

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

IDENTIFICACIÓN DE SUELOS SALINOS USANDO IMÁGENES SATELITALES

LANDSAT 8 EN EL DISTRITO DE JULIACA 2024

PRESENTADA POR:

CRHISTIAN ROYSI ORTEGA COLQUE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](https://www.upsc.edu.pe/) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



5.67%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 21 MAR 2025, 12:24 PM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
1.05%

● CHANGED TEXT
4.62%

Report #25360315

CRHISTIAN ROYSI ORTEGA COLQUE // IDENTIFICACIÓN DE SUELOS SALINOS USANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8 EN EL DISTRITO DE JULIACA 2024 RESUMEN

Los suelos en varios lugares del mundo se ven afectados por la salinidad, el mismo que puede aumentar con el tiempo debido a causas naturales, y antropogénicas, como las actividades agrícolas, por ello la presente investigación tuvo como objetivo Identificar las áreas salinas en suelos usando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el distrito de Juliaca. Se recolectaron 21 muestras de suelo de diferentes superficies del distrito de Juliaca, identificando previamente la conductividad eléctrica con extractos de suelo y agua destilada en una proporción 1:5 para ello se utilizó un medidor de conductividad eléctrica Hanna (modelo HI98130). Las muestras se obtuvieron a una profundidad de 20 cm de suelo durante el mes de diciembre del 2024, como resultado se obtuvieron los valores de conductividad eléctrica (CE) oscilando entre 0.02 y 0.64 deciSiemens por metro (ds/m), con un valor medio de CE de 0.13 ds/m, estos resultados fueron comparados con los datos obtenidos a partir de las imágenes LANDSAT 8 usando la ecuación INDSAL obteniendo valores que oscilan entre -0.03 y 0.21 de los mismos puntos de donde se extrajeron las muestras; comparados ambos valores se obtuvo una correlación significativa alta con un coeficiente de Pearson igual a 0.762, concluyendo que la conductividad eléctrica de los suelos del distrito de Juliaca indican que

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

IDENTIFICACIÓN DE SUELOS SALINOS USANDO IMÁGENES SATELITALES

LANDSAT 8 EN EL DISTRITO DE JULIACA 2024

PRESENTADA POR:

CRHISTIAN ROYSI ORTEGA COLQUE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

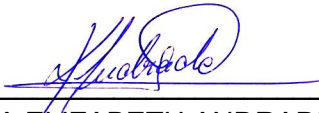
PRESIDENTE

:


Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO

:


Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

SEGUNDO MIEMBRO

:


M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

:


Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Línea de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 26 de marzo del 2025.

DEDICATORIA

Dedico este estudio al padre celestial que nos dio la vida, que me inspira y me proporcionó la fuerza que necesito para completar con éxito este proceso y obtener uno de mis anhelos en este camino de triunfo y aprendizaje,

A mi querida madre Candida Colque Serruto quien fue un pilar muy importante para mi desarrollo profesional y personal.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos – Puno, por acogerme como mi segundo hogar donde recibí las enseñanzas impartidas por los diferentes docentes en los años de estudios, donde se me permitió alcanzar uno de mis objetivos más anhelados.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por brindarme los conocimientos impartidos en los diferentes años de estudios cursados.

A mi asesor Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda, por su compromiso, paciencia y enseñanza incondicional para lograr la elaboración del presente trabajo de investigación

Agradecer a mis jurados.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL.	15
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.	16
1.2. ANTECEDENTES	16
1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL	16
1.2.2. A NIVEL NACIONAL	18
1.2.3. A NIVEL REGIONAL	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.	20
1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	21
2.1.1. CALIDAD DEL SUELO	21

2.1.2. DETERIORO DE LA CALIDAD DEL SUELO	21
2.1.3. SALINIDAD DE SUELOS	21
2.1.4. IMPORTANCIA DE LOS SUELOS	22
2.1.5. PARÁMETROS FÍSICOS DEL SUELO	22
2.1.6. PARÁMETROS QUÍMICOS	23
2.2. MARCO CONCEPTUAL	23
2.3. MARCO NORMATIVO	24
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	25
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.	25
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.	25

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	26
3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA	26
3.2. TAMAÑO DE LA MUESTRA	27
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	28
3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.	28
3.3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	28
3.3.3. MÉTODO.	28
3.3.4. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.	28
3.3.5. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	28
3.3.6. MATERIALES.	31

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS DEL DISTRITO DE JULIACA.	32
4.2. IDENTIFICACIÓN DE SUELOS SALINOS DEL DISTRITO DE JULIACA MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8	34
4.3. RELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL	

DE SALINIDAD EN LOS SUELOS DEL DISTRITO DE JULIACA OBTENIDOS MEDIANTE MEDICIONES DE ELECTROCONDUCTIVIDAD Y ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES.	38
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	39
4.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS.	40
4.5.1. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL.	40
4.5.2. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1.	41
4.5.3. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2.	41
4.5.4. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3.	42
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	49

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Puntos de monitoreo de la salinidad en el distrito de Juliaca.	27
Tabla 02: Valores de conductividad eléctrica.	29
Tabla 03: Valores de conductividad eléctrica tomadas en campo.	32
Tabla 04: Datos obtenidos de conductividad eléctrica a partir de las imágenes satelitales LANDSAT 8.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Localización de la zona de estudio.	26
Figura 02: Pagina de Servicio Geológico de los Estados Unidos.	30
Figura 03: Mapa del distrito de Juliaca después del procesamiento con la ecuación INDSAL.	35
Figura 04: Gráfico de dispersión de los datos de la Medición en campo y la medición mediante imágenes satelitales.	38
Figura 05: Ubicación de los puntos de monitoreo	51
Figura 06: Ubicación del punto de muestra.	52
Figura 07: Uso del agua destilada 100 ml para la prueba de conductividad eléctrica.	52
Figura 08: Se tomó una muestra de 20 gramos de suelo.	53
Figura 09: Mezcla del agua destilada junto a la muestra de suelo.	53

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia.	50
Anexo 02: Galería fotográfica.	51

RESUMEN

Los suelos en varios lugares del mundo se ven afectados por la salinidad, el mismo que puede aumentar con el tiempo debido a causas naturales, y antropogénicas, como las actividades agrícolas, por ello la presente investigación tuvo como objetivo Identificar las áreas salinas en suelos usando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el distrito de Juliaca. Se recolectaron 21 muestras de suelo de diferentes superficies del distrito de Juliaca, identificando previamente la conductividad eléctrica con extractos de suelo y agua destilada en una proporción 1:5 para ello se utilizó un medidor de conductividad eléctrica Hanna (modelo HI98130). Las muestras se obtuvieron a una profundidad de 20 cm de suelo durante el mes de diciembre del 2024, como resultado se obtuvieron los valores de conductividad eléctrica (CE) oscilando entre 0.02 y 0.64 deciSiemens por metro (ds/m), con un valor medio de CE de 0.13 ds/m, estos resultados fueron comparados con los datos obtenidos a partir de las imágenes LANDSAT 8 usando la ecuación INDSAL obteniendo valores que oscilan entre -0.03 y 0.21 de los mismos puntos de donde se extrajeron las muestras; comparados ambos valores se obtuvo una correlación significativa alta con un coeficiente de Pearson igual a 0.762, concluyendo que la conductividad eléctrica de los suelos del distrito de Juliaca indican que son normales y no presentan problemas de salinidad. Tanto en los análisis de campo como a través de imágenes satelitales arrojaron valores de conductividad por debajo de 2 dS/m que define a los suelos salinos.

Palabras clave: Imágenes satelitales, LANDSAT 8, Suelos salinos.

ABSTRACT

Soils in various parts of the world are affected by salinity, which can increase over time due to natural and anthropogenic agricultural activities, therefore this research aimed to identify saline areas in soils using LANDSAT 8 satellite images in the Juliaca district. 21 soil samples were collected from different surfaces in the Juliaca district, previously identifying the electrical conductivity with soil extracts and distilled water in a 1:5 ratio. For this, a Hanna electrical conductivity meter (model HI98130) was used. The samples were obtained at a depth of 20 cm of soil during the month of December 2024, as a result the electrical conductivity (EC) values were obtained ranging between 0.02 and 0.64 deciSiemens per meter (ds/m), with an average EC value of 0.13 ds/m, these results were compared with the data obtained from the LANDSAT 8 images using the INDSAL equation obtaining values that range between -0.03 and 0.21 from the same points from which the samples were extracted; Comparing both values, a high significant correlation was obtained with a Pearson coefficient equal to 0.762, concluding that the electrical conductivity of the soils of the Juliaca district indicate that they are normal and do not present salinity problems. Both field analyzes and satellite images showed conductivity values below 2 dS/m, which defines saline soils.

Keywords: Satellite images, LANDSAT 8, Saline soils.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un ecosistema complejo y diverso, fundamental para la vida en la Tierra. Su salud influye directamente en la agricultura, la seguridad alimentaria y la regulación del clima. Sin embargo, el suelo enfrenta diversas amenazas, muchas de ellas causadas por la actividad humana (Soca et al., 2017).

La salinización, un proceso que aumenta la concentración de sales en el suelo, es una de las principales problemáticas. Esta puede ser originada por factores naturales o antropogénicos, como prácticas agrícolas inadecuadas y el cambio climático. La salinización reduce la fertilidad del suelo, limita el crecimiento de las plantas y afecta negativamente a la biodiversidad (Vélasquez et al., 2024)

Las consecuencias de la degradación del suelo, incluyendo la salinización, son graves y de largo alcance. La pérdida de suelo fértil amenaza la producción de alimentos, aumenta la vulnerabilidad a desastres naturales y contribuye al cambio climático. Es crucial adoptar medidas urgentes para prevenir y revertir la degradación del suelo, asegurando su conservación para las generaciones futuras (Aksoy et al., 2024).

