



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Caracterización de la erosión de suelos causada por la
actividad agrícola utilizando imágenes satelitales del fundo
Santa María, Arequipa, 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Herrera Chirinos, Luis Fernando (orcid.org/0000-0001-6930-4799)

ASESOR:

Mg. Montalvo Morales, Kenny Ruben (orcid.org/0000-0003-4403-4360)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

LÍNEA DE REPOSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA: Desarrollo

sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2023

Dedicatoria

A Dios por darme la vida, a mis padres Fredy Herrera y Pascuala Chirinos por su apoyo incondicional y por la constante ayuda en mi formación profesional, a mi pareja y a todos mis familiares que me motivaron siempre a cumplir todos mis objetivos.

“Herrera Chirinos, Luis Fernando”

Agradecimiento

Le agradezco muy profundamente a mi tutor por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

“Herrera Chirinos, Luis Fernando”

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	16
3.1. Tipo y diseño de investigación	16
3.2. Variables y operacionalización	16
3.3. Población, muestra y muestreo	18
3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	18
3.5. Procedimiento	19
3.6. Método de análisis de datos.....	24
3.7. Aspectos éticos	24
IV. RESULTADOS.....	25
V. DISCUSIÓN	52
VI. CONCLUSIONES	55
VII. RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS	57
ANEXOS.....	62

Índice de tablas

Tabla 1: Códigos USLE de permeabilidad de suelos	13
Tabla 2: Factor LS según grupos de pendientes	14
Tabla 3: Valores de cobertura vegetal Factor C	14
Tabla 4: Factor P de prácticas de conservación de Wischmeier y Smith, 1978. ...	15
Tabla 5: Matriz de operacionalización de variables	17
Tabla 6: Precipitación mensual –anual del año 2012 en mm – Estación Meteorológica La Joya	21
Tabla 7: Precipitación anual – mensual en el año 2017 en mm – Estación meteorológica La Joya	21
Tabla 8: Precipitación mensual- anual en el año 2022 en mm, Estación meteorológica la Joya.....	21
Tabla 9: Código de estructura de suelo.....	22
Tabla 10: Código de permeabilidad.....	22
Tabla 11: Rango de pendientes	23
Tabla 12: Clasificación de pérdidas de suelo.	24
Tabla 13: Tipo de suelo del distrito de la Joya	29
Tabla 14: Área total del tipo de suelo del Fundo Santa María.....	29
Tabla 15: Clasificación de cobertura vegetal del distrito de la Joya.	30
Tabla 16: Área total de cobertura vegetal del Fundo Santa María	30
Tabla 17: Clasificación fisiográfica en el distrito de La Joya.....	32
Tabla 18: Área total de la clasificación fisiográfica en el Fundo Santa María.....	32
Tabla 19: Clasificación de capacidad de uso mayor en el distrito de La Joya.....	34
Tabla 20: Clasificación de capacidad de uso mayor – Fundo Santa María.....	34
Tabla 21: Rangos según pendiente.....	36
Tabla 22: Erosividad de la lluvia año 2012	39
Tabla 23: Erosividad de la lluvia en el año 2017	41
Tabla 24: Erosividad de la lluvia en el año 2022	43

Índice de figuras

Figura 1: Obtención de imágenes satelitales.....	10
Figura 2: imágenes Google earth	10
Figura 3: Códigos USLE de estructura de suelo	12
Figura 4: Ubicación del Área de estudio.....	19
Figura 5: Extracción de muestras de suelo	20
Figura 6: Ubicación de la Estación Meteorológica La Joya	26
Figura 7: Cultivos de maíz.....	27
Figura 8: Cultivos de ají paprika	27
Figura 9: Cultivos de Tuna	28
Figura 10: Ganadería dentro del Fundo Santa María.....	28
Figura 11: Mapa de suelos	29
Figura 12: Mapa de cobertura vegetal.....	31
Figura 13: Mapa fisiográfico	33
Figura 14: Mapa de capacidad de uso mayor	35
Figura 15: Mapa de pendientes.....	37
Figura 16: Mapa de erosión del año 2012, Fundo Santa María	38
Figura 17: Mapa de erosión del año 2017, Fundo Santa María	40
Figura 18: Mapa de erosión del año 2022, Fundo Santa María	42
Figura 19: Relación entre la erosión de suelo y el uso de imágenes satelitales, año 2012.	46
Figura 20: Relación entre la erosión del suelo y el uso de imágenes satelitales, año 2017.	48
Figura 21: Relación entre la erosión del suelo y las imágenes satelitales, año 2022.	50

Resumen

La investigación tuvo como objetivo evaluar la caracterización de erosión de suelos causada por la actividad agrícola mediante uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María Arequipa 2022. El tipo de investigación es aplicada, el diseño cuasiexperimental. En los resultados se logró determinar el estado actual del Fundo Santa María donde existe flora, fauna, estado físico del suelo, geomorfología y la erosión; resaltando fundamentalmente los cultivos de maíz, ají paprika, tuna y crianza ganadera. Seguidamente se estableció la erosión en el año 2012 de 30.13 Tn/ (ha. año), el 2017 de 59 Tn/ (ha. año) y el año 2022 de 7.12 Tn/ (ha. año). Posteriormente se estableció la relación que existió entre la erosión del suelo y el uso de imágenes satelitales con Google Earth Engine en el Fundo Santa María; pues ambas técnicas fueron comúnmente usadas logrando determinar la erosión de suelos, con una diferencia de que mediante el empleo de imágenes satelitales se calculó el área(ha) y por la ecuación se calculó la masa (tn). Se concluyó que erosión de suelos causada por la actividad agrícola mediante uso de imágenes satelitales es notoriamente evidente en los años 2012, 2017 y 2022 según los caculos realizados respectivamente.

