón de humedecimiento del agua en el sistema de riego por micro aspersión en la finca experimental el Plantel (UNA)*, 2016 [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3686/>
- Badaracco Meza, RR (2012). Detección de la Salinidad en los suelos de Cultivos de Algodón usando Imágenes de Satélite en la Costa Norte del Perú. [UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS] Repositorio Institucional. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/66d8fbc6-34dd-4c33-b079-84b2b4a89182>

Balmaceda, C., Ponce de León, D., Martín, N., y Vargas, A. (2006). *Compendio de suelo*. Universidad Nacional de la Habana.

Chiri Quispe, J. L. *Estimación de la salinidad del suelo perteneciente al valle de Kohani Pampa, mediante índices espectrales de imágenes Sentinel-2* [Tesis doctoral, Universidad Mayor de San Andres].

Repositorio

Institucional

https://www.bing.com/search?pglt=41&q=“ESTIMACIÓN+DE+LA+SALINIDAD+DEL+SUELO+PERTENECIENTE+AL+VALLE+DE+KOHANI+PAMPA%2C+MEDIANTE+ÍNDICES+ESPECTRALES+DE+IMÁGENES+SENTINEL-2”&cvid=c41858cfef2c4691b1b0b394c6cb2fa8&gs_lcrp=EgRlZGdlKgYIABBFGDkyBggAEUYOTIICAEQ6QcY_FXSAQgxMTkxajBqMagCArACAQ&FORM=ANSAB1&DAF0=1&PC=HCTS

Cremona, M. V., y Enriquez, A. S. (2020). *Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7709/INTA_CRPatagoniaNorte_EEABariloche_Cremona_MV_Algunas_Propiedades_Del_Suelo_Que_Condicionan_Su_Comportamiento.pdf?sequence=2

Díaz Quiroz, V. S., y Herrera Pérez, M. R. (2019). *Análisis de uniformidad de intensidad de aplicación del agua, del sistema de riego por aspersión, en la finca experimental el Plantel, de la Universidad Nacional Agraria (UNA), Managua, 2016-2017* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional <https://repositorio.una.edu.ni/3897/>

Doménech, X. (1995). Química del suelo. *El impacto de los contaminantes*, 190. <https://portalrecerca.uab.cat/en/publications/qu%C3%ADmica-del-suelo-el-impacto-de-los-contaminantes-4>

García-Reyes, RA, Posada-Dacosta, MDG, Torres-Calzado, K., Villazón-Gómez, JA, Abellón-Molina, MI, & Velázquez-Sánchez, EC (2021). Teledetección de Salinidad en Agroecosistema

- de Mayarí, Provincia de Holguín, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* , 30 (1), 26-32. <https://www.redalyc.org/journal/932/93266354003/93266354003.pdf>
- Gómez, J. J. C., Muñoz, R. B., y Hernández, M. (2015). *Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala*. 19(1), 39-50. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46750924004.pdf>
- Guida-Johnson, B. (2021). Restauración productiva de áreas irrigadas en zonas áridas: detección de sitios afectados por salinidad del suelo mediante sensores remotos. *Multequina*, 30(2), 181-198. <https://www.scielo.org.ar/pdf/multeq/v30n2/1852-7329-multeq-30-02-181.pdf>
- Hernández, Luis. (2022). *Plan de fertilización del área agrícola, unidad de experimentación y validación en Plantel, 2021* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional <https://repositorio.una.edu.ni/4508/>
- Hidalgo, Y. G. (2015). Calidad del agua con fines de riego. *Ojeando la Agenda*, (35), 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5362999>
- Lopez Lopez, W. J. D. L. A. (2021). Evaluacion de la utilidad del sensor Sentinel-2 para la cartografía de cinco parametros fisicos-quimicos de calidad de aguas en la Laguna de Moyua, Ciudad Dario, Matagalpa, febrero y julio 2020 [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional <https://repositorio.una.edu.ni/4300/1/tnp101864e.pdf>
- Miller, J. J., & Brierley, J. A. (2011). Solonetzic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification. *Canadian Journal of Soil Science*, 91(5), 889-902. <https://cdnsiencepub.com/doi/full/10.4141/cjss10040>
- Morales Hernández, K. L. (2021). *Caracterización de la oferta, demanda y calidad del agua subterráneo para riego en El Plantel* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional <https://repositorio.una.edu.ni/4412/>