Una de las maneras de medir si un suelo es salino es mediante la conductividad eléctrica, si llega a sobrepasar los 2 dS/m nos encontramos con la posibilidad de tener suelos salinos, tradicionalmente se tiene que tomar muestras y medir la conductividad eléctrica, sin embargo actualmente existen métodos indirectos usando imágenes satelitales para estimar la salinidad del suelo superficial (Masoud et al., 2019).

Prevenir el proceso de salinización en distritos como Juliaca es de crucial importancia ya que se desarrolla agricultura familiar en sus zonas rurales, el presente trabajo busca identificar las áreas salinas en suelos salinos usando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el distrito de Juliaca (Kumar et al., 2024).

La presente investigación se organiza en cuatro capítulos. El Capítulo I introduce el problema a investigar, revisando la literatura científica relevante a nivel internacional, nacional y local, y estableciendo los objetivos del estudio. El Capítulo II profundiza en el marco teórico y conceptual que sustenta la investigación, presentando las bases teóricas

y la normativa legal aplicable, así como las hipótesis que guían el estudio. El Capítulo III detalla la metodología empleada para llevar a cabo la investigación, describiendo el área de estudio, la selección de la muestra y los procedimientos estadísticos utilizados para el análisis de los datos. Por último, el Capítulo IV presenta y analiza los resultados obtenidos, ofreciendo una interpretación de los mismos y estableciendo las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel global, la salinización de los suelos es un problema significativo que afecta la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental. La FAO estima que más del 20% de las tierras de riego en todo el mundo están afectadas por la salinidad, lo que reduce la capacidad de producción de alimentos, amenaza la seguridad alimentaria y afecta gravemente los ecosistemas naturales (Castañeda et al., 2022). Este fenómeno ocurre principalmente en áreas donde las prácticas de riego no son sostenibles o donde el cambio climático provoca un aumento en la evaporación, lo que intensifica la acumulación de sales en la superficie del suelo. Para monitorear esta situación, las imágenes satelitales, especialmente las del programa Landsat, se han convertido en una herramienta clave, ya que permiten el mapeo y la identificación de áreas afectadas por la salinización con un alto grado de precisión.

En el Perú, la degradación de los suelos, incluida la salinización, es un desafío crítico que afecta la productividad agrícola en varias regiones del país. Según el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), más del 10% de las tierras agrícolas del país están afectadas por problemas de salinidad (INIA, 2020). Las zonas costeras y los valles interandinos son particularmente vulnerables, ya que las condiciones climáticas, combinadas con prácticas de riego inadecuadas, han contribuido a la degradación del suelo. En este contexto, el uso de tecnologías de teledetección, como las imágenes satelitales del Landsat 8, ha

demostrado ser una herramienta eficaz para monitorear y evaluar la expansión de los suelos salinos en áreas vulnerables.

La región de Puno, ubicada en el altiplano peruano, enfrenta problemas significativos relacionados con la salinización de sus suelos, particularmente en áreas dedicadas a la agricultura y la ganadería. Según estudios realizados por el Gobierno Regional de Puno, se estima que un porcentaje considerable de las tierras agrícolas en la región muestra signos de salinidad (Gobierno Regional de Puno, 2022). Las características climáticas de la región, como las bajas precipitaciones y la alta evaporación, junto con el uso de aguas de riego con alto contenido de sales, han acelerado este proceso. Como resultado, la productividad de cultivos clave, como la papa y la quinua, ha disminuido, afectando la economía de los agricultores locales.

En el distrito de Juliaca, uno de los más importantes en la región de Puno, la problemática de los suelos salinos es particularmente aguda. La expansión de los suelos afectados por salinidad ha tenido un impacto negativo en la producción agrícola local, afectando a pequeñas y medianas fincas que dependen de la agricultura para su sustento. La identificación de suelos salinos se ha vuelto crucial para desarrollar estrategias de manejo y recuperación de suelos degradados.

El uso de imágenes satelitales Landsat 8 ha permitido identificar zonas afectadas por la salinidad en Juliaca, mediante el análisis de bandas espectrales específicas que detectan la presencia de sales en el suelo (Torres et al., 2024). Estas imágenes proporcionan datos actualizados y de alta resolución, lo que facilita la creación de mapas precisos de la salinización del suelo y permite a las autoridades locales y agricultores planificar intervenciones que mejoren la productividad y la sostenibilidad agrícola en la región.

En conclusión, la problemática de la salinidad en los suelos del distrito de Juliaca requiere una atención urgente y el uso de tecnologías avanzadas como las imágenes satelitales Landsat 8 para su monitoreo y manejo adecuado. Estas herramientas no solo permiten una identificación precisa de las áreas afectadas, sino que también ofrecen una base

científica para implementar soluciones efectivas que ayuden a mitigar los efectos de la salinización y mejorar la productividad agrícola en la región.

La salinidad del suelo, un fenómeno que degrada la calidad de la tierra en regiones secas, afecta tanto a la producción agrícola como a las estructuras urbanas (Abuelgasim & Ammad, 2019).

La desertificación en el Perú es un problema multifactorial que afecta a todas las regiones del país. En la sierra, la erosión hídrica, producto de prácticas agrícolas inadecuadas, es la principal causa de degradación de los suelos (Andrade et al., 2020). En la selva, la deforestación desencadena procesos de desertificación, mientras que en la costa, la salinización de los suelos, producto de la mala gestión de los recursos hídricos, afecta a cerca del 40% de las tierras cultivables (Soca et al., 2017).

La salinidad de los suelos en la cuenca del Titicaca es un problema importante debido a los depósitos naturales de sal y los desbordamientos de los ríos salinizados (Lope, 2021).

La identificación de suelos salinos es fundamental para implementar estrategias efectivas de manejo sostenible del suelo y prevenir la salinización. En este contexto, el uso de tecnologías de vanguardia como las imágenes satelitales Landsat 8 ofrece una herramienta valiosa para abordar este problema.

La aplicación de esta tecnología en el distrito de Juliaca permitiría generar mapas detallados y actualizados de la distribución de suelos salinos, lo cual facilita la toma de decisiones informadas para el manejo sostenible del suelo, la implementación de medidas de prevención y la promoción de prácticas agrícolas adecuadas. Ante dicho contexto problemático, la investigación está enfocada en estimar la salinidad de los suelos en el distrito de Juliaca usando imágenes satelitales.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL.

¿Cuáles son las áreas de suelos salinos usando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el distrito de Juliaca para el año 2024?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

¿Cuál es la variabilidad espacial de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca mediante las mediciones de electroconductividad en el año 2024?

¿Cuál es la variabilidad espacial de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca mediante las imágenes satelitales en el año 2024?

¿Cómo se relacionan los resultados de la variabilidad espacial de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca obtenidos mediante mediciones de electroconductividad y análisis de imágenes satelitales?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Abuelgasim & Ammad (2019), utilizando datos espectrales del infrarrojo cercano y corto del satélite Landsat 8, los autores propusieron un nuevo índice y modelo para mapear y evaluar la salinidad del suelo en áreas desérticas no agrícolas. Al integrarlo en un modelo semiempírico, se obtuvo una precisión superior al 60% en la clasificación general de la salinidad, superando a otros índices existentes. Además, este nuevo índice demostró ser especialmente eficaz en la identificación de suelos con niveles de salinidad muy altos (90%).

Kumar et al. (2024) analizaron la evolución de la salinización del suelo en el cinturón costero de Bengala Occidental, India, utilizando imágenes Landsat de múltiples fechas y datos de campo. Emplearon técnicas de teledetección y modelos de regresión para relacionar las firmas espectrales con la conductividad eléctrica y la salinidad del suelo. Los resultados mostraron un aumento significativo en la salinidad, especialmente en áreas con cambios en el uso del suelo, como la expansión de la urbanización y la agricultura intensiva. El análisis espectral confirmó la presencia de minerales de sal en las muestras de suelo, y el modelo PLSR demostró ser una herramienta eficaz para predecir la salinidad con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.79. Este estudio subraya la importancia de combinar datos de teledetección y análisis de campo para monitorear la

salinización y apoyar la gestión sostenible de los recursos terrestres en regiones costeras afectadas por la intrusión salina.

Elshevy et al. (2024), implementaron un conjunto de algoritmos de aprendizaje automático, incluyendo SVM, árboles de decisión y regresión lineal, para predecir la salinidad del suelo utilizando imágenes Landsat 8. Al combinar las bandas infrarrojas azul, roja y de onda corta con un modelo SVM cuadrático, se obtuvo el mejor rendimiento ($R^2=0.86$). Estos resultados demuestran el potencial de la teledetección para mapear con precisión la salinidad del suelo y apoyar la gestión de suelos salinos.