Palabras clave: Caracterización, erosión, suelo y actividad agrícola.

Abstract

The objective of the research was to evaluate the characterization of soil erosion caused by agricultural activity through the use of satellite images of Fundo Santa María Arequipa 2022. The type of research is applied, the quasi-experimental design. In the results it was possible to determine the current state of Fundo Santa María where there is flora, fauna, physical state of the soil, geomorphology and erosion; fundamentally highlighting the crops of corn, paprika pepper, prickly pear and cattle raising. Subsequently, erosion was established in 2012 of 30.13 Tn/ (ha. year), in 2017 of 59 Tn/ (ha. year) and in 2022 of 7.12 Tn/ (ha. year). Subsequently, the relationship that existed between soil erosion and the use of satellite images with Google Earth Engine in Fundo Santa María was established; since both techniques were commonly used, managing to determine soil erosion, with a difference that the area (ha) was calculated by using satellite images and the mass (tn) was calculated by the equation. It was concluded that soil erosion caused by agricultural activity through the use of satellite images is clearly evident in the years 2012, 2017 and 2022 according to the calculations made respectively.

Keywords: Characterization, erosion, soil and agricultural activity.

I. INTRODUCCIÓN

El desgaste de suelo causado por la erosión antropogénica supera a la erosión natural en diversos grados, por lo que ahora se considera un problema ambiental grave que lleva a la reducción de la fertilidad del suelo en todo el mundo (Mahala, 2018). Esto debido a la intensificación de la actividad agrícola en el monocultivo o los cultivos temporales, los cuales han acelerado las tasas de erosión naturales (Awotwi et al. 2018). En los cultivos más comunes de temporada o de secano, se elimina toda la vegetación, se compacta el suelo y se agota la materia orgánica. El resultado de esta práctica indigna, las tasas de erosión son más grandes que las tasas de formación, lo que es un fuerte impulsor de la desertificación (Ozsahin et al. 2018).

Nuestro país es conocido por la gran diversidad de productos agrícolas que genera a diario, y son enviados a los grandes mercados del mundo, pues se exporta arroz, papa, maíz, plátanos, soya, arándanos, entre otros (Molina, 2019). Estos son cultivados en áreas extensas, donde se deforesta cientos de hectáreas de bosques para su siembra, pasando de áreas boscosas a zona agrícola y así cumplir con la demanda de la población emergente (Nampak et al. 2018).

Asimismo, el uso excesivo de agroquímicos por los agricultores o las empresas, algunos de ellos sin supervisión profesional o técnica ha conllevado a la degradación de suelos y polución de aguas subterráneas, perjudicando a los microorganismos u otro ser vivo que allí habite (Escobar y Guarín, 2018). Si bien se puede determinar el impacto negativo mediante monitoreos periódicos que resultan ser muy eficientes pero costosas, también existe técnicas de teledetección que se basa en el uso de satélites para determinar mediante imágenes satelitales los cambios en una determinada superficie (Castillo y Cenepo, 2022).

Por ello los cambios ocurridos dentro de un territorio son complejos de comprender, se necesita estudiarlos de una manera holista (Maquera, 2020). El territorio no puede ser visto como un sistema separado de los procesos sociales, debe ser visto como un todo formado por partes naturales y sociales que son dinámicas y cambiantes en el tiempo (Torres, 2019).

Para entender el alcance de la erosión del suelo, usando imágenes de satélite, se puede obtener información sobre superficies o fenómenos sin contacto físico con el suelo; En estas técnicas, la energía electromagnética como el calor, la luz y las ondas de radio se utilizan para medir y determinar las propiedades de un objeto (Ouyang et al. 2018).

Este estudio se realizó en el Fundo Santa María, en la provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa, este fundo es conocido por las diversas actividades agrícolas que realizan hace 20 años, como es la siembra de paprika, cebolla, ajo y tuna. Por lo general en ese transcurso no se realizó rotación de suelos lo que ha generado su erosión y pérdida de nutrientes de estos suelos. Esto requirió el perfeccionamiento de un sistema de guía completado para aprender diferentes procesos de erosión del suelo a partir de imágenes satelitales capturadas con satélites (Ñontol, 2018). También es importante recalcar que este estudio se ofrece como una alternativa para comprimir o excluir los impactos negativos sobre el suelo.

Se plantea el problema general: ¿Cómo es la caracterización de la erosión de suelos causada por la actividad agrícola mediante uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María Arequipa 2022? Seguido de los problemas específicos: ¿Cuál es el estado actual de los suelos en el Fundo Santa María, Arequipa? ¿Cuál es la evolución en la erosión de suelos generados por la actividad agrícola en el Fundo Santa María, en el período de 2012 a 2022? ¿Cuál es la relación entre la erosión del suelo y el uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María?

La justificación social, se dio a conocer a la sociedad acerca del gran aporte que son el empleo de las imágenes satelitales para determinar el grado de erosión de suelo generado por la agricultura intensiva en el Fundo Santa María, para luego plantear alternativas de solución o mitigación frente a esta problemática. La justificación metodológica, se basó en la compilación de información de diversos artículos relacionados al tema de investigación los cuales sirvieron como base de datos para la realización de este trabajo, asimismo, como el empleo de imágenes satelitales obtenidas de Google Earth Engine, las cuales fueron necesarias para realizar la caracterización de la erosión de suelo en el fundo. La justificación económica, Se uso imágenes satelitales obtenidas de Google Earth Engine con ayuda de análisis de suelos realizados directamente en el fundo a estudiar resultan

muy efectivos, además el uso de estas imágenes no generó gastos económicos facilitado el desarrollo de la investigación. La justificación ambiental, el uso de estas imágenes satelitales es una excelente técnica para prevenir o disminuir los posibles impactos negativos que son causados por la actividad agrícola, así mismo sirve como línea base para la generación de propuestas o medidas para el uso sostenible del recurso suelo.

