



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Teledetección para la Estimación de Suelos Degradados Usados en  
Cultivos de Maíz del Distrito de San Martín, Perú 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Castillo Facundo, Erliber (ORCID: 0000-0002-9062-7565)  
Cenepo Tapullima, Annelis (ORCID: 0000-0003-0745-9423)

**ASESOR:**

Mg. Honores Balcázar, Cesar Francisco (ORCID: 0000-0003-3202-1327)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2022

## Dedicatoria

De manera especial a mi hermano David, el cual su paso fue como una estrella fugaz en esta tierra, fue quien me motivaba y se alegraba por cada logro mío, a él le agradezco por ayudarme a ser fuerte, a ser feliz a pesar de los obstáculos y por ser parte de mi vida profesional. Agradecida contigo y que desde donde esté Siempre cuides de nosotros.

A Dios, por ser mi creador y él que me bendice cada día para seguir adelante en cada propósito que tenga.

A mis padres, con su ayuda, motivación, paciencia y amor, hoy estoy aquí. Por haberme forjado a ser la persona que soy hoy en día, muchos de mis logros se los debo a ellos. Gracias por ayudarme a cumplir con mis sueños.

***“Annelis Cenepo Tapullima”***

Imploro a Dios, por ser quien me dio la vida y la salud propia, de poder culminar esta investigación tan anhelada, así lograr una de mis grandes metas trazadas. Además, de mis seres queridos como mis padres Leoncio Castillo Campoverde y Andrea Facundo Zurita, a mi esposa Diana Vargas Piña y mis dos hijos queridos Valentina Castillo Vargas y Dylan Castillo Vargas, quienes son los pilares de mi vida, por el apoyo incondicional que me brindan día a día que gracias a ello logré culminar esta etapa en mi vida, por acompañarme en esta larga travesía, ya que ello hizo posible concretar el desarrollo de esta investigación.

***“Erliber Castillo Facundo”***

## **Agradecimiento**

A nuestro creador, por bendecirnos en nuestro camino y brindarnos sabiduría para poder llevar a cabo esta investigación.

A nuestras familias, por ser parte de este gran logro, por animarnos a seguir adelante en los días que ya no dábamos para más, por ser uno de los motivos por la cual nos esforzamos cada día para darles lo mejor.

A nuestro asesor, Mg. Cesar Francisco Honores Balcázar, por su apoyo durante todo el proceso que tomó esta investigación, por la enseñanza impartida y sobre todo paciencia.

¡Muchas gracias a todos, que Dios los bendiga siempre!

***“Castillo Facundo, Erliber y Cenepo Tapullima, Annelis”***

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen .....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	15
3.2. Variables y operacionalización .....	15
3.3. Población, muestra y muestreo .....	17
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	17
3.5. Procedimiento .....	18
3.6. Métodos de análisis de datos .....	21
3.7. Aspectos éticos .....	22
IV. RESULTADOS .....	24
V. DISCUSIÓN.....	56
VI. CONCLUSIONES .....	58
VII. RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS .....	60
ANEXOS	

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Características de las bandas Landsat 5. ....	6
<b>Tabla 2:</b> Características de las bandas Lansat-7 Etm+. ....	7
<b>Tabla 3:</b> Características de las bandas Landsat 8. ....	7
<b>Tabla 4:</b> Matriz de operacionalización de variables. ....	17
<b>Tabla 5:</b> Descripción de los puntos de muestreo. ....	18
<b>Tabla 6:</b> Años seleccionados para estudio. ....	20
<b>Tabla 7:</b> Calidad del suelo de cultivos de maíz por análisis de laboratorio. ....	25
<b>Tabla 8:</b> Calidad del suelo de cultivos de maíz por plomo. ....	27
<b>Tabla 9:</b> Calidad del suelo de cultivos de maíz por Cadmio. ....	30
<b>Tabla 10:</b> Coordenadas del polígono de estudio de suelos degradados y cobertura vegetal. ....	34
<b>Tabla 11:</b> Resolución espectral – Landsat 7. ....	36
<b>Tabla 12:</b> Resolución espectral – Landsat 5. ....	37
<b>Tabla 13:</b> Resolución espectral – Landsat 5. ....	37
<b>Tabla 14:</b> Resolución espectral – Landsat 8. ....	38
<b>Tabla 15:</b> Resolución espectral – Landsat 8. ....	38
<b>Tabla 16:</b> Resolución espectral – Landsat 8. ....	39
<b>Tabla 17:</b> Cálculo del índice de degradación y vegetación del suelo. ....	40
<b>Tabla 18:</b> Áreas de zona de estudio, suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano del año 2002 - 2022. ....	55

## Índice de gráficos y figuras

<b>Figura 1:</b> Sistemas de teledetección para superficie terrestre. ....	5
<b>Figura 2:</b> Landsat 7 ETM+ sensor satelital. ....	6
<b>Figura 3:</b> Mapa de ubicación del distrito San Martín. ....	21
<b>Figura 4:</b> Mapa de ubicación de los puntos muestreados. ....	22
<b>Figura 5:</b> Procesos de teledetección para suelos degradados. ....	24
<b>Figura 6:</b> Potencial de Cromo en suelos de cultivos de Maíz en comparación con el ECA para suelos agrícolas. ....	28
<b>Figura 7:</b> Mapa del nivel de presencia de plomo en suelos de cultivos de maíz. ....	29
<b>Figura 8:</b> Potencial de Cadmio en suelos de cultivos de Maíz en comparación con el ECA para suelos agrícolas. ....	31
<b>Figura 9:</b> Mapa del nivel de presencia de cadmio en suelos de cultivos de maíz. ....	32
<b>Figura 10:</b> Calidad del suelo de cultivos de maíz. ....	33
<b>Figura 11:</b> Imagen satelital Landsat 7 del 17-06-2002. ....	35
<b>Figura 12:</b> Imagen satelital Landsat 5 del 08-09-2006. ....	35
<b>Figura 13:</b> Imagen satelital Landsat 5 del 08-12-2010. ....	35
<b>Figura 14:</b> Imagen satelital Landsat 8 del 19-12-2014. ....	35
<b>Figura 15:</b> Imagen satelital Landsat 8 del 24-08-2018. ....	35
<b>Figura 16:</b> Imagen satelital Landsat 8 del 08-02-2022. ....	35
<b>Figura 17:</b> Índice de degradación del suelo del año 2002 al 2022. ....	41
<b>Figura 18:</b> Índice Diferencial de la Vegetación Normalizado del año 2002 al 2022. ....	42
<b>Figura 19:</b> Degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2002. ....	43
<b>Figura 20:</b> Área de suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano 2002. ....	44
<b>Figura 21:</b> Degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2006. ....	45
<b>Figura 22:</b> Área de suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano 2006. ....	46
<b>Figura 23:</b> Degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2010. ....	47
<b>Figura 24:</b> Área de suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano 2010. ....	48
<b>Figura 25:</b> Degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2014. ....	49
<b>Figura 26:</b> Área de suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano 2014. ....	50
<b>Figura 27:</b> Degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2018. ....	51
<b>Figura 28:</b> Área de suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano 2018. ....	52

<b>Figura 29:</b> Degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2022. ....	53
<b>Figura 30:</b> Área de suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano 2022.	54
<b>Figura 31:</b> Suelos degradados de los años 2002 - 2022. ....	55
<b>Figura 32:</b> Cobertura vegetal de los años 2002 - 2022.....	56

## Resumen

Esta investigación tiene como objetivo general, aplicar la teledetección para la estimación de suelos degradados usados en cultivos de maíz del distrito de San Martín, Perú entre los años 2018 – 2022. El tipo de investigación fue cuantitativa, el diseño fue no experimental, se usó una muestra de 10 parcelas de 5 hectáreas cada una y para tal fin, se empleó la teledetección, se estimaron los suelos degradados, usados en cultivos de maíz del distrito de San Martín, asimismo se realizaron análisis fisicoquímicos de suelos y en relación a imágenes satelitales obtenidas de los años 2002 a 2022 mediante los índices de degradación del suelo y la cobertura vegetal del área de estudio de 638 hectáreas, se hizo la estimación correspondiente a los cambios en la extensión de la degradación. Donde los resultados indicaron que los porcentajes de degradación del suelo por año fueron para el 2002 un total de 0.7322%, 2006 un porcentaje de 1.1449%, 2010 un total de 1.0751%, 2014 un total de 7.9265%, 2018 un total de 1.2353% y 2022 un total de 4.7810% de cambios en la calidad de los suelos, lo cual señala que la teledetección es una herramienta válida para la medición de suelos degradados.

**Palabras clave:** Teledetección, Estimación, Suelos degradados y Cultivos de Maíz.



## **Abstract**

The general objective of this research is to apply remote sensing for the estimation of degraded soils used in corn crops in the district of San Martín, Peru between the years 2018 - 2022. The type of research was quantitative, the design was non-experimental, it was used a sample of 10 plots of 5 hectares each and for this purpose, remote sensing was used, degraded soils were estimated, used in corn crops in the district of San Martín, physicochemical analyzes of soils and in relation to satellite images were also carried out obtained from the years 2002 to 2022 through the indices of soil degradation and the vegetation cover of the study area of 638 hectares, the corresponding estimate was made of the changes in the extent of degradation. Where the results indicated that the percentages of soil degradation per year were for 2002 a total of 0.7322%, 2006 a percentage of 1.1449%, 2010 a total of 1.0751%, 2014 a total of 7.9265%, 2018 a total of 1.2353% and 2022 a total of 4.7810% changes in soil quality, which indicates that remote sensing is a valid tool for measuring degraded soils.

**Keywords:** Remote sensing, Estimation, Degraded soils and Corn crops.

## I. INTRODUCCIÓN

La degradación es la disminución de la productividad biológica del suelo, que se traduce en un perjuicio irreversible de la vegetación, como mayores tasas de erosión, pérdida de capacidad de crecimiento de las plantas, pérdida del horizonte terrestre, los cambios en la productividad biológica del suelo en función al clima. Las características del suelo y actividades humanas muestran fluctuaciones a corto plazo y tendencias a largo plazo, ya sean reversibles o permanentes (Yawovi et al. 2018, p.17).

La problemática de la degradación afecta la calidad de producción en condiciones a la salud de la persona (Masoudi, 2021, p.22). Asimismo, el suelo es uno de los recursos naturales más valiosos del mundo y es como un puente entre los seres vivos y los no vivos; se incluye el material rocoso en degradación y descomposición, el agua, aire, materia orgánica de plantas y animales en descomposición, muchas formas de vida (insectos y microorganismos) y los componentes indicados se ven afectados por las actividades humanas (Abdollahzadeh, et al 2021, p.32).

Las formas de la degradación del suelo son forjadas únicamente por la pérdida de materia orgánica, compactación, erosión, acidificación, salinización, presencia de metales pesados, artificialización, pérdida de vegetación, entre otros. Todo producto del mal uso y manejo del suelo por las actividades agrícolas, sobrepastoreo, actividades industriales (Nascimento, 2021, p.12).

Las actividades humanas liberan al ambiente metales tóxicos producto del uso de productos químicos en las diferentes actividades agrícolas, los cuales son dañinos para la salud de los seres vivos. Además, estos agentes químicos de fuentes antropogénicas, incluido los contaminantes naturales, estas se alojan en el suelo causando daños y perjuicios en los parámetros físicos del suelo (Ouadja, et al., 2021, p.09).

Es por ello que, mediante la teledetección, herramienta utilizada para recopilar datos sobre la superficie de la tierra a partir de sensores instalados en plataformas espaciales, las interacciones electromagnéticas entre la Tierra y los sensores generan un flujo de datos que luego estos se procesan para obtener información interpretable sobre eventos o fenómenos en evolución en el planeta. (Jazouli, et al., 2019, p.28).

La magnitud de la degradación del suelo a través de la teledetección permite obtener información sobre zonas o fenómenos que se encuentran en la superficie, sin necesidad de contacto físico con el suelo; a través de estos métodos, se utiliza energía electromagnética, como el calor, la luz y las ondas de radio, para medir y detectar propiedades de los objetos de investigación (Bruna 2018, p.26). Asimismo, las técnicas de teledetección incluyen procesos, como la información, que es captada por la radiación electromagnética emitida o reflejada desde la superficie o la atmósfera de la Tierra (Prokop, et al. 2018, p.13).

Por lo tanto en el distrito de San Martín, donde se realizó el estudio en los últimos años, se mostró cambios muy importantes en la disminución de la productividad del suelo, producto de la agricultura sin ningún sistema de conservación, donde las extensas áreas de monocultivos con diferentes sembríos, en su mayoría cultivos de maíz, estos presentan un proceso de degradación, directamente relacionado con la pérdida de productividad del suelo por el uso indiscriminado de fertilizantes, esto ha sucedido por las grandes cantidades de siembras de maíz, siendo este la base económica del distrito, pudiendo llegar a una agricultura no rentable en el futuro, si no se toman en cuenta las prácticas agrícolas sostenibles. Esto ha generado la necesidad de desarrollar como instrumento, la investigación para el sistema integral de lineamientos de la degradación de los suelos por los distintos procesos, a base de la teledetección con imágenes satelitales, muy útil para las autoridades responsables que velan del cuidado de la calidad del suelo del distrito de San Martín, provincia El Dorado, Región San Martín.

La Justificación social, se dio a conocer a la población la importancia del recurso suelos para el desarrollo de actividades agrícolas y como con un mal manejo por el ser humano afecta la vida de las personas y el ambiente, previsto por la aplicación de teledetección, con la finalidad de que se dio la estimación al problema de los suelos degradados. Justificación económica: el mal uso del suelo afecta la calidad del mismo, propagando los bajos rendimientos de las producciones de los sembríos de maíz, afectando drásticamente la economía del poblador y las ofertas en el mercado. Justificación metodológica, se encamino en el uso de la teledetección con imágenes satelitales de las parcelas más antiguas de los cultivos de maíz y se conoció el grado de degradación, previo a un análisis fisicoquímico del suelo contaminado por metales pesados, seguidamente se realizó una comparación

minuciosa de los resultados del período febrero 2022 con los años posteriores evaluados del distrito San Martín. Justificación ambiental, la investigación informó que el suelo se ha venido degradando últimamente por los cultivos de maíz y por el uso excesivo de fertilizantes químicos, de tal manera la investigación sirva como instrumentos para las autoridades concernientes a la gestión ambiental de cultivos orgánicos de distrito San Martín, y propongan propuestas para disminuir el índice de degradación del suelo, y así recuperar la calidad del mismo.

Se ha formulado el problema general:

**PG:** ¿Cómo aplicar la teledetección para la estimación de suelos degradados usados en cultivos de maíz del distrito de San Martín, Perú 2022? Seguido de los problemas específicos:

**PE1:** ¿Cuál es el estado de calidad de los suelos de cultivos de maíz del mismo período febrero 2022?

**PE2:** ¿Cuál es el índice de calidad del suelo adquirido de imágenes satelitales del mismo período febrero 2022?

**PE3:** ¿Cuál es la relación entre imágenes satelitales con el contenido de metales, índice de degradación y cobertura vegetal de los suelos de San Martín período febrero 2022?

**PE4:** ¿Cuál es la evolución del estado de degradación de los suelos de cultivos de maíz en los períodos 2002 - 2022?

Para la investigación se desarrolló el siguiente objetivo general:

**OG:** Aplicar la teledetección para la estimación de suelos degradados usados en cultivos de maíz del distrito de San Martín, Perú 2022. Seguido de los objetivos específicos:

**OE1:** Determinar el estado de la calidad de los suelos de cultivos de maíz del mismo período, febrero 2022

**OE2:** Determinar el índice de calidad del suelo adquirido de imágenes satelitales del mismo período, febrero 2022

**OE3:** Determinar la relación entre imágenes satelitales con el contenido de metales, índice de degradación y cobertura vegetal de los suelos de San Martín período, febrero 2022

**OE4:** Identificar la evolución del estado de degradación de los suelos de cultivos de maíz en los períodos 2002 – 2022

Seguidamente se desarrolló las hipótesis de investigación

**HG:** Mediante el uso de la teledetección permitirá conocer la estimación de los suelos degradados por cultivos de maíz distrito San Martín, Perú 2022.

**HE1:** Se permitirá determinar el estado de la calidad de los suelos de cultivos de maíz del mismo período, febrero 2022

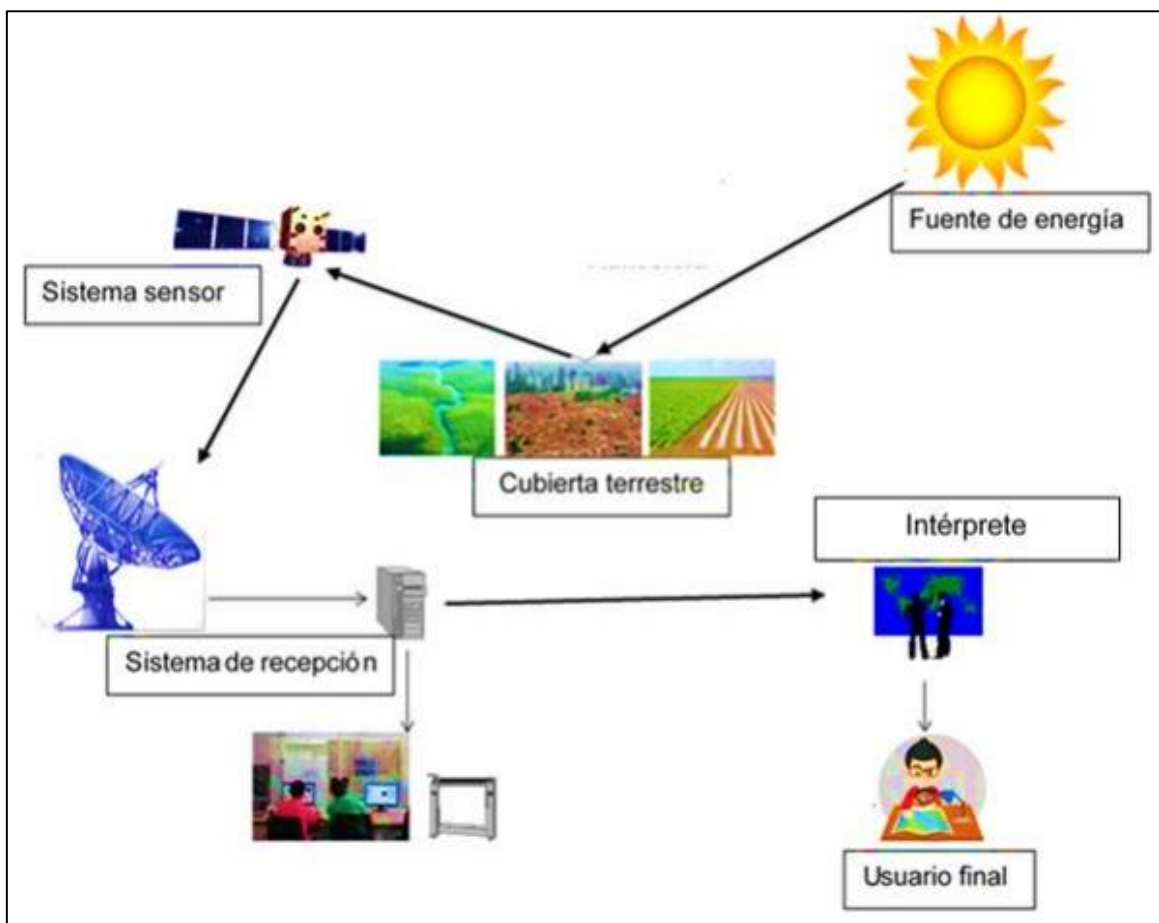
**HE2:** Se permitirá determinar el índice de calidad del suelo adquirido de imágenes satelitales del mismo período, febrero 2022

**HE3:** Se permitirá determinar la relación entre imágenes satelitales con el contenido de metales, índice de degradación y cobertura vegetal de los suelos de San Martín período, febrero 2022

**HE4:** Se permitirá identificar la evolución del estado de degradación de los suelos de cultivos de maíz en los períodos 2002 – 2022

## II. MARCO TEÓRICO

La teledetección son modelos de obtención de datos superficiales del suelo a partir de sensor montado en la plataforma espacial, las interacciones electromagnéticas entre el suelo y los sensores generan un flujo de datos que luego se procesan para obtener información interpretable sobre el planeta; ahora, debido a la disponibilidad de imágenes y el desarrollo de nuevas tecnologías, cada vez más empresas y agencias gubernamentales están integrando sistemáticamente el uso de imágenes en sus diversos proyectos, ya que son muy beneficiosas para una gran cantidad de aplicaciones (Shen, et al. 2019, p.12).



**Figura 1:** Sistemas de teledetección para superficie terrestre  
Fuente: Chavarría y Lanuza, 2021

Los Landsat es una combinación de dos términos (Land = Tierra y Sat = Satélite). Activos estadounidenses que monitorean los recursos de la Tierra (Nascimento, et al. 2021, p.23).

El Landsat 5 cuenta con 7 bandas espectrales, con una capacidad valor espacial de 30m para las bandas 1, 5 y 7, la resolución espacial de la Banda 6 (infrarrojo térmico) es de 120m, pero se vuelve a muestrear a 30m/píxel. Las dimensiones aproximadas del escenario son 183km de este a oeste y 170km de norte a sur (Keltum, et al. 2021, p.34).

**Tabla 1:** Características de las bandas Landsat 5

<b>Landsat 4-5</b>	<b>Rango Espectral(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolución (metros)</b>
Banda 1	0.45 - 0.52	30
Banda 2	0.52 - 0.60	30
Banda 3	0.63 - 0.69	30
Banda 4	0.76 - 0.90	30
Banda 5	1.55 - 1.75	30
Banda 6	10.40 - 12.50	120 (30)
Banda 7	2.08 - 2.35	30

**Fuente:** Khechba Keltum, 2021

El Landsat 7 tiene 8 bandas incluyendo una pancromática, 6 multiespectrales y una térmica (banda 6), y su precisión radiactiva es de 8 bits. Las resoluciones de los rangos de los satélites: Pancromáticamente: 15 m; multi-acristalamiento: 30m; Alcance infrarrojo o térmico: 60m. Tiempo entre fotos 16 días.



**Figura 2.** Landsat 7 ETM+ sensor satelital  
Fuente: Pawel Prokot, 2020

**Tabla 2:** Características de las bandas Landsat-7 Etm+

<b>Banda Numero</b>	<b>Rango Espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Líneas de Datos por Escáner</b>	<b>Longitud de la Línea (bytes)</b>	<b>Bits por pixel</b>
1	0.450 - 0.515	16	6,600	8
2	0.525 - 0.605	16	6,600	8
3	0.630 - 0.690	16	6,600	8
4	0.775 - 0.900	16	6,600	8
5	1.550 - 1.750	16	6,600	8
6	10.40 - 12.50	8	3,300	8
7	2.090 - 2.35	16	6,600	8
8	0.520 - 0.900	32	13,200	8

(Pancromático)

**Fuente:** Hayri Mustafa et al., 2021

El Landsat 8 cuenta con 2 sensores compuestas por 11 bandas: con Generador de imágenes terrestres operacionales y el thermal infrared sensor (TIRS). La imagen satelital Landsat 8 de OLI y Sensor TIRS contiene 9 bandas espectrales con una resolución espacial de 30m para las bandas 1, 7 y 9. La nueva banda 1 (ultra azul) es usada para la navegación costera y análisis de aerosoles. La banda 9 detecta nubes delgadas. La resolución del rango 8 (pancromático) es de 15m. Las bandas térmicas 10 y 11 proporcionan temperaturas superficiales más precisas y se recogen a una altitud de 100m. (Mustafa et al. 2021, p.45).

**Tabla 3:** Característica de las bandas Landsat 8

<b>Banda</b>	<b>Rango Espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolución metros</b>
Banda 1 - Aerosol Costero	0.43-0.45	30
Banda 2 – Azul	0.45-0.51	30
Banda 3 – Verde	0.53-0.59	30
Banda 4 – Rojo	0.64-0.67	30
Banda 5 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85-0.88	30



Banda 6 - SWIR 1	1.57-1.65	30
Banda 7 - SWIR 2	2.11-2.29	30
Banda 8 - Pancromático	0.50-0.68	
Banda 9 – Cirrus	1.36-1.38	30
Banda 10 - Infrarrojo	10.6-11.19	100
Térmico (TIRS) 1		
Banda 11 - Infrarrojo	11.50-12.51	100
Térmico (TIRS) 2		

Fuente: Mohamed et al. 2018

Las técnicas de la teledetección están basadas en dos tipos, se denomina teledetección pasiva y la segunda es teledetección activa. La radiación de la superficie terrestre que atraviesa la atmósfera (reflejada hacia el sol, el suelo o emitida por colectores y reflectores) se almacena en un formato digital (Peng, et al. 2019, p.35)

Las imágenes satelitales son fotografías capturadas por un satélite artificial, el cual muestra la geografía de un territorio (ciudad, país, cuerpos de agua, bosques, desiertos, etc). Se obtienen a partir de un sensor de satélite, radiación emitida o el reflejo de la superficie terrestre (Ouadja, et al. 2021, p.23).