Moreno, R., y Ibáñez, S. (s. f.). *Procesos formadores de suelo: salinización*. Universidad
Politécnica de València.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/122695/Moreno?sequence=1>

Narváez, H., Combatt, E., y Bustamante Barrera, I. (2014). Distribución espacial de la salinidad en
suelos del área de influencia de la desembocadura del río Sinú (Córdoba, Colombia). *Revista
UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 17(2), 433-443.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262014000200014&script=sci_arttext

Navarro, G., y Navarro, S. (2013). *Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes
esenciales para las plantas* (3a. ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
https://books.google.com.ni/books?hl=es&lr=&id=RSs6AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP18&dq=Qu%C3%ADmica+agr%C3%ADcola:&ots=URGimkXsH0&sig=9_Q9x1QKXLakjL0WjsW-elBk76o&redir_esc=y#v=onepage&q=Qu%C3%ADmica%20agr%C3%ADcola%3A&f=false

Pizarro, F. (1996). *Riego localizado de alta frecuencia* (3a. ed.). Mundi-Prensa.

Ramírez, R. (1997). *Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos*. PRODUMEDIOS.
<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>

RENE, M. C. J. (2021). *DETERMINACIÓN DE LA SALINIDAD DE SUELOS ARROCEROS
MEDIANTE EL USO DE SENSORES REMOTOS EN EL CANTÓN DAULE-GUAYAS* [Tesis
Doctoral, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR]. Repositorio Institucional
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MANRIQUE%20CENTENO%20JOE%20RENE.pdf>

Rivera Gómez, S. J., y Dolmos Reyes, Y. M. (2022). *Efecto de las propiedades físicas del suelo
en la infiltración de agua en la finca el Plantel UNA 2020-2022* [Tesis de ingeniería,
Universidad Nacional Agraria, Managua (Nicaragua)]. Repositorio Institucional
<https://repositorio.una.edu.ni/4542/>

Sánchez, R. M., Dunel Guerra, L. G., y Scherger, M. (2016). *Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina*. Ediciones INTA.
<https://www.repositorio.cenpat-conicet.gob.ar/server/api/core/bitstreams/6949757b-5900-4802-a582-b5999f015c07/content>

I. ANEXOS

Anexo 1. Base datos de muestreo *in Situ*

noviembre	Punto	Profundidad	pH	CE ajustado
23/11/2022	1	10 cm	7.74	0.07
23/11/2022	2	10 cm	7.45	0.09
23/11/2022	3	10 cm	7.42	0.04
23/11/2022	4	10 cm	7.35	0.08
23/11/2022	5	10 cm	7.25	0.11
23/11/2022	6	10 cm	7.29	0.09
02/12/2022	7	10 cm	7.32	0.17
02/12/2022	8	10 cm	7.23	0.19
02/12/2022	9	10 cm	7.28	0.03
02/12/2022	10	10 cm	6.96	0.14
02/12/2022	11	10 cm	7.08	0.1
02/12/2022	12	10 cm	7.17	0.12
02/12/2022	13	10 cm	7.17	0.03
02/12/2022	14	10 cm	6.96	0.13
02/12/2022	15	10 cm	6.91	0.15
02/12/2022	16	10 cm	7.23	0.11
02/12/2022	17	10 cm	7.05	0.05
02/12/2022	18	10 cm	7.1	0.03
02/12/2022	19	10 cm	7.09	0.03
23/11/2022	1	20 cm	7.64	0.09
23/11/2022	2	20 cm	7.35	0.09
23/11/2022	3	20 cm	7.41	0.04
23/11/2022	4	20 cm	7.33	0.1
23/11/2022	5	20 cm	7.37	0.07
23/11/2022	6	20 cm	7.28	0.1
02/12/2022	7	20 cm	7.27	0.13
02/12/2022	8	20 cm	7.31	0.11
02/12/2022	9	20 cm	7.21	0.05
02/12/2022	10	20 cm	7	0.11
02/12/2022	11	20 cm	7.04	0.18
02/12/2022	12	20 cm	7.18	0.22
02/12/2022	13	20 cm	6.98	0.15
02/12/2022	14	20 cm	6.98	0.17
02/12/2022	15	20 cm	6.92	0.11
02/12/2022	16	20 cm	7.21	0.12
02/12/2022	17	20 cm	7.09	0.04