Se estableció el objetivo general: Caracterizar la erosión de suelos causada por la actividad agrícola mediante uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María Arequipa 2022. Seguido de los objetivos específicos: Determinar el estado actual de los suelos en el Fundo Santa María, Arequipa. Identificar la evolución en la erosión de suelos generados por la actividad agrícola en el Fundo Santa María, en el período de 2012 a 2022. Determinar la relación que existe entre la erosión del suelo y el uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María, Arequipa.

Se detalla la hipótesis general: Se realizó la caracterización de erosión de suelos causada por la actividad agrícola mediante uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María, Arequipa, 2022. Seguido de las hipótesis específicas: Se determinó el estado actual de los suelos en el Fundo Santa María, Arequipa. Se identificó la evolución en la erosión de suelos generados por la actividad agrícola en el Fundo Santa María, en el período de 2012 a 2022. Se determinó la relación que existe entre la erosión del suelo y el uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María

II. MARCO TEÓRICO

Awowti et al. (2019), tuvieron como objetivo mejorar la comprensión de los procesos paisajísticos recientes y permitir la anticipación de futuras políticas de planificación en el PRB. Utilizaron la doble curva acumulada y los métodos de interpretación de imágenes visuales para la selección de datos Landsat espaciotemporales para analizar la degradación de la tierra de Ghana. Los resultados por la evaluación de LULC mostró que la PRB ha estado sujeta a seis tasas diferentes de degradación de la tierra de los años 1986 a 2016, debido al aumento de actividades de cultivo y minería a alrededor del 130 %, 198 % y 304 %, respectivamente. En base a los resultados concluyeron que ayudarán a la dirección de los recursos naturales, la planificación y el perfeccionamiento sostenible en el PRB.

Nampak et al. (2018), evaluaron la relación entre LCLUC y la erosión del suelo en Cameron Highlands (Malasia) mediante el uso de imágenes satelitales multitemporales y datos auxiliares. Se cartografió la repartición de LCLUC dentro del área de estudio para 2005, 2010 y 2015 utilizando imágenes satelitales temporales SPOT-5 y clasificación de imágenes basada en objetos. Los resultados mostraron que la cantidad promedio de disminución de suelo aumentó en $31,77 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de 2005 a 2015 y se predijo que aumentaría drásticamente en 2025. Concluyeron que la noción de los patrones temporales y espaciales de las áreas de alto riesgo de pérdida de suelo ayudó a implementar medidas de mantenimiento del suelo y mitigación de la erosión específicas del sitio de estudio.

Ouyang et al. (2018), investigaron los patrones espacio-temporales de la erosión del suelo con base en una versión modificada de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y realizó una evaluación de la contribución de la erosión del suelo. Los datos de uso de suelo fueron interpretados de Landsat a partir de muestreos de campo, pruebas de laboratorio. Los resultados fueron que un largo período de desarrollo agrícola, el módulo de erosión promedio disminuyó de $187,7 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ en 1979 a $158,4 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ en 2014. El uso de suelo se transformaron en arrozales y la reducción de humedales, los suelos se convirtieron en francos de franco limoso o arcilloso y la conductividad hidráulica saturada (K_s) en un 1,11% a 43,6%. Concluyeron que los cambios en el uso del suelo tuvo impactos más significativos que las renovaciones en las propiedades del suelo sobre la erosión del suelo.

Oszahin et al. (2018), revelaron los cambios temporales del riesgo de erosión en la cuenca Maritsa, y también evaluar los temporales efectos de los cambios en el uso y la cobertura del suelo (LULCC) en la tasa bruta de erosión. Utilizaron la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) para monitorear la distribución de las zonas de riesgo de pérdida y erosión del suelo en la cuenca. Los parámetros dinámicos se clasificaron en dos marcos de tiempo como 1990 y 2015.-1año⁻¹. Esta reducción estuvo dentro del rango de error de modelado, potencialmente originado por las incertidumbres de los datos de entrada, los cambios más extensos en la pérdida bruta de suelo se encontraron tanto en áreas agrícolas como artificiales en los modelos de erosión del suelo. Concluyeron que hubo una mejora a la comprensión de los impactos de las clases de uso y cobertura de la tierra (LULC) en las intensidades de la erosión.

Mahala (2018), evaluaron las tipologías de la erosión del suelo en una región marginal de meseta tropical a través del uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE). Los diferentes factores como el factor de erosividad de la lluvia (R), el factor topográfico (LS), el factor de erosionabilidad del suelo (K), el factor de cultivo y manejo y el factor de apoyo y práctica (P) se han enumerado utilizando datos de campo y de teledetección. Los resultados de la pérdida de suelo de gran magnitud (> 10 t ha⁻¹ año⁻¹) cubre el 4,88% del área total y se extiende hasta la parte alta de la cuenca. Los factores topográficos y de suelo representan mejor esta pérdida de una magnitud (< 2,5 t/ha⁻¹año⁻¹). Concluyeron que el modelo de erosión del suelo RUSLE se usó de manera efectiva en el entorno marginal de la meseta tropical.