Aksoy et al., (2024) emplearon modelos de aprendizaje automático (XGBoost y Random Forest) para predecir la salinidad del suelo en el lago Urmia utilizando imágenes Landsat-8 y covariables ambientales. Se implementaron técnicas de sobremuestreo para abordar el desbalance de clases. Los resultados mostraron que XGBoost, combinado con SMOTE, superó a Random Forest en precisión. El análisis de SHAP reveló que los índices de vegetación y las bandas espectrales contribuyeron de manera diferencial a la predicción de la salinidad en distintas regiones del estudio. Este enfoque ofrece una herramienta valiosa para monitorear la salinización de suelos y apoyar la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Quan & Llano (2005), presentaron una metodología innovadora para estimar la salinidad de suelos en plantaciones de caña de azúcar utilizando imágenes hiperespectrales de alta resolución y datos de conductividad eléctrica. Mediante la correlación entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la conductividad eléctrica, se generó un modelo para mapear la salinidad en el Complejo Agroindustrial "Paraguay". Aunque el estudio se limita a un rango espectral específico, los resultados sugieren que esta técnica, con ajustes en la selección de bandas y la resolución espacial, puede ser aplicada en otras áreas.

Koulla et al. (2019), en su investigación los investigadores afrontaron el problema sobre la Estimación espacial y La predicción de la salinidad ya que es importante para predecir la evaluación de la tierra con el fin de desarrollar y determinar el factor de lixiviación y el

manejo preciso para una máxima producción , dando su papel en la comprensión y estimación de la organización del espacio de la salinidad del suelo en la llanura del Bajo Cheliff en Argelia , de donde se extrajo 406 muestras , de las cuales el 80% fueron para el modelado y el 20 % para la validación, en esta investigación se utilizaron 5 modelos regresivos , el Modelo de Regresión Lineal Múltiple(MLP), Kriging Ordinario (OK), Red Neuronal Artificial(ANN), Red Perceptron Multicapa(MLP), Redes de Función de Base Radial (RFB), donde El desempeño de cada modelo se estudió bajo los criterios de rendimiento estadístico del coeficiente de determinación (R^2), el error cuadrático medio (RMSE), y el error absoluto medio (MAE), dando como resultado la superioridad del modelo MLP estaba implícita con el valor de $R^2 = 0,994$, $RMSE = 0,63$ y $MAE = 0,33$ siendo este el mejor estimador.

1.2.2. A NIVEL NACIONAL

Curi (2018), empleó el índice de salinidad (Indsal) y el NDVI para identificar suelos salinos en el distrito de Ocucaje a partir de imágenes Landsat 8. Los valores negativos del Indsal, calculados a partir de las bandas 6 y 7, se correlacionaron directamente con la conductividad eléctrica del suelo ($r=0.9204$), demostrando la eficacia del modelo en mapear la salinidad.

Soca et al. (2017), emplearon imágenes satelitales de alta resolución (SPOT, Landsat 5 y 7) para identificar suelos degradados por salinidad en cultivos de caña de azúcar en la Empresa Agroindustrial Pomalca, Lambayeque. Calcularon índices espectrales (NDVI e IndSal) y se aplicaron modelos de regresión lineal para estimar la salinidad del suelo a partir de la reflectancia de las bandas espectrales. Los resultados se presentaron en un mapa temático de distribución espacial de la salinidad.

Pasache (2021), empleó diferentes dosis de yeso agrícola y azufre, complementadas con la aplicación de estiércol. evaluó parámetros como pH, conductividad eléctrica, calcio y sodio intercambiables, y el índice de sodio potencial (PSI). Los resultados revelaron que el azufre acidifica el suelo, el yeso aumentó el calcio intercambiable y disminuyó el sodio, mejorando así las condiciones del suelo.

Silva et al. (2024) evaluaron la eficacia de humus y carbón activado para remediar suelos salinos en La Yarada, Tacna. Se recolectaron muestras de suelo y se aplicaron diferentes tratamientos. Los resultados indicaron que la combinación de humus y carbón activado fue la más efectiva en reducir la conductividad eléctrica y mejorar la estructura del suelo. Sin embargo, no se observaron mejoras significativas en la germinación de semillas, sugiriendo la necesidad de investigaciones adicionales para comprender otros factores limitantes. En conclusión, esta investigación demuestra el potencial de la combinación de humus y carbón activado como una estrategia prometedora para la rehabilitación de suelos salinos, aunque se requieren estudios más profundos para optimizar su aplicación en condiciones agrícolas reales.

Pardeo & Salinas (2022), evaluaron la eficacia de diferentes técnicas de regresión (SLR, MLR, RFR y DTR) para estimar la salinidad del suelo en áreas con escasa vegetación utilizando imágenes multiespectrales de satélite. El objetivo principal fue desarrollar un método preciso y no invasivo para mapear la salinidad del suelo y apoyar la toma de decisiones en la gestión agrícola. Los resultados mostraron que el algoritmo de regresión por árbol de decisión (DTR) superó significativamente a las otras técnicas, alcanzando una precisión del 95% y un error promedio de 0.11 dS/m en la estimación de la conductividad eléctrica del suelo. La alta precisión del DTR se atribuye a su capacidad para capturar relaciones no lineales entre las bandas espectrales y la salinidad, lo cual es común en suelos salinos. Estos hallazgos sugieren que el DTR es una herramienta prometedora para monitorear la salinización de suelos a gran escala y apoyar la implementación de prácticas de gestión sostenible de la tierra.

1.2.3. A NIVEL REGIONAL

Lope (2021) investigó métodos para reducir la salinidad y mejorar el cultivo de quinua. La gestión eficiente del agua fue el método más eficaz para reducir la salinidad, con una conductividad eléctrica (CE) que disminuyó de 13,40 y 14,38 mmhos/cm a un rango de 2-3 mmhos/cm. La aplicación de yeso también fue efectiva, pero en menor medida. El

rendimiento de quinua no se vio afectado por niveles de salinidad de 2-3 mmhos/cm, pero las altas temperaturas sí impactaron negativamente el rendimiento.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Identificar las áreas salinas en suelos salinos usando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el distrito de Juliaca, 2024.

1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.

- Identificar los suelos salinos en el distrito de Juliaca con los valores de electroconductividad en el 2024.
- Identificar los suelos salinos del distrito de Juliaca usando imágenes satelitales LANDSAT 8 - 2024.
- Determinar la relación entre los resultados de la variabilidad espacial de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca obtenidos mediante mediciones de electroconductividad y análisis de imágenes satelitales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. CALIDAD DEL SUELO

La calidad del suelo se refiere a la capacidad de un suelo para cumplir diversas funciones esenciales para los ecosistemas y la humanidad. Un suelo de calidad es aquel que puede sostener la productividad agrícola, filtrar contaminantes, regular el ciclo del agua y albergar una rica biodiversidad (Vélasquez et al., 2024)

2.1.2. DETERIORO DE LA CALIDAD DEL SUELO

El deterioro de la calidad del suelo es un proceso gradual que reduce su capacidad para sustentar la vida y proporcionar servicios ecosistémicos. Este fenómeno, en gran medida causado por actividades humanas como la deforestación, la agricultura intensiva y la urbanización, conlleva una pérdida de materia orgánica, compactación, erosión y contaminación (Ramos, 2021). La degradación del suelo no solo disminuye la productividad agrícola, sino que también exacerba problemas ambientales como la desertificación y el cambio climático (Moreno et al., 2016).

2.1.3. SALINIDAD DE SUELOS

La salinidad del suelo es un proceso que implica la acumulación excesiva de sales solubles en el suelo, lo que reduce su fertilidad y productividad (Abuelgasim & Ammad, 2019). Las principales causas de la salinidad incluyen prácticas agrícolas inadecuadas, como el riego excesivo con aguas de baja calidad, y factores climáticos como la evaporación y la poca precipitación (Morales, 2015).

El monitoreo de la salinidad del suelo es un requisito previo para el uso sostenible de las tierras agrícolas y para una gestión eficiente del suelo para minimizar los impactos ambientales de la salinidad y lograr la mejor toma de decisiones en la planificación del uso de la tierra. Sin embargo, los estudios de laboratorio convencionales sobre la salinidad del suelo requieren mucho tiempo y son costosos, y la salinidad del suelo es extremadamente variable en el espacio: incluso en distancias cortas, la salinidad cambia con la topografía y otros factores. (Masoud et al., 2019).

2.1.4. IMPORTANCIA DE LOS SUELOS

Los suelos son un recurso natural vital que sustenta la vida en nuestro planeta. Actúan como un filtro natural, purificando el agua y el aire; regulan el clima al almacenar carbono; y proporcionan hábitats para una gran diversidad de organismos. Además, los suelos son la base de la agricultura, suministrando los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y, por lo tanto, para la producción de alimentos (Aimetta et al., 2020).

2.1.5. PARÁMETROS FÍSICOS DEL SUELO

a. Temperatura

La temperatura del suelo es un factor fundamental que influye en numerosos procesos edáficos y biológicos. Representa la cantidad de energía térmica contenida en las partículas del suelo y el agua que llena sus poros. Esta variable, según Jones (2016), es esencial para comprender la dinámica de los ecosistemas terrestres, ya que afecta procesos como la descomposición de la materia orgánica, la germinación de semillas y la actividad microbiana (Jaramillo, 2002).

b. Conductividad eléctrica (C.E)

La electroconductividad del suelo es una medida de la capacidad de un suelo para conducir corriente eléctrica. Esta propiedad está directamente relacionada con la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. A mayor cantidad de sales, mayor será la conductividad eléctrica, la medición de la electroconductividad es una herramienta invaluable para evaluar la salinidad de los suelos y su aptitud para la agricultura (Morales, 2015).