02/12/2022	18	20 cm	7.08	0.04
02/12/2022	19	20 cm	7.14	0.03
23/11/2022	1	30 cm	7.7	0.06
23/11/2022	2	30 cm	7.35	0.08
23/11/2022	3	30 cm	7.26	0.08
23/11/2022	4	30 cm	7.34	0.1
23/11/2022	5	30 cm	7.25	0.13
23/11/2022	6	30 cm	7.28	0.05
02/12/2022	7	30 cm	7.25	0.13
02/12/2022	8	30 cm	7.27	0.09
02/12/2022	9	30 cm	7.19	0.07
02/12/2022	10	30 cm	7	0.06
02/12/2022	11	30 cm	7.05	0.16
02/12/2022	12	30 cm	7.18	0.12
02/12/2022	13	30 cm	7.12	0.1
02/12/2022	14	30 cm	6.95	0.13
02/12/2022	15	30 cm	6.96	0.08
02/12/2022	16	30 cm	7.23	0.08
02/12/2022	17	30 cm	7.12	0.03
02/12/2022	18	30 cm	7.09	0.03
02/12/2022	19	30 cm	7.13	0.05

Febrero	Punto	Profundidad	pH	CE_ajustado
03/02/2023	1	10 cm	7.4	0.25
03/02/2023	2	10 cm	7.43	0.29
03/02/2023	3	10 cm	7.38	0.27
03/02/2023	4	10 cm	7.31	0.27
03/02/2023	5	10 cm	7.33	0.33
03/02/2023	6	10 cm	7.17	0.21
03/02/2023	7	10 cm	7.28	0.29
03/02/2023	8	10 cm	7.3	0.23
03/02/2023	9	10 cm	7.29	0.18
03/02/2023	10	10 cm	7.3	0.23
03/02/2023	11	10 cm	7.22	0.23
03/02/2023	1	20 cm	7.37	0.24
03/02/2023	2	20 cm	7.32	0.28
03/02/2023	3	20 cm	7.31	0.25
03/02/2023	4	20 cm	7.22	0.28
03/02/2023	5	20 cm	7.31	0.29
03/02/2023	6	20 cm	7.17	0.25
03/02/2023	7	20 cm	7.25	0.25

03/02/2023	8	20 cm	7.29	0.22
03/02/2023	9	20 cm	7.29	0.25
03/02/2023	10	20 cm	7.34	0.23
03/02/2023	11	20 cm	7.18	0.25
03/02/2023	1	30 cm	7.37	0.25
03/02/2023	2	30 cm	7.31	0.29
03/02/2023	3	30 cm	7.33	0.27
03/02/2023	4	30 cm	7.2	0.25
03/02/2023	5	30 cm	7.31	0.26
03/02/2023	6	30 cm	7.09	0.23
03/02/2023	7	30 cm	7.24	0.28
03/02/2023	8	30 cm	7.26	0.19
03/02/2023	9	30 cm	7.31	0.22
03/02/2023	10	30 cm	7.27	0.26
03/02/2023	11	30 cm	7.15	0.23

Marzo	Punto	Profundidad	pH	CE ajustado
28/03/2023	1	10 cm	6.79	0.415
28/03/2023	2	10 cm	6.95	0.1641
28/03/2023	3	10 cm	6.97	0.613
28/03/2023	4	10 cm	7.21	0.274
28/03/2023	5	10 cm	7.53	0.283
28/03/2023	6	10 cm	6.77	0.1655
28/03/2023	7	10 cm	7.1	0.305
28/03/2023	8	10 cm	6.76	0.147
28/03/2023	9	10 cm	6.3	0.34
28/03/2023	10	10 cm	6.23	0.245
28/03/2023	11	10 cm	6.8	0.427
28/03/2023	12	10 cm	6.91	0.238
28/03/2023	13	10 cm	6.9	0.284
28/03/2023	14	10 cm	6.8	0.488
28/03/2023	15	10 cm	6.68	0.1505
28/03/2023	16	10 cm	7.86	0.23
28/03/2023	17	10 cm	7.18	0.253
28/03/2023	18	10 cm	6.42	0.338
28/03/2023	19	10 cm	6.8	0.256
28/03/2023	1	20 cm	6.37	0.306
28/03/2023	2	20 cm	6.75	0.1987
28/03/2023	3	20 cm	6.74	0.236
28/03/2023	4	20 cm	6.63	0.1841
28/03/2023	5	20 cm	7.02	0.177