Escobar y Guarín (2018), analizaron las técnicas de desertificación en la cuenca media del río Chicamocha a través de cambios multitemporales en la cobertura y uso del suelo. La cuenca media del río Chicamocha se ubica en la parte nororiental de la provincia de Boyacá, y un tiempo de evaluación es de 29 años, de 1988 a 2017. Mediante teledetección se registraron y procesaron 6 LANDSAT 4 TM (1988), LANDSAT 7 ETM (2003) y LANDSAT 8 OLI TIRS (2017) en programas como ENVI 5.1 y Arcgis 10.3. Usando los índices espectrales NDVI y NDWI, la parte baja y media de la cuenca a lo largo de las orillas del río Chikamocha cambió con valores cercanos a 0 y -1, y la calidad y cantidad de la vegetación aumentó con el tiempo,

y la parte de captura de humedad. Por lo tanto, los autores concluyeron que los procesos de desertificación disminuyeron en la mayor parte de la cuenca durante el período de evaluación, pero continuaron a lo largo del río Chicamocha.

Ñontol (2018), realizó un estudio utilizando imágenes satelitales Landsat7 y Landsat8 para analizar la cobertura del suelo y los cambios en el uso del suelo en la región de Asunción desde 2002 hasta 2017. Usando el método Corine land cover, en el nivel III. Se encontraron ocho tipos de cobertura con 20.42 hectáreas de tejido urbano contiguo; 2293.69 hectáreas de pastizales naturales y cultivados con gramíneas y leguminosas; 4476.52 hectáreas de áreas agrícolas heterogéneas en bosques, 4449 7013.66 hectáreas de Gramineae y Asteraceae perennes y 2,22 hectáreas de laguna natural; 9.577,22 hectáreas de equivalía al 4% de la superficie total. concluyó que los mapas de cobertura y uso actual del suelo fueron elaborados utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud para el periodo 2002 a 2017 con una confiabilidad de 94.74% y 96.24% para 2002 y 2017, respectivamente.

Torres (2020), para esclarecer el vínculo entre la erosión del suelo y El Niño, se realizó un análisis multitemporal de imágenes satelitales de la región Lambayeque. Utilizando técnicas de procesamiento de imágenes satelitales, se evaluaron los cambios de suelo y vegetación a lo largo del tiempo mediante un software y composición de bandas espectrales, donde se visualizaron los índices de cada variable. Como resultado, El Niño produjo cambios favorables en los índices IVDN e IBS, lo que indicó la recuperación de la cobertura vegetal y la composición mineral del suelo, que se deterioró con el tiempo hasta que llegó otro niño. Concluyó que El Niño es un evento climático cíclico que beneficia la restauración y mantenimiento de los ecosistemas y el medio ambiente.

Maquera (2020), se analizó un cambio de 10 años (2007-2017) en la cobertura y el uso de la tierra en la región de Tacna mediante la fotointerpretación de imágenes satelitales LANDSAT monitoreadas por el sistema de clasificación CORINE para diferentes tipos de clasificación de cobertura terrestre (CLC). En los resultados se observó una disminución (-0.21% anual) en la cobertura forestal y en la mayoría de las áreas naturales (especialmente en áreas baja vegetación), encontrando similitudes con el trabajo realizado a nivel nacional, donde las áreas forestales han disminuido. Cobertura cambios demostrados al aumento de la actividad humana.

Concluyó que este trabajo es útil para planes futuros de desarrollo ambiental, planes de sucesión territorial y planificación importante para la preservación de los recursos naturales en la provincia de Tacna.

Castillo y Cenepo (2022), uso de sensores remotos para evaluar tierras degradadas utilizadas por cultivos de maíz en la región de San Martín de Perú de 2018 a 2022. Utilizaron la teledetección para evaluar el suelo degradado para cultivos de maíz en la región de Saint-Martin. Los suelos también fueron analizados fisicoquímicamente y correlacionados con imágenes satelitales adquiridas entre 2002 y 2022. Los resultados muestran que en 2002 el porcentaje anual de degradación de la tierra es 0,7322%, en 2006 – 1,1449%, en 2010 – 1,0751%, en 2014 – 7,9265%, en 2018 – 1,2353% y 4,78202 lo que demuestra que esta técnica es efectiva para medir suelos degradados. Concluyeron que el uso de la teledetección logro determinar la degradación de los suelos de cultivos de maíz.

Molina (2019), el suelo degradado en el área de Palpa 2019 se midió utilizando sensores remotos multitemporales para analizar el nivel de degradación en el área de estudio, comprender los datos del portal USGS landsat 2008, 2011, 2014, 2017 y 2019 7OLI y landsat 8. Los ensayos de campo en la población correspondiente al distrito de Palpa con los 36 puntos de monitoreo incluidos en la muestra, los cuales fueron recolectados y enviados al laboratorio químico de la UCV. Los resultados obtenidos a partir de ArcGIS, mapa indicador de degradación del área total de la microcuenca y trabajo de campo con parámetros físico-químicos confirmaron la efectividad de ambos procedimientos en el estudio en un 89,29% como posible elemento, superando así el método IndSal, método IE y método NDVI en la identificación de suelos degradados.

Seguido del desarrollo de la investigación las bases teóricas referentes al tema de investigación se define que: La tierra Según la FAO, indica que la tierra es un área definible de la superficie de la Tierra que contiene todas las características de la biosfera seguidamente por debajo y encima de su superficie, incluido el clima de la superficie, el suelo y la topografía del relieve, superficies hidrológicas que incluyen lagos poco profundos, ríos, pantanos y humedales, sedimentos cercanos a la superficie. y suministros de agua subterránea asociados, poblaciones de fauna y flora, tipos de colonización humana como resultado de la actividad humana y los

resultados físicos de la acción antrópica pasada y presente, terrazas, almacenamiento de agua o estructuras de drenaje, caminos, edificios (Aneseyee et al., 2020).