2.1.6. PARÁMETROS QUÍMICOS

a. Potencial de Hidrógeno pH

El pH del suelo es una medida de su acidez o alcalinidad. Esta propiedad influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, la actividad de microorganismos y la estructura del suelo, el pH óptimo para la mayoría de los cultivos se encuentra entre 6 y 7. Valores fuera de este rango pueden limitar el crecimiento vegetal y afectar la calidad del suelo (Jaramillo, 2002).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Salinidad: La salinidad se conoce como la acumulación en el suelo de sales solubles tales como los aniones: cloruro, sulfato, bicarbonato, boro, y los cationes: calcio, magnesio, sodio. Siendo el cloruro y el sodio los que habitualmente causan más problemas a nivel agronómico (Vargas et al., 2018).

Sales: Se denomina sales a los compuestos químicos que son el resultado de un enlace iónico entre partículas químicas con carga positiva (cationes) y otras con carga negativa (aniones) (Jaramillo, 2002). Son el resultado típico de la reacción química entre un ácido y una base, también conocida como reacción de neutralización, los suelos salinos se originan a causa de sales del agua subterránea, sales de agua de riego, sales de agua de mar y sales por factores antrópicos (Curi, 2018).

Suelo salino: Los suelos salinos o alcalinos son aquellos que contienen una elevada concentración de sales solubles (salinos) y/o sodio intercambiable en las arcillas (Vélasquez et al., 2024).

Sodio: Elemento químico metálico, de símbolo Na y número atómico 11, perteneciente al grupo de los alcalinos. Es blando, de color plateado, muy reactivo, especialmente con el agua, produciendo hidrógeno y formando hidróxidos. Se encuentra de forma natural en compuestos, como el cloruro de sodio (sal común), que es esencial para la vida y el funcionamiento de los organismos (Sahbeni, 2021).

Cloruros: Los cloruros son sales muy solubles y son los responsables de la formación de suelos salinos, los cuales pueden ser cloruro sódico, cloruro magnésico, cloruro cálcico, cloruro potásico (Lope, 2021).

Carbonatos: Compuestos químicos que contienen el ion carbonato (CO_3^{2-}). Son sales o ésteres del ácido carbónico y se encuentran de forma natural en minerales como la calcita o el mármol. Los carbonatos son fundamentales en diversas reacciones químicas y en la regulación del pH en procesos biológicos y geológicos (Lope, 2021).

Bicarbonatos: Compuesto químico que contiene el ion bicarbonato (HCO_3^-), derivado del ácido carbónico. Es una sal que se encuentra comúnmente como bicarbonato de sodio (NaHCO_3), utilizada en la cocina, en la medicina como antiácido, y en la limpieza por su capacidad de neutralizar ácidos (Lope, 2021)

Teledetección y Sensores Satelitales

La teledetección es el proceso de obtener información sobre objetos o áreas a través de sensores que no están en contacto directo con el área de estudio, como los satélites. El satélite LANDSAT 8 está equipado con el sensor OLI (Operational Land Imager), que captura imágenes multiespectrales con alta precisión. (Abuelgasim & Ammad, 2019).

Impacto en la Agricultura y Gestión del Suelo

La identificación de áreas salinas es clave para la gestión sostenible del suelo y la planificación agrícola. Los suelos salinos reducen la productividad agrícola y afectan la calidad del agua (Ledezma, 1997). En Juliaca, una región que depende fuertemente de la agricultura, la detección de áreas con alta salinidad puede guiar estrategias de rehabilitación del suelo, como el lavado de sales o la selección de cultivos resistentes a la salinidad.

2.3. MARCO NORMATIVO

- Ley N°28611, Ley General del Ambiente; La **Ley N° 28611, Ley General del Ambiente**, promulgada en Perú en octubre de 2005, establece el **marco legal para la protección del ambiente** y la gestión sostenible de los recursos naturales en el país. Su objetivo es garantizar el **derecho de las personas a vivir en un ambiente**

equilibrado y adecuado, promoviendo el uso responsable de los recursos naturales y la conservación de los ecosistemas, en línea con el desarrollo sostenible.

- Decreto Supremo 011-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de la Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. El **Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM**, emitido por el Ministerio del Ambiente (MINAM) de Perú, tiene como objetivo establecer disposiciones relacionadas con la **gestión de residuos sólidos** en el país. Este decreto es parte del desarrollo normativo de la **Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos**, y tiene como fin promover un manejo adecuado, sostenible y eficiente de los residuos, alineado con los principios de la economía circular y la protección del ambiente.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.

Se puede identificar las áreas salinas en suelos salinos usando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el distrito de Juliaca, 2024.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

- Los valores de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca medidas en campo presentan valores de suelos moderadamente salinos.
- Los valores de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca medidos con imágenes satelitales presentan valores de suelos moderadamente salinos.
- La relación entre los resultados de la variabilidad espacial de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca obtenidos mediante mediciones de electroconductividad y análisis de imágenes satelitales, es significativa.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El área del estudio serán zonas cercanas a la red vial del distrito de Juliaca.

3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA

La zona de estudio se ubica en cada coordenada.

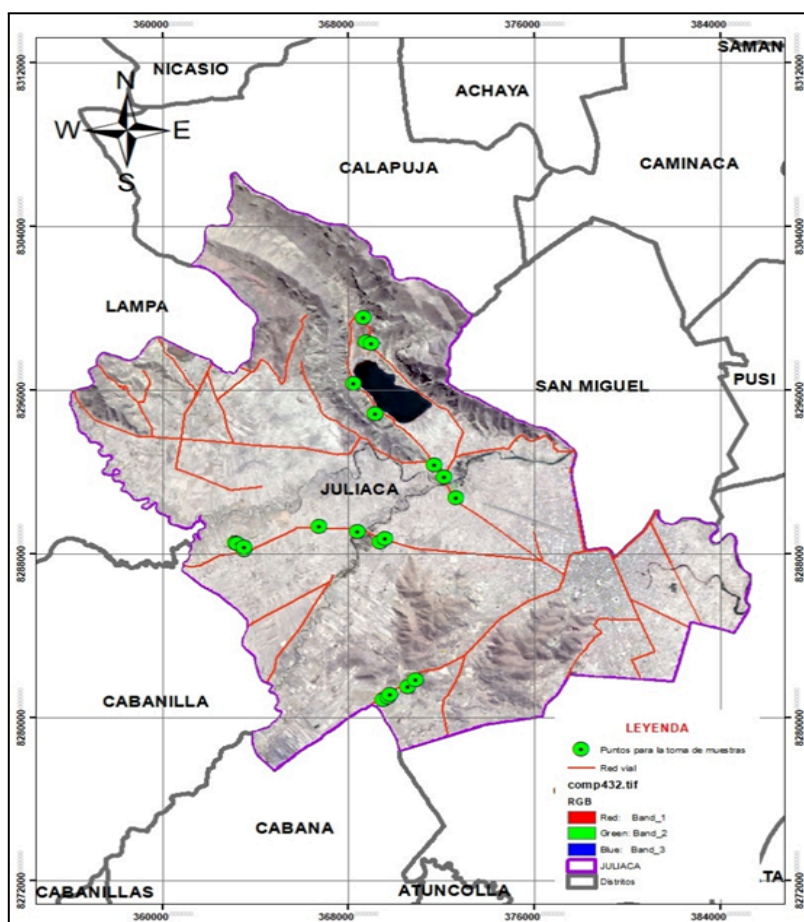


Figura 01: Localización de la zona de estudio.

Fuente: ArcGIS

3.2. TAMAÑO DE LA MUESTRA

a. Población. La población es el área total del suelo del distrito de Juliaca con un área de 553.47 km².

b. Muestras. Está conformada por toda la población de la cual se tomarán 21 puntos de monitoreo dentro del distrito de Juliaca, cerca de la red vial y lugares con frecuente inundación.

Tabla 01: Puntos de monitoreo de la salinidad en el distrito de Juliaca.

PUNTO	ESTE	NORTE
JU-01	363140.605	8288529.04
JU-02	363262.314	8288491.99
JU-03	363521.606	8288195.66
JU-04	363526.898	8288349.12
JU-05	366758.091	8289362.55
JU-06	368244.425	8296330.64
JU-07	368417.031	8289108.55
JU-08	368646.593	8299569.14
JU-09	368769.36	8298366.87
JU-10	369006.427	8298299.14
JU-11	369175.761	8294859.55
JU-12	369393.346	8288584.68
JU-13	369519.722	8280895.79
JU-14	369607.659	8288759.3
JU-15	369731.389	8281001.62
JU-16	369816.056	8281128.62
JU-17	370567.474	8281530.79
JU-18	370895.558	8281837.71
JU-19	371722.152	8292366.86
JU-20	372142.84	8291747.74
JU-21	372648.195	8290754.55

Los puntos de monitoreo fueron tomados con google Earth para extraer los valores del este y norte.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

La investigación es de tipo correlacional porque busco establecer relaciones entre las variables obtenidas de las imágenes satelitales y los datos de campo.

3.3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

El diseño es del tipo no experimental – transversal ya que se realizó un análisis de las imágenes satelitales en un momento específico (2024) para obtener una instantánea de la distribución espacial de la salinidad.

3.3.3. MÉTODO.

El método es deductivo-cuantitativo ya que se utilizaron técnicas de análisis de imágenes satelitales y estadística descriptiva para procesar y analizar los datos obtenidos.

3.3.4. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.

Identificación de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo fueron establecidos por las diferentes zonas con mayor frecuencia de inundación y cercanos a la red vial, por su acceso para la toma de muestras.