28/03/2023	6	20 cm	6.75	0.1582
28/03/2023	7	20 cm	6.77	0.202
28/03/2023	8	20 cm	6.7	0.144
28/03/2023	9	20 cm	6.99	0.205
28/03/2023	10	20 cm	6.55	0.1088
28/03/2023	11	20 cm	6.5	0.23
28/03/2023	12	20 cm	7.31	0.16
28/03/2023	13	20 cm	6.9	0.1402
28/03/2023	14	20 cm	6.19	0.301
28/03/2023	15	20 cm	6.7	0.1935
28/03/2023	16	20 cm	7.2	0.225
28/03/2023	17	20 cm	6.42	0.1585
28/03/2023	18	20 cm	6.11	0.218
28/03/2023	19	20 cm	6.85	0.143
28/03/2023	1	30 cm	6.85	0.1437
28/03/2023	2	30 cm	6.79	0.1962
28/03/2023	3	30 cm	6.72	0.1731
28/03/2023	4	30 cm	6.69	0.1372
28/03/2023	5	30 cm	6.83	0.162
28/03/2023	6	30 cm	6.77	0.1465
28/03/2023	7	30 cm	6.66	0.207
28/03/2023	8	30 cm	6.7	0.13
28/03/2023	9	30 cm	7	0.162
28/03/2023	10	30 cm	6.58	0.116
28/03/2023	11	30 cm	6.4	0.217
28/03/2023	12	30 cm	6.95	0.149
28/03/2023	13	30 cm	6.82	0.141
28/03/2023	14	30 cm	6	0.365
28/03/2023	15	30 cm	6.81	0.1345
28/03/2023	16	30 cm	7	0.1356
28/03/2023	17	30 cm	6.58	0.106
28/03/2023	18	30 cm	6.9	0.1555
28/03/2023	19	30 cm	6.77	0.1154

Abril	Punto	Profundidad	pH	CE_ajustado
26/04/2023	1	10 cm	7.03	0.595
26/04/2023	2	10 cm	7.15	0.209
26/04/2023	3	10 cm	7.37	0.283
26/04/2023	4	10 cm	6.97	0.34
26/04/2023	5	10 cm	7.33	0.21
26/04/2023	6	10 cm	6.85	0.1985

26/04/2023	7	10 cm	6.76	0.314
26/04/2023	8	10 cm	6.85	0.278
26/04/2023	9	10 cm	6.7	0.289
26/04/2023	10	10 cm	6.65	0.1949
26/04/2023	11	10 cm	6.83	0.273
26/04/2023	12	10 cm	7.9	0.298
26/04/2023	13	10 cm	6.47	0.1975
26/04/2023	14	10 cm	6.4	0.742
26/04/2023	15	10 cm	6.63	0.698
26/04/2023	16	10 cm	7.25	0.75
26/04/2023	17	10 cm	6.7	0.38
26/04/2023	18	10 cm	6.55	0.343
26/04/2023	19	10 cm	6.83	0.338
26/04/2023	1	20 cm	7.32	0.209
26/04/2023	2	20 cm	7.02	0.201
26/04/2023	3	20 cm	7.2	0.201
26/04/2023	4	20 cm	6.9	0.213
26/04/2023	5	20 cm	7.45	0.255
26/04/2023	6	20 cm	6.8	0.2
26/04/2023	7	20 cm	6.8	0.1778
26/04/2023	8	20 cm	6.8	0.248
26/04/2023	9	20 cm	6.63	0.201
26/04/2023	10	20 cm	6.61	0.1744
26/04/2023	11	20 cm	6.74	0.24
26/04/2023	12	20 cm	7.13	0.222
26/04/2023	13	20 cm	6.72	0.1685
26/04/2023	14	20 cm	6.59	0.365
26/04/2023	15	20 cm	6.97	0.2
26/04/2023	16	20 cm	7.66	0.237
26/04/2023	17	20 cm	6.5	0.1817
26/04/2023	18	20 cm	6.3	0.1467
26/04/2023	19	20 cm	6.58	0.283
26/04/2023	1	30 cm	7.9	0.228
26/04/2023	2	30 cm	6.95	0.207
26/04/2023	3	30 cm	7.02	0.21
26/04/2023	4	30 cm	6.86	0.202
26/04/2023	5	30 cm	7	0.222
26/04/2023	6	30 cm	6.72	0.206
26/04/2023	7	30 cm	6.7	0.211
26/04/2023	8	30 cm	6.73	0.324
26/04/2023	9	30 cm	6.95	0.1758