Las bandas espectrales contienen la información espectral de una imagen satelital, es comprimida en un número menor de bandas, que comúnmente son de 3 colores (rojo, azul y verde). Esto se puede llevar a cabo mediante rangos de longitud de onda que contiene la imagen, estas bandas espectrales con sus diferencias de color facilita mucho la interpretación (Mustafa, et al. 2021, p.34).

El trayecto sol-suelo es la dimensión desde la distancia Sol-suelo y varía súbitamente con la postura de la Tierra. El recorrido medio del sol al suelo es de 149,46x106 km (1 UA), varía un 1,7%. La distancia del sol-suelo que se resuelve en la fórmula planteada:

$$D = (1 + 0.01674 (\text{sena}))^2$$

Donde:

$D$  = Trayecto sol - suelo (Und. astronómica)

$a$  =  $(2tr (J- 93.5) 1 365)$

$J$  = Fecha Jouliano

La radiancia espectral en relación al sensor CCD se demuestra por la fórmula planteada:

$$L_{senk} = \left( \frac{L_{maxk}}{Q_{Calmax}} \right) Q_{cal}$$

$L_{senk}$  = Sensor por banda  $k$  en  $w/(m^2.sr.\mu m)$  en Radiancia espectral

$Q_{CaL}$  = Cantidad de pixel del imagen (DNs)

$Q_{Calmax}$  = Cantidad manual de (ND = 255) perteneciente  $L_{maxk}$

$L_{maxk}$  = Datos de  $Q_{Calmax}$  en  $w/(m^2.sr.\mu m)$  por radiancia espectral.

Espectro de radiación solar fuera de la atmósfera del satélite Landsat-5fTM. En este trabajo, la ecuación utilizada para calcular la reflectividad planetaria es la siguiente:

$$\rho * k = \frac{\pi L_{senk} D}{E_{sunk} \cos \theta_i}$$

Donde:

$\rho * k$  = Reflector del planeta

$L_{senk}$  = Radiación persistida por sensores de banda  $k$  en  $w/(m^2.sr.\mu m)$ ;

$D$  = Elemento corrector de distancia sol y tierra

$E_{sunk}$  = Irradiancia del espacio atmosférico en  $Wsr^{-1} m^{-2} \mu m^{-1}$

$\theta_i$  = Ángulo de sol en grados  $90^\circ C$

El sistema de información geográfica (SIG) contiene herramientas que reúnen, relacionan, gestionan y analizan datos. Permite la buena organización, manipulación, análisis, almacenamiento y modelamiento de datos obtenidos ya sea por imágenes satelitales, obtenidas por datos recogidos por un GPS y datos digitales (Melo, et al. 2018, p.25).

El ArcGis es un sistema que permite recopilar, administrar, analizar información geográfica. Es utilizada para conocimiento geográfico a varios sectores del estado. Se puede realizar mapas, para allí plasmar información de un departamento, de

una ciudad, parcelas, cuerpos de agua, bosques, etc. (Mahboobeh, et al. 2020, p.11-20).

La degradación del suelo se define como la degradación de la tierra debido a las interacciones entre las características del clima y la intervención humana que conducen a un desequilibrio ecológico; el uso inadecuado de la tierra (sobrepastoreo, uso indiscriminado de agroquímicos, incendios provocados, etc.) es la principal causa de la degradación (Masoudi, et al. 2021, p.45).

Los métodos enfocados en la degradación del suelo son términos de los efectos nocivos, se dividen en fisicoquímicos y microbiológicos a todo esto que influye la calidad del suelo: la primera fue la erosión de la corteza terrestre, compactación del suelo, disminución de micronutrientes, acidificación del suelo, disminución del porcentaje de materia orgánica, salinización del suelo (Keltum, et al. 2018, p.34).

Los indicadores de degradación del suelo son sensores basados en el monitoreo también brindan varios itinerarios y señal de alerta temprana de degradación y desertificación. Estos incluyen la pérdida de la cubierta vegetal, el aumento de la reflectividad, la erosión del viento y el agua, la salinización del suelo, el deterioro de la estructura y la superficie del suelo, la reducción de la humedad del suelo, los cambios en el contenido de óxido de hierro y la reducción del contenido de materia orgánica del suelo (Jazoulia, et al. 2019, p.13-16).

El índice de degradación del suelo (IDS) usa imagen satelital de la tierra, sirve para realizar el monitoreo la degradación del suelo de cualquier actividad que se desarrolla y que pone en riesgo la fertilidad del suelo por el uso de compuestos químicos, incendios entre otros, para ello se utiliza la siguiente fórmula.

$$IDS = (R - A) * (R + A + V)$$

Donde:

R: considerada banda Rojo

A: se conoce como banda del azul

V: Banda verde visibles en el espectro electromagnético.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) Es utilizado en compromisos de teledetección en agricultura e investigación de recursos naturales,

es un parámetro calculado a partir de valores de reflectancia a diferentes longitudes de onda y tiene como objetivo extraer información sobre las plantas, minimizando la influencia de otros factores externos como en la fórmula:

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$$

Donde:

NIR: valores de píxel - banda infrarrojo cercano.

R: valores de píxel de la banda rojo visible

Los metales pesados elementos químicos que tienen una densidad de más de 5 g/ml y los cuales son altamente tóxicos en bajas cantidades. Dicho esto, su alta densidad hace casi imposible removerlos de un organismo y el ambiente (Haleh, et al. 2018, p.5).

El Cadmio (Cd) pertenece al grupo de metales pesados presentes en el ambiente y el cual tiene mayor movilidad y facilidad de absorción en las plantas. Está presente en la producción de fertilizantes fosfatados artificiales, aquí es donde parte del cadmio quedará en el suelo y otras en aguas subterráneas o superficiales (Haleh, et al. 2018, p.5).

El plomo es un metal pesado contaminante, no biodegradable y persistente en el medio ambiente. Su elevada biodisponibilidad supone un riesgo para todo organismo vivo. Es capaz de afectar a casi la totalidad de los órganos y sistemas del cuerpo humano (Yawovi, 2018, p.23).

El pH es la medida de acidez y alcalinidad del suelo. Si es menor de 7 representa un suelo ácido y si es mayor a 7 representa un suelo alcalino (Gorgi, et al. 2019, p.45).

La Textura de suelo Indica la cantidad de partículas de diferentes tamaños como la arena, limo y arcilla. También tienen que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, cantidad agua y aire (Bruna, et al. 2018, p.26).

El ORP también conocido como REDOX, sirve para monitorear y controlar reacciones químicas. Oxidación: adición de oxígeno Reducción: reducción de oxígeno (Bezerra, et al. 2020, p.34)

La Materia Orgánica del suelo contiene residuos vegetales y animal, poco o descompuestos y que son transformados por los microorganismos ya sea hongos, bacterias y algas. Es de gran contribución para el suelo, ya que favorece la porosidad, es una fuente de elementos nutritivos (Abdollahzadeh, et al. 2021, p.54). Bezerra, et al. (2020, p.1), evaluó el desarrollo de un índice potencial y monitorear esta área, tomando en cuenta escalas espaciales y temporales apropiadas. Como método, se abarcó el período de 2000 a 2016 utilizando una serie multitemporal del Índice de Vegetación Mejorada 2 (EVI2). Por lo tanto, para conocer el aumento de la degradación/desertificación en áreas potencialmente vulnerables, el área era de 167.814,24 km<sup>2</sup> al final del período de análisis (alrededor del 16,7 % del área de estudio). A través de la evaluación y el seguimiento se conoce la cantidad de tierra degradada.

Bruna, et al. (2018, p.10), Se evaluó una imagen compuesta de campos desnudos en el estado de São Paulo, Brasil, calculada a partir de un conjunto de datos multitemporales. Método que utiliza imágenes de satélite como una serie temporal de 16 años en una zona agrícola con características geológicas muy complejas (242.000 hectáreas). Por lo tanto, al calibrar el modelo de predicción utilizando 740 muestras de suelo (0 a 20 cm) tomadas del área a partir de una sola imagen compuesta, la espectroscopia puede evaluar los parámetros ambientales que afectan a las escuelas en diversos grados. Se puede conocer la condición del suelo desnudo.

Haleh, et al. (2018, p. 23), evaluó la relación entre la cobertura, la utilización y la erosión del suelo utilizando imágenes satelitales multitemporales y datos auxiliares. Un mapa de la cobertura terrestre y la distribución del uso de la tierra utilizando imágenes satelitales y clasificación de imágenes. Se pudo observar que de 2005 a 2015, la pérdida promedio de tierra ha aumentado en 31,77 tha<sup>-1</sup> año y se espera que aumente significativamente para 2025. La cantidad de tierra degradada se conoce a partir de imágenes de satélite.

Jianghong, et al. (2018, p.03), Se evaluó un sistema de mapeo de muestras para cultivos importantes como trigo, arroz, maíz, soya y algodón. Los indicadores morfológicos se recuperan utilizando el método del "modelo de umbral". Los valores de los cuatro parámetros morfológicos se utilizaron para determinar la época de crecimiento. Se encontró que el método propuesto podría lograr una precisión

general satisfactoria (~84%) al extraer cultivos. Se concluyó que, por este método, se identificaron cultivos de modelos vegetales.

Keltum, et al. (2021, p.1), Evaluó las brechas y limitaciones que los pequeños agricultores en África están identificando para mejorar sus rendimientos. Se utilizó una revisión sistemática, que incluyó la generación de resultados resumidos y una búsqueda bibliográfica en línea utilizando la base de datos Scopus, para seleccionar artículos publicados entre 1998 y 2020. Se puede observar que los nutrientes del suelo no son el principal factor que afecta el rendimiento de los cultivos estudiados en África. También concluyó que los nutrientes presentes en el suelo africano no afectan su degradación.

Mahboobeh, et al. (2020, p.8), Se evaluaron niveles neutrales de degradación de la tierra en una cuenca de aproximadamente 1740 km<sup>2</sup>. A través de tres indicadores de uso del suelo, cobertura del suelo, medidas de uso de la cobertura/uso del suelo (LUC), carbono orgánico del suelo (COS) y productividad primaria neta (PPN) para dos períodos de 2000 a 2016. Se identificaron pérdidas netas en áreas de tierras de regadío, pastos tropicales y pastizales de 12 290 hectáreas, 44 170 hectáreas y 66 630 hectáreas para el período de captación 2000-2016. También se concluyó que aguas arriba se ven afectados por cultivos que dañan el suelo.

Masoudi, et al. (2021, p. 5), Evaluación del Riesgo de Degradación de Tierras (RALDE). Se trató de diseñar y desarrollar un nuevo modelo. Se utilizaron datos recopilados de varias oficinas gubernamentales en la provincia de Fars y datos satelitales MODIS. Fue seleccionada como área piloto para evaluar el riesgo de degradación de la tierra a través del Modelo de Evaluación de Riesgo de Degradación de la Tierra (RALDE). La probabilidad de empeoramiento del riesgo oscila entre el 6% y el 58%. Se concluyó que existe una alta tasa de degradación de la tierra en la provincia de Fars.

Mohamed, et al. (2018, p.12), Se evaluó la degradación de suelos para diferentes usos, índices de salinidad a través de hiperespectrales y multiespectrales, y áreas pronosticadas afectadas por la sal, además. Se usó el programa ArcGIS, se excavaron 18 estructuras de suelo y se analizaron 79 muestras para su posterior mapeo. Se encontraron suelos degradados en la superficie y en el subsuelo. Se concluyó que el uso de imágenes satelitales reveló el conocimiento de la degradación de la tierra.

Nascimento, et al. (2021, p.10), evaluó el Índice de Degradación de la Tierra (SDI) a base de imágenes satelitales multitemporales relacionadas con variables climáticas, uso de la tierra, topografía y propiedades del suelo. Se obtuvieron imágenes multitemporales de suelo desnudo utilizando 35 años de imágenes Landsat como método. Utilizando imágenes satelitales e información ambiental, contribuyó al desarrollo de SDI, apoyando la planificación y gestión del uso del suelo. Se concluyó que, gracias a las imágenes Landsat, se conoce la tasa de degradación del suelo.

Prokop Pawel. (2020, p.15), Se evaluó los cambios a largo plazo en la cobertura terrestre severamente degradada utilizando datos de teledetección de alta resolución de los últimos 50 años. El método se utilizó como una interpretación visual basada en imágenes satelitales del programa Corona de EE. UU. Tendencias de 1965 a 2017. Los bosques (4 %) y los pastizales (5 %) disminuyeron, los tipos de uso de la tierra aumentaron, la tierra no se degradó por los climas monzónicos y en general era más pequeña, los asentamientos (85 %), la minería (132 %) y las masas de agua (525 %). Cobertura de suelo agrícola que se sabe que está en riesgo de degradación.

Rukhovich, et al. (2021, p.1), evaluó el aprendizaje automático profundo y el cálculo del índice de vegetación para detectar automáticamente áreas de desarrollo de tierras cultivadas degradadas. Se utiliza como método de referencia para analizar 1028 escenas en 530 campos de Landsats 4, 5, 7 y 8. Se ha identificado el área de suelo degradado determinada por este método, y la probabilidad de detectar suelo degradado por el método de campo es del 87,5%. Se concluyó que la probabilidad de degradación del suelo detectada por el método terrestre fuera del área proyectada es del 3,8%.

Yawovi, et al. (2018, p.6), evaluó las medidas de conservación de la tierra y el agua para reducir la degradación agrícola y forestal en el cambio climático. Análisis de variación real de los principales cultivos basado en datos Landsat de tres períodos (1985-2002, 2002-2017 y 1985-2017). Ya sabemos que entre 1985 y 2017 hubo una pérdida neta de 23,6%, y la superficie dedicada a la agroforestería de maíz y cacao fue de 12,99% y 10,1%, respectivamente. La conclusión es que, debido a la degradación de la tierra, deben elegir suelos libres de sustancias tóxicas que atenten contra la salud humana.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación.**

El tipo de investigación es cuantitativa Según (Hernández et al., 2014, p.376. 386), los métodos cuantitativos se basan en un enfoque lógico y bien fundamentado para formular preguntas e hipótesis de investigación para su posterior comprobación. Por ello se usó dos enfoques, que enriqueció la investigación con una perspectiva complementaria de aplicación de técnicas de teledetección la cual se conoció suelos degradados por metales pesados en cultivos de maíz situados en el distrito de San Martín.

##### **Diseño de investigación.**

De acuerdo al diseño del estudio, es no experimental, según (Hernández et al., 2014, p.388-396), porque no manipula intencionalmente las variables independientes tal como fueron creadas en su momento. Se eligió de manera aleatoria a los participantes. En este tipo de investigación se observaron problemas que ocurrieron en su entorno natural y luego se analizaron mediante imágenes satelitales.

#### **3.2. Variables y operacionalización**

**Variable independiente:** Teledetección

**Variable dependiente:** Estimación de suelos degradados de cultivos de maíz.



**Tabla 4:** Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN DEL CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	DIMENSION	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	NIVEL
<b>Independiente:</b> Teledetección	La teledetección es la técnica de recolección de datos del plano territorial por medio de sensores situados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética que va del suelo y el sensor realizó una serie de datos que posteriormente se procesa para requerir la información ejecutable de la corteza terrestre. (Mendes et al 2022, p.14).	Se realizó una colección de imágenes satelitales que permitió realizar un análisis multitemporal de los suelos degradados del distrito de San Martín de los años 2002 - 2022.	Imágenes satelitales	Imágenes Landsat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Landsat 5</li> <li>• Landsat 7</li> <li>• Landsat 8</li> </ul>	Nominal
				Banda espectral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bandas 1, 5 y 7</li> <li>• Bandas 7, 4 y 2</li> <li>• Bandas 1, 7 y 9</li> </ul>	Nominal
				Resoluciones de las bandas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adimensional</li> </ul>	Nominal
			Análisis multitemporal de imágenes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo diagnosticado de 2002 – 2022</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapas en ArcGis por cada 4 años</li> </ul>	Nominal
			Índice de degradación del suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de cobertura vegetal</li> <li>• Presencia de metales pesados</li> <li>• Pérdida de materia orgánica</li> </ul>	$IDS = (R - A) * (R + A + V)$ $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$	Discreto
<b>Dependiente:</b> Estimación de Suelos degradados de cultivos de maíz	La degradación de la tierra se reconoce como uno de los problemas en la pérdida del valor ambiente biofísico que se ve afectado por una mezcla de acciones incitadas por el hombre debido al uso de fertilizantes en los cultivos. (Tuncay et al 2021, p.23).	Se tuvo en cuenta la información a través de datos de los suelos degradados por metales pesados por el uso excesivo de fertilizantes en los sembríos de maíz del distrito San Martín.	Análisis fisicoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadmio</li> <li>• Plomo</li> <li>• Materia orgánica</li> <li>• ORP</li> <li>• Textura</li> <li>• pH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mg/kg</li> <li>• Grueso</li> <li>• Fino</li> <li>• Color</li> </ul>	Discreto

Fuente: Elaboración Propia, 2022.

### 3.3. Población, muestra y muestreo

**Población:** Fue constituida por 2240 hectáreas de cultivos de maíz del distrito San Martín concerniente a 950 parcelas de cultivos.

**Muestra:** Fue establecida por 10 parcelas de maíz con un promedio de 5 hectáreas cada una de cultivos del distrito de San Martín.

**Tabla 5:** Descripción de los puntos de muestreo

PUNTO	COORDENADAS UTM		ZONA
	ESTE (X)	NORTE (Y)	
<b>Parcela 1</b>	308369	9278847	18S
<b>Parcela 2</b>	308115	9279008	18S
<b>Parcela 3</b>	307498	9278815	18S
<b>Parcela 4</b>	307335	9278532	18S
<b>Parcela 5</b>	306582	9279280	18S
<b>Parcela 6</b>	306763	9279776	18S
<b>Parcela 7</b>	307212	9280798	18S
<b>Parcela 8</b>	307974	9280358	18S
<b>Parcela 9</b>	308389	9279813	18S
<b>Parcela 10</b>	308546	9279252	18S

Fuente: Elaboración propia, 2022

**Muestreo:** Fue de tipo aleatorización en el que cada elemento de la población tiene cierta probabilidad de ser seleccionado durante el proceso de muestreo, como por ejemplo las parcelas de cultivos de maíz en el distrito de San Martín.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### Técnicas de recolección de datos

- Observación de imágenes satelitales.
- Guía de datos de suelos degradados
- Análisis documental

#### Instrumentos de recolección de datos

- Fichas de observación de imágenes satelitales
- Ficha de análisis fisicoquímico del suelo
- Guía para el muestreo de suelos (DS N° 002–2013 –MINAM) ECA para suelo agrícolas
- Fichas de análisis multitemporal de imágenes LANDSAT

### **3.5. Procedimiento**

Para el procedimiento de la investigación fue elaborada por medio de 3 etapas diferentes en la identificación de Aplicación de Técnicas de Teledetección que se evaluó suelos degradados con metales pesados en Cultivos de Maíz.

#### **ETAPA 1: Gabinete inicial**

- Se realizó la recopilación de información necesaria a través de artículos y revistas indexadas en función del tema investigado.
- Se llevó a cabo la preparación de los instrumentos utilizados en la recolección de información.
- Se elaboró documentos con los permisos de ingreso a parcelas selectas para la recolección de muestras y toma de puntos con GPS.

#### **ETAPA 2: Trabajo de campo y laboratorio**

- Se realizó el reconocimiento del lugar (Parcelas elegidas de cultivo de maíz, se recolectó muestras del suelo) de las 10 parcelas
- Se delimitó el área de estudio para tener una mejor visibilidad de las parcelas que fueron estudiadas.
- Se realizó el envío correspondiente de muestras al laboratorio acreditado por el INACAL para los resultados válidos de los componentes Fisicoquímicos.
- Se logró obtener resultados los cuales fueron interpretados y analizados.
- Se realizó la toma de coordenadas de las parcelas de estudio con fin de obtener una mejor exactitud del espacio geográfico.
- Se realizó las descargas correspondientes de las imágenes Landsat 5,7 y 8 mediante el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS -

<https://earthexplorer.usgs.gov/>) con el fin de portar la base de ubicación de parcelas escogidas de los cultivos de maíz.

- En el mismo programa se seleccionaron los años que se investigó, en el caso hemos elaborado desde el año 2002. Se especificó cada satélite usado en el año elegido por la imagen de menos nubosidad.

**Tabla 6:** Años Seleccionados para estudio

<b>N°</b>	<b>AÑO</b>	<b>LANDSAT</b>	<b>FECHA</b>
1	2002	LANDSAT 7	17/06/2002
2	2006	LANDSAT 5	8/09/2006
3	2010	LANDSAT 5	8/12/2010
4	2014	LANDSAT 8	19/12/2014
5	2018	LANDSAT 8	24/08/2018
6	2022	LANDSAT 8	8/02/2022

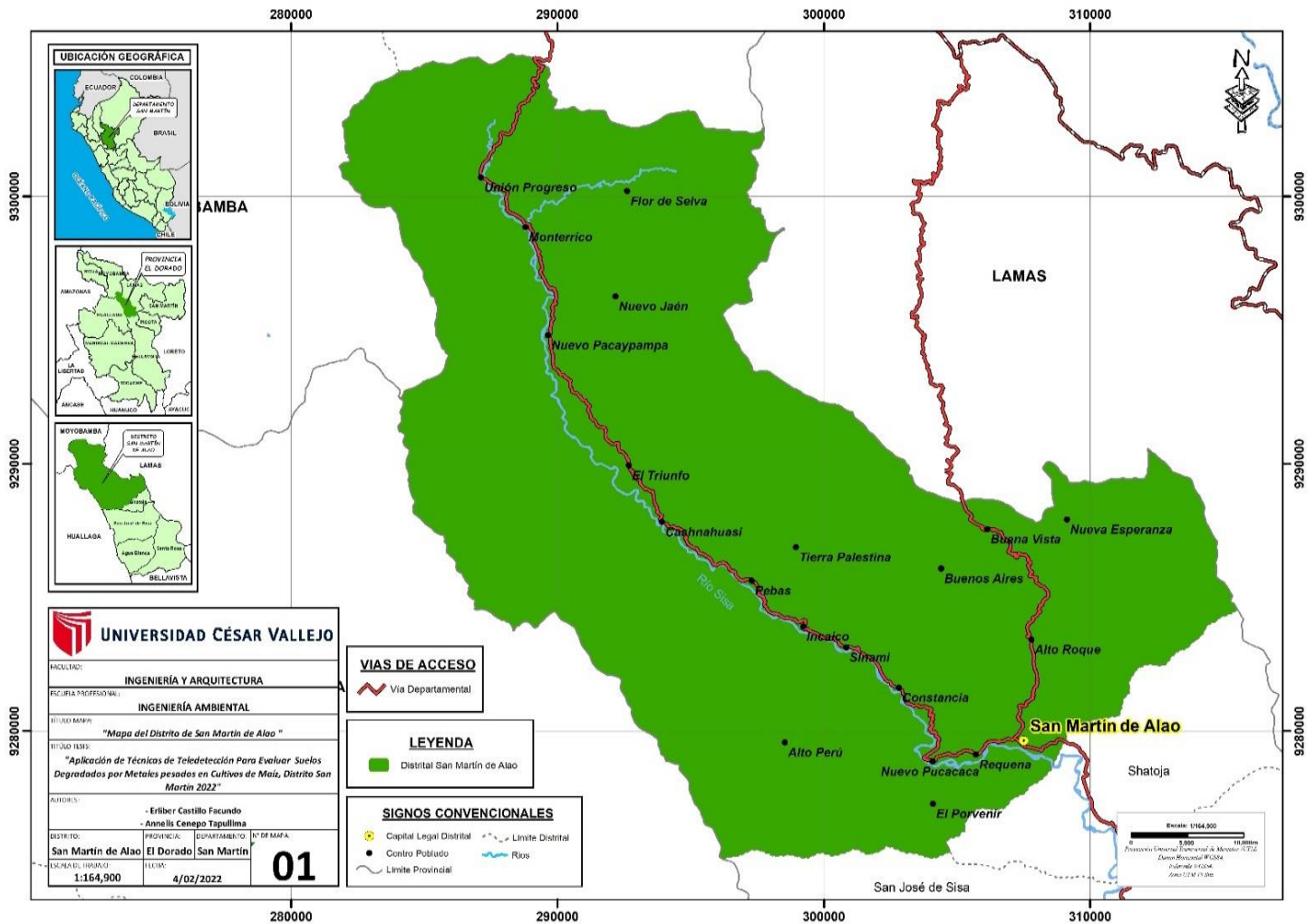
Fuente: Elaboración propia, 2022

- Se usó las diferentes bandas que se combinen y generen un color básico de las parcelas seleccionadas para demostrar si son suelos degradados.
- Se combinarán las bandas con los datos obtenidos a través del programa USGS. Landsat 5 y 7 (5, 4,1) y Landsat 8 (6, 5, 2), que permitió identificar la vegetación sana será de color verde brillante. Esta combinación es la mejor para estudios agrícolas.
- Luego se realizó en el programa (Arcgis 10.8) se unió las 3 bandas de cada imagen satelital obtenida en base a RGB (Red – Green – Blue), todos estos se editaron en Arctoolbox para tener una mejor visualización, identificación y comparación de suelos degradados.
- Se hizo la comparación correspondiente entre las imágenes satelitales y análisis del suelo, para conocer a detalle la degradación del suelo de cultivo de maíz por uso de fertilizantes químicos por cada año evaluado.