3.3.5. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Para el OE1: Identificar los suelos salinos en el distrito de Juliaca con los valores de electroconductividad en el 2024.

EJECUCIÓN DEL PROGRAMA DE CAMPO:

Se llevó a cabo una inspección inicial del entorno para poder proceder de la siguiente forma:

- Se utilizó la app de Google Earth para encontrar los puntos de monitoreo.
- Se tomó 20 gramos de suelo de cada punto de muestreo.
- En un vaso de 250 ml se mezcló los 20 gr. de suelo con 100 ml de agua destilada a relación de 1:5.

- Se agitó la mezcla durante 30 minutos.
- Se dejó reposar la mezcla y luego filtrar el líquido resultante.
- Se utilizó el multiparámetro HI98130 para determinar la electroconductividad del suelo.
- Se utilizaron los valores de electroconductividad para clasificar la categoría de tipo de suelo salino.

Tabla 02: Valores de conductividad eléctrica.

Tipo de Suelo	Conductividad Eléctrica
Suelo normal	< 2 dS/m
Suelo Salino	> 2 dS/m
Salinidad Ligera	2 - 4 dS/m
Salinidad mediana	4 - 8 dS/m
Salinidad fuerte	8 - 16 dS/m
Salinidad extrema	> 16 dS/m

Fuente: (Vélasquez et al., 2024)

Para el OE2: Identificar los suelos salinos del distrito de Juliaca usando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el 2024.

EJECUCIÓN DEL PROGRAMA:

En gabinete para estimar la salinidad de los suelos en la ciudad de Juliaca se procederá de la siguiente manera:

- Se descargo las imágenes satelitales Colección 2 Nivel-2 de Landsat 8 de la página: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

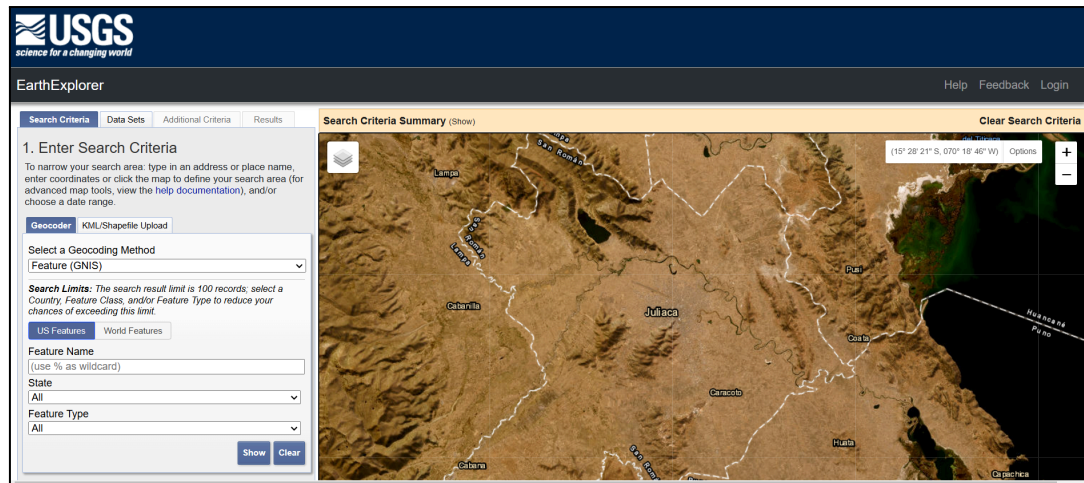


Figura 02: Pagina de Servicio Geológico de los Estados Unidos.

Fuente: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

- Se utilizó el programa ArcGIS para el procesamiento de las imágenes satelitales.
- Para estimar la salinidad se utilizó las bandas 5 y 7.

$$Indsal = \frac{B_5 - B_7}{B_5 + B_7}$$

-Donde:

B_5 = Infrarrojo de onda corta (swir1)

B_7 =Infrarrojo de onda corta (swir2)

-Para estimar la salinidad de los suelos se utilizó la ecuación de Indsal.

Para el OE2: Determinar la relación entre los resultados de la variabilidad espacial de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca obtenidos mediante mediciones de electroconductividad y análisis de imágenes satelitales.

- Finalmente, aplicamos una correlación de Pearson para analizar la relación entre los valores de electroconductividad medidos directamente en el campo y los valores estimados a partir de las imágenes satelitales. Esta técnica estadística nos permitió cuantificar el grado de asociación entre ambas fuentes de datos, proporcionando una mejor comprensión de la precisión y confiabilidad del uso de imágenes satelitales en la evaluación de la salinidad del suelo.

3.3.6. MATERIALES.

a. Materiales de campo

- Guantes desechables
- Lapicero
- Tablero
- Cuaderno de campo

b. Equipo de campo

- GPS Garmin
- Equipo Multiparámetro HI98130
- Cuaderno de campo

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS DEL DISTRITO DE JULIACA.

Los datos obtenidos en campo de los valores de electroconductividad se muestran en la tabla 03.

Tabla 03: Valores de conductividad eléctrica tomadas en campo.

PUNTO	ESTE	NORTE	Conductividad eléctrica (dS/m)
JU-01	363140.605	8288529.04	0.19
JU-02	363262.314	8288491.99	0.14
JU-03	363521.606	8288195.66	0.04
JU-04	363526.898	8288349.12	0.2
JU-05	366758.091	8289362.55	0.04
JU-06	368244.425	8296330.64	0.08
JU-07	368417.031	8289108.55	0.64
JU-08	368646.593	8299569.14	0.14
JU-09	368769.36	8298366.87	0.35
JU-10	369006.427	8298299.14	0.08
JU-11	369175.761	8294859.55	0.02
JU-12	369393.346	8288584.68	0.02
JU-13	369519.722	8280895.79	0.14
JU-14	369607.659	8288759.3	0.03
JU-15	369731.389	8281001.62	0.12

JU-16	369816.056	8281128.62	0.12
JU-17	370567.474	8281530.79	0.03
JU-18	370895.558	8281837.71	0.07
JU-19	371722.152	8292366.86	0.07
JU-20	372142.84	8291747.74	0.04
JU-21	372648.195	8290754.55	0.15

En la tabla 03 se observa, el análisis de la conductividad eléctrica (CE) del suelo en el distrito de Juliaca, Puno, muestra variaciones significativas entre los diferentes puntos de muestreo. La CE es un parámetro clave para evaluar la salinidad del suelo y su capacidad para conducir corriente eléctrica, lo que influye en la disponibilidad de nutrientes y la productividad agrícola.

Máximo valor (0.64 dS/m en el punto 07): Este valor indica una mayor concentración de sales solubles en este punto específico, lo que podría deberse a factores como el uso de fertilizantes, el tipo de suelo, la presencia de aguas subterráneas con alta salinidad o el riego con agua de baja calidad. Aunque este valor no es extremadamente alto, podría empezar a afectar el crecimiento de cultivos sensibles a la salinidad.

Mínimo valor (0.02 dS/m en el punto 12): Este punto presenta una conductividad muy baja, lo que sugiere un suelo con poca presencia de sales. Esto puede ser beneficioso para la mayoría de los cultivos, pero también puede indicar una baja disponibilidad de ciertos nutrientes esenciales, como el potasio y el calcio, que dependen de cierta cantidad de sales en la solución del suelo.

Promedio de 0.12 dS/m: Un valor promedio bajo indica que, en general, los suelos del distrito de Juliaca no presentan problemas severos de salinidad. Sin embargo, la variabilidad entre los puntos analizados sugiere que existen zonas con acumulaciones de sales que podrían requerir manejo diferenciado.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE SUELOS SALINOS DEL DISTRITO DE JULIACA MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8

El uso de ArcGIS para el procesamiento de imágenes satelitales permitió una gestión eficiente y precisa de los datos espaciales, facilitando la extracción y análisis de información relevante sobre la salinidad del suelo. La elección de las bandas 5 (SWIR1) y 7 (SWIR2) es adecuada, ya que estas longitudes de onda son sensibles a la presencia de sales en la superficie del suelo, lo que mejora la detección y cuantificación de la salinidad. Además, la aplicación de la ecuación de Indsal proporciona un método efectivo para estimar la variabilidad espacial de la salinidad, integrando los datos espectrales con un enfoque cuantitativo que refuerza la fiabilidad del estudio, el resultado se aprecia en la figura 03.