26/04/2023	10	30 cm	6.52	0.193
26/04/2023	11	30 cm	6.83	0.1915
26/04/2023	12	30 cm	7.09	0.202
26/04/2023	13	30 cm	6.52	0.289
26/04/2023	14	30 cm	6.42	0.431
26/04/2023	15	30 cm	6.84	0.221
26/04/2023	16	30 cm	7.24	0.217
26/04/2023	17	30 cm	6.18	0.321
26/04/2023	18	30 cm	6.27	0.1711
26/04/2023	19	30 cm	6.5	0.268

Agosto	Punto	Profundidad	pH	CE_ajustado
09/08/2023	1	10 cm	6.96	0.699
09/08/2023	2	10 cm	6.49	0.815
09/08/2023	3	10 cm	7	0.507
09/08/2023	4	10 cm	6.95	0.059
09/08/2023	5	10 cm	6.87	0.772
09/08/2023	6	10 cm	7.01	0.0685
09/08/2023	7	10 cm	7.33	0.5
09/08/2023	8	10 cm	6.8	0.613
09/08/2023	9	10 cm	7.17	0.381
09/08/2023	10	10 cm	6.95	0.0444
09/08/2023	11	10 cm	6.84	0.403
09/08/2023	12	10 cm	7.4	0.405
09/08/2023	13	10 cm	7.5	0.225
09/08/2023	14	10 cm	7.4	0.57
09/08/2023	15	10 cm	7.19	0.45
09/08/2023	16	10 cm	7.25	0.58
09/08/2023	17	10 cm	5.9	0.834
09/08/2023	18	10 cm	6.69	0.11
09/08/2023	19	10 cm	7.07	0.382
09/08/2023	1	20 cm	7.49	0.0841
09/08/2023	2	20 cm	7.47	0.0764
09/08/2023	3	20 cm	7.15	0.159
09/08/2023	4	20 cm	6.78	0.1047
09/08/2023	5	20 cm	5.51	0.068
09/08/2023	6	20 cm	6.97	0.15
09/08/2023	7	20 cm	6.9	0.12
09/08/2023	8	20 cm	7.27	0.0453
09/08/2023	9	20 cm	6.9	0.101
09/08/2023	10	20 cm	6.7	0.0735

09/08/2023	11	20 cm	6.96	0.044
09/08/2023	12	20 cm	7.45	0.084
09/08/2023	13	20 cm	7.14	0.0495
09/08/2023	14	20 cm	7.13	0.13
09/08/2023	15	20 cm	6.91	0.0895
09/08/2023	16	20 cm	7.5	0.0835
09/08/2023	17	20 cm	6.18	0.049
09/08/2023	18	20 cm	6.72	0.08
09/08/2023	19	20 cm	6.95	0.0755
09/08/2023	1	30 cm	7.23	0.0985
09/08/2023	2	30 cm	7.07	0.17
09/08/2023	3	30 cm	7.17	0.094
09/08/2023	4	30 cm	6.8	0.1441
09/08/2023	5	30 cm	7.25	0.0945
09/08/2023	6	30 cm	6.9	0.1035
09/08/2023	7	30 cm	7.11	0.0536
09/08/2023	8	30 cm	6.91	0.1475
09/08/2023	9	30 cm	6.95	0.097
09/08/2023	10	30 cm	6.8	0.0454
09/08/2023	11	30 cm	6.81	0.0445
09/08/2023	12	30 cm	7.25	0.0922
09/08/2023	13	30 cm	6.88	0.0805
09/08/2023	14	30 cm	7	0.205
09/08/2023	15	30 cm	6.73	0.1354
09/08/2023	16	30 cm	7.32	0.0805
09/08/2023	17	30 cm	5.77	0.0831
09/08/2023	18	30 cm	7.07	0.055
09/08/2023	19	30 cm	6.62	0.0805

Anexo 2. Resultados de laboratorio del análisis de Agua.