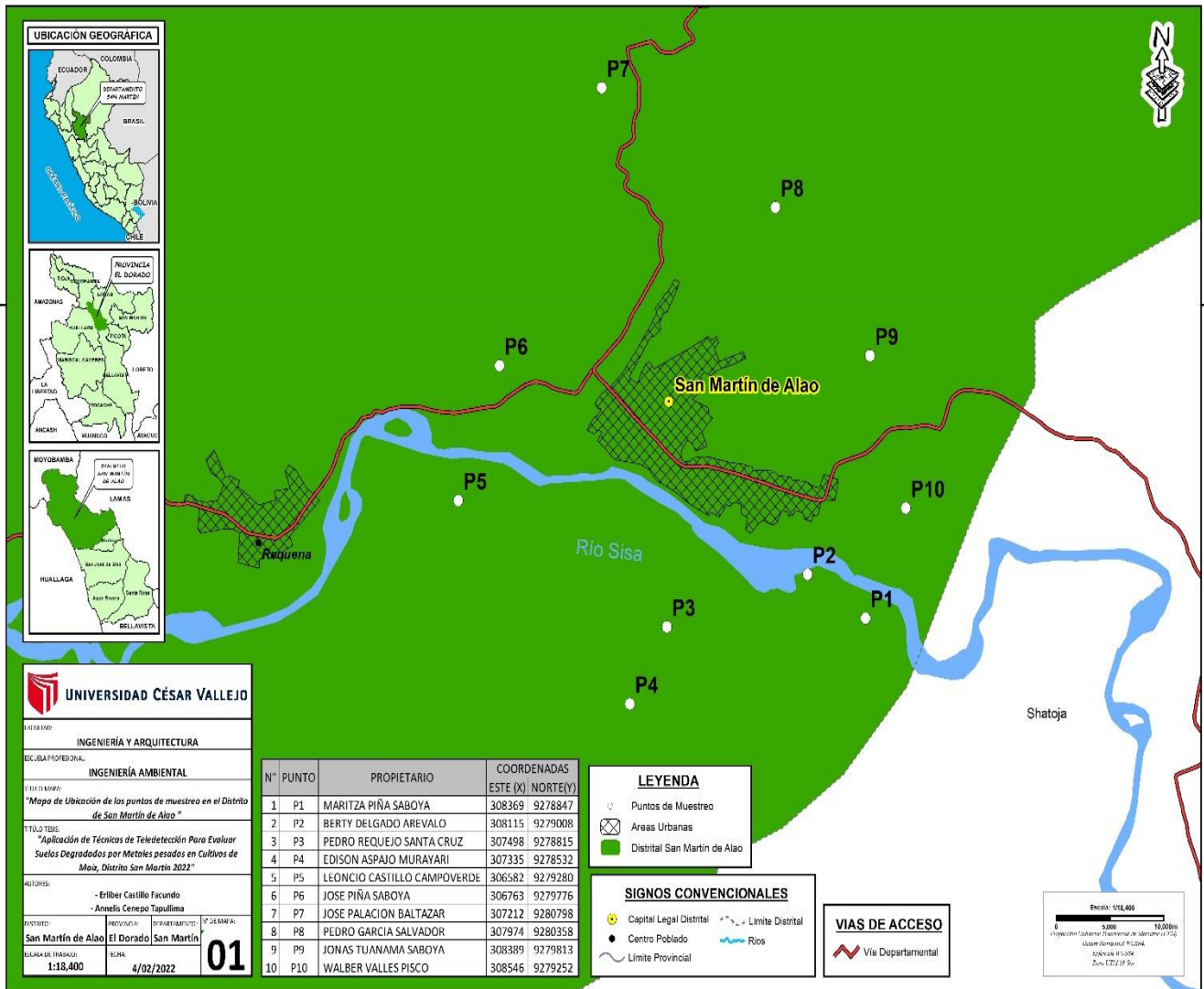
### **ETAPA 3: Gabinete final**

- Se realizó el procesamiento de datos del resultado obtenidos del laboratorio con tablas y figuras, seguido de su interpretación.
- Se realizó la interpretación de resultados.
- Se llevó a cabo la presentación del informe final.

- Se efectuó la subsanación de observaciones.
- Al final se realizó la sustentación de la tesis de investigación.



**Figura 3:** Mapa de ubicación del distrito San Martín.  
Fuente: Elaboración propia, 2022



**Figura 4:** Mapa de ubicación de los puntos muestreados.  
Fuente: Elaboración propio, 2022

### 3.6. Métodos de análisis de datos

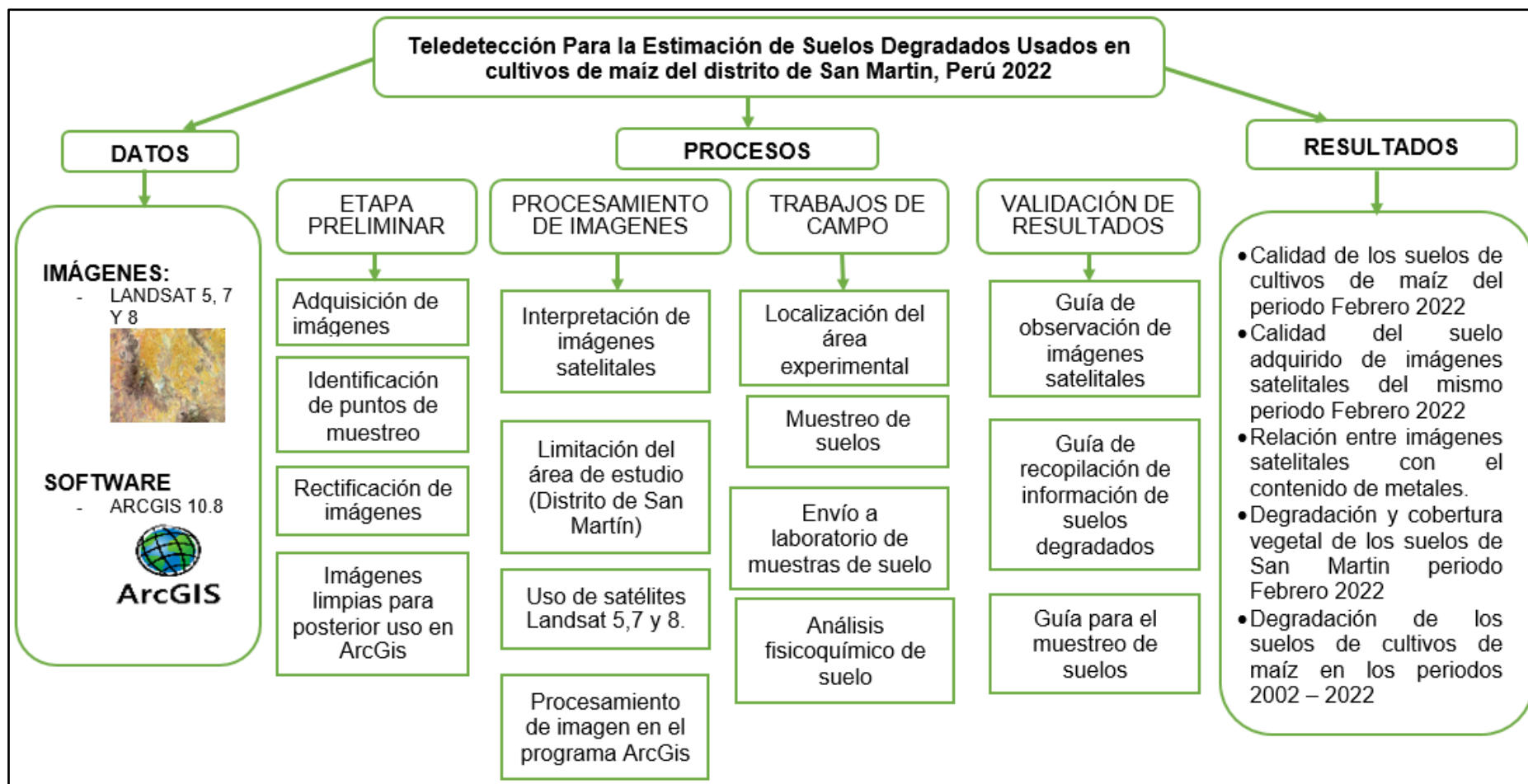
Para el análisis de datos primero se realizó la recolección de datos donde la información fue obtenida y extraída del programa Earth Explorer perteneciente al Servicio Geológico de los Estados Unidos. El uso de los satélites ha variado de acuerdo a los años que se estudió, esto dependió de la visibilidad y disponibilidad, pues algunos presentaron por temporadas problemas de nubosidad las cuales impidieron ver con claridad nuestra área de estudio. Los satélites usados para la investigación fueron Landsat 5, 7 y 8 la cual se obtuvo 6 imágenes satelitales y asimismo la recolección de muestras de suelo de las 10 parcelas de cultivo de maíz ubicado en el distrito

de San Martín, Asimismo se contribuyó en el análisis de datos que se trabajó desde casa para el procesamiento de los datos recopilados de plataforma USGS, se obtuvieron las imágenes de las áreas de interés, realizamos la combinación de bandas en el software ArcGIS 10.8, analizamos las imágenes obtenidas y finalmente se verificaron los resultados con los análisis del suelo.

### **3.7. Aspectos éticos**

La información de la investigación fue extraída de fuentes confiables, respetando los derechos intelectuales de cada una de ellas. El caso de la tesis se desarrolló a partir de los lineamientos de la Universidad César Vallejo según la guía N° 011 de elaboración de tesis, en los cuales se estableció el formato de investigación, respetando los derechos de propiedad intelectual de la norma internacional ISO 690 en bibliografía y documentación.

De tal forma como se demuestra en la siguiente figura 5 con el esquema del desarrollo de la investigación de la aplicación de técnicas de teledetección para evaluar suelos degradados por metales pesados en cultivos de Maíz.



**Figura 5:** Procesos de teledetección para suelos degradados.  
Fuente: Elaboración propia, 2022



## **IV. RESULTADOS**

### **4.1 Estado de la calidad de los suelos de cultivos de maíz del mismo periodo febrero 2022.**

Se realizó los análisis del suelo de los cultivos de maíz del distrito de San Martín, donde se determinó las propiedades fisicoquímicas entre ellos la materia orgánica es un factor importante para la fertilidad del suelo, ya que activa propiedades de porosidad, capacidad de retención de agua, estabilidad general, etc. En cuanto la textura del suelo se identificó por las cualidades de tipos arcillosos, limosos y arenosos. Por lo que la mezcla de los 3 se denomina la textura. Para el ORP (Potencial redox) calificado en capacidad reductora y oxidativa del suelo, asimismo contribuye en la aireación del sistema edáfico. Para el pH fue fundamental para la identificación de la acidez del suelo de los cultivos de maíz, por lo tanto, el cadmio (Cd) y Plomo (Pb) se determinó como los metales pesados influyentes en la calidad del suelo con finalidad de degradación del mismo.

**Tabla 7:** Calidad del suelo de cultivos de maíz por análisis de laboratorio.

**CALIDAD DEL SUELOS MEDIANTE ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL SUELO**

Parcelas de maíz	Plomo (mg/Kg)	Cadmio (mg/Kg)	Textura				ORP (mV)	Materia orgánica (%)	pH
			(%) Arena	(%) Limo	(%) Arcilla	Clase textual			
<b>P1</b>	9,9	2,37	0.0	8.4	91.6	Arcilloso	-129.0	16.88	6.96
<b>P2</b>	10,8	1,13	0.0	9.5	90.5	Arcilloso	-161.4	14.64	6.61
<b>P3</b>	6,8	0,39	0.0	9.1	90.9	Arcilloso	-167.6	16.80	7.14
<b>P4</b>	9,3	0,63	0.0	9.5	90.5	Arcilloso	-157.5	16.53	6.52
<b>P5</b>	9,4	0,55	0.0	8.1	91.9	Arcilloso	-147.9	20.69	6.34
<b>P6</b>	9,5	0,76	24.0	60.0	16.0	Franco Limoso	-148.5	13.82	7.05
<b>P7</b>	8,8	0,28	21.7	60.9	17.4	Franco Limoso	-135.5	13.16	6.54
<b>P8</b>	4,9	0,50	0.0	9.0	91.0	Arcilloso	-117.5	19.53	6.98
<b>P9</b>	8,8	0,54	0.0	9.1	90.9	Arcilloso	-130.2	16.07	6.83
<b>P10</b>	19,1	0,70	0.0	8.7	91.3	Arcilloso	-156.2	13.88	6.82

Fuente: Elaboración propia, 2022

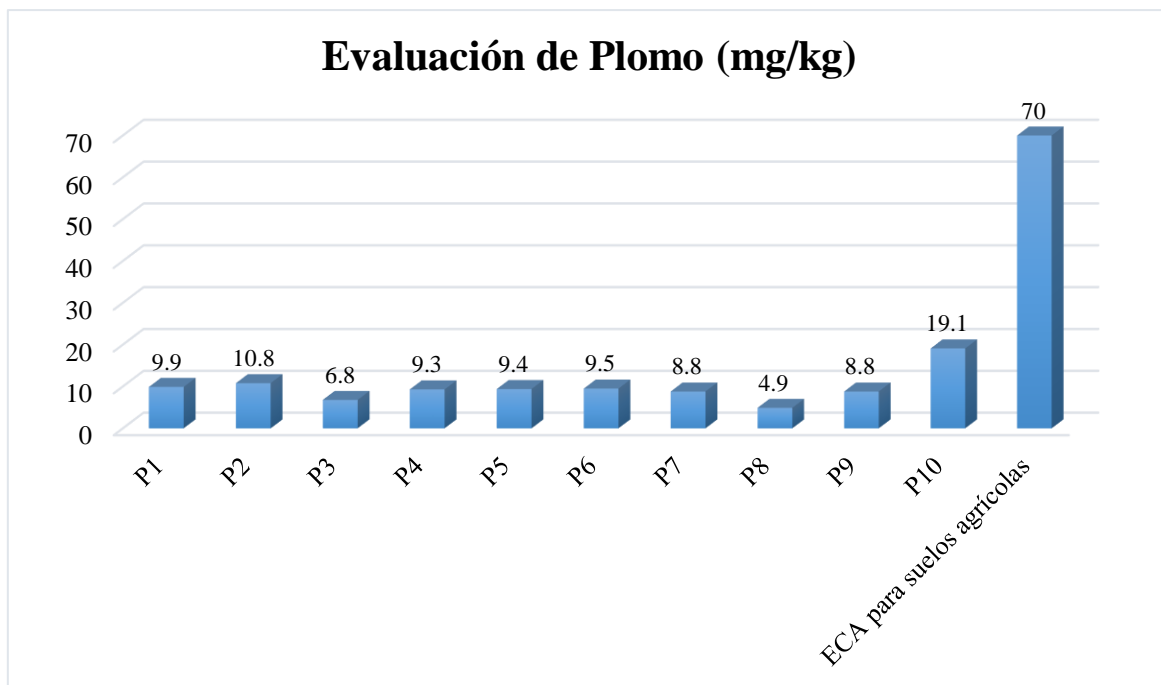
De acuerdo a los análisis de laboratorio por 10 muestras de suelo de los cultivos de maíz del distrito de San Martín, provincia El Dorado se conoció los datos por cada parcela del parámetro Plomo (Pb), demostrado en la siguiente tabla 8:

**Tabla 8:** Calidad del suelo de cultivos de maíz por plomo

<b>Calidad del suelo por plomo</b>		
<b>Parcelas de maíz</b>	<b>Plomo (mg/kg)</b>	<b>ECA para suelos agrícolas (mg/kg)</b>
P1	9,9	70
P2	10,8	70
P3	6,8	70
P4	9,3	70
P5	9,4	70
P6	9,5	70
P7	8,8	70
P8	4,9	70
P9	8,8	70
P10	19,1	70

Fuente: Elaboración propia, 2022

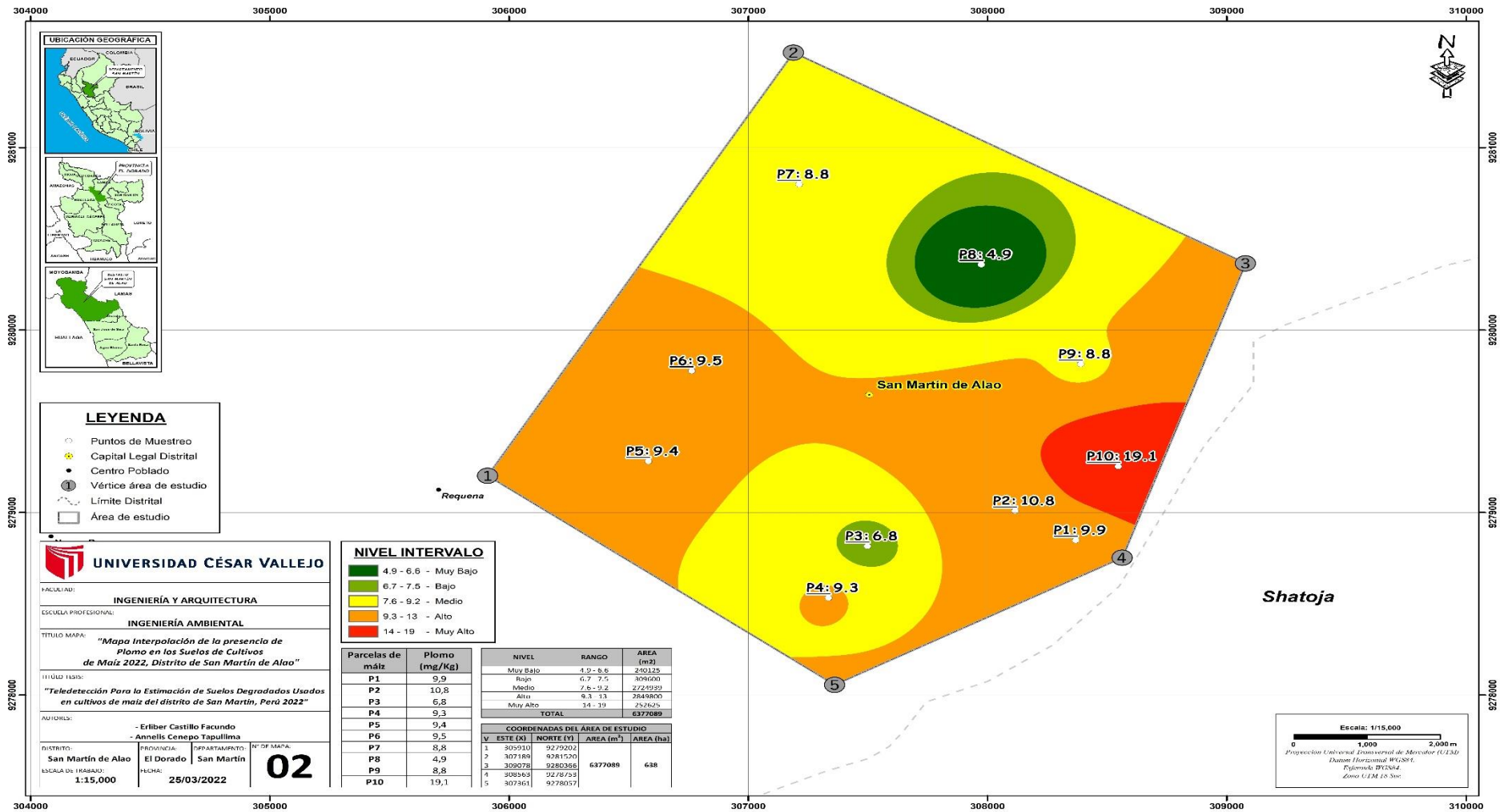




**Figura 6:** Potencial de plomo en suelos de cultivos de maíz en comparación con el ECA para suelos agrícolas  
Fuente: Elaboración propia, 2021

**Interpretación:** en la figura 6 se muestra el nivel de contaminación del suelo por plomo en (mg/kg) de acuerdo a los análisis de suelo obtenido por cada parcelas, donde para la parcela 1 se obtuvo 9.9, parcela 2 un 10.8, parcela 3 un 6.8, parcela 4 un 9.3, parcela 5 un 9.4, parcela 6 un 9.5, parcela 7 un 8.8, parcela 8 un 4.9, parcela 9 un 8.8, parcela 10 un 19.1, en comparación con el ECA para suelos agrícolas con el valor de 70 mg/kg todas las parcelas evaluadas de cultivos de maíz no superaron con niveles, sin embargo es importante considerarlo como de línea de base, para compararlos con valores en el futuro, para determinar aspectos de degradación por este elemento que influye en el uso de suelos para la producción de cultivos de maíz entre otros cultivos alternos.





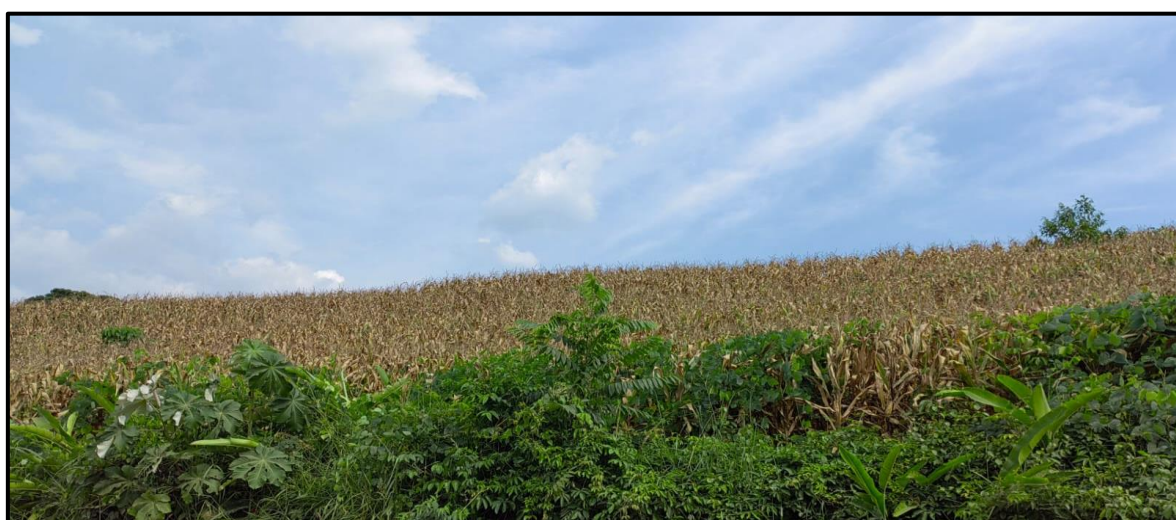
**Figura 7:** Mapa del nivel de presencia de plomo en suelos de cultivos de maíz.  
Fuente: Elaboración propia, 2022

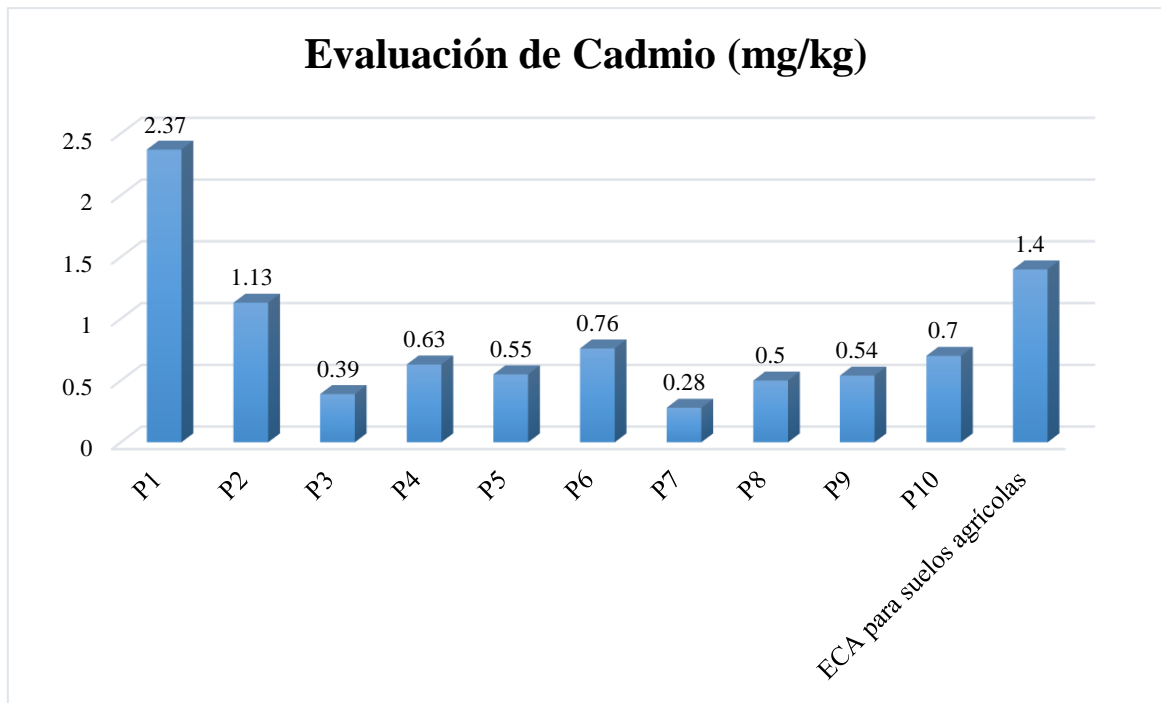
Mediante los análisis de laboratorio con 10 muestras de suelo analizadas de las parcelas de cultivos de maíz del distrito de San Martín, provincia El Dorado se conoció los datos por cada parcela del metal Cadmio (Cd) señalando la calidad actual del suelo, demostrado en la siguiente tabla 9:

**Tabla 9:** Calidad del suelo de cultivos de maíz por Cadmio

<b>Calidad del suelo por Cadmio</b>		
<b>Parcelas de maíz</b>	<b>Cadmio (mg/kg)</b>	<b>ECA para suelos agrícolas (mg/kg)</b>
P1	2,37	1.4
P2	1,13	1.4
P3	0,39	1.4
P4	0,63	1.4
P5	0,55	1.4
P6	0,76	1.4
P7	0,28	1.4
P8	0,50	1.4
P9	0,54	1.4
P10	0,70	1.4

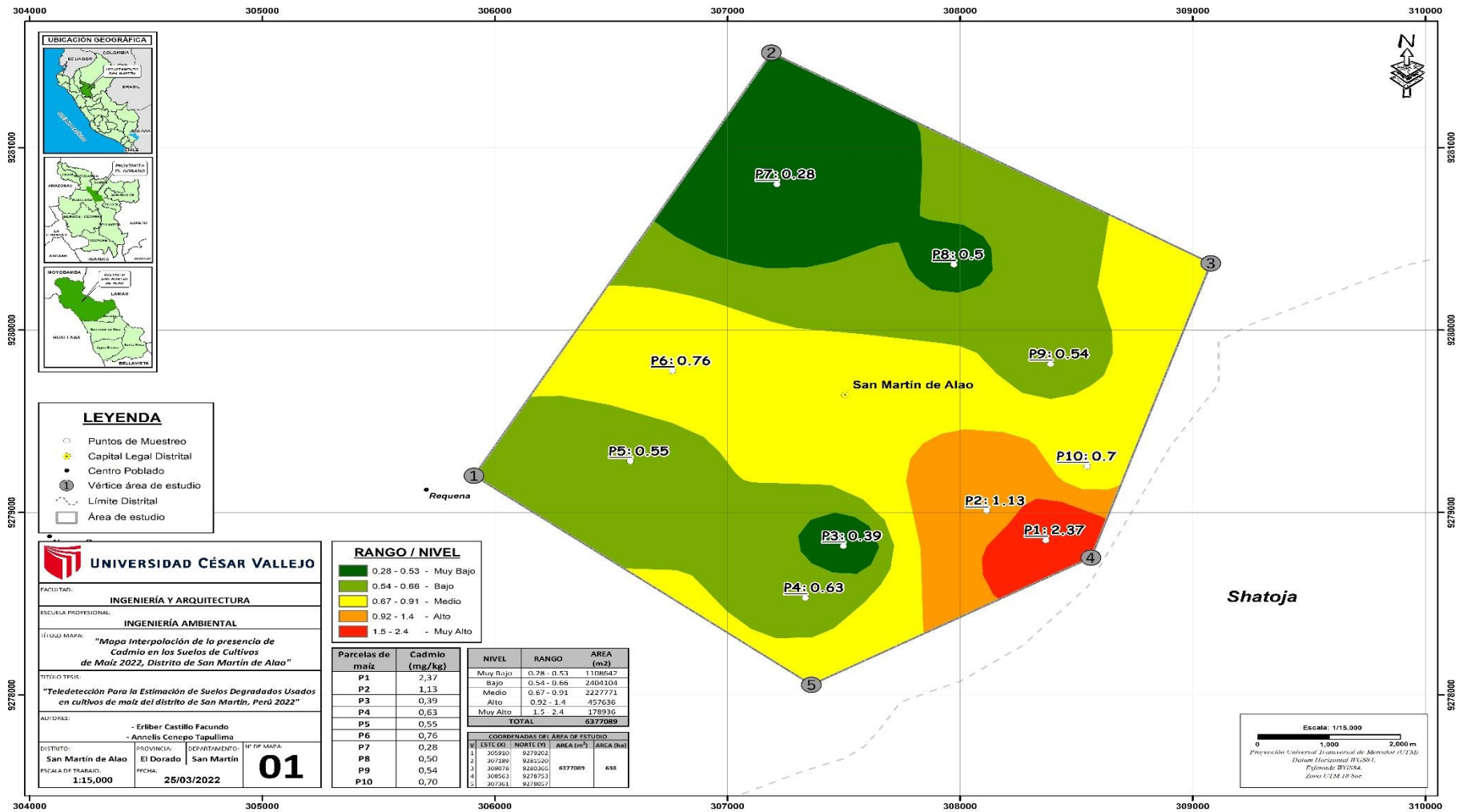
Fuente: Elaboración propia, 2022





**Figura 8:** Potencial de Cadmio en suelos de cultivos de Maíz en comparación con el ECA para suelos agrícolas  
Fuente: Elaboración propia, 2022

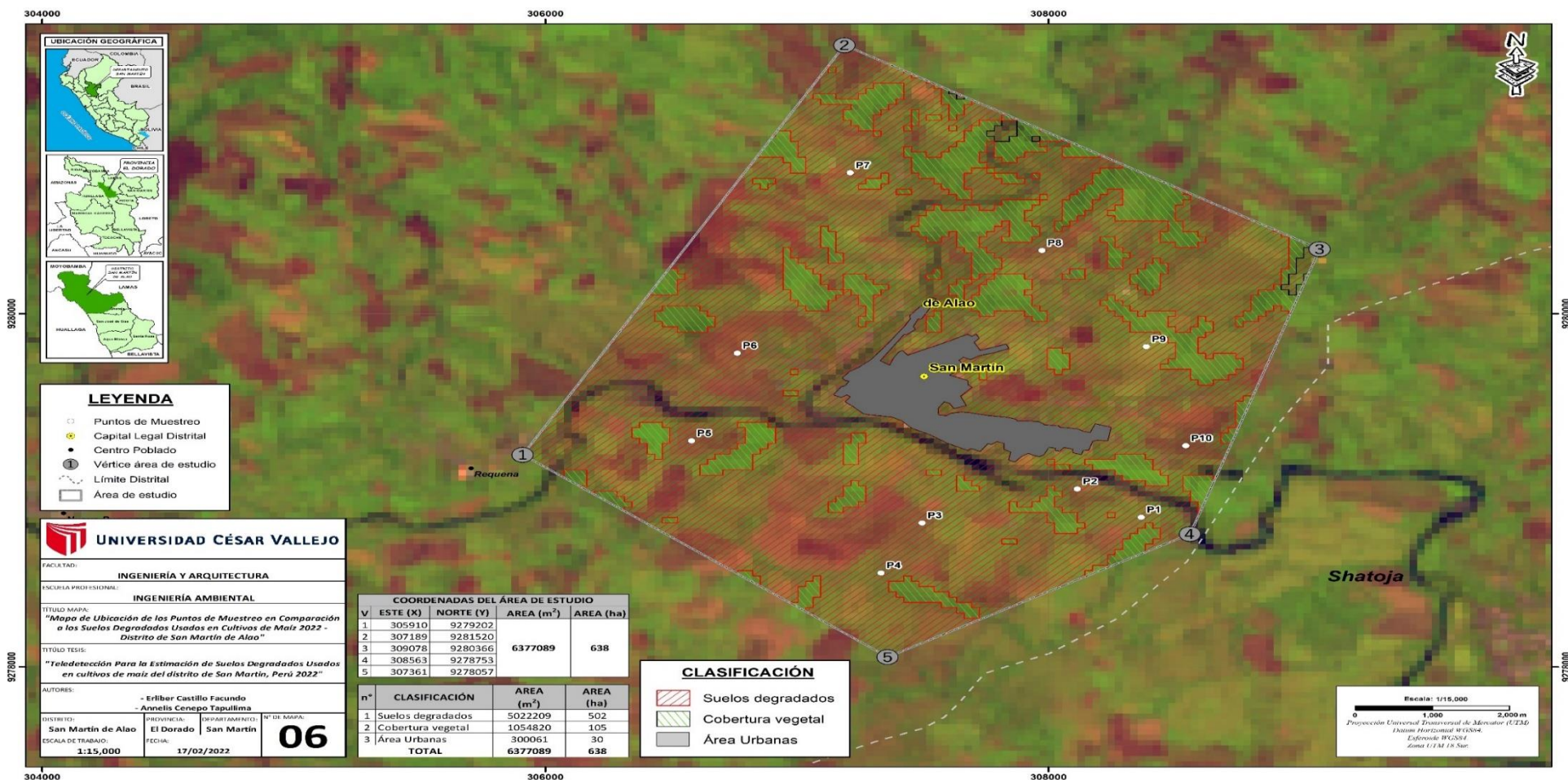
**Interpretación:** De acuerdo a lo mostrado en la figura 8 se observó el nivel de contaminación del suelo por el metal Cadmio en (mg/kg) argumentado por los análisis de suelo obtenido por cada parcelas, generado dichos resultados por los análisis de laboratorio, para ello se tuvo en la parcela 1 un 2.37, parcela 2 un 1.13, parcela 3 un 0.39, parcela 4 un 0.63, parcela 5 un 0.55, parcela 6 un 0.76, parcela 7 un 0.28, parcela 8 un 0.5, parcela 9 un 0.54, parcela 10 un 0.7, en comparación con el ECA para suelos agrícolas con el valor de 0.4 mg/kg para Cadmio, donde la parcelas 1 y parcela 2 superaron los estándares de calidad ambiental, el resto de parcelas estan por debajo del ECA con mínimos valores, que al notar la presencia del metal en las parcelas evaluadas de cultivos de maíz se analizó que existe degradación de los suelos por el parámetro Cadmio, perjudicando drásticamente la calidad del mismo.



**Figura 9:** Mapa del nivel de presencia de cadmio en suelos de cultivos de maíz.  
Fuente: Elaboración propia, 2022



## 4.2 Índice de calidad del suelo adquirido de imágenes satelitales del mismo período febrero 2022



**Figura 10:** Calidad del suelo de cultivos de maíz.  
 Fuente: Elaboración propia, 2022

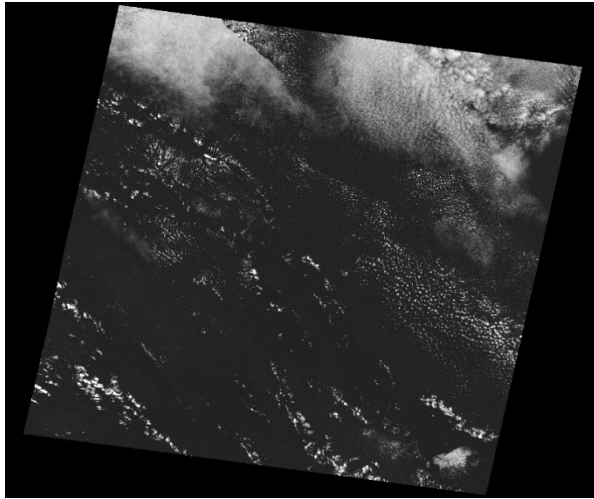
**Interpretación:** En la figura 10 se demostró la calidad del suelo del distrito de San Martín del día 8 de febrero del 2022 a través de la imagen satelital Landsat 8 procesada en ArcGis 10.8. Se demarcó el área de influencia de los puntos de muestreo de las parcelas seleccionadas con un polígono pentágono, para ello se determinó 502 hectáreas de suelos degradados, 105 hectáreas de cobertura vegetal, demostrada en la tabla 10:

**Tabla 10:** Coordenadas del polígono de estudio de suelos degradados y cobertura vegetal.

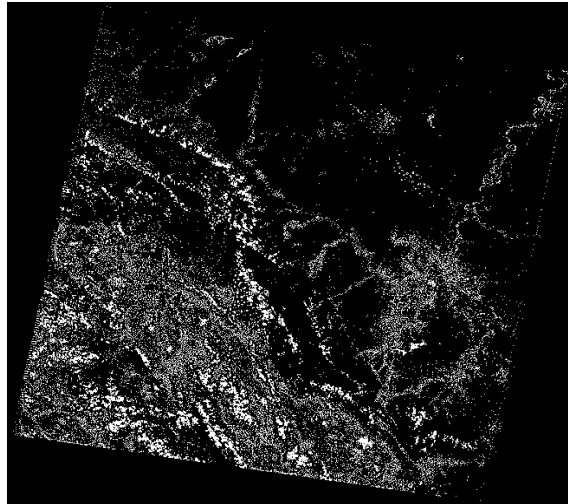
<b>Coordenadas del área de estudio</b>				
<b>Vértice</b>	<b>Este (X)</b>	<b>Norte (Y)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Hectáreas (m<sup>2</sup>)</b>
1	305910	9270202	6,377,089	638
2	307189	9281520		
3	309078	9280366		
4	308563	9278753		
5	307361	9278057		
<b>N°</b>	<b>Clasificación</b>		<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Hectáreas (m<sup>2</sup>)</b>
1	Suelos degradados		502209	502
2	Cobertura vegetal		1054820	105
3	Área urbana		300061	30
<b>Total</b>			<b>6377089</b>	<b>638</b>

Fuente: Elaboración propia, 2022

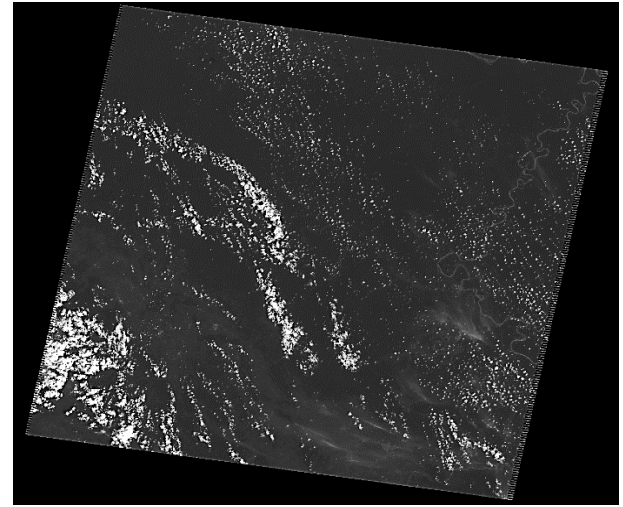
**Figura 11:** Imagen satelital Landsat 7 del 17-06-2002



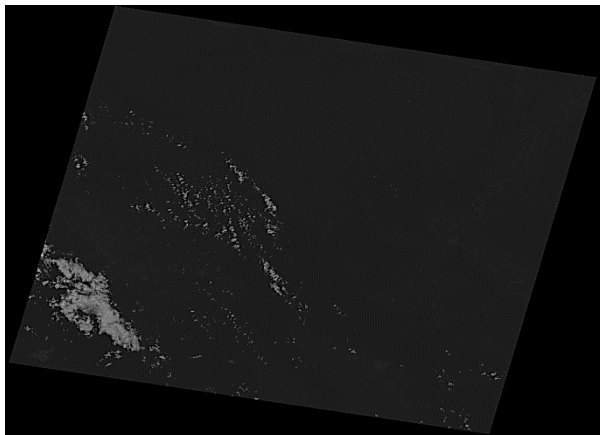
**Figura 12:** Imagen satelital Landsat 5 del 08-09-2006



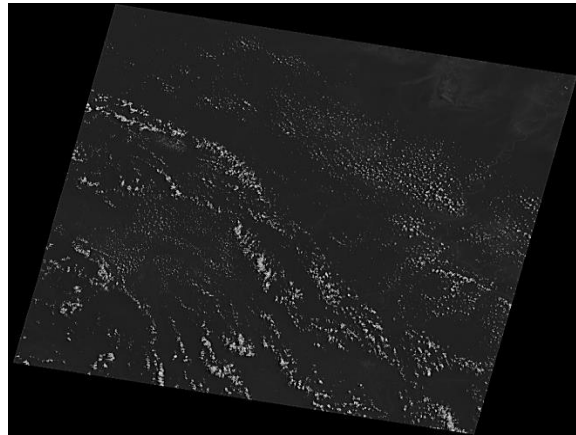
**Figura 13:** Imagen satelital Landsat 5 del 08-12-2010



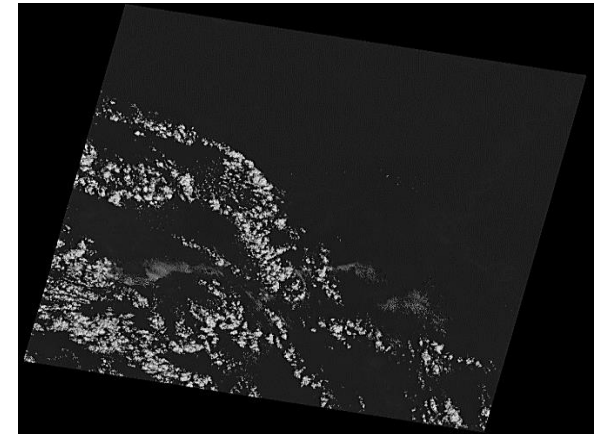
**Figura 14:** Imagen satelital Landsat 8 del 19-12-2014



**Figura 15:** Imagen satelital Landsat 8 del 24-08-2018



**Figura 16:** Imagen satelital Landsat 8 del 08-02-2022



**interpretación:** en la agrupación de figuras se mostraron las descargadas de las imágenes desde el año 2002 hasta la actualidad del satélite Landsat 5, 7 y 8 sin ningún tratamiento para ser procesada en el ArcGis 10.8 para la identificación de suelos degradados y cobertura vegetal.

### 4.3 Relación entre imágenes satelitales con el índice de degradación y cobertura vegetal de los suelos de San Martín período febrero 2022

Para la determinación del IDS y el MDVI se establecieron los siguientes cuadros de datos obtenidos de las combinaciones de bandas en el proceso de elaboración de mapas de los años 2002 – 2022 en la determinación de suelos degradados y cobertura vegetal.

**Tabla 11:** Resolución espectral – Landsat 7

Satélite	Sensor	Resolución espectral (µm)		Bandas	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal
LANDSAT 7/17-06-2002	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+).	Banda 1 azul:	0.1834	Multiespectral	50	16 Días
		Banda 2 verde:	0.2481			
		Banda 3 roja:	0.2432			
		Banda 4: NIR	0.3312			
		Banda 5 Infrarrojo cercano2:	1.55 - 1.75			
		Banda 7 Infrarrojo medio:	2.11 - 2.23	Termal	120	
		Banda 6 Infrarrojo térmico:	9.7 - 11.4			
		Banda 8: Pancromática	0.52 - 0.90	Pancromática	15	

Fuente: Elaboración propia, 2022

**Tabla 12:** Resolución espectral – Landsat 5

Satelite	Sensor	Resolucion espectral ( $\mu\text{m}$ )		Bandas	Resoluci ón Espacial (m)	Resolució n Temporal
LANDSAT 5/08-09- 2006	Thematic Mapper (TM)	Banda 1 azul:	0.2816	Multiespectra l	50	16 Días
		Banda 2 verde:	0.5788			
		Banda 3 roja:	0.3883			
		Banda 4: NIR	0.8553			
		Banda 5 Infrarrojo cercano2:	1.55 - 1.75			
		Banda 7 Infrarrojo medio:	2.11 - 2.23			
		Banda 6 Infrarrojo térmico:	10.40 - 12.50	Termal	120	

Fuente: Elaboración propia, 2022

**Tabla 13:** Resolución espectral – Landsat 5

Satelite	Sensor	Resolucion espectral ( $\mu\text{m}$ )		Bandas	Resoluci ón Espacial (m)	Resolució n Temporal
LANDSAT 5/08-12- 2010	Thematic Mapper (TM)	Banda 1 azul:	0.2172	Multiespectra l	50	16 Días
		Banda 2 verde:	0.3344			
		Banda 3 roja:	0.3215			
		Banda 4: NIR	0.4831			
		Banda 5 Infrarrojo cercano2:	1.55 - 1.75			
		Banda 7 Infrarrojo medio:	2.11 - 2.23			
		Banda 6 Infrarrojo térmico:	10.40 - 12.50	Termal	120	

Fuente: Elaboración propia, 2022

**Tabla 14:** Resolución espectral – Landsat 8

Satélite	Sensor	Resolución espectral (µm)		Bandas	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal		
LANDSAT 8/19-12-2014	Operational Land Imager (OLI) y el sensor térmico infrarrojo Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Banda 1 azul:	0.3733	Multiespectral	50	16 Días		
		Banda 2 verde:	0.5051					
		Banda 3 roja:	0.5778					
		Banda 4 Infrarrojo cercano1:	0.6512					
		Banda 5: NIR	0.8556					
		Banda 7 Infrarrojo medio:	2.11 - 2.23					
		Banda 6 Infrarrojo térmico:	10.40 - 12.50	Pancromática	120			
		Banda 8: Pancromática	0.52 - 0.90					
		Banda 10: Infrarrojo térmica	10.60 – 11.19				Cirrus	15
		Banda 11: Infrarrojo térmico	11.50 – 12.51				Térmica	100

Fuente: Elaboración propia, 2022

**Tabla 15:** Resolución espectral – Landsat 8

Satélite	Sensor	Resolución espectral (µm)		Bandas	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal
LANDSAT 8/24-08-2018	Operational Land Imager (OLI) y el sensor térmico infrarrojo	Banda 1 azul:	0.4754	Multiespectral	50	16 Días
		Banda 2 verde:	0.5008			
		Banda 3 roja:	0.5766			
		Banda 4 Infrarrojo cercano1:	0.6445			
		Banda 5: NIR	0.8677			

	Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Banda 7 Infrarrojo medio:	2.11 - 2.23			
		Banda 6 Infrarrojo térmico:	10.40 - 12.50			
		Banda 8: Pancromática	0.52 - 0.90	Pancromática	120	
		Banda 10: Infrarrojo térmica	10.60 – 11.19	Cirrus	15	
		Banda 11: Infrarrojo térmico	11.50 – 12.51	Térmica	100	

Fuente: Elaboración propia, 2022

**Tabla 16:** Resolución espectral – Landsat 8

Satélite	Sensor	Resolución espectral (µm)		Bandas	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal
LANDSAT 8/08-02-2022	Operational Land Imager (OLI) y el sensor térmico infrarrojo Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Banda 1 azul:	0.4143	Multiespectral	50	16 Días
		Banda 2 verde:	0.469			
		Banda 3 roja:	0.5734			
		Banda 4 Infrarrojo cercano1:	0.6341			
		Banda 5: NIR	0.8877			
		Banda 7 Infrarrojo medio:	2.11 - 2.23			
		Banda 6 Infrarrojo térmico:	10.40 - 12.50	Pancromática	120	
		Banda 8: Pancromática	0.52 - 0.90			
		Banda 10: Infrarrojo térmica	10.60 – 11.19	Cirrus	15	
		Banda 11: Infrarrojo térmico	11.50 – 12.51	Térmica	100	

Fuente: Elaboración propia, 2022

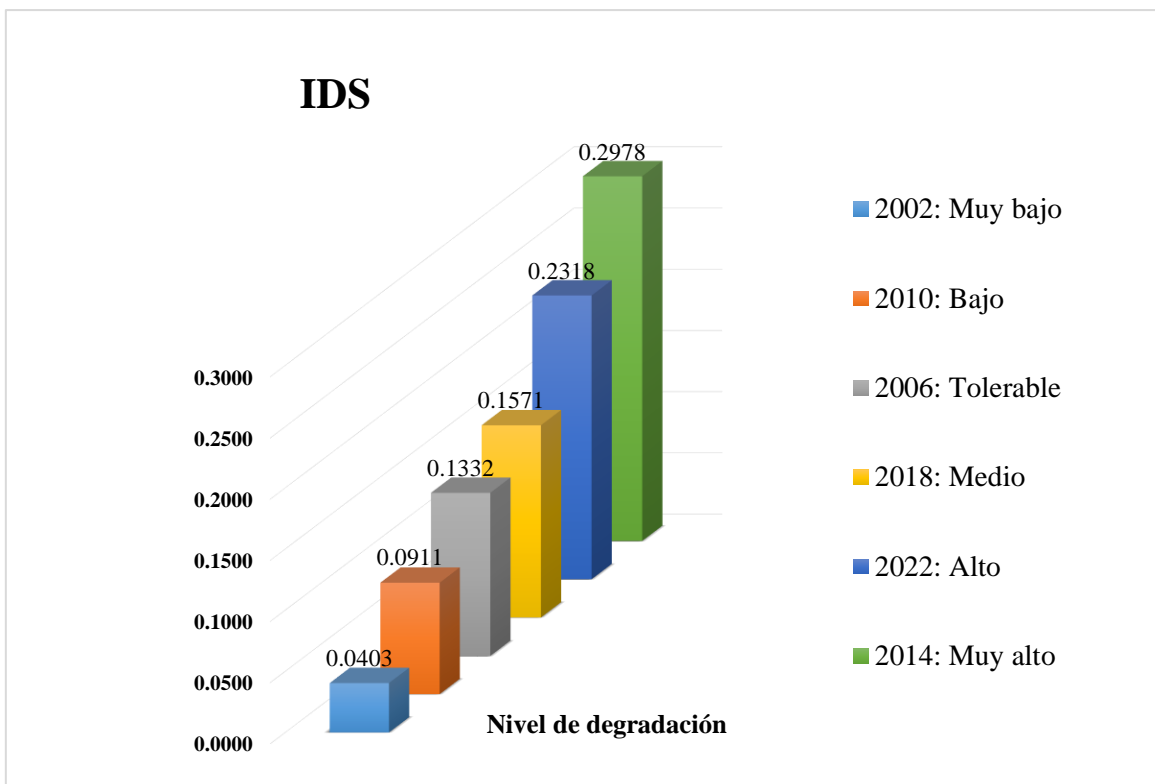
**Tabla 17:** Cálculo del índice de degradación y vegetación del suelo