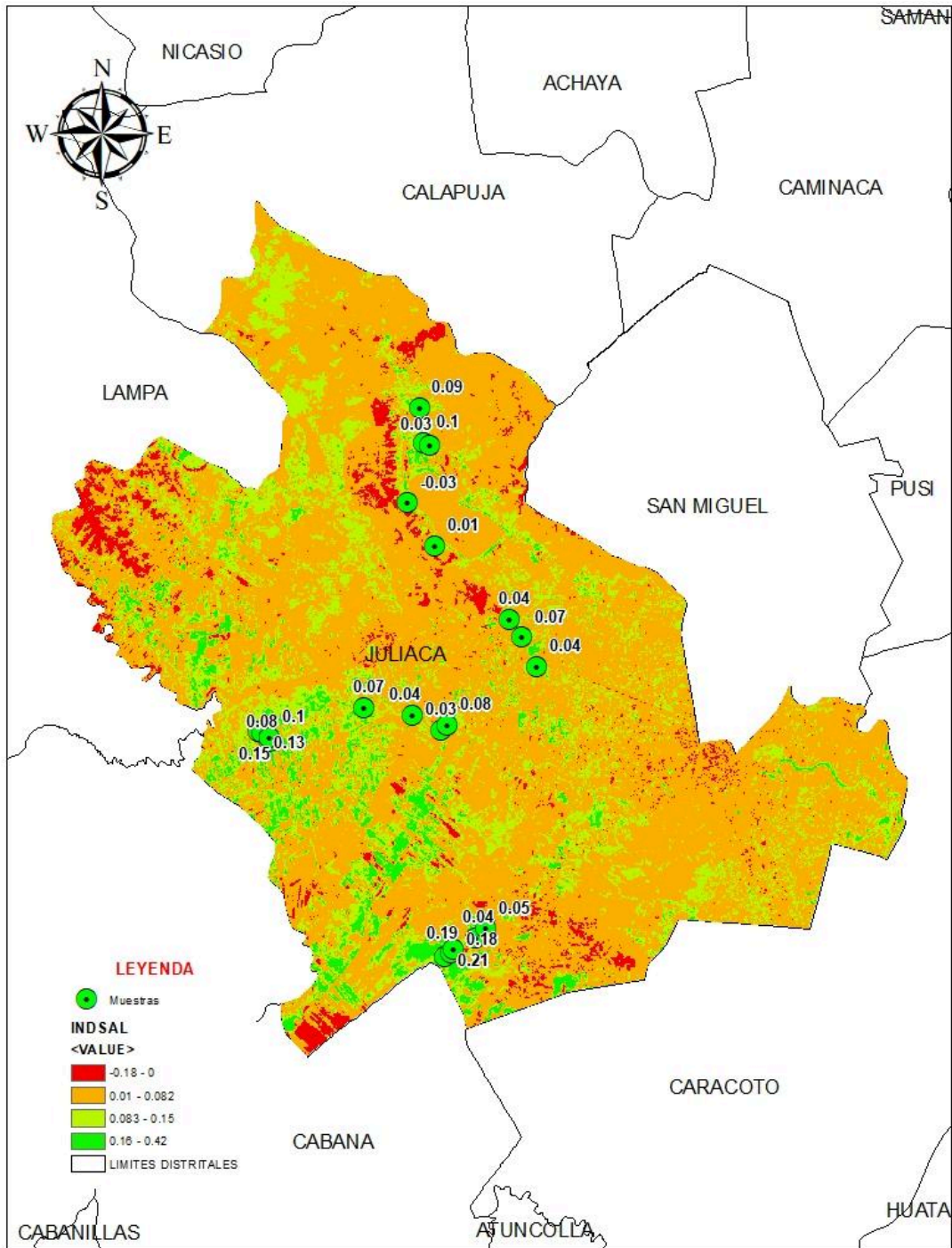


Figura 03: Mapa del distrito de Juliaca después del procesamiento con la ecuación INDSAL.

Una vez obtenidos los valores en el mapa de la figura 03 se ha procedido a elaborar la tabla 04 donde se puede apreciar los valores por punto de análisis.

Tabla 04: Datos obtenidos de conductividad eléctrica a partir de las imágenes satelitales LANDSAT 8.

PUNTO	ESTE	NORTE	PARÁMETRO
Conductividad eléctrica LANDSAT 8 (dS/m)			
JU-01	363140.605	8288529.04	0.15
JU-02	363262.314	8288491.99	0.13
JU-03	363521.606	8288195.66	0.08
JU-04	363526.898	8288349.12	0.10
JU-05	366758.091	8289362.55	0.07
JU-06	368244.425	8296330.64	-0.03
JU-07	368417.031	8289108.55	0.04
JU-08	368646.593	8299569.14	0.09
JU-09	368769.36	8298366.87	0.10
JU-10	369006.427	8298299.14	0.03
JU-11	369175.761	8294859.55	0.01
JU-12	369393.346	8288584.68	0.03
JU-13	369519.722	8280895.79	0.21
JU-14	369607.659	8288759.3	0.08
JU-15	369731.389	8281001.62	0.19
JU-16	369816.056	8281128.62	0.18
JU-17	370567.474	8281530.79	0.04
JU-18	370895.558	8281837.71	0.05
JU-19	371722.152	8292366.86	0.04
JU-20	372142.84	8291747.74	0.07
JU-21	372648.195	8290754.55	0.04

El análisis de la conductividad eléctrica (CE) mostrado en la tabla 04, del suelo en el distrito de Juliaca, Puno, basado en datos obtenidos de imágenes satelitales LANDSAT 8,

revela importantes variaciones espaciales en la distribución de las sales en el suelo. Este enfoque remoto es valioso porque permite evaluar grandes extensiones de terreno de manera eficiente, aunque los valores pueden diferir ligeramente de los obtenidos mediante mediciones directas en campo.

Análisis de los resultados:

Mayor valor de CE (0.21 dS/m en el punto 13):

Este valor, aunque relativamente bajo, indica una mayor presencia de sales solubles en comparación con los otros puntos.

Puede estar asociado a factores como la evaporación del agua superficial, el uso de fertilizantes, la cercanía a cuerpos de agua con cierto nivel de salinidad o suelos con mayor contenido de arcillas, que retienen más iones conductores.

Aunque 0.21 dS/m no representa un problema de salinidad para la mayoría de los cultivos, sí indica la presencia de sales en la zona.

Menor valor de CE (-0.03 dS/m en el punto 06):

Este valor negativo es atípico, ya que la conductividad eléctrica en el suelo generalmente no toma valores por debajo de cero.

Puede deberse a errores en la calibración del procesamiento satelital, interferencias en la captación de datos, o problemas en la interpretación de la señal reflectiva del suelo.

En términos físicos, un valor negativo no es realista, por lo que sería recomendable revisar la metodología utilizada para el cálculo a partir de las imágenes LANDSAT 8.

Promedio de CE (0.08 dS/m):

Este valor indica que, en general, los suelos del distrito de Juliaca presentan baja conductividad eléctrica, lo que sugiere que no hay acumulaciones significativas de sales en la mayoría de los puntos.

Esto es beneficioso para la agricultura, ya que significa que los suelos no presentan problemas de salinidad que podrían afectar la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas.

Sin embargo, suelos con valores extremadamente bajos pueden estar asociados a baja fertilidad, lo que requeriría prácticas de mejoramiento como la aplicación de materia orgánica o fertilizantes específicos.

4.3. RELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE SALINIDAD EN LOS SUELOS DEL DISTRITO DE JULIACA OBTENIDOS MEDIANTE MEDICIONES DE ELECTROCONDUCTIVIDAD Y ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES.

Tomando los datos obtenidos de la tabla 03 y la tabla 04 mediante, aplicamos una correlación de Pearson para analizar la relación entre los valores de electroconductividad medidos directamente en el campo y los valores estimados a partir de las imágenes satelitales. Esta técnica estadística nos permitió cuantificar el grado de asociación entre ambas fuentes de datos, proporcionando una mejor comprensión de la precisión y confiabilidad del uso de imágenes satelitales en la evaluación de la salinidad del suelo.

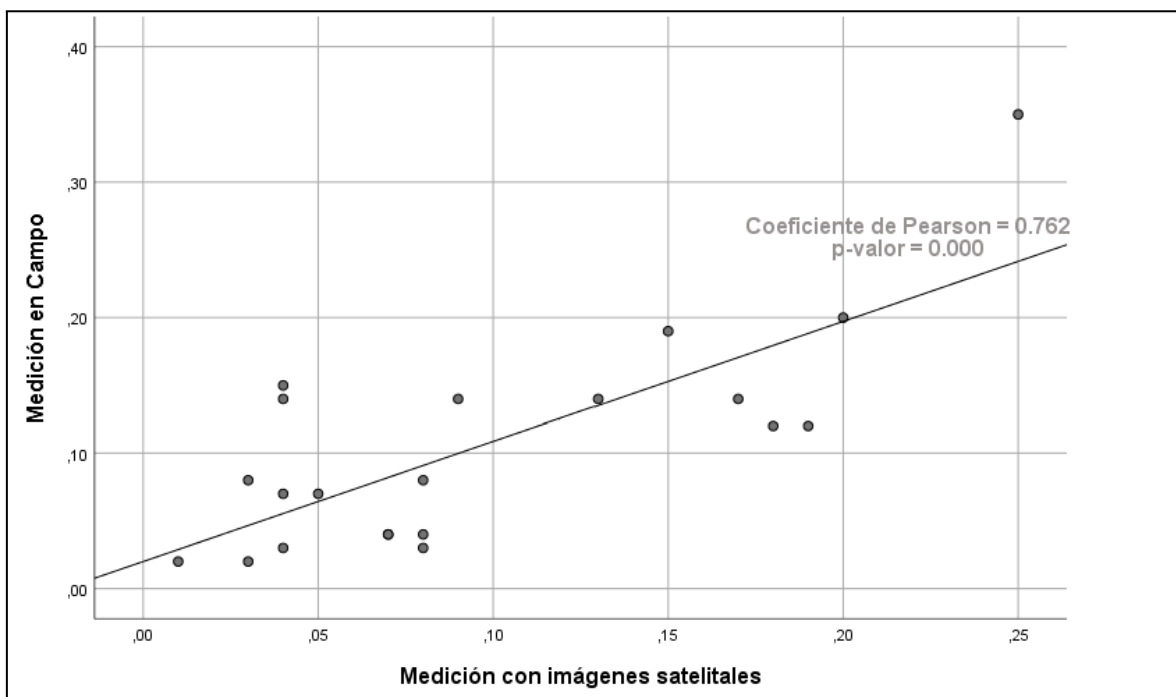


Figura 04: Gráfico de dispersión de los datos de la Medición en campo y la medición mediante imágenes satelitales.