El uso del suelo se caracteriza por las actividades de los residentes para mantener cierto tipo de cobertura; permite comprender la relación directa entre la cobertura del suelo y las actividades antrópicas en el medio ambiente (Das et al., 2022). El uso actual del suelo es el que ofrece el mayor potencial de desarrollo en la región, pero en Centroamérica ha habido serias advertencias de usos injustificados e inadecuados en la agricultura, la ganadería y la silvicultura con importantes consecuencias hidroeléctricas. Erosión, deforestación, inundaciones. y sedimentación de embalses de presas (Xie et al., 2020).

La tierra no debe considerarse simplemente como suelo y superficies topográficas, sino que incluye muchos otros elementos, como los sedimentos superficiales, los recursos hídricos, fauna, flora y clima que evolucionan a través de interacciones; se reflejan los cambios en la cobertura o estructura vegetal como resultado de las actividades humanas, que se denominan propiedades de la tierra (Batunacun et al. 2019). Pero debido a la transformación; factores como la flora, la fauna, el suelo, la distribución de la superficie del agua y el clima. Estos cambios pueden explicarse fácilmente mediante la distribución y dirección de los recursos de la tierra (Abdel et al. 2018).

En cuanto a la cobertura vegetal, permite a los agricultores proteger el suelo, así como obtener un aporte de nutrientes al suelo. En los cultivos anuales, el suelo está cubierto por cultivos durante todo el año (comerciales o cultivados para cubrir el suelo), también esparcen los residuos de la cosecha del año anterior (Hazzbavi et al. 2019). El estado actual de la cubierta vegetal y el uso del suelo se expresa en descripciones de diferentes tipos de cubierta vegetal y uso del suelo; el objetivo es informar sobre los diferentes usos en un momento dado y la forma en que se desarrolla el uso de sus recursos sin considerar su uso futuro o potencial, es decir el empleo de los recursos naturales tierra, agua y vegetación (Bayat et al. 2019).

La cobertura del suelo también puede representar la cobertura vegetal o los restos de cultivos de plantas durante su temporada de crecimiento. La cobertura del suelo

a partir de la cual crece la planta difiere en diferentes especies dependiendo de sus características fenológicas y vegetativas (período, tipo de crecimiento, altura, tasa de cobertura del suelo, etapa de crecimiento) y los métodos de cultivo requeridos para el crecimiento, riego, etc.) (Marchi et al. 2018). Sin embargo, sembrar cultivos no es tan efectivo para reducir la erosión como los residuos de cultivos porque los cultivos están en directo contacto con la superficie del suelo, mientras que es el método más efectivo, simple y económico para controlar la erosión (Nguyen et al. 2019).

Por ello, se señala que las actuales transformaciones de uso del suelo están vinculadas con la agricultura, la ganadería y sobre todo la expansión urbana. De hecho, se estima que las áreas cultivadas y los pastos ocupan un 40% de la superficie terrestre (Liu et al. 2018). Los cambios en las actividades agrícolas a nivel mundial avanzan debido a la demanda de alimentos, entre los que se destacan los cereales (maíz, trigo y arroz) como la fuente de alimentación con más importancia a nivel mundial, independientemente de que sean consumidos directa o indirectamente por humanos (Batunacun et al. 2018).

Señalando los factores que incurren en el cambio del estado del uso del suelo, se puede observar que existen diversos factores que incurren en el cambio del uso del suelo a nivel ambiental, poblacional, económico y social y cultural, y cómo estos factores conducen a la degradación ambiental, la destrucción de biodiversidad, de la erosión del suelo (Liu et al. 2019).

Ante estos desafíos, SIG, un nuevo método para el procesamiento y estudio de la información espacial surge de la exigencia de adquirir información ágilmente para solucionar problemas y manifestar preguntas de manera inmediata (Liniger et al. 2019). También se entiende como una combinación de información y herramientas informáticas (programas y software) utilizadas para analizar objetivos específicos. Por otra parte, la inclusión del término "geografía" supone que la información es específica, es decir, incluye ubicación espacial (Nguyen et al. 2019).

Las imágenes de satélite son cuadrículas digitales capturadas por sensores montados en satélites que orbitan la Tierra. Cuando el satélite entra en su órbita,

escanea la superficie utilizando una combinación de detectores que detectan la energía reflejada (Abdel et al. 2018).

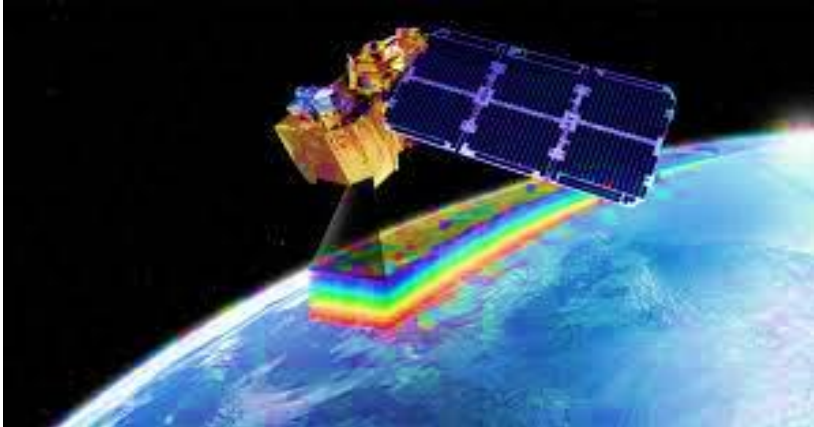


Figura 1: Obtención de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales están en formato raster y consisten en una matriz de miles de píxeles, cada uno con un valor numérico o de albedo; si la imagen, p , tiene una resolución de 30 metros, cada píxel representa un área de 30 x 30 metros, por lo que se calculará la firma espectral o reflectancia de todos los objetos existentes en la superficie cubierta por la imagen para darle su valor al píxel. La información de cada píxel está en formato digital, generalmente de 8 bits, por lo que cada píxel de una imagen puede tener 256 valores o colores diferentes, donde 0 corresponde al negro, 255 corresponde al blanco y 254 diferentes tonos de gris neutro (Das et al. 2022).