DATOS DEL ANÁLISIS

Registro No: _____ Fecha de análisis: _____

CE: 451 $\mu\text{S/cm}$ pH: 7,83

Boro: - ppm Sólidos disueltos: - ppm

Nitrógeno: mg/L

Aniones meq/L					Cationes meq/L				
CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	SUMA	Ca	Mg	Na	K	SUMA
ND	4,73	0,49	ND	5,22	0,45	0,24	4,54	0,41	5,64

CO₃ + HCO₃: 4,73 meq/L Ca + Mg: 0,69 meq/L
(Alcalinidad) (Dureza)

Salinidad Efectiva meq/L	Salinidad Potencial meq/L	RAS	Na ₂ CO ₃ Residual meq/L	% de sodio posible	Clasific. Según USDA
4,95	0,49	7,73	4,04	91,72	C2S1

Observaciones:
ND= No detectado.



Ing. MSc. Leonardo García
Director LABSA

Anexo 3. Resultados de análisis químicos del suelo (muestra 1)

Fecha de recepción de muestra: 20/10/2023		Fecha emisión/Informe: 6/11/2023		
Fecha de Muestreo: 20/10/2023		Fecha/análisis: 06/11/2023		
Entidad: Dirección Investigación Extensión y Postgrado/DIEP		Finca: El Platel		
Contacto: Jorge Antonio Gómez Martínez		Municipio: Tipitapa		
Descripción de la muestra: Punto No.1		Departamento: Managua		
Código/LABSA: S-2023-0404		Informe No. 9118		
	Parámetro	Resultados	Unidades	Método
RUTINA	pH (H ₂ O)	7,82	-	GLOSOLAN-SOP-06
	Materia Orgánica	N/A	%	GLOSOLAN-SOP-02
	Nitrógeno	N/A	%	GLOSOLAN-SOP-14
	Carbono Orgánico	N/A	g/kg	GLOSOLAN-SOP-02
	Fósforo disponible	N/A	ppm	GLOSOLAN-SOP-10
	Conductividad Eléctrica	69,87	µS/cm	GLOSOLAN-SOP-07
BASES DEL SUELO	Aluminio	N/A	mEq/100 g suelo	NOM-021-RECNAT-2000/AS-33
	DISPONIBLE	K	N/A	KSSL-4B1a1b (MODIFICADO)
		Ca	N/A	KSSL-4B1a1b (MODIFICADO)
		Mg	N/A	KSSL-4B1a1b (MODIFICADO)
	INTERCAMBIABLE	K	N/A	KSSL-4B1a1b
		Ca	N/A	KSSL-4B1a1b
		Mg	N/A	KSSL-4B1a1b
		Na	2,38	KSSL-4B1a1b
	CIC	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a
MICRO ELEMENTOS	Fe	N/A	mg/kg	MELICH 1
	Cu	N/A	mg/kg	MELICH 1
	Mn	N/A	mg/kg	MELICH 1
	Zn	N/A	mg/kg	MELICH 1
ANÁLISIS ESPECIALES	Carbonatos	N/A	mg/kg	NOM-021-RECNAT-2000/AS-20
	B	N/A	mg/kg	AZOMETINA-H
	SO ₄ ²⁻	N/A	mg/kg	TURBIDIMÉTRICO
	NO ₃ ⁻	N/A	mg/kg	ESPECTROFOTOMÉTRICO UV-VIS
	NH ₄ ⁺	N/A	mg/kg	ESPECTROFOTOMÉTRICO UV-VIS
	Acidez Intercambiable	N/A	mEq/100 g suelo	NOM-021-RECNAT-2000/AS-33
	Hidrógeno Intercambiable	N/A	mEq/100 g suelo	Calculado
	pH (KCl)	N/A	-	GLOSOLAN-SOP-06