En la Figura 04 se presenta un gráfico de dispersión que compara los datos obtenidos mediante mediciones en campo con los valores estimados a partir de imágenes

satelitales. En este gráfico, se observa una clara tendencia en la distribución de los puntos, lo que indica una relación significativa entre ambas variables. La correlación de Pearson obtenida es de **0.762**, lo que sugiere una asociación positiva moderada a fuerte entre los dos conjuntos de datos.

Este valor indica que, en general, a medida que aumentan los valores de salinidad medidos en campo, también tienden a aumentar los valores estimados a partir de las imágenes satelitales. Sin embargo, aunque la correlación es alta, no implica una correspondencia exacta entre ambas mediciones, lo que podría deberse a factores como la resolución espacial de las imágenes, la heterogeneidad del suelo, la humedad presente al momento de la medición o la precisión del equipo utilizado en campo.

En términos de aplicabilidad, ésta correlación sugiere que el uso de imágenes satelitales, en combinación con técnicas de teledetección, puede ser una herramienta efectiva para la estimación de la salinidad del suelo en la zona de estudio. Sin embargo, es recomendable complementar estos resultados con mediciones en campo para validar y mejorar la precisión de los modelos de predicción utilizados.

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos pueden analizarse en relación con diversos estudios sobre la evaluación de la salinidad mediante teledetección:

Abuelgasim & Ammad (2019) lograron una precisión superior al 60% en la clasificación general de la salinidad utilizando índices espectrales en imágenes LANDSAT 8. En comparación, los valores obtenidos en la Tabla 04 de nuestra investigación parecen subestimar la CE real del suelo, lo que sugiere la necesidad de ajustar modelos específicos para la región de Juliaca.

Kumar et al. (2024) encontraron una correlación significativa entre la salinidad del suelo y las firmas espectrales, obteniendo un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.79$, ésto resalta la importancia de combinar mediciones en campo con datos satelitales para mejorar la precisión de las estimaciones; Elshewy et al. (2024) demostraron que la combinación de bandas espectrales con algoritmos de aprendizaje automático mejora la

predicción de la salinidad, obteniendo un R^2 de 0.86. Esto sugiere que técnicas más avanzadas podrían optimizar la estimación de la CE en el distrito de Juliaca; Aksoy et al. (2024) aplicaron modelos de aprendizaje automático para predecir la salinidad en el lago Urmia, encontrando que XGBoost combinado con SMOTE superó a otros métodos. Esto refuerza la idea de que el uso de técnicas avanzadas podría mejorar la correlación entre datos satelitales y mediciones de campo; Quan & Llano (2005) utilizaron imágenes hiperespectrales y encontraron una fuerte correlación entre el índice NDVI y la CE. Este enfoque podría aplicarse en futuros estudios en Juliaca para mejorar la representación de la salinidad del suelo; Koulla et al. (2019) demostraron que los modelos de regresión y redes neuronales pueden mejorar la predicción de la salinidad del suelo, con el Modelo de Regresión Lineal Múltiple (MLP) alcanzando un $R^2 = 0.994$.

Estos resultados enfatizan la necesidad de utilizar modelos más robustos en el análisis de salinidad en Juliaca.

4.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS.

4.5.1. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL.

Dada la afirmación: Se puede identificar las áreas salinas en suelos salinos usando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el distrito de Juliaca, 2024.

Planteamos la Hipótesis Nula:

H_0 = Se puede identificar las áreas salinas en suelos salinos usando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el distrito de Juliaca, 2024.

La Hipótesis Alterna:

H_1 = No se puede identificar las áreas salinas en suelos salinos usando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el distrito de Juliaca, 2024.

De acuerdo a los resultados de la Figura 03: Mapa del distrito de Juliaca después del procesamiento con la ecuación INDSAL, donde se aprecia en el Mapa la ubicación de los puntos de áreas salina en suelos salinos, se confirma la H_0 y se rechaza la H_1 .

4.5.2. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1.

Dada la hipótesis: Los valores de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca medidas en campo presentan valores de suelos moderadamente salinos.

Planteamos la Hipótesis Nula:

H_0 = Los valores de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca medidas en campo presentan valores de suelos moderadamente salinos.

La Hipótesis Alternativa:

H_1 = Los valores de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca medidas en campo no presentan valores de suelos moderadamente salinos..

De acuerdo a los resultados de la Tabla 03: Valores de conductividad eléctrica tomadas en campo, donde se observó un promedio de 0.12 dS/m: Un valor promedio bajo indica que, en general, los suelos del distrito de Juliaca no presentan problemas severos de salinidad. Sin embargo, la variabilidad entre los puntos analizados sugiere que existen zonas con acumulaciones de sales que podrían requerir manejo diferenciado, por lo que: se **rechaza la H_1** y se acepta la H_0 .

4.5.3. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2.

Dada la hipótesis específica 2: Los valores de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca medidos con imágenes satelitales presentan valores de suelos moderadamente salinos.

Planteamos la Hipótesis Nula:

H_0 = Los valores de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca medidos con imágenes satelitales presentan valores de suelos moderadamente salinos.

La Hipótesis Alternativa:

H_1 = Los valores de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca medidos con imágenes satelitales no presentan valores de suelos moderadamente salinos.

Por los resultados obtenidos en; por lo que se **rechaza la H_1** y se acepta la H_0 .

De acuerdo a los resultados de la Tabla 04: "Datos obtenidos de conductividad eléctrica a partir de las imágenes satelitales LANDSAT 8", muestran un promedio de CE (0.08 dS/m);,

éste valor indica que, en general, los suelos del distrito de Juliaca presentan baja conductividad eléctrica, lo que sugiere que no hay acumulaciones significativas de sales en la mayoría de los puntos, por lo que: se **rechaza la H_1** y se acepta la H_0 .

4.5.4. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3.

Dada la hipótesis específica 3: La relación entre los resultados de la variabilidad espacial de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca obtenidos mediante mediciones de electroconductividad y análisis de imágenes satelitales, es significativa.

Planteamos la Hipótesis Nula:

H_0 = La relación entre los resultados de la variabilidad espacial de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca obtenidos mediante mediciones de electroconductividad y análisis de imágenes satelitales, es significativa.

La Hipótesis Alterna:

H_1 = La relación entre los resultados de la variabilidad espacial de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca obtenidos mediante mediciones de electroconductividad y análisis de imágenes satelitales, no es significativa.

			Medición en Campo	Medición con imágenes satelitales
Medición en Campo	Correlación	de	1	,762**
	Pearson			
	Sig. (bilateral)			,000
	N		21	21
Medición con imágenes satelitales	Correlación	de	,762**	1
	Pearson			
	Sig. (bilateral)		,000	
	N		21	21

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

El resultado indica que existe una correlación positiva fuerte ($r = 0.762$) entre las mediciones de conductividad eléctrica obtenidas en campo y los valores derivados del análisis de imágenes satelitales en los suelos del distrito de Juliaca.

Interpretación detallada:

Magnitud de la correlación ($r = 0.762$):

Según los criterios de interpretación de Pearson, un coeficiente de 0.762 indica una correlación fuerte entre ambas variables. Esto significa que cuando la conductividad eléctrica medida en campo aumenta, los valores obtenidos a partir de las imágenes satelitales tienden a aumentar en una proporción significativa, lo que sugiere que los datos satelitales reflejan, en gran medida, la distribución de la salinidad en el suelo.

Significancia estadística (p-valor = 0.00):

Un p-valor de 0.00 indica que la correlación observada es altamente significativa, es decir, la probabilidad de que esta relación ocurra por azar es prácticamente nula.

En términos estadísticos, se puede afirmar con confianza del 99% que existe una relación real entre las mediciones de campo y los valores satelitales; por lo que se **rechaza la H_1** y se acepta la H_0 .

CONCLUSIONES

PRIMERA: La conductividad eléctrica de los suelos del distrito de Juliaca indican que son normales y no presentan problemas de salinidad. Tanto en los análisis de campo como a través de imágenes satelitales arrojaron valores relativamente, por debajo del umbral de 2 dS/m que define a los suelos salinos. El análisis de campo reveló valores máximos de 0.64 dS/m y mínimos de 0.02 dS/m, y las imágenes satelitales también mostraron valores con un máximo de 0.16 dS/m. Sin embargo, la correlación entre los valores de campo e imágenes satelitales fue alta con coeficiente de Pearson igual 0.762, sugiriendo que las imágenes satelitales es una alternativa para determinar la conductividad eléctrica especialmente la concentración de sales.

SEGUNDA. La conductividad eléctrica en los suelos estudiados del distrito de Juliaca es menor a 2 dS/m, calificando como normales, por lo tanto no presentan problemas de salinidad, siendo el valor más alto de conductividad eléctrica el punto 07 con 0.64 dS/m y los valores más bajos se obtuvieron en los puntos 04, 11 y 12 con un valor de 0.02 dS/m.

TERCERA: La conductividad eléctrica de los suelos de Juliaca usando imágenes satelitales muestran valores menores a 2 dS/m, por lo tanto no presentan problemas de salinidad, siendo el valor más alto de conductividad eléctrica el punto 13 con 0.21 dS/m y el valor más bajos se obtuvo en el punto 06 igual a -0.03 dS/m.