<b>Año</b>	<b>NIR</b>	<b>R: Rojo</b>	<b>A: Azul</b>	<b>V: Verde claro</b>	<b>Nivel de degradación</b>	<b>NDVI</b> <i><math>NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)</math></i>	<b>Nivel de degradación</b>	<b>IDS</b> <i><math>IDS = (R - A) * (R + A + V)</math></i>
2002	0.3312	0.2432	0.1834	0.2481	Muy alto	0.4336	Muy bajo	0.0403
2010	0.4831	0.3215	0.2172	0.3344	Alto	0.3986	Bajo	0.0911
2006	0.8553	0.3883	0.2816	0.5788	Medio	0.3507	Tolerable	0.1332
2018	0.8677	0.5766	0.4754	0.5008	Tolerable	0.1342	Medio	0.1571
2022	0.8877	0.5734	0.4143	0.469	Bajo	0.1016	Alto	0.2318
2014	0.8556	0.5778	0.3733	0.5051	Muy bajo	0.0597	Muy alto	0.2978

Fuente: Elaboración propia, 2022

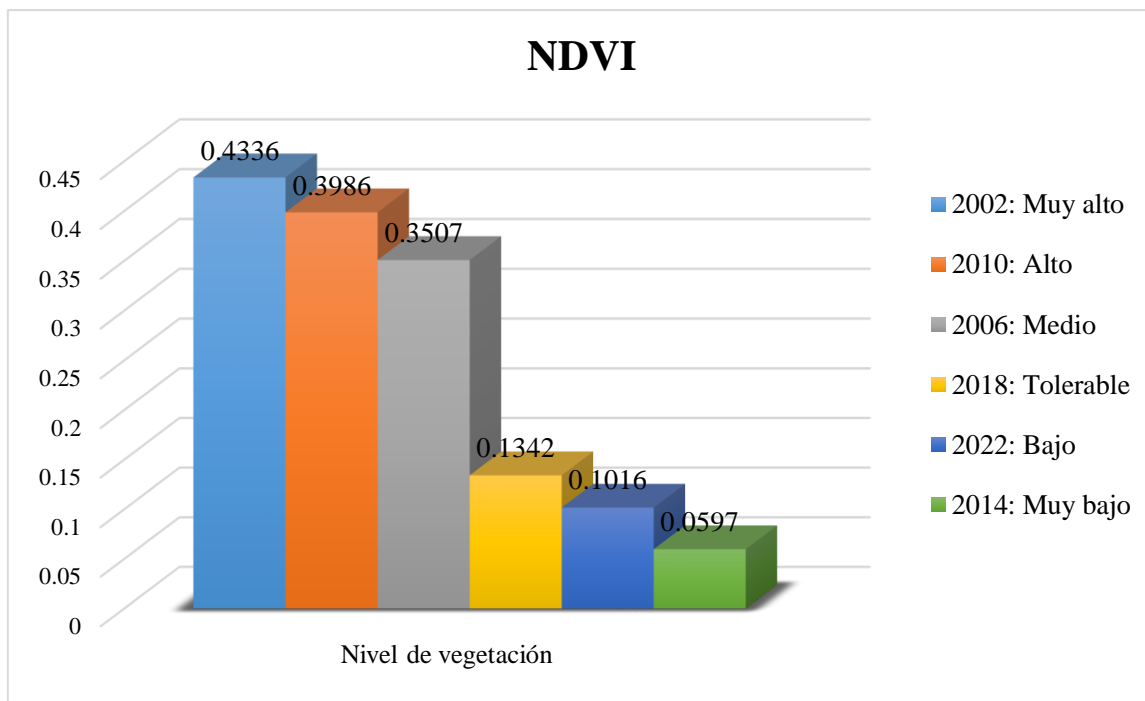
En la tabla 17 se demuestra los datos obtenidos mediante la combinación de bandas en la elaboración de los mapas del año 2002 al 2022 en la cual se determinaron los suelos degradados y suelo con cobertura vegetal, asimismo se determinó mediante cálculos utilizando fórmulas para cada uno del índice de vegetación de diferencia normalizado y índice de degradación del suelo, obteniendo los niveles de degradación de los de cultivos de maíz del distrito San Martín, provincia el Dorado.





**Figura 17:** Índice de degradación del suelo del año 2002 al 2022  
Fuente: Elaboración propia, 2021

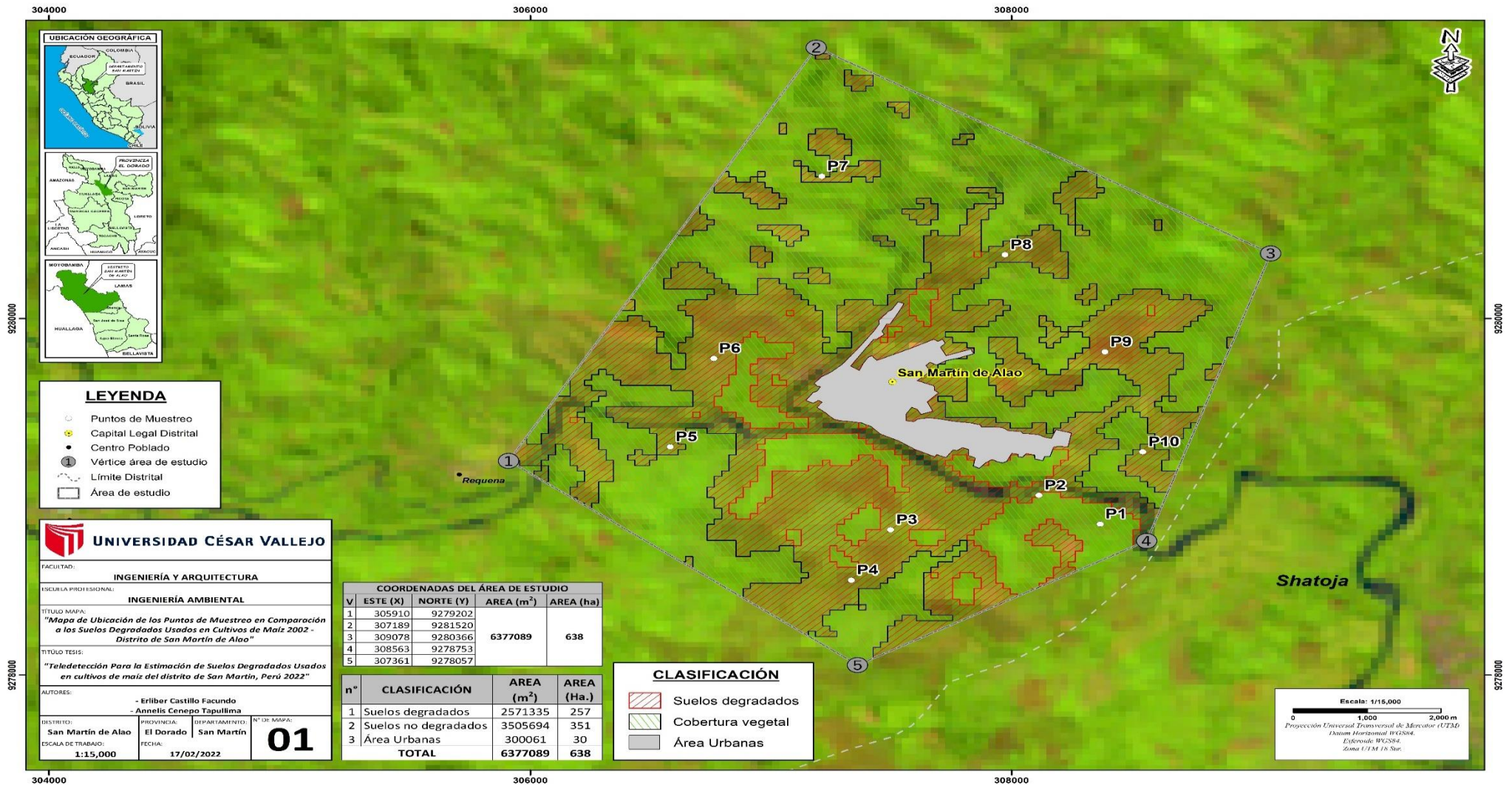
En la figura 17 se demuestra los resultados del índice de degradación del suelo de las parcelas de cultivos de maíz del distrito San Martín, provincia El Dorado mediante los datos obtenidos de los procedimientos de combinación de bandas de la elaboración de los mapas de los años 2002 al 2022. Logrando conocer los niveles de degradación por año, donde el año 2014 tuvo una degradación muy alta, seguida del año actual 2022 con el nivel de degradación alto, para el año 2018 considerado de nivel medio, asimismo para el año 2006 denominado un nivel tolerable por presentar más cobertura vegetal, además el año 2010 estimado un nivel bajo por la cantidad de cobertura vegetal, para el año 2002 se estimó un nivel de degradación muy bajo por lo que se presentó un nivel alto de cobertura vegetal en los suelos que ahora se cultivan los sembríos de maíz.



**Figura 18:** Índice Diferencial de la Vegetación Normalizado del año 2002 al 2022  
Fuente: Elaboración propia, 2021

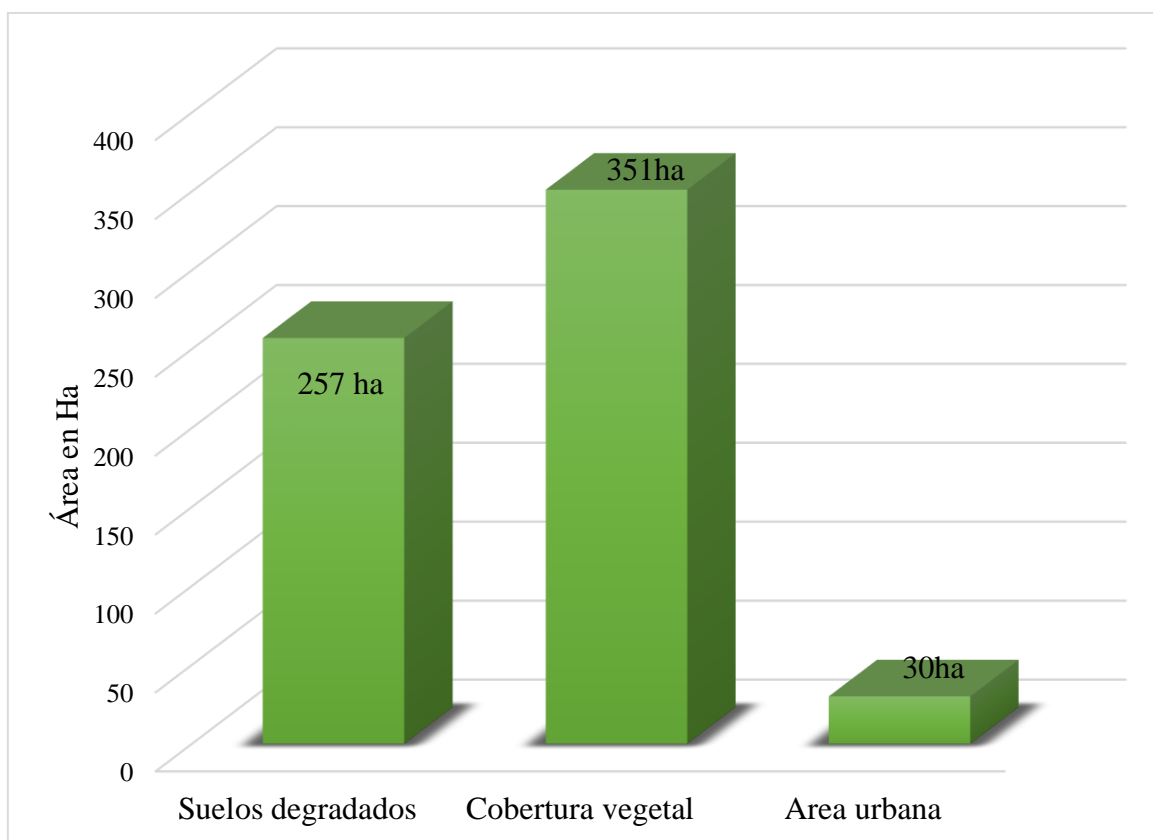
En la figura 18 se demuestra los resultados del índice diferencial de la vegetación normalizado de las parcelas de cultivos de maíz del distrito San Martín, provincia El Dorado mediante los datos obtenidos de los procedimientos de combinación de bandas de la elaboración de los mapas de los años 2002 al 2022. Logrando conocer los niveles de cobertura vegetal por año, donde el año 2014 tuvo un nivel de vegetación muy bajo, seguida del año actual 2022 con el nivel de vegetación bajo, para el año 2018 considerado de tolerable, asimismo para el año 2006 denominado un nivel medio por presentar escasa cobertura vegetal, además el año 2010 estimado un nivel alto por la cantidad de cobertura vegetal que existía, para el año 2002 se estimó un nivel de vegetación muy alto por lo que se presentó un nivel alto de cobertura vegetal en los suelos que ahora se cultivan los sembríos de maíz con extensas parcelas.

#### 4.4 Evolución del estado de degradación de los suelos de cultivos de maíz en los períodos 2002 – 2022



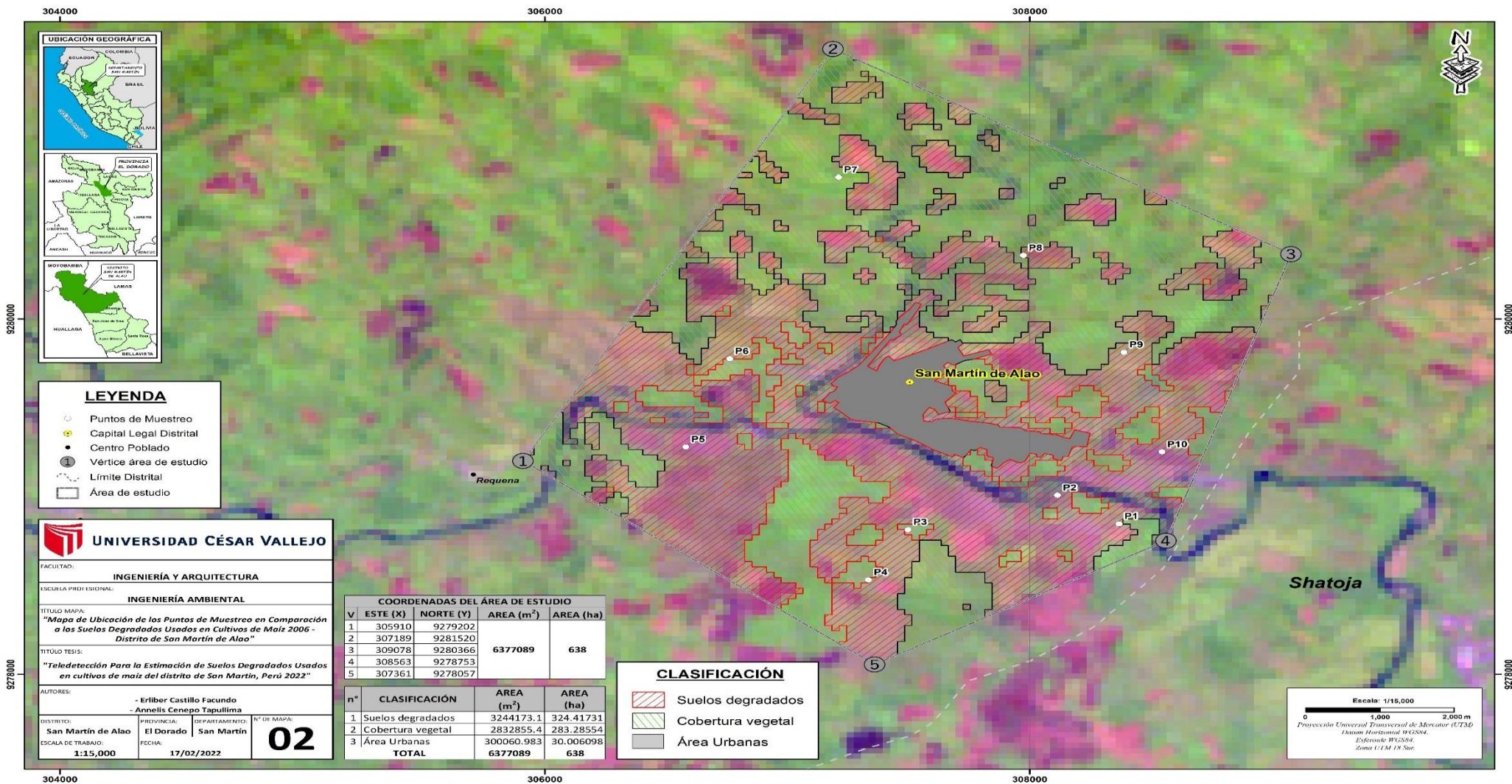
**Figura 19:** Degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2002  
Fuente: Elaboración propia 2022

**Interpretación:** En la figura 19 se demostró la calidad del suelo del distrito de san Martín del día 17 de Junio de 2002 a través de la imagen satelital Landsat 7 procesada en ArcGis 10.8. Se demarcó el área de influencia de los puntos de muestreo de las parcelas seleccionadas con un polígono pentágono, para ello se determinó 257 hectáreas de suelos degradados, 351 hectáreas de cobertura vegetal. El cual se encontró alrededor del área urbana de 30 hectáreas aproximadamente. Para la demostración de dichos valores se realizó la siguiente figura:



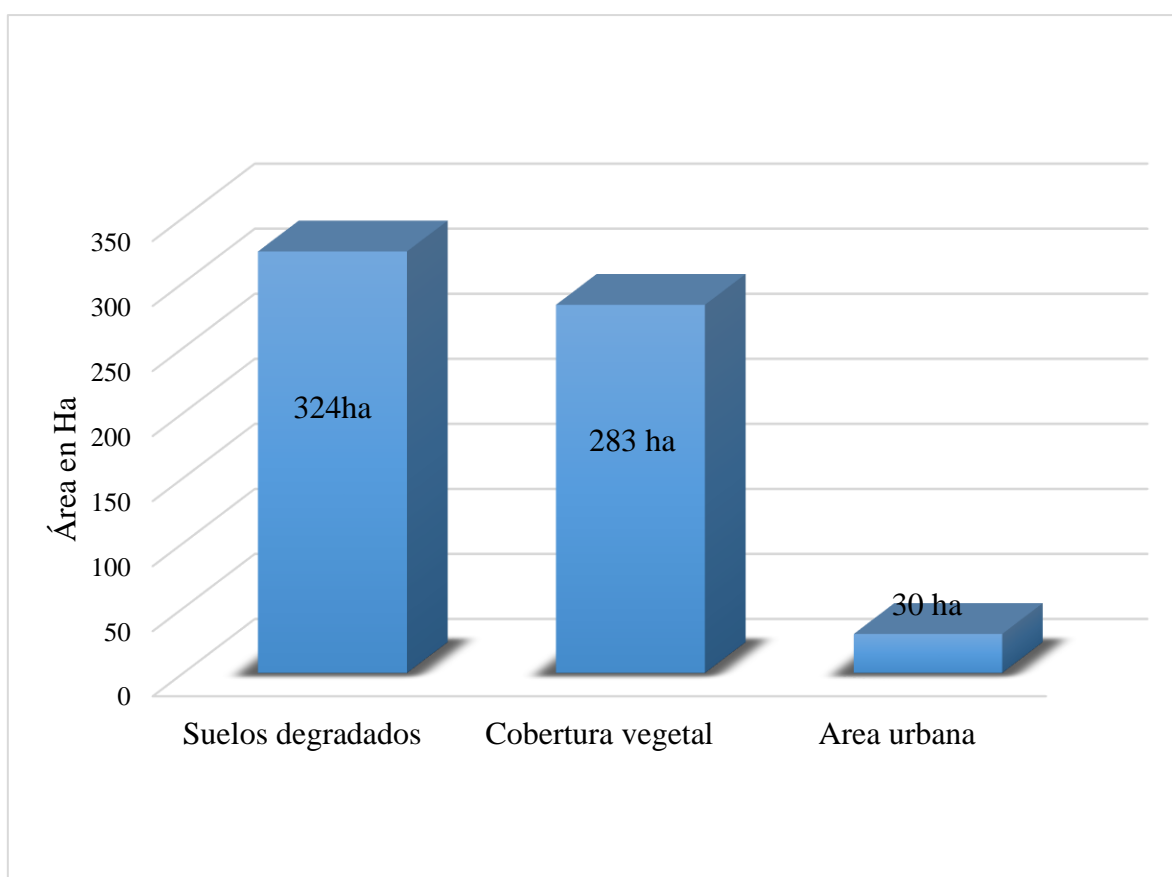
**Figura 20:** Área de suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano 2002  
Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 20 queda demostrado baja influencia en la degradación con 257 ha de los suelos por cultivos de maíz y 351 ha de vegetación en el área de estudio.