Anexo 4. Resultados de análisis químicos del suelo (muestra 2)

Fecha de recepción de muestra: 20/10/2023		Fecha emisión/Informe: 6/11/2023			
Fecha de Muestreo: 20/10/2023		Fecha/análisis: 06/11/2023			
Entidad: Dirección Investigación Extensión y Postgrado/DIEP		Finca: El Plantel			
Contacto: Jorge Antonio Gómez Martínez		Municipio: Tipitapa			
Descripción de la muestra : Punto No.2		Departamento: Managua			
Código/LABSA: S-2023-0405		Informe No. 9119			
		Parámetro	Resultados	Unidades	Método
ROUTINA		pH (H ₂ O)	6,84	-	GLOSOLAN-SOP-06
		Materia Orgánica	N/A	%	GLOSOLAN-SOP-02
		Nitrógeno	N/A	%	GLOSOLAN-SOP-14
		Carbono Orgánico	N/A	g/kg	GLOSOLAN-SOP-02
		Fósforo disponible	N/A	ppm	GLOSOLAN-SOP-10
		Conductividad Eléctrica	97,67	µS/cm	GLOSOLAN-SOP-07
		Aluminio	N/A	mEq/100 g suelo	NOM-021-RECNAT-2000/AS-33
BASES DEL SUELO	DISPONIBLE	K	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b (MODIFICADO)
		Ca	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b (MODIFICADO)
		Mg	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b (MODIFICADO)
	INTERCAMBIABLE	K	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b
		Ca	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b
		Mg	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b
		Na	0,30	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b
	CIC	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a	
MICRO ELEMENTOS		Fe	N/A	mg/kg	MELICH 1
		Cu	N/A	mg/kg	MELICH 1
		Mn	N/A	mg/kg	MELICH 1
		Zn	N/A	mg/kg	MELICH 1
ANÁLISIS ESPECIALES		Carbonatos	N/A	mg/kg	NOM-021-RECNAT-2000/AS-20
		B	N/A	mg/kg	AZOMETINA-H
		SO ₄ ²⁻	N/A	mg/kg	TURBIDIMÉTRICO
		NO ₃ ⁻	N/A	mg/kg	ESPECTROFOTOMÉTRICO UV-VIS
		NH ₄ ⁺	N/A	mg/kg	ESPECTROFOTOMÉTRICO UV-VIS
		Acidez intercambiable	N/A	mEq/100 g suelo	NOM-021-RECNAT-2000/AS-33
		Hidrógeno intercambiable	N/A	mEq/100 g suelo	Calculado
		pH (KCl)	N/A	-	GLOSOLAN-SOP-06

Anexo 5. Resultados de análisis químicos del suelo (muestra 3)

Fecha de recepción de muestra: 20/10/2023		Fecha emisión/Informe: 6/11/2023			
Fecha de Muestreo: 20/10/2023		Fecha/análisis: 06/11/2023			
Entidad: Dirección Investigación Extensión y Postgrado/DIEP		Finca: El Plantel			
Contacto: Jorge Antonio Gómez Martínez		Municipio: Tipitapa			
Descripción de la muestra : Punto No.3		Departamento: Managua			
Código/LABSA: S-2023-0406		Informe No. 9120			
		Parámetro	Resultados	Unidades	Método
RUTINA		pH (H ₂ O)	7,86	-	GLOSOLAN-SOP-06
		Materia Orgánica	N/A	%	GLOSOLAN-SOP-02
		Nitrógeno	N/A	%	GLOSOLAN-SOP-14
		Carbono Orgánico	N/A	g/kg	GLOSOLAN-SOP-02
		Fósforo disponible	N/A	ppm	GLOSOLAN-SOP-10
		Conductividad Eléctrica	60,93	µS/cm	GLOSOLAN-SOP-07
		Aluminio	N/A	mEq/100 g suelo	NOM-021-RECNAT-2000/AS-33
BASES DEL SUELO	DISPONIBLE	K	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b (MODIFICADO)
		Ca	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b (MODIFICADO)
		Mg	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b (MODIFICADO)
	INTERCAMBIABLE	K	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b
		Ca	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b
		Mg	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b
		Na	2,27	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b
	CIC	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a	
MICRO ELEMENTOS		Fe	N/A	mg/kg	MELICH 1
		Cu	N/A	mg/kg	MELICH 1
		Mn	N/A	mg/kg	MELICH 1
		Zn	N/A	mg/kg	MELICH 1
ANÁLISIS ESPECIALES		Carbonatos	N/A	mg/kg	NOM-021-RECNAT-2000/AS-20
		B	N/A	mg/kg	AZOMETINA-H
		SO ₄ ²⁻	N/A	mg/kg	TURBIDIMÉTRICO
		NO ₃ ⁻	N/A	mg/kg	ESPECTROFOTOMÉTRICO UV-VIS
		NH ₄ ⁺	N/A	mg/kg	ESPECTROFOTOMÉTRICO UV-VIS
		Acidez intercambiable	N/A	mEq/100 g suelo	NOM-021-RECNAT-2000/AS-33
		Hidrógeno intercambiable	N/A	mEq/100 g suelo	Calculado
	pH (KCl)	N/A	-	GLOSOLAN-SOP-06	