CUARTA: La relación entre los resultados de la variabilidad espacial de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca obtenidos mediante mediciones de electroconductividad y análisis de imágenes satelitales, es significativa con un coeficiente de Pearson igual a 0.762 y un p-valor igual 0.0 por lo que la probabilidad de que esta relación ocurra por azar es prácticamente nula.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: A la municipalidad distrital de Juliaca implementar un programa anual de monitoreo de la conductividad eléctrica de los suelos, combinando análisis de campo con imágenes satelitales LANDSAT 8. Aunque las imágenes satelitales no son un sustituto para los análisis de campo, su uso conjunto permite identificar áreas extensas en riesgo de salinización que requieren atención detallada. Se sugiere también investigar otros factores que influyen en la salinización, como el tipo de suelo, topografía, clima y prácticas agrícolas. Esto permitirá una mejor comprensión de los procesos y la implementación de medidas preventivas y correctivas más efectivas para proteger la calidad de los suelos y la productividad agrícola en Juliaca.

SEGUNDA. A la municipalidad distrital de Juliaca se recomienda hacer mediciones de conductividad eléctrica de los suelos del distrito de Juliaca una vez al año para prevenir la salinización.

TERCERA: A la municipalidad distrital de Juliaca se recomienda hacer uso de las imágenes satelitales LANDSAT 8 para la conductividad eléctrica ya que permite hallar muchos más valores y permite determinar la extensión del territorio afectado por salinidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Abuelgasim, A., & Ammad, R. (2019). Mapping soil salinity in arid and semi-arid regions using Landsat 8 OLI satellite data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 415-425. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.12.010>
- Aimetta, M. B., Muñoz, S. A., Bustos, D., Davidenco, V., Cazorla, C. R., Galarza, C. M., & Salvagiotti, F. (2020). *CUANTIFICACIÓN DEL USO AGRÍCOLA DE SUELOS CON LIMITANTES SALINAS Y SODICAS MEDIANTE EL ÍNDICE NDVI*.
- Aksoy, S., Sertel, E., Roscher, R., Tanik, A., & Hamzehpour, N. (2024). Assessment of soil salinity using explainable machine learning methods and Landsat 8 images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 130, 103879. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103879>
- Andrade, K., Castillo, I., & Rossel, L. (2020). *Quality of Agricultural Soils in the Interior Bay of Puno, Peru–2018*. 29(2).
- Castañeda, D. J., Aponte Larrea, J. L., Guevara Salinas, G. M., Odar Ruiz, M., Rojas Flores, S., & Rodriguez Yupanqui, M. (2022). Recovery of saline soils, identifying the most efficient desalination method in the district of Salaverry-Trujillo-Peru. *Proceedings of the 2nd LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development (LEIRD 2022): “Exponential Technologies and Global Challenges: Moving toward a new culture of entrepreneurship and innovation for sustainable development”*. 2nd LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development (LEIRD 2022): “Exponential Technologies and Global Challenges: Moving toward a new culture of entrepreneurship and innovation for sustainable development”. <https://doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.40>
- Curi, F. (2018). *Identificación de suelos salinos mediante aplicación de un modelo matematico en imágenes del landsat 8 en el distrito de Ocucaje, 2018*.
- Elshevy, M. A., Mohamed, M. H. A., & Refaat, M. (2024). Developing a Soil Salinity Model from Landsat 8 Satellite Bands Based on Advanced Machine Learning Algorithms.

- Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 52(3), 617-632.
<https://doi.org/10.1007/s12524-024-01841-1>
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del suelo*.
- Kumar, P., Tiwari, P., Biswas, A., & Kumar Srivastava, P. (2024). Spatio-temporal assessment of soil salinization utilizing remote sensing derivatives, and prediction modeling: Implications for sustainable development. *Geoscience Frontiers*, 15(6), 101881. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2024.101881>
- Ledezma, S. M. R. (1997). *Optimización de la producción agropecuaria mediante el mapeo de suelos salinos/sódicos con Landsat TM en la zona de Papel Pampa—Puerto Castrillo—Eucaliptus, Bolivia*.
- Lope, G. (2021). *REHABILITACIÓN DE SUELOS SALINOS - SÓDICOS CON ENMIENDAS ORGÁNICA, INORGÁNICA Y PRÁCTICA HIDROTÉCNICA PARA EL CULTIVO DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd) EN INVERNADERO*.
- Masoud, A. A., Koike, K., Atwia, M. G., El-Horiny, M. M., & Gemail, K. S. (2019). Mapping soil salinity using spectral mixture analysis of landsat 8 OLI images to identify factors influencing salinization in an arid region. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 83, 101944. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101944>
- Morales, A. B. M. (2015). *Estudio físico y químico de suelos agrícolas para la estimación del nivel de salinización en el sector bajo de San Pedro de Lloc*.
- Moreno, V. M. R., Corral, J. A. R., & Ramírez, J. S. P. (2016). *Mapeo espacial de la salinidad del suelo a través de sensores remotos. Estudio de caso norte de Tamaulipas* Spatial mapping of soil salinity through remote sensing. Case study of northern Tamaulipas*.
- Pardeo, J., & Salinas, B. (2022). *Comparación de técnicas de estimación del grado de salinidad en suelos de escasa vegetación mediante el procesamiento de imágenes multiespectrales de satélite*.
- Pasache, R. (2021). *Rehabilitación de suelos salinos-sódicos con dos mejoradores*

- químicos en la parte baja del valle Chancay-Lambayeque, 2018.*
- Quan, A. L., & Llano, E. G. (2005). *Estimación de la salinidad de los suelos utilizando una imagen espectrozonar y el sistema de información geográfica Telemap*. 14(1).
- Ramos, K. (2021). *Condiciones de salinidad y recuperación de los suelos salinos en un área representativa de la zona de Cayaltí, Zaña-Lambayeque*.
- Sahbeni, G. (2021). Soil salinity mapping using Landsat 8 OLI data and regression modeling in the Great Hungarian Plain. *SN Applied Sciences*, 3(5), 587. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04587-4>
- Soca, R., Rojas, J., Willems, B. L., Ocola, L. C., Fernández, R., & Carlos Pérez, J. C. (2017). Identificación de las tierras degradadas por la salinidad del suelo en los cultivos de caña de azúcar mediante imágenes de satélite. *Revista de Investigación de Física*, 19(1). <https://doi.org/10.15381/rif.v19i1.13550>
- Vargas, R., Pankova, E. I., Balyuk, S. A., Krasil'nikov, P. K., & Khasankhanova, G. M. (Eds.). (2018). *Handbook for saline soil management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations ; Lomonsov Moscow State University.
- Vélasquez, Y. A., Paniagua, A. F., Pérez, P., Aarón, A., & Acahata, F. (2024). *TRATAMIENTO DE LA SALINIDAD DEL SUELO DE LA YARADA BAJA-TACNA MEDIANTE HUMUS Y CARBÓN ACTIVADO TREATMENT OF SOIL SALINITY IN THE YARADA BAJA-TACNA AREA USING HUMUS AND ACTIVATED CARBON*. 5(8).

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia.

IDENTIFICACIÓN DE SUELOS SALINOS USANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8 EN EL DISTRITO DE JULIACA 2024

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>GENERAL ¿Cuáles son las áreas de suelos salinos usando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el distrito de Juliaca para el año 2024?</p> <p>ESPECÍFICO ¿Cuál es la variabilidad espacial de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca mediante las mediciones de electroconductividad en el año 2024?</p> <p>¿Cuál es la variabilidad espacial de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca mediante las imágenes satelitales en el año 2024?</p>	<p>GENERAL Identificar las áreas salinas en suelos salinos usando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el distrito de Juliaca, 2024.</p> <p>ESPECÍFICO Identificar los suelos salinos en el distrito de Juliaca con los valores de electroconductividad en el 2024.</p> <p>Identificar los suelos salinos del distrito de Juliaca usando imágenes satelitales LANDSAT 8 - 2024.</p>	<p>GENERAL Las áreas con mayor salinidad en el distrito de Juliaca están ubicadas alrededor del río Coata.</p> <p>ESPECÍFICO Los valores de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca medidas en campo presentan valores de suelos moderadamente salinos.</p> <p>Los valores de salinidad en los suelos del distrito de Juliaca medidos con imágenes satelitales presentan valores de suelos moderadamente salinos.</p>	<p>Variable Dependiente V1: Suelos salinos en el Distrito de Juliaca</p> <p>Variable Independiente. V2: Imágenes satelitales para determinar suelos salinos.</p>	<p>Tipo de investigación correlacional Diseño de la investigación No experimental - transversal Área de la investigación Distrito de Juliaca Método El método es deductivo-cuantitativo ya que se utilizarán técnicas de análisis de imágenes satelitales y estadística descriptiva para procesar y analizar los datos obtenidos. Población La población es el área total del suelo del distrito de Juliaca con un área de 553.47 km². Muestras Se tomaron 21 puntos de monitoreo dentro del distrito de Juliaca, cerca de la red vial y lugares con frecuente riesgo inundación.</p>

Anexo 02: Galería fotográfica.



Figura 05: Ubicación de los puntos de monitoreo



Figura 06: Ubicación del punto de muestra.



Figura 07: Uso del agua destilada 100 ml para la prueba de conductividad eléctrica.



Figura 08: Se tomó una muestra de 20 gramos de suelo.



Figura 09: Mezcla del agua destilada junto a la muestra de suelo.