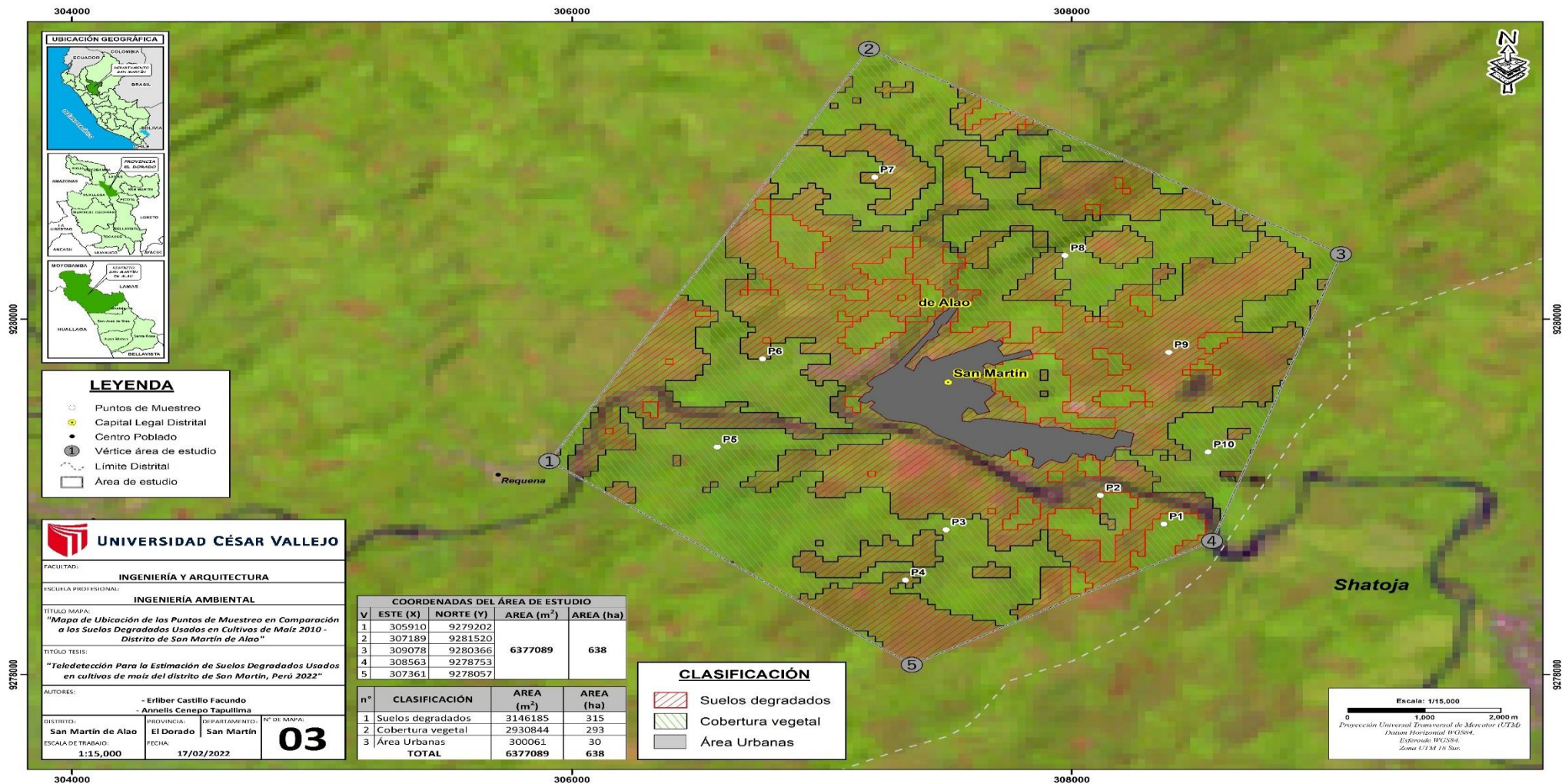
**Figura 21:** Degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2006  
Fuente: Elaboración propia 2022

**Interpretación:** En la figura 21 se demostró la calidad del suelo del distrito de San Martín del día 08 de septiembre del 2006 a través de la imagen satelital Landsat 5 procesada en ArcGis 10.8. Se demarcó el área de influencia de los puntos de muestreo de las parcelas seleccionadas con un polígono cuadrado, para ello se determinó 324 hectáreas de suelos degradados, 283 hectáreas de cobertura vegetal. Los cuales se encontraron alrededor del área urbana que cuenta con 30 hectáreas aproximadamente. Para la demostración de dichos valores se realizó la siguiente figura:



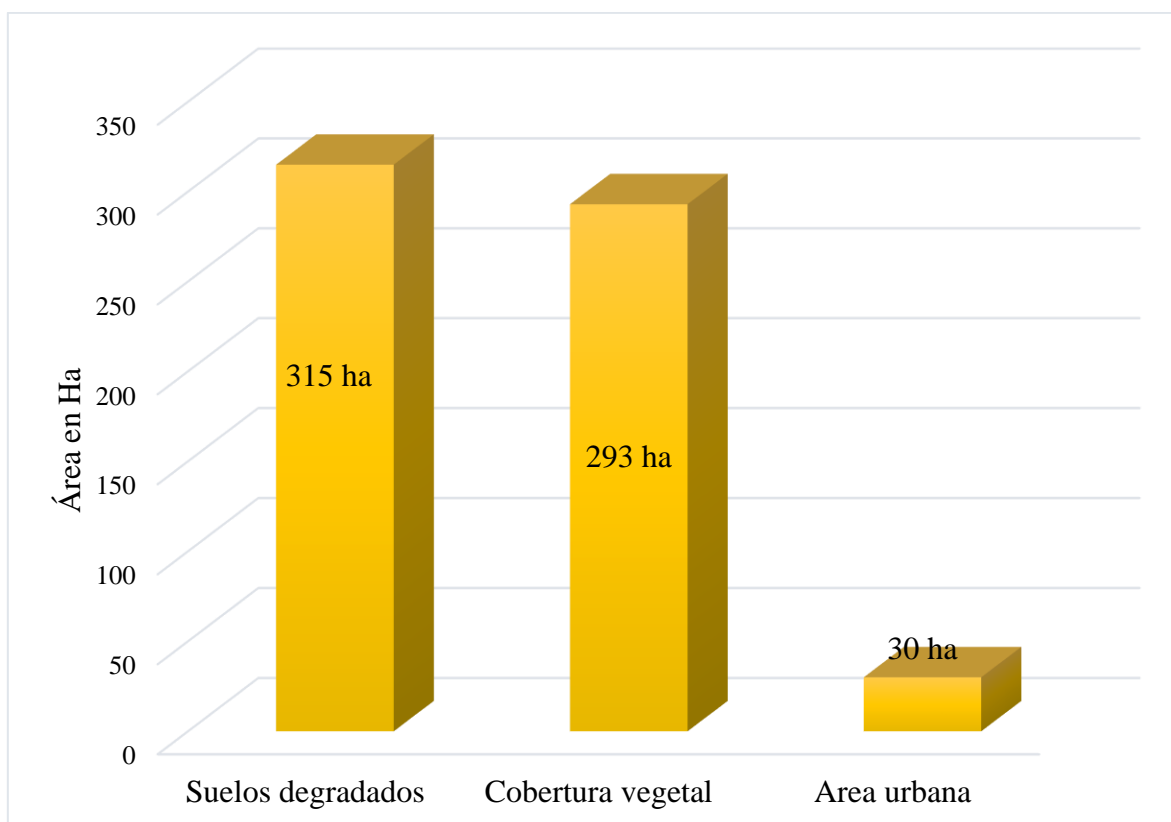
**Figura 22:** Área de suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano 2006  
Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 22 queda demostrado un incremento de influencia en la degradación con 324 ha de los suelos por cultivos de maíz y 283 ha de vegetación en el área de estudio del distrito San Martín.



**Figura 23:** Degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2010  
Fuente: Elaboración propia 2022

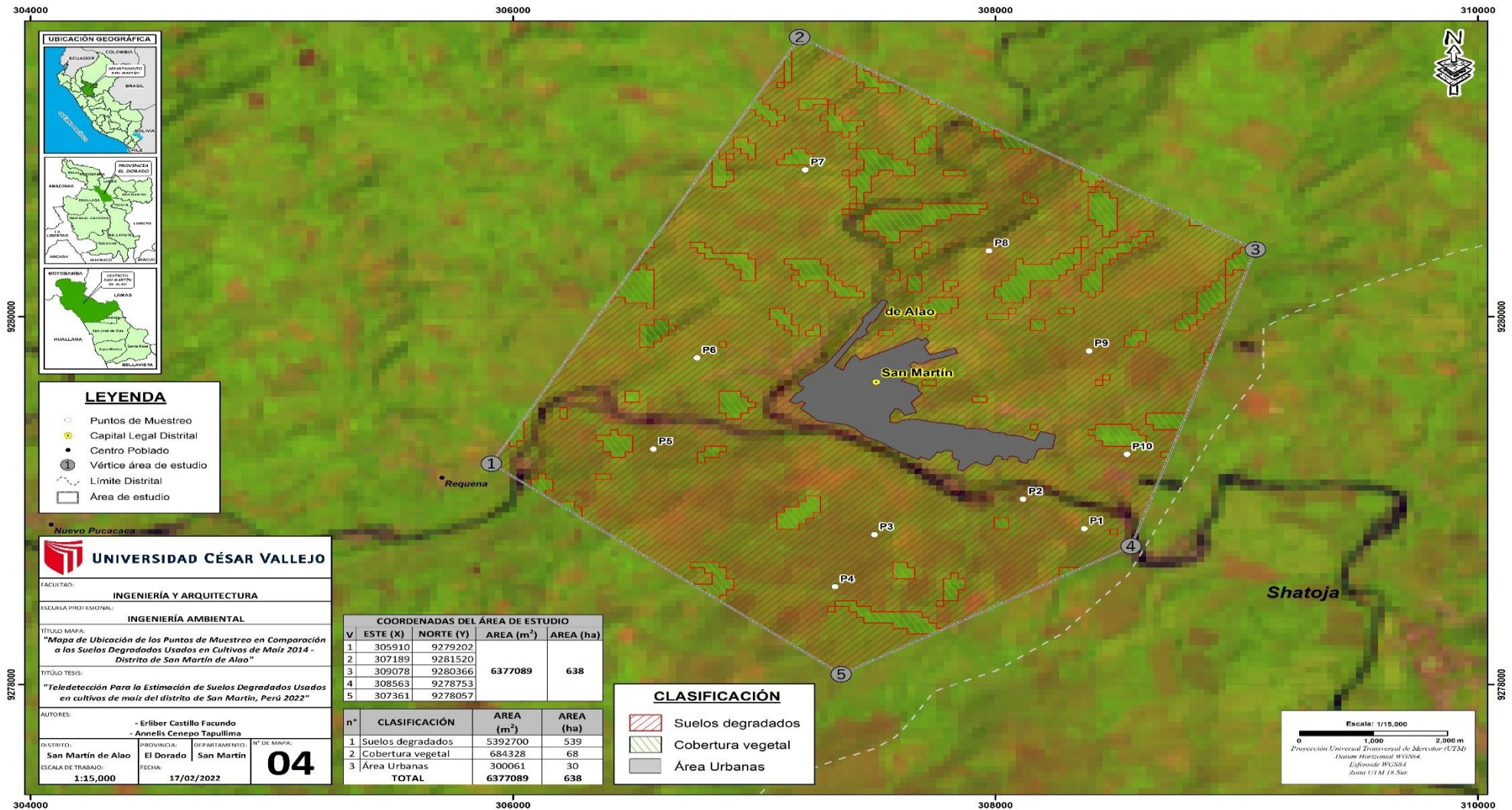
**Interpretación:** En la figura 23 se demostró la calidad del suelo del distrito de San Martín del día 08 de diciembre del 2010 a través de la imagen satelital Landsat 5 procesada en ArcGis 10.8. Se demarcó el área de influencia de los puntos de muestreo de las parcelas seleccionadas con un polígono pentágono, para ello se determinó 315 hectáreas de suelos degradados, 293 hectáreas de cobertura vegetal. Los cuales se encontraron alrededor del área urbana que cuenta con 30 hectáreas aproximadamente. Para la demostración de dichos valores se realizó la siguiente figura:



**Figura 24:** Área de suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano 2010  
Fuente: Elaboración propia, 2022

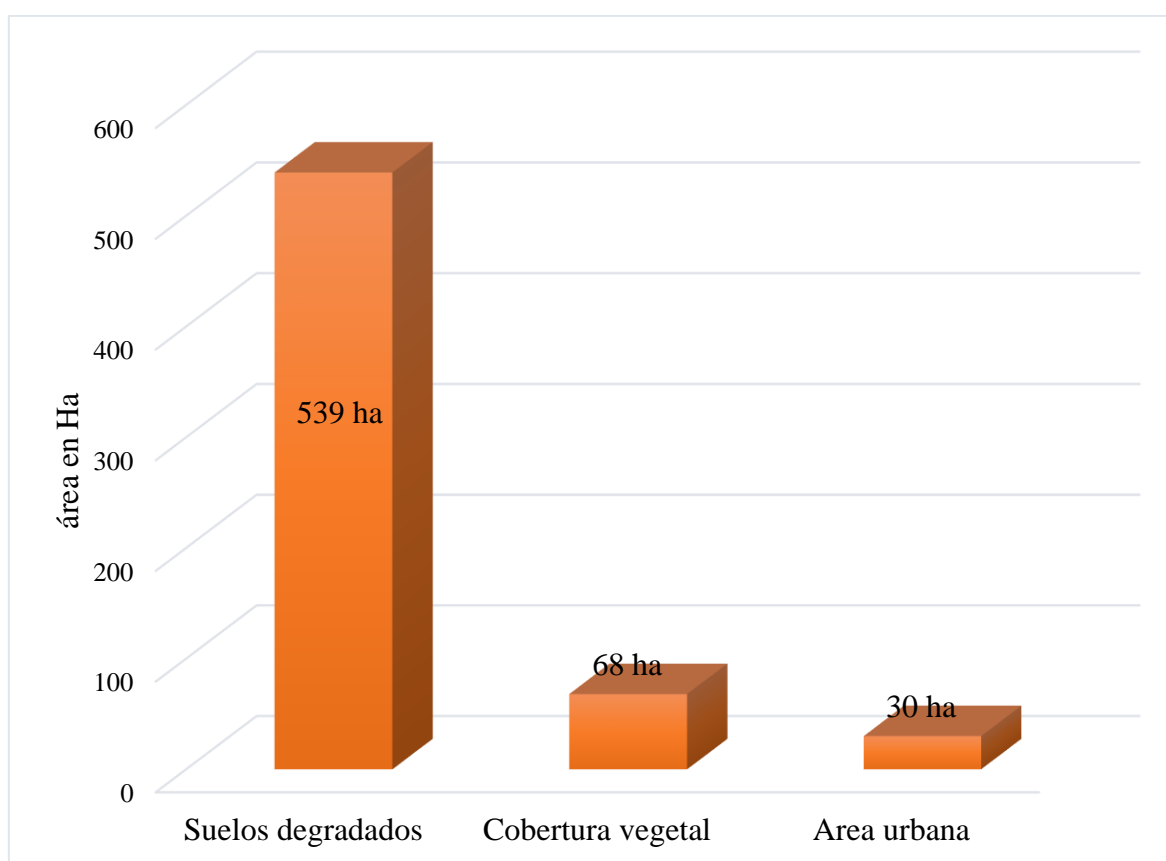
En la figura 24 queda demostrado un incremento de influencia en la degradación con 315 ha de los suelos por cultivos de maíz y 293 ha de vegetación en el área trazada del estudio del distrito San Martín.





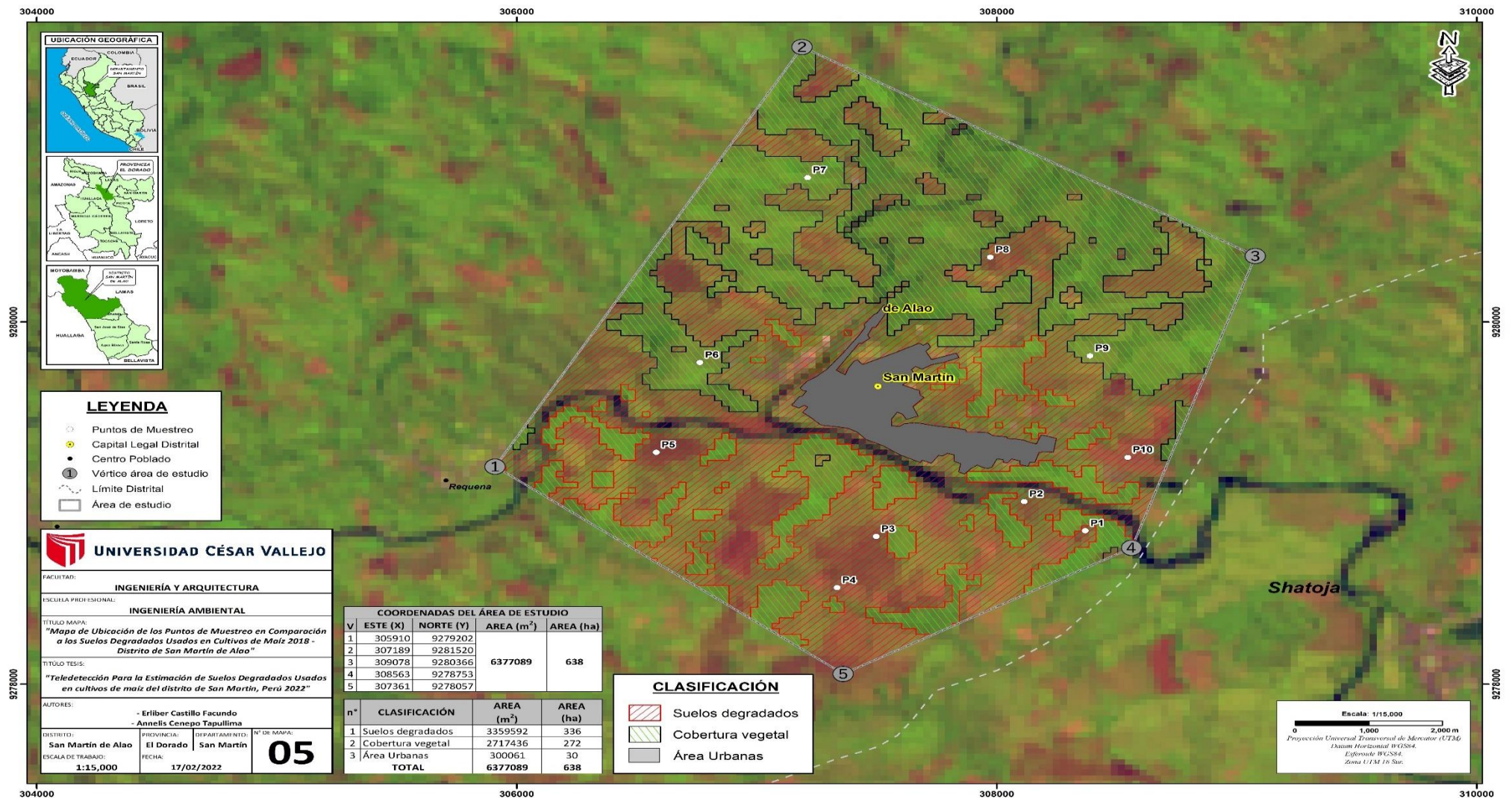
**Figura 25:** Degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2014  
Fuente: Elaboración propia 2022

**Interpretación:** En la figura 25 se demostró la calidad del suelo del distrito de San Martín del día 19 de diciembre del 2014 a través de la imagen satelital Landsat 8 procesada en ArcGis 10.8. Se demarcó el área de influencia de los puntos de muestreo de las parcelas seleccionadas con un polígono cuadrado, para ello se determinó 539 hectáreas de suelos degradados, 68 hectáreas de cobertura vegetal. Los cuales se encontraron alrededor del área urbana que cuenta con 30 hectáreas aproximadamente. Para la demostración de dichos valores se realizó la siguiente figura:



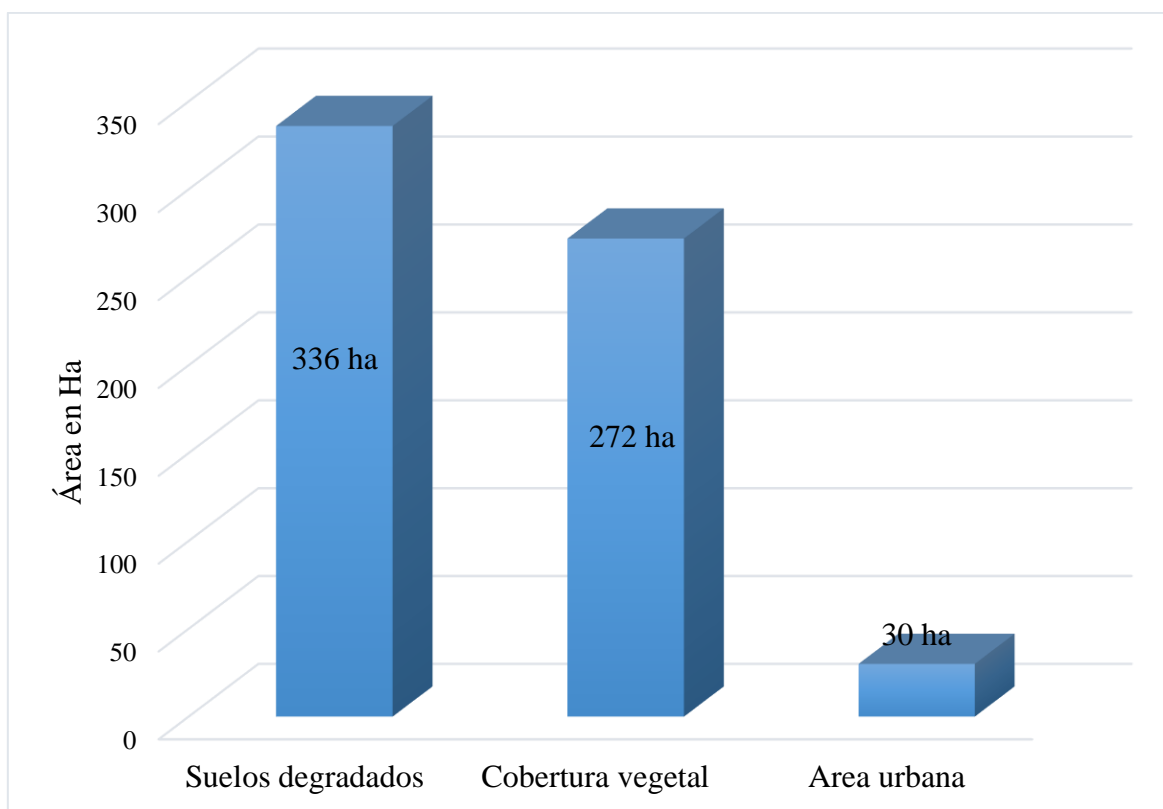
**Figura 26:** Área de suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano 2014  
Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 26 queda demostrado un alto incremento de influencia en la degradación con 539 ha de los suelos por cultivos de maíz y 68 ha de vegetación en el área delineada del estudio del distrito San Martín.



**Figura 27:** Degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2018  
Fuente: Elaboración propia 2022

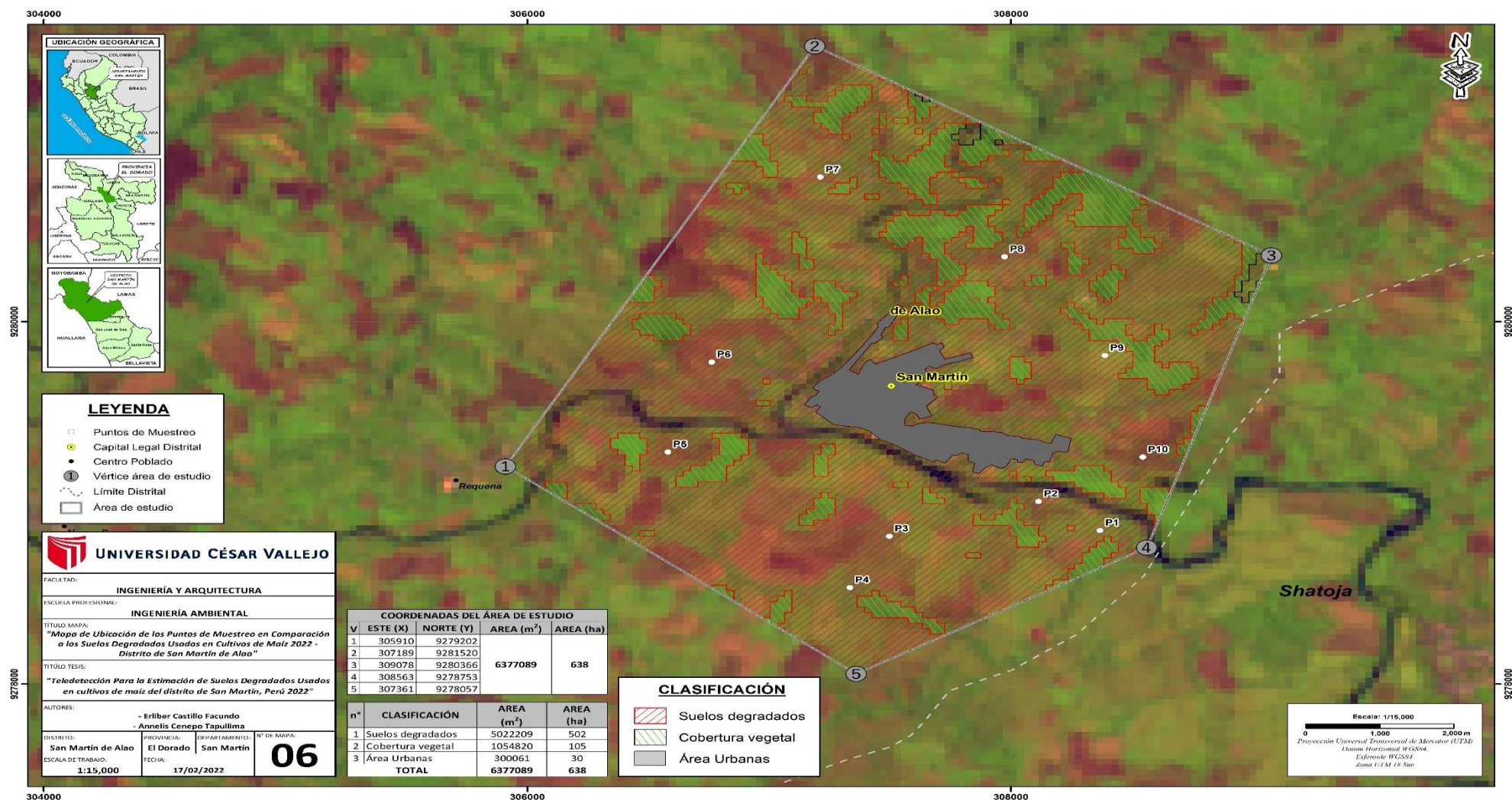
**Interpretación:** En la figura 27 se demostró la calidad del suelo del distrito de San Martín del día 24 de agosto del 2018 a través de la imagen satelital Landsat 8 procesada en ArcGis 10.8. Se demarcó el área de influencia de los puntos de muestreo de las parcelas seleccionadas con un polígono cuadrado, para ello se determinó 336 hectáreas de suelos degradados, 272 hectáreas de cobertura vegetal. Los cuales se encontraron alrededor del área urbana que cuenta con 30 hectáreas aproximadamente. Para la demostración de dichos valores se realizó la siguiente figura:



**Figura 28:** Área de suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano 2018

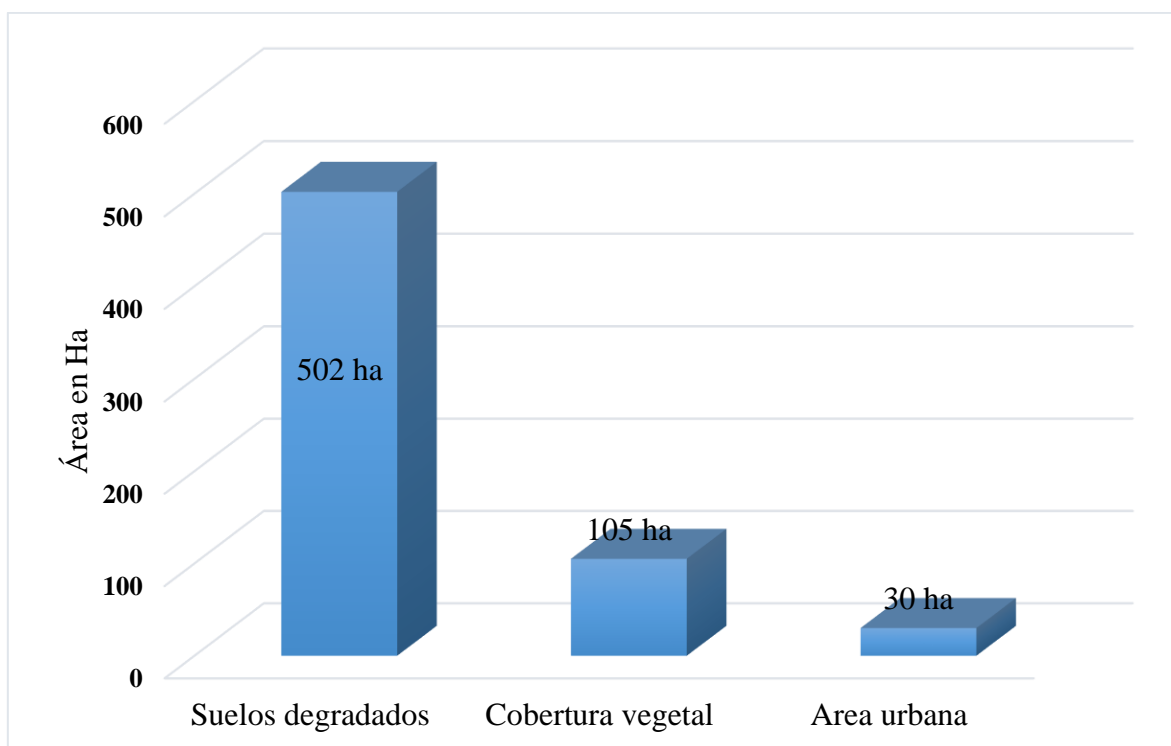
Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 28 queda demostrado alto incremento de influencia en la degradación con 336 ha de los suelos por cultivos de maíz y 272 ha de vegetación en el área delineada del estudio del distrito San Martín.