Anexo 6. Resultados de análisis químicos del suelo (muestra 4)

Fecha de recepción de muestra: 20/10/2023			Fecha emisión/Informe: 6/11/2023			
Fecha de Muestreo: 20/10/2023			Fecha/análisis: 06/11/2023			
Entidad: Dirección Investigación Extensión y Postgrado/DIEP			Finca: El Plantel			
Contacto: Jorge Antonio Gómez Martínez			Municipio: Tipitapa			
Descripción de la muestra : Punto No.4			Departamento: Managua			
Código/LABSA: S-2023-0407			Informe No. 9121			
			Parámetro	Resultados	Unidades	Método
RUTINA			pH (H ₂ O)	7,20	-	GLOSOLAN-SOP-06
			Materia Orgánica	N/A	%	GLOSOLAN-SOP-02
			Nitrógeno	N/A	%	GLOSOLAN-SOP-14
			Carbono Orgánico	N/A	g/kg	GLOSOLAN-SOP-02
			Fósforo disponible	N/A	ppm	GLOSOLAN-SOP-10
			Conductividad Eléctrica	21,38	µS/cm	GLOSOLAN-SOP-07
			Aluminio	N/A	mEq/100 g suelo	NOM-021-RECNAT-2000/AS-33
BASES DEL SUELO	DISPONIBLE	K	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b (MODIFICADO)	
		Ca	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b (MODIFICADO)	
		Mg	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b (MODIFICADO)	
		K	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b	
	INTERCAMBIABLE	Ca	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b	
		Mg	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b	
		Na	0,30	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a1b	
		CIC	N/A	mEq/100 g suelo	KSSL-4B1a	
MICRO ELEMENTOS			Fe	N/A	mg/kg	MELICH 1
			Cu	N/A	mg/kg	MELICH 1
			Mn	N/A	mg/kg	MELICH 1
			Zn	N/A	mg/kg	MELICH 1
ANÁLISIS ESPECIALES			Carbonatos	N/A	mg/kg	NOM-021-RECNAT-2000/AS-20
			B	N/A	mg/kg	AZOMETINA-H
			SO ₄ ²⁻	N/A	mg/kg	TURBIDIMÉTRICO
			NO ₃ ⁻	N/A	mg/kg	ESPECTROFOTOMÉTRICO UV-VIS
			NH ₄ ⁺	N/A	mg/kg	ESPECTROFOTOMÉTRICO UV-VIS
			Acidez intercambiable	N/A	mEq/100 g suelo	NOM-021-RECNAT-2000/AS-33
			Hidrógeno intercambiable	N/A	mEq/100 g suelo	Calculado
		pH (KCl)	N/A	-	GLOSOLAN-SOP-08	

Anexo 7. Área de estudio, Centro de Investigación, Producción, Extensión y Enseñanza Agropecuarias (CIPEA) El Plantel.



Anexo 8. Muestreo in situ (CE Y pH) a través de multiparámetro