Figura 2: imágenes Google earth

Ecuación Universal de Erosión del Suelo (USLE): La USLE sigue los resultados de varios trabajos hipotéticos y de campo promovidos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en la mitad del siglo XX. El estudio fue realizado por los investigadores Walter Wischmeier y Dwight Smith, ellos propusieron el modelo integral USLE en 1954 (Ahmad y Pandey, 2018).

Según Wischmeier y Smith (1978), esto condujo al desarrollo de un modelo de predicción de pérdida de suelo. Este estudio de predicción de la erosión del suelo se elaboró para superar conjuntamente las deficiencias inherentes a los proyectos de investigación locales o regionales. Los datos del estudio de erosión se recopilaron durante 8250 parcelas-año en 36 lugares en los Estados Unidos. Los diferentes factores que perturban la pérdida de suelo se vuelven a estimar en lo que se conoce como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Expresado como:

$$A=R * K * L * S * C * P$$

Dónde:

A: Disminución anual de suelo [t/ha/año].

R: Erosividad de la lluvia en MJ*mm/ha*año

K: Erodabilidad del suelo en ton*ha*h/MJ*ha*cm

L: Longitud de pendiente en m.

S: Pendiente en m/m

C: Cubierta vegetal y manejo del recurso.

P: Prácticas de conservación aplicada.

Factor R, de acuerdo con la suma de todos los efectos energéticos de la precipitación erosiva anual y sus concernientes fuerzas máximas en un período de 30 minutos, se puede entender la agresividad con la que la precipitación afecta los procesos de degradación del suelo. (Batunacun et al. 2019)

Se presenta la siguiente formula:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735x10^{(1.5\log_{10}\left(\frac{pi^2}{p}\right)-0.08188)}$$

Donde:

Pi²: Precipitación mensual

P: Precipitación anual

R: Factor R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}$)

Factor K, erosión de suelo se puede determinar de dos formas, directamente a partir de la ecuación de erodabilidad o gráficamente. Para ello, es necesario obtener ciertas propiedades del suelo de dos maneras (Castillo y Cenepo, 2022).

Textura: Se realiza un análisis de textura del suelo para conseguir el porcentaje de arena, limo, arcilla y arena fina. De acuerdo con el manual original de la USLE, la arena muy fina tolera como limo a los efectos de la erosión del suelo (Hazbavi et al. 2019).

Materia Orgánica: Para estimar su porcentaje en el suelo, se analizaron muestras de campo con este fin. Según la USLE, el porcentaje de materia orgánica oscila entre el 0 y el 4 %, tomado como un número entero, y si el contenido establecido supera el rango especificado, se supone que es del 4 %. (Liniger et al. 2019)

Estructura del suelo: su calificación está determinada por la inspección visual y el tacto. Se recomienda utilizar una guía de comparación, solo se utilizan cuatro categorías y códigos según la USLE (Liu et al. 2019)







Código USLE	Tipo de estructura	
1	Granular muy fina	
2	Granular fina	
3	Granular media a gruesa	
4	Bloques	
	Laminar	
	Masiva	

Figura 3: Códigos USLE de estructura de suelo

Fuente: FAO, 2004

La permeabilidad del suelo se da un valor o código de según la permeabilidad de cada suelo especificado. Estos códigos son fijados por la USLE (Mahala, 2018).

Tabla 1: *Códigos USLE de permeabilidad de suelos*

Código USLE	Categoría de permeabilidad
1	Rápida (más de 12,7 cm-h-1)
2	Moderada a rápida (6,3 a 12,7 cm-h-1)
3	Moderada (entre 2 y 6,3 cm-h-1)
4	Lenta a moderada (entre 0.5 y 2cm-h-1)
5	Lenta (entre 0.13 y 0.5 cm-h-1)
6	Muy lenta (menor a 0,13 cm-h-1)

Fuente: FAO, 2004

El factor K, expresado en SI tonelada-ha-hora/ha-MJ-cm, se dice de la firmeza del suelo en la superficie y en el tiempo en relación con la energía del agua de lluvia. Dada la siguiente fórmula:

$$K = 1.313 * [2.1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3)]/100$$

Donde:

MO: % de materia orgánica de las muestras

s: Cód. de estructura del suelo.

p: Cód. de permeabilidad.

M: Suma del porcentaje de limo y arena muy fina con la suma del porcentaje de arena y limo. (% limo + arena muy fina) *(100 - % arcilla).

Factor LS, es la topografía sobre la erosión, el factor L es la longitud promedio de la pendiente del terreno y el factor S es la pendiente. (Wischmeier y Smith, 1978)

Tabla 2: *Factor LS según grupos de pendientes*

Grupo de pendientes en %	Factor LS
0 - 3	0,3
3 - 12	1,5
12 - 18	3,4
18 - 24	5,6
24 - 30	8
30 - 60	14,6
60 - 70	20,2
70 - 100	25,2
>100	28,5

Fuente: FAO, 2004

Factor C, es el vínculo entre la disminución de suelo de la tierra cultivada y la oportuna pérdida por barbecho continuo en condiciones específicas. Esta comparación se realizó asumiendo condiciones similares de suelo, pendiente y precipitación. (Marchi et al. 2018)