**Figura 29:** Degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2022  
Fuente: Elaboración propia 2022

**Interpretación:** En la figura 29 se demostró la calidad del suelo del distrito de San Martín del día 08 de febrero del 2022 a través de la imagen satelital Landsat 8 procesada en ArcGis 10.8. Se demarcó el área de influencia de los puntos de muestreo de las parcelas seleccionadas con un polígono cuadrado, para ello se determinó 502 hectáreas de suelos degradados, 105 hectáreas de cobertura vegetal. Los cuales se encontraron alrededor del área urbana que cuenta con 30 hectáreas aproximadamente. Para la demostración de dichos valores se realizó la siguiente figura:



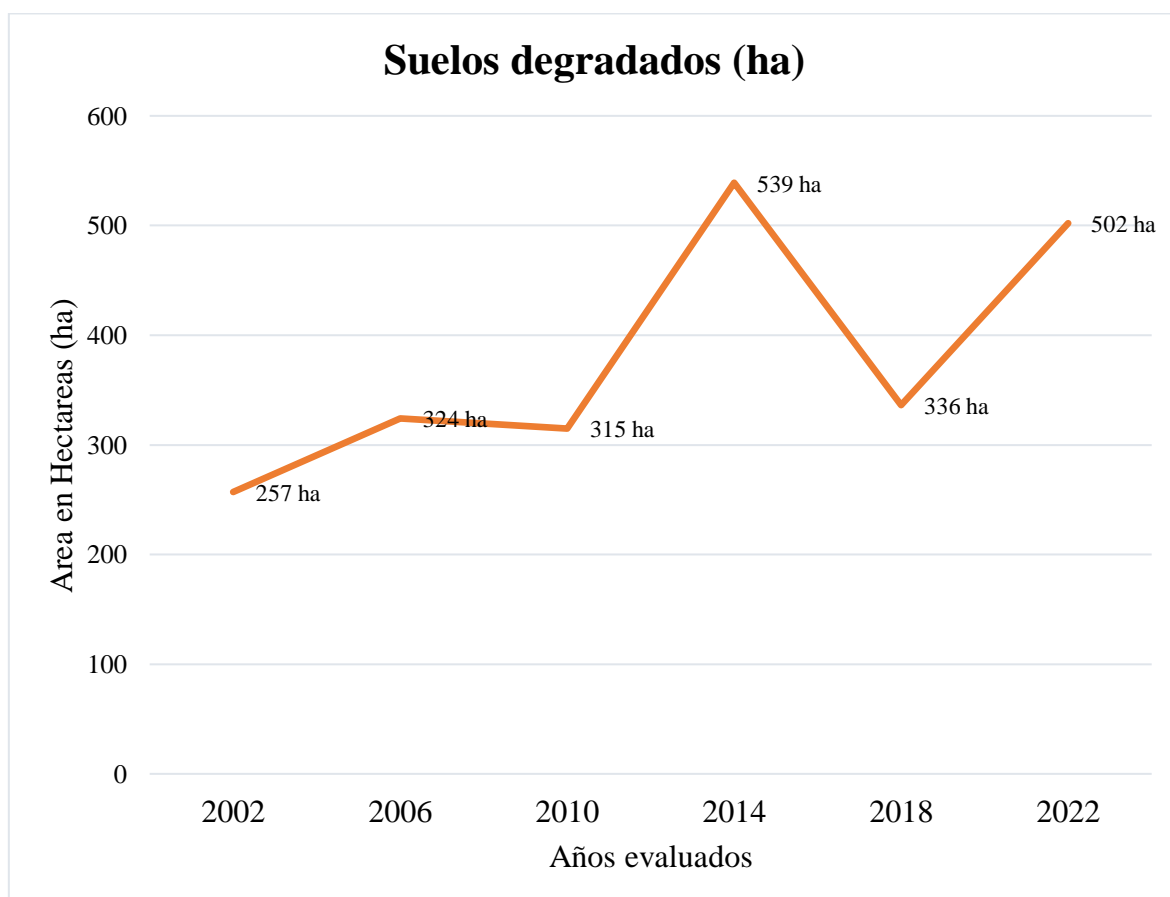
**Figura 30:** Área de suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano 2022  
Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 30 queda demostrado alto incremento de influencia en la degradación con 502ha de los suelos por cultivos de maíz y 105ha de vegetación en el área trazada del estudio en el distrito San Martín.

**Tabla 18:** Áreas de zona de estudio, suelos degradados, cobertura vegetal y casco urbano del año 2002 - 2022

AÑO	ÁREA DE LA ZONA DE ESTUDIO (ha)	ÁREA URBANA (ha)	SUELOS DEGRADADOS (ha)	COBERTURA VEGETAL (ha)	% DE SUELO DEGRADADOS/AÑO
2002	638 ha	30 ha	257 ha	351 ha	0.7322%
2006	638 ha	30 ha	324 ha	283 ha	1.1449%
2010	638 ha	30 ha	315 ha	293 ha	1.0751%
2014	638 ha	30 ha	539 ha	68 ha	7.9265%
2018	638 ha	30 ha	336 ha	272 ha	1.2353%
2022	638 ha	30 ha	502 ha	105 ha	4.7810%

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

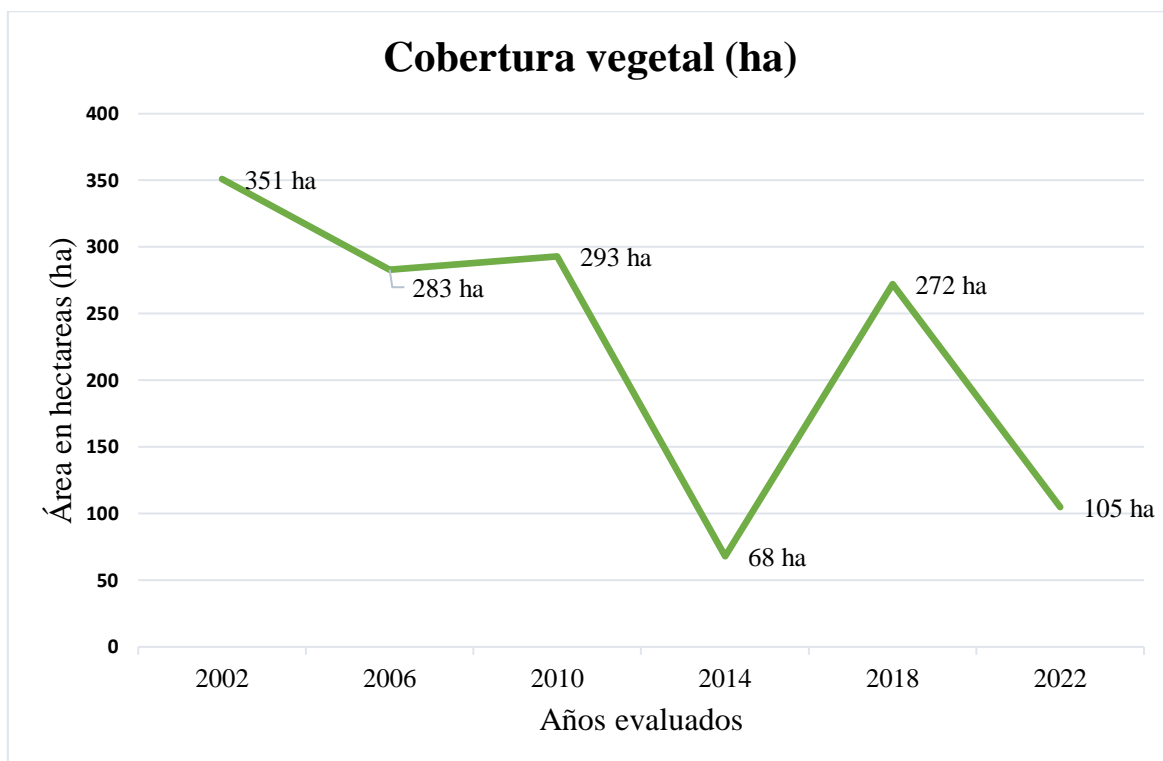


**Figura 31:** Suelos degradados de los años 2002 - 2022

Fuente: Elaboración propia, 2022

**Interpretación:** en la figura 31 demostrado por imágenes satelitales procesadas en ArcGis 10.8, se mostró claramente el crecimiento del uso del suelo en cultivos,

teniendo como consecuencias suelos de gradados por los cultivos de maíz y la constante aplicación de fertilizantes para una mejor producción y cuidado de plagas y enfermedades, donde el año 2014 con 539 ha seguido del año actual 2022 con 502 ha fueron considerados por llegar a la cima más alta en hectáreas afectas por los sembríos de maíz en el distrito de San Martín.



**Figura 32:** Cobertura vegetal de los años 2002 - 2022

Fuente: Elaboración propia, 2022

**Interpretación:** en la figura 32 se demostró la intensidad de disminución de la cobertura vegetal por el constate crecimiento de uso de los suelos, asimismo los sembríos de maíz, ya que es uno de los cultivos como sustento primordial de lo economía de los pobladores del distrito de San Martín.



## V. DISCUSIÓN

En los resultados obtenidos con el análisis de suelo, se determinaron los parámetros fisicoquímicos, el cual se conoció el estado de la calidad de los suelos de cultivos de maíz del mismo período febrero 2022 del distrito de San Martín, logrando para la textura del suelo un porcentaje promedio de Arena 22.85%, Limo 19.23%, Arcilla 67.06% y una clase textural de tipo arcilloso. Que al coincidir con otras investigaciones como para Xia et al. (2020), mencionó que textura del suelo que evaluó fue de 45% de arena, 40% de limo y 15% de arcilla, por lo que sus condiciones físicas y químicas son las mejores y apto para el desarrollo de cultivos. Asimismo se obtuvo un ORP -145.13 mV, que al concernir con otras investigación como Ibáñez, (2018), En sus resultados de intervalo de valores potenciales redox en tierras naturales va de 700 mV a -300 mV. En zona límite entre condiciones de actividades se sitúa alrededor de 200 mV, asimismo las condiciones fuertemente reductoras corresponden a valores de -250 mV, Materia orgánica un porcentaje de 16.02%, para pH se obtuvo un porcentaje de 6.80, para Plomo un promedio de concentración en el suelo 9.73 mg/kg, para cadmio un promedio de concentración en el suelo de 0.79 mg/kg. Al relacionar con otros datos de otras investigación como Mohamed, et al. (2018, p.12) determinó mediante un análisis de 79 muestras para su posterior mapeo. Donde encontraron bajos porcentajes de materia orgánica equivalente a 2.3%, un pH semejante a 6,7, y con grandes cantidades de metales pesados a causa del uso de agroquímicos en cultivos.

De acuerdo al desarrollo del índice de calidad del suelo por el uso de imágenes satelitales del mismo período febrero 2022 en un área determinada de 638 hectáreas, lo cual se obtuvo 502 hectáreas de suelos degradados y 105 hectáreas de cobertura vegetal que al coincidir con otras investigaciones como Rukhovich, et al. (2021, p.1), determinó que el índice de vegetación y calidad del suelo en áreas donde se desarrollan cultivos, la cual se analizó 1028 escenas en 530 hectáreas con imágenes Landsats 4, 5, 7 y 8. Se identificó suelo degradados en un 87,5% y con una probabilidad de degradación del suelo detectada por el método terrestre fuera del área proyectada es del 3,8% de hectáreas evaluadas.

Mediante las imágenes satelitales se determinaron los niveles del índice de degradación donde muy bajo con 0.0403 para el año 2002, bajo con 0.0911 para el año 2010, tolerable con 0.1332 para el año 2006, medio con 0.1571 para el año 2018, alto con 0.2318 para el año 2022 y muy alto con 0.2970 para el año 2014 y cobertura vegetal se conoció los niveles teniendo muy alto 0.4336 para el año 2002, alto con 0.3986 para el año 2010, medio con 0.3507 para el año 2006, tolerable con 0.1342 para el año 2018, bajo con 0.1016 para el año 2022 y Muy bajo con 0.0597 para el año 2014 de los suelos del distrito de San Martín, período febrero 2022 que al relacionar con otra investigación referente al tema investigado como Nascimento et al., (2021), utilizó imágenes Landsat de 35 años lo cual obtuvo imagen de suelo desnudo multitemporal, cuyas bandas espectrales se utilizaron como predictores de atributos del suelo. Se aplicó el algoritmo de agrupamiento de K-means para obtener cinco grupos, que representaban niveles de degradación del suelo (clases de 1 a 5 que representan de muy bajo a muy alto grado de degradación del suelo. El SDI se validó utilizando el mapa predicho de OM. El mayor nivel de degradación obtenido en el 15% del área tuvo el menor contenido de MO. Los niveles 1 y 4 de SDI fueron los más representativos cubriendo el 24% y el 23% del área, respectivamente.

Por lo tanto, respecto a la evolución del estado de degradación de los suelos de cultivos de maíz en los períodos 2002 – 2022 se determinó con el uso de imágenes satelitales procesados en el programa ArcGis 10.8 obteniendo suelos degradados para el año 2002 un porcentaje de 0.7322%, para el año 2006 un porcentaje de 1.1449%, para el año 2010 un porcentaje de 1.0751%, para el año 2014 un porcentaje de 7.9265%, para el año 2018 un porcentaje de 1.2353% y para el año 2022 un porcentaje de 4.7810% de suelos degradados. Al momento de identificar con otras investigaciones como Yawovi, et al. (2018, p.6) que con análisis de variación real de los principales cultivos basado en datos Landsat de tres períodos (1985-2002, 2002-2017 y 1985-2017). Se conoció que entre 1985 y 2017 hubo una pérdida neta de 23,6% de suelos fértiles, y la superficie dedicada a la agroforestería de maíz y cacao fue de 12,99% y 10,1%, respectivamente de los suelos degradados por actividad agrícola.

## **VI. CONCLUSIONES**

Con el uso de la teledetección con imágenes satelitales de diferentes años de evaluación se conoció la estimación de suelos degradados usados en cultivos de maíz del distrito de San Martín, en un área determinada de estudio de 638 hectáreas ubicando 10 parcelas como muestra de la investigación en relación a los análisis fisicoquímicos de la determinación de los suelos degradados y la cobertura vegetal.

Mediante los análisis de suelos de 10 parcelas de cultivos de maíz se determinó el estado de la calidad de los suelos de cultivos de maíz del mes de febrero 2022, donde se obtuvo los parámetros fisicoquímicos demostrando el efecto en el suelo producto del uso constante de fertilizantes.

Se determinó que el índice de calidad del suelo adquirido de imágenes satelitales del mismo período febrero 2022 fue en un área determinada de 638 hectáreas, lo cual se obtuvo 502 hectáreas de suelos degradados y 105 hectáreas de cobertura vegetal.

Se estableció que mediante las imágenes satelitales del año 2002 – 2022 trabajadas en el programa ArcGis 10.8 durante la combinación de bandas, se conocieron los niveles de degradación del suelo mediante los cálculos en formulas del IDS y MDVI de los suelos de cultivos del distrito de San Martín.

Se estableció la evolución del estado de degradación de los suelos de cultivos de maíz en los períodos 2002 – 2022 mediante las imágenes satelitales procesadas en el programa ArcGis 10.8, lo cual se conoció a detalle los valores de la degradación del suelo y la cobertura vegetal en el área de evaluación equivalente a 638 ha del distrito de San Martín.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Cuando se realice una investigación de teledetección, los alumnos de diferentes universidades de la carrera de ingeniería ambiental deben enriquecer un poco más las investigaciones, para la estimación de suelos degradados usados por cultivos de maíz al nivel internacional, ya que es una técnica económica y fácil de obtener la información.

Para un mayor conocimiento del estado de la calidad de los suelos de cultivos de maíz realizar análisis en un laboratorio responsable y que sea acreditado por el INACAL, para demostrar con exactitud los datos de los parámetros evaluados.

A los estudiantes que realizan estas investigaciones en la determinación del índice de calidad del suelo afectados por el uso de fertilizantes, adquirir imágenes satelitales que contengan menos nubosidad para que los datos obtenidos tengan mejores resultados de exactitud.

Para la determinación de índice de degradación y cobertura vegetal de los suelos usar imágenes satelitales con menor nubosidad y un tiempo prolongado para la obtención de datos más concretos y haya una mejor diferencia entre degradación y cobertura vegetal.

Es importante considerar los períodos de cultivos, las estaciones del año y las condiciones fenológicas de la vegetación, en el momento de la adquisición de datos, porque estos van influir en la respuesta espectral de los suelos evaluados para la evolución del estado de degradación de los años evaluados.

## REFERENCIAS

- ABDOLLAHZADEH Sara, et al. Detecting degraded, prone and transition ecosystems by environmental thresholds and spectral functions, [En Línea] Remote Sensing Applications: Society and Environment Volume 22, April 2021 [Fecha de consulta: 15 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100503>  
ISSN: 100-503
- ABDELOUHED F, et al. mapping of soil degradation in semi-arid environments in the ouarzazate basin in the south of the central High Atlas, Morocco, using sentinel 2A data. [En línea] Remote Sensing Applications: Society and Environment, volumen 23, Agosto 2021. [Fecha de consulta: 18 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100548>  
ISSN: 100548
- BEZERRA, Francisco et al. Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator [En Línea] researchgate, 2020 [Fecha de consulta: 15 de enero de 2022] Disponible en: DOI:10.1016/j.ecolind.2020.106579  
ISSN: 106 579
- BRUNA, C. Multi-Temporal Satellite Images on Topsoil Attribute Quantification and the Relationship with Soil Classes and Geology [En Línea] Remote Sensing volume 10, 2018. [Fecha de consulta: 15 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs10101571>  
ISSN: 1010 1571
- BHUNIA G, et al. Soil organic carbon mapping using remote sensing techniques and multivariate regression model. [En línea] Geocarto International, volumen 24, 2019 [Fecha de consulta: 17 de Enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1381179>  
ISSN: 1381179
- CHAVARRÍA, Edwin y LANUZA, Diana. Evaluación multitemporal del cambio de uso del suelo y cobertura vegetal mediante teledetección espacial en la Reserva Ecológica El Bajo, en el período 1986-2020 [En línea] Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León [Fecha de consulta: 17 de Enero del 2022] Disponible en:

<http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/8221/1/245715.pdf>

DÍAZ F, et al. Machine learning and remote sensing techniques applied to estimate soil indicators – Review. [En línea] Ecological Indicators, volumen 135, Febrero 2022. [Fecha de consulta: 18 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108517>

ISSN: 108517

ENIYEW S, et al. Integrating RUSLE model with remote sensing and GIS for evaluation soil erosion in Telkwonz Watershed, Northwestern Ethiopia. [En línea] Remote Sensing Applications: Society and environment, volumen 24, noviembre 2021. [Fecha de consulta: 18 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100623>

ISSN: 100623

ELBEIH Salwa. Evaluation of agricultural expansion areas in the Egyptian deserts: A review using remote sensing and GIS. [En línea] The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, volume 24, Diciembre 2021. [Fecha de consulta: 19 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.10.004>

ISSN: 10 004

GORJI T, et al. Remote sensing approaches and mapping methods for monitoring soil salinity under different climate regimes [En Línea] International Journal of Environment and Geoinformatics, Volume 6, 2019 [Fecha de consulta: 15 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.30897/ijegeo.500452>

ISSN: 500 452

GUNNAR, Vågen, et al. Predicting the Spatial Distribution and Severity of Soil Erosion in the Global Tropics using Satellite Remote Sensing [En Línea] Remote sensing, Volume 11, 2019 [Fecha de consulta: 15 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs11151800>

ISSN: 1115 1800

HALEH, Nampak et al. Assessment of Land Cover and Land Use Change Impact on Soil Loss in a Tropical Catchment by Using Multi-Temporal SPOT-5 Satellite Images and RUSLE model [En Línea] Land Degradation and Developmen,

2018 [Fecha de consulta: 15 de Enero de 2022] Disponible en:  
DOI:10.1002/ldr.3112  
ISSN: 1002 3112

HERNÁNDEZ et al. Metodología de la investigación, 2014 [Fecha de consulta: 12 de Enero de 2022] Disponible en:  
[https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n\\_Sampieri.pdf](https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf)

IBAÑEZ, Juan. El Potencial Redox de los Suelos [En Línea] Madrid blogs, 2018 [Fecha de consulta: 15 de Marzo de 2022] Disponible en:  
<https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/28/83434>

JAZOULI A, et al. Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco) [En Línea] Remote Sensing Applications: Society and Environment Volume 13, January 2019, [Fecha de consulta: 16 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.12.004>  
ISSN: 361 - 374

JIANGHONG, Liu et al. A Phenology-Based Method to Map Cropping Patterns under a Wheat-Maize Rotation Using Remotely Sensed Time-Series Data [En Línea] Remote Sens. Volumen 10 2018 [Fecha de consulta: 16 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs10081203>  
ISSN: 1008-1203

KELTUM, Khechba et al. Monitoring and Analyzing Yield Gap in Africa through Soil Attribute Best Management Using Remote Sensing Approaches: A Review [En Línea] Volume 13 Remote sensing, 2021 [Fecha de consulta: 16 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs13224602>  
ISSN: 1322 4602

MASOUDI, Masoud, et al. Land Degradation Risk Assessment Model (RALDE) [En Línea] USDA PubAg, 2021 [Fecha de consulta: 16 de enero de 2022] Disponible en: DOI: 10.1002/ldr.3883  
ISSN: 1085-3278

MAHBOOBEH, Kiani. Practicing land degradation neutrality (LDN) approach in the Shazand Watershed, Iran [En Línea] pubmed, 2020 [Fecha de consulta: 16 de Enero de 2022] Disponible en: DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134319

ISSN: 134-319

MOHAMED, Abdel et al. Assessment of land degradation using comprehensive geostatistical approach and remote sensing data in GIS-model builder [En Línea] food and agriculture organization, 2018. [Fecha de consulta: 16 de Enero de 2022] Disponible en: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900253848>

ISSN: 1110-9823

MEJIA, Jesús et al., Predicción espacial de la erosión del suelo en zonas áridas mediante teledetección. Estudio de caso: Quebrada del Diablo, Tacna, Perú [En Línea] Revista Ingeniería UC, Vol. 28, No 2, agosto, 2021 [Fecha de consulta: 22 de febrero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.54139/revinguc.v28i2.24>

ISSN: 1316-6832

MELO, José et al. Geospatial Soil Sensing System (GEOS3): A powerful data mining procedure to retrieve soil spectral reflectance from satellite images [En Línea] Remote Sensing of Environment Volume 212, June 2018, [Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.047>

ISSN: 161 – 175

MOHAMED A, et al. Quantitative assessment of soil saline degradation using remote sensing indices in Siwa Oasis [En Línea] Aplicaciones de la Teledetección: Sociedad y Medio Ambiente Volumen 13, enero de 2019 [Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.10.004>

ISSN: 810 - 004

MUSTAFA Hayri, et al. The impact of impervious surface, vegetation, and soil areas on land surface temperatures in a semi-arid region using Landsat satellite images enriched with Ndaisi method data, [En Línea] National Library of Medicine, 2021 [Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible en: DOI: 10.1007/s10661-021-08916-3

ISSN: 3362 5580

NASCIMENTO, Claudia. Soil degradation index developed by multitemporal remote sensing images, climate variables, terrain and soil attributes [En Línea] Environ



Manage, 2021 [Fecha de consulta: 17 de enero de 2022] Disponible en:  
DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111316  
ISSN: 111 316

OUADJA A, et al. Mapping potential soil erosion using RUSLE, Remote Sensing, and GIS: a case study in the watershed of Oued El Ardjem, Northwest Algeria [En Línea] Published: 04 September 2021 [Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07992-6>  
ISSN: 079 926

PENG J, et al. Estimación de la salinidad del suelo a partir de datos de terreno y sensores remotos en la provincia sureña de Xinjiang, China [En Línea] Geoderma Volume 337,1 de marzo de 2019 [Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.006>  
ISSN: 808 006

PINTO R, et al. Land degradation mapping in the matopiba region (Brazil) using remote sensing data and decision-tree analysis. [En línea] Science of the Environment, volumen 782, 15 de Agosto del 2021. [Fecha de consulta: 18 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146900>  
ISSN: 146900

PEDRERO F, et al. Use of remote sensing to evaluate the effects of environmental factors on soil salinity in a semi-arid área. [En línea] Science of The Total Environment, volumen 815, 1 abril del 2022. [Fecha de consulta: 18 de enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152524>  
ISSN: 152524

PROKOP, Pawel. Remote sensing of severely degraded land: Detection of long-term land-use changes using high-resolution satellite images on the Meghalaya Plateau, northeast India [En Línea] Remote Sensing Applications: Society and Environment Volume 20, November 2020 [Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100432>  
ISSN: 100 432

RUKHOVICH, Dmitry et al. The Use of Deep Machine Learning for the Automated Selection of Remote Sensing Data for the Determination of Areas of Arable Land Degradation Processes Distribution [En Línea] Remote Sensing, 2021.

[Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible en:  
<https://doi.org/10.3390/rs13010155>

ISSN: 1301-0155

SHEN G, et al. Remote sensing and evaluation of the wetland ecological degradation process of the Zoige Plateau Wetland in China [En Línea] Ecological Indicators Volume 104, September 2019 [Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.063>

ISSN: 904 - 063

TUNCAY T, et al. Assessing soil fertility index based on remote sensing and gis techniques with field validation in a semiarid agricultural ecosystem. [En línea] Journal of Arid Environments, volume 190, Julio 2021. [Fecha de consulta: 18 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104525>

ISSN: 104525

RAHMAN M, et al. Quantitative assessment of soil saline degradation using remote sensing indices in Siwa Oasis. [En línea] Remote Sensing Applications: Society and Environment. Volume 13, enero del 2019. [Fecha de consulta: 18 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.10.004>

ISSN: 10004

MENDES W, et al. A remote sensing framework to map potential toxic elements in agricultural soils in the humid tropics. [En línea] Environmental Pollution, Volume 292, 1 de enero del 2022. [Fecha de consulta: 18 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118397>

ISSN: 118397

PRAJAPATI G, et al. Remote sensing-based assessment of waterlogging and soil salinity: A case study from Kerala, India. [En línea] Results in Geophysical Sciences, volume 7, setiembre del 2021. [Fecha de consulta: 18 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ringps.2021.100024>

ISSN: 100024

PIJL A, et al. Remote sensing vs. field-based monitoring of agricultural terrace degradation. [En línea] International Soil and Water Conservation Research, volume 9, Marzo 2021. [Fecha de consulta: 18 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.09.001>

ISSN: 09001

FOKENG R, et al. Multi-temporal forest cover change detection in the Metchie-Ngoum Protection Forest Reserve, West Region of Cameroon. [En línea] The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, volume 23, Abril 2020. [Fecha de consulta: 18 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.12.002>

ISSN: 12 002

KHADIM F, et al. Soil salinity mapping in Everglades National Park using remote sensing techniques and vegetation salt tolerance. [En línea] Physics and Chemistry of The Earth, volume 110, Abril 2019. [Fecha de consulta: 19 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.004>

ISSN: 01 004

XIA, Qing et al. Soil microbial diversity and composition: Links to soil texture and associated properties [En línea] Soil Biology and Biochemistry Volume 149, October 2020, 107953 [Fecha de consulta: 19 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107953>

YADAV D, et al. Identification of most useful spectral ranges in improvement of target detection using hyperspectral data.[En línea] ] The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, volumen 22, Diciembre 2019. [Fecha de consulta: 20 de enero del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.002>

ISSN: 04 002

YAWOVI, S. Remote Sensing-Based and Participatory Analysis of Forests, Agricultural Land Dynamics, and Potential Land Conservation Measures in Kloto District (Togo, West Africa) [En Línea] Soil systems volumen 2, 2018 [Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/soilsystems2030049>

ISSN: 203 049

ŽÍŽALA D, et al. Mapping soil degradation using remote sensing data and ancillary data: South-East Moravia, Czech Republic [En Línea] European Journal of Remote Sensing, Volume 52, 2019 [Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1482524>

## **ANEXOS**

### Anexo 1: Matriz de consistencia

Teledetección para la estimación de suelos degradados usados en cultivos de maíz del distrito de San Martín, Perú 2022								
Problema	Hipótesis	Objetivo	Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<b>PG:</b> ¿Cómo aplicar la teledetección para la estimación de suelos degradados usados en cultivos de maíz del distrito de San Martín, Perú 2022?	<b>Hipótesis (Hi):</b> Mediante el uso de la teledetección permitirá conocer la estimación de los suelos degradados por cultivos de maíz distrito San Martín, Perú 2022.	<b>OG:</b> Aplicar la teledetección para la estimación de suelos degradados usados en cultivos de maíz del distrito de San Martín, Perú 2022.	<b>Variable Independiente:</b> Teledetección.	La teledetección es una técnica de recopilación de datos de la superficie de la Tierra a partir de sensores montados en plataformas espaciales. Las interacciones electromagnéticas entre el suelo y los sensores generan flujos de datos que luego se convierten en información interpretable sobre el planeta.	Se realizó la recopilación de las imágenes satelitales que permita realizar un análisis multitemporal de los suelos degradados del distrito de San Martín de los años 2022 - 2022	Imágenes Satelitales  Análisis multitemporal de imágenes	Imágenes Landsat  Bandas espectrales  Resolución de bandas  Tiempo diagnosticado de 2002 - 2022	Nominal
<b>Problema específico</b>	<b>Objetivo Específicos</b>							
<b>PE1:</b> ¿Cuál es el estado de calidad de los suelos de cultivos de maíz del mismo período febrero 2022?	<b>Hipótesis (Ho):</b> Mediante el uso de la teledetección No permitirá conocer la estimación de los suelos degradados por cultivos de maíz distrito San Martín, Perú 2022.	<b>OE1:</b> Determinar el estado de la calidad de los suelos de cultivos de maíz del mismo período Febrero 2022	<b>Variable dependiente:</b> Estimación de suelos degradados de cultivos de maíz	La degradación del suelo se define como un proceso en el que el valor del entorno biofísico se ve afectado por una variedad de procesos antropogénicos que afectan al suelo debido al uso de fertilizantes por parte de los cultivos. Asimismo, también se	Se tuvo en cuenta los datos de los suelos degradados por metales pesados por el uso excesivo de fertilizantes en los sembríos de maíz.	Índice de degradación del suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de cobertura vegetal</li> <li>• Presencia de metales pesados</li> <li>• Pérdida de materia orgánica</li> </ul>	Discreto
<b>PE2:</b> ¿Cuál es el índice de calidad del suelo adquirido de imágenes satelitales del mismo período febrero 2022?		<b>OE2:</b> Determinar el índice de calidad del suelo adquirido de imágenes satelitales del mismo período febrero 2022						

<p><b>PE3:</b> ¿Cuál es la relación entre imágenes satelitales con el contenido de metales, índice de degradación y cobertura vegetal de los suelos de San Martín período febrero 2022?</p>	<p><b>OE3:</b> Determinar la relación entre imágenes satelitales con el contenido de metales, índice de degradación y cobertura vegetal de los suelos de San Martín período febrero 2022</p>		<p>considera nociva o no deseada cualquier alteración o alteración del terreno.</p>				
<p><b>PE4:</b> ¿Cuál es la evolución del estado de degradación de los suelos de cultivos de maíz en los períodos 2002 - 2022?</p>	<p><b>OE4:</b> Identificar la evolución del estado de degradación de los suelos de cultivos de maíz en los períodos 2002 – 2022</p>				<p>Análisis fitoquímico</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadmio,</li> <li>Plomo,</li> <li>Materia orgánica,</li> <li>ORP,</li> <li>Textura, pH</li> </ul>	

**Anexo 3:** Identificación de parcelas de maíz, distrito San Martín



**Anexo 4:** Identificación de parcelas de Maiz, distrito San Martín



**Anexo 5:** Toma de coordenadas en parcelas de maíz, distrito San Martín



**Anexo 6:** Extracción de muestras de suelo de cultivos de maíz, distrito de San Martín

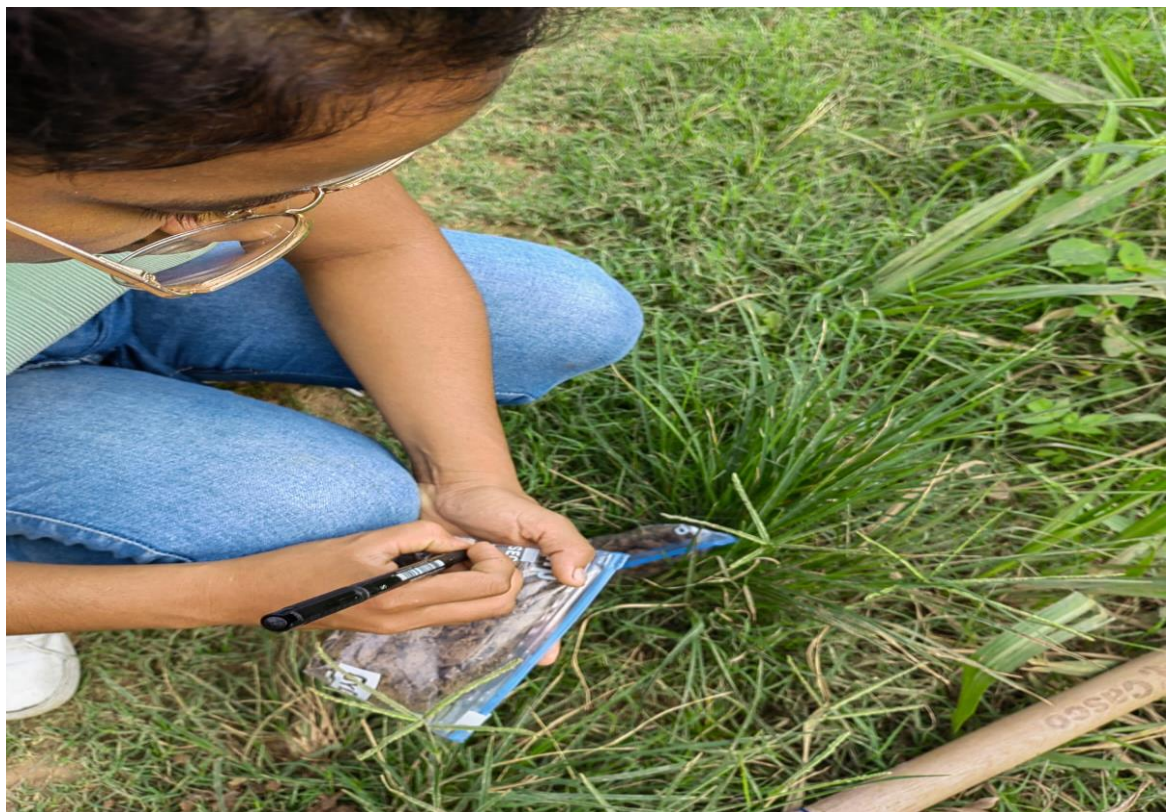




**Anexo 7:** Muestra de suelo para ser empacado



**Anexo 8:** Rotulación de cada bolsa de muestra de suelo para envío a laboratorio



## Anexo 9: Resultados de Análisis del suelo del laboratorio "Xertek life"



ORGANISMO DE INSPECCIÓN ACREDITACIÓN POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN - INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 151



### INFORME DE ENSAYO N° MA22020168 CON VALOR OFICIAL

**Nombre del Cliente** : JIREHLAB SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - JIREHLAB S.A.C.  
**Domicilio Legal** : ---UCV 100 LOTE. 23 HUAYCAN ZONA F LIMA - LIMA - ATE  
**Solicitado Por** : ERLIBER CASTILLO FACUNDO  
**Referencia** : Tesis "Teledetección para la Estimación de suelos degradados usados en cultivos de maíz del distrito de San Martín, Perú 2022"

#### DATOS DE LA MUESTRA

**Procedencia** : SAN MARTIN - TARAPOTO  
**Plan de Muestreo** : Realizado por el Cliente  
**Cantidad de Muestras** : 10  
**Condición de la Muestra** : Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados

**Fecha de Muestreo** : 18/02/2022  
**Fecha de Recepción** : 24/02/2022  
**Fecha Inicio Ensayo** : 24/02/2022

#### MÉTODOS DE ENSAYO

Parámetros	Normas
Metales ICP	EPA Method 200.7, Revisión 4.4, May 1994

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

SIGLAS: "EPA": U.S. Environmental Protection Agency, Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.

#### USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe solo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras similares serán desechadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que no perechabilidad expira un periodo menor; en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3.- El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público; su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes, tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin  
Central: +51 1 611 1891  
E-mail: contacto@xerteklife.com



ORGANISMO DE INSPECCIÓN ACREDITACIÓN POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 151



Registro N° LE - 151

## INFORME DE ENSAYO N° MA22020168 CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05		
Cod. Lab.	MA22020168.0	MA22020168.0	MA22020168.0	MA22020168.0	MA22020168.05		
Tipo de Producto	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo		
Fecha de Muestreo	18/02/2022	18/02/2022	18/02/2022	18/02/2022	18/02/2022		
Hora de Muestreo	08:00	08:10	08:20	08:30	08:40		
Cadena de Custodia	3878	3878	3878	3878	3878		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados				
<b>Metales ICP</b>							
Aluminio	mg/Kg (PS)	1,85	7 090	6 952	6 756	7 799	7 108
Antimonio	mg/Kg (PS)	0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
Arsénico	mg/Kg (PS)	0,92	<0,92	2,33	<0,92	1,07	0,93
Bario	mg/Kg (PS)	0,13	188,8	214,3	339,4	211,4	213,0
Berilio	mg/Kg (PS)	0,06	0,68	0,72	0,67	0,77	0,72
Bismuto (*)	mg/Kg (PS)	0,8	<0,8	<0,8	1,3	<0,8	<0,8
Boro	mg/Kg (PS)	0,16	6,65	7,52	4,95	5,52	5,94
Cadmio	mg/Kg (PS)	0,17	2,37	1,13	0,39	0,63	0,55
Calcio	mg/Kg (PS)	4,6	9 052	9 067	11 659	8 237	8 418
Cerio	mg/Kg (PS)	0,74	24,53	25,16	21,40	26,69	23,97
Cobalto	mg/Kg (PS)	0,64	5,67	4,77	3,79	5,03	4,92
Cobre	mg/Kg (PS)	0,25	28,02	29,79	30,99	31,73	32,33
Cromo	mg/Kg (PS)	0,16	4,29	3,99	4,01	4,78	4,47
Estaño	mg/Kg (PS)	1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4
Estroncio	mg/Kg (PS)	0,18	41,50	44,97	46,45	40,61	41,95
Fósforo	mg/Kg (PS)	2,28	170,2	248,4	286,6	192,3	256,3
Hierro	mg/Kg (PS)	0,63	6 578	5 629	5 739	7 272	7 132
Litio	mg/Kg (PS)	0,2	3,5	3,9	3,8	4,0	3,9
Magnesio	mg/Kg (PS)	1,3	2 266	2 187	1 971	2 092	2 059
Manganeso	mg/Kg (PS)	0,1	329,7	467,3	281,5	357,9	323,4
Molibdeno	mg/Kg (PS)	0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46
Níquel	mg/Kg (PS)	0,64	8,06	8,79	7,55	8,62	8,79
Plata	mg/Kg (PS)	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Plomo	mg/Kg (PS)	0,3	9,9	10,8	6,8	9,3	9,4
Potasio	mg/Kg (PS)	3	940	924	891	962	880
Selenio	mg/Kg (PS)	1	<1	1	<1	<1	<1
Sodio	mg/Kg (PS)	2,3	1 247	1 840	582,8	462,3	742,2
Talio	mg/Kg (PS)	1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3
Titanio	mg/Kg (PS)	0,12	4,21	4,25	6,38	4,16	4,70
Vanadio	mg/Kg (PS)	0,28	13,96	12,80	13,17	16,06	16,15
Zinc	mg/Kg (PS)	0,75	32,70	32,60	26,52	33,89	29,77

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

### USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe solo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe (o muestras similares) serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que no presentadas existan reservas menores en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte interesada podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3.- El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del estado público; su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes; tallo en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin  
Central: +51 1 611 1891  
E-mail: contacto@xerteklife.com



ORGANISMO DE INSPECCIÓN ACREDITACIÓN POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 151



**INFORME DE ENSAYO N° MA22020168  
CON VALOR OFICIAL**

Cod. Cliente	P-06	P-07	P-08	P-09	P-10		
Cod. Lab	MA22020168.06	MA22020168.07	MA22020168.08	MA22020168.09	MA22020168.10		
Tipo de Producto	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo		
Fecha de Muestreo	18/02/2022	18/02/2022	18/02/2022	18/02/2022	18/02/2022		
Hora de Muestreo	08:50	09:00	09:10	09:20	09:30		
Cadena de Custodia	3878	3878	3878	3878	3878		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados				
<b>Metales ICP</b>							
Aluminio	mg/Kg (PS)	1,85	7 017	6 913	3 725	3 919	7 284
Antimonio	mg/Kg (PS)	0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
Arsénico	mg/Kg (PS)	0,92	<0,92	<0,92	1,96	2,42	1,92
Bario	mg/Kg (PS)	0,13	256,8	257,1	105,1	101,5	243,6
Berilio	mg/Kg (PS)	0,06	0,73	0,73	0,40	0,40	0,69
Bismuto (*)	mg/Kg (PS)	0,8	<0,8	<0,8	<0,8	0,9	<0,8
Boro	mg/Kg (PS)	0,16	7,20	5,56	5,08	6,70	6,37
Cadmio	mg/Kg (PS)	0,17	0,76	0,28	0,50	0,54	0,70
Calcio	mg/Kg (PS)	4,6	8 462	12 359	17 556	17 581	8 391
Cerio	mg/Kg (PS)	0,74	25,16	23,34	11,58	13,05	26,04
Cobalto	mg/Kg (PS)	0,64	5,05	4,39	3,90	4,68	4,75
Cobre	mg/Kg (PS)	0,25	30,47	32,04	9,58	10,14	28,80
Cromo	mg/Kg (PS)	0,16	4,27	4,26	2,89	3,19	4,29
Estaño	mg/Kg (PS)	1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4
Estroncio	mg/Kg (PS)	0,18	43,84	49,24	22,96	23,98	41,98
Fósforo	mg/Kg (PS)	2,28	227,0	324,7	385,8	411,3	238,5
Hierro	mg/Kg (PS)	0,83	6 144	7 030	5 415	6 004	6 462
Litio	mg/Kg (PS)	0,2	3,7	3,6	2,1	2,6	3,7
Magnesio	mg/Kg (PS)	1,3	2 126	2 005	1 198	1 379	2 103
Manganeso	mg/Kg (PS)	0,1	484,7	213,6	390,8	403,9	419,8
Molibdeno	mg/Kg (PS)	0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46
Níquel	mg/Kg (PS)	0,64	9,04	8,28	4,50	5,19	8,74
Plata	mg/Kg (PS)	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Plomo	mg/Kg (PS)	0,3	9,5	8,8	4,9	6,8	19,1
Potasio	mg/Kg (PS)	3	904	867	662	743	924
Selenio	mg/Kg (PS)	1	<1	<1	3	<1	<1
Sodio	mg/Kg (PS)	2,3	1 286	779,2	512,2	1 069	993,5
Talio	mg/Kg (PS)	1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3
Titanio	mg/Kg (PS)	0,12	4,68	6,15	7,76	9,32	4,52
Vanadio	mg/Kg (PS)	0,28	13,35	16,85	10,63	11,48	14,20
Zinc	mg/Kg (PS)	0,75	31,77	28,50	33,75	37,36	34,84

Legenda: L.D = Limite de detección PS= Peso Secco

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

**USO DEL INFORME**

- 1- El presente informe solo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras similares serán desahucadas a los 30 días hábiles de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su potencialidad exija un periodo mayor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte interesada podrá solicitar la devolución del remanente de las muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3- El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del mismo público su reproducción o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes argentinas tanto en materia civil como penal. Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin  
Central: +51 1 611 1891  
E-mail: contacto@xerteklife.com



ORGANISMO DE INSPECCIÓN ACREDITACIÓN POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 151



Tiempo de Percibibilidad de Muestras
ICP - 3000

Lurin, 5 de Marzo del 2022

*Gloria Uturunco Mamani*  
**Gloria Uturunco Mamani**  
Supervisor de Lab Químico  
XERTEK LIFE S.A.C.

## INFORME DE ENSAYO

Nombre del Cliente : Annelis Cenepo Tapullima y Erliber Castillo Facundo  
 Domicilio Legal : -  
 Solicitado Por : Annelis Cenepo Tapullima y Erliber Castillo Facundo  
 Proyecto : Teledección para la Estimación de suelos degradados usados en cultivos de maíz del distrito de San Martín, Perú 2022

### DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : San Martín-Tarapoto  
 Cantidad de Muestras : 10  
 Producto : Calidad de suelo  
 Fecha de Recepción : 14/02/2022

### II. Método de Referencia

Parámetros	Norma de referencia
Textura	EPA 841-B-97-003 Nov. 1997
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000; ítem 7.1.7 AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black). (Validado) 2017
pH, OIP	EPA 841-B-97-003 Nov. 1997

NOTAS:  
 \*EPA\*: U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis.  
 \*ASTM\*: American Society for Testing and Materials  
 \*SM\*: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF

### III. Resultados

Codigo de Cliente		P1	P2	P3	P4	P5
Descripción		Maritza Pino	Berty Deigado	Pedro Requena	Edison Aspojo	Leoncio Castillo
Fecha de Muestreo		08/02/2022	08/02/2022	08/02/2022	08/02/2022	08/02/2022
Hora de Muestreo (h)		08:05:00 a.m.	08:30:00 a.m.	8:48:00 a.m.	09:10:00 a.m.	09:27:00 a.m.
Tipo de Producto		Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Parámetros	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Materia Orgánica	%	16.88	14.64	16.80	16.53	20.69
ORP	mV	-129.0	-161.4	-167.6	-157.5	-147.9
pH	-	6.96	6.61	7.14	6.52	6.34
Textura	%Arena	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	%Limo	8.4	9.5	9.1	9.5	8.1
	%Arcilla	91.6	90.5	90.9	90.5	91.9
	Clase textural	-	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M., indicado, "-" = Anulizado

Codigo de Cliente		P6	P7	P8	P9	P10
Descripción		Jose Piña	Jose Palacios	Pedro Garcia	Jonas Tuenamo	Walber Valles
Fecha de Muestreo		08/02/2022	08/02/2022	08/02/2022	08/02/2022	08/02/2022
Hora de Muestreo (h)		9:39:00 a.m.	09:56:00 a.m.	10:12:00 a.m.	10:35:00 a.m.	11:10:00 a.m.
Tipo de Producto		Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Parámetros	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Materia Orgánica	%	13.82	13.16	19.53	16.07	13.88
ORP	mV	-148.5	-135.5	-117.5	-130.2	-156.2
pH	-	7.05	6.54	6.98	6.83	6.82
Textura	%Arena	24.0	21.7	0.0	0.0	0.0
	%Limo	60.0	60.9	9.0	9.1	8.7
	%Arcilla	16.0	17.4	91.0	90.9	91.3
	Clase textural	-	Franco Limoso	Franco Limoso	Arcilloso	Arcilloso

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M., indicado, "-" = Anulizado