El factor C se precisa como el vínculo entre la pérdida de suelo resultante de prácticas alternativas y de labranza fija con respecto a la correspondiente al barbecho continuo. (Mohamed et al. 2019)

Tabla 3: *Valores de cobertura vegetal Factor C*

Cultivo y Práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1
Bosque o matorral denso	0.001
Pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobre pastoreada	0.1
Maíz, sorgo, alto rendto., laboreo convencional	0.20 - 0.55
Maíz, sorgo, alto rendto., sin laboreo convencional	0.50 - 0.90
Maíz, sorgo, bajo rendto., laboreo mínimo	0.02 - 0.10
Maíz, sorgo, alto rendto., laboreo con chisel	0.12 - 0.20
Maíz, sorgo, bajo rendto., laboreo con chisel	0.30 - 0.45
Algodón	0.40 - 0.70
Pradera herbácea	0.01 - 0.025
Soya	0.20 - 0.50
Trigo	0.10 - 0.40
Arroz	0.10 - 0.20

Cacahuete	0.30 - 0.80
Frutales con cobertura vegetal	0.01 - 0.80
Caña de azúcar	0.56
Arbolado denso	0.001 - 0.003
Arbolado forestal clareado	0.003 - 0.009
Arbolado muy clareado (25 - 60%)	0.041
Matorral con buena cobertura	0.003 - 0.013
Matorral ralo y eriales	0.20 - 0.013
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Plantas herbáceas y matojos (100%)	0.003
Plantas herbáceas y matojos (60%)	0.035
Cubierta escasa (60%)	0.15 - 0.09
Cubierta inapreciable	0.45

Fuente: FAO,2004

Factor P, en muchos casos, la figura de vegetación no impide la formación de escorrentías superficiales. El uso de medidas de preservación del suelo puede reducir el impacto del flujo de agua. (Novoa, 2018) En este sentido, la USLE incluye factores P en las prácticas de mantenimiento en tres oportunidades:

- El uso de labranza persiguiendo las curvas de nivel (cultivo en contorno)
- El uso de fajas de cultivo en contorno
- El uso de terrazas

Tabla 4: *Factor P de prácticas de conservación de Wischmeier y Smith, 1978.*

Pendiente (%)	Cultivo en contornos o curvas de nivel		P para cultivos en terrazas
	P*	Longitud máxima de ladera(m)	
1 - 2	0.60	122	0.12
3 - 5	0.50	91	0.10
6 - 8	0.50	61	0.10
9 - 12	0.60	37	0.12
13 - 16	0.70	24	0.14
17 - 20	0.80	18	0.16
21 - 25	0.90	15	0.18

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación: En este trabajo, el tipo de investigación es el detallado por Murillo (2008), y la investigación aplicada se designa "investigación empírica o practica", que se caracteriza por intentos de aplicar o utilizar el conocimiento obtenido al buscar a otros en la práctica.

Nuevamente, la investigación utilizó un enfoque cuantitativo, que según Tamayo (2007) implica contrastar las teorías existentes con el conjunto de hipótesis resultante, es obligatorio tener muestras, ya sean discriminatorias o aleatorias, pero representativas de la fenómeno o población.

Diseño de investigación: Tal como lo describen Hernández, Fernández y Baptista (2010, p. 149), la investigación tiene un diseño cuasi-experimental. La investigación incluye la investigación realizada sin manejo deliberado de variables, donde los fenómenos se observan solo en su entorno natural y luego se examinan.

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente: Imágenes satelitales.

Variable dependiente: Erosión de suelos causada por actividad agrícola.

Tabla 5: Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
Independiente: Imágenes satelitales	El análisis de imágenes satelitales se puede realizar de dos modos: mediante interpretación visual o mediante técnicas de tratamiento de información multispectral. La interpretación visual pretende, sin intervención del ordenador, extraer información espacial del análisis de la imagen y sus cualidades (brillo, color, textura, forma, tamaño de los elementos que la componen) (Novoa y Lhissou, 2018).	Las imágenes satelitales son descargadas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), procesadas en ArcGIS mediante una combinación de Bandas para la determinación de las principales actividades agrícolas que causan erosión a los suelos.	Imágenes satelitales	• Google Earth Engine	Nominal
			Combinación RGB	• Bandas 1,2,3 (color natural)	Nominal
Dependiente: Erosión de suelos causada por actividad agrícola	Es la destrucción del suelo terrestre por causas naturales como el agua o el viento, así como por actividades humanas como la minería o la agricultura. Esto sucede en todo el mundo, pero en regiones secas o áridas donde no hay tanta vegetación y el suelo está más expuesto, sucede más rápido. La erosión es uno de los principales factores que moldean y modifican la forma de la tierra (Aneseyee et al. 2020).	Se efectuó la identificación de las principales actividades agrícolas, la cantidad de cobertura vegetal entre los años evaluados mediante la elaboración de mapas determinando la evolución de erosión de los suelos.	Actividades agrícolas	• Cultivos de paprika. • Cultivos de maíz • cultivos de tuna.	Razón
			Áreas deforestadas	• Cobertura vegetal (ha) • Cobertura no vegetal (ha)	Discreto
			Mapas de evolución de la erosión de suelos	• Erosión superficial entre los años 2012 a 2022	Discreto

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

La población está constituida por todo el Fundo Santa María en Arequipa. Ya que, según Arias (2006, p. 81) Definir una población es un grupo definido o infinito de elementos con tipologías usuales a los que se aplican ampliamente las conclusiones de un estudio. Está determinada por la pregunta y los objetivos de la investigación.

- **Criterios de inclusión:** Se consideró todos los suelos superficiales del Fundo Santa María en Arequipa.
- **Criterios de exclusión:** No se tuvo en cuenta los suelos que se encuentren fuera del Fundo Santa María en Arequipa.

3.3.2. Muestra

La muestra está representada por el Fundo Santa María en Arequipa, correspondiente a 26,62545 ha. Según Arias (2006) define a la muestra como un subconjunto característico y definido que se despega de la población posible.

3.3.3. Muestreo

Es un tipo de censo, ya que se toma toda el área que abarca la población muestreada. Según (Ramírez, 2012). Una muestra censal es cuando todos los elementos de encuesta se suponen como muestra. Por lo tanto, una población de estudio se denomina población censal porque es un universo, una población y una muestra al mismo tiempo.

3.3.4. Unidad de análisis

Se consideró los suelos erosionados del Fundo Santa María en Arequipa

3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

- **Observación de imágenes satelitales.** La descarga de imágenes satelitales de Google earth son aptas para el programa ArcGIS y determinó la erosión del suelo en el Fundo Santa María en Arequipa. Según la NASA (2014), cuando miras imágenes de satélite, ves todo lo que hay entre el satélite y el suelo (nubes, polvo, niebla, suelo) en el mismo plano.

- **Análisis documental.** Se realizó la recopilación de la información necesaria a través de investigaciones realizadas de fuentes confiables.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

- Fichas de observación de imágenes satelitales.
- Fichas de análisis multitemporal de imágenes satelitales.
- Fichas de identificación de las principales actividades agrícolas en el Fundo Santa María en Arequipa.

3.5. Procedimiento

El desarrollo de la investigación es en base a 2 diferentes etapas de acuerdo al planteamiento del investigador.

3.5.1. Ubicación

El Fundo Santa María se encuentra ubicado en el distrito de La Joya, provincia y departamento de Arequipa. Este fundo cuenta con un área total de 26,62545 ha dedicadas a la actividad agrícola. (Figura 4).

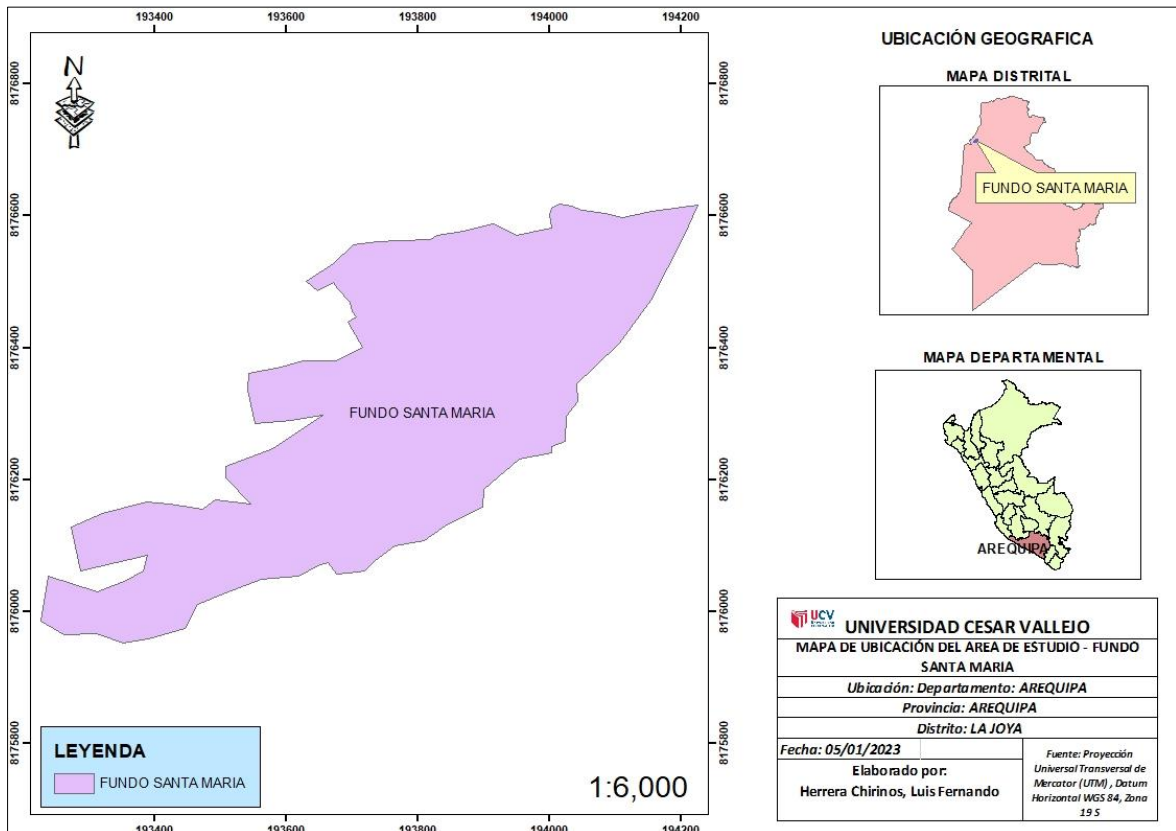


Figura 4: Ubicación del Área de estudio

Fuente: Elaboración propia, 2023

3.5.2. Etapa inicial

- Aprobación del tema de investigación.
- Recopilación de información de artículos indexados, revistas indexadas y tesis.
- Se realizó la instalación del programa ArcGIS en la máquina de trabajos para el proceso de elaboración de mapas.
- Se preparó instrumentos que serán empleados en la recaudación de información mediante el proceso de elaboración de mapas.
- Se realizó el reconocimiento del lugar de estudio mediante programas satelitales.
- Se recogió las muestras de suelo para posterior análisis en laboratorio. (Figura 5).



Figura 5: Extracción de muestras de suelo

3.5.3. Etapa final

- Se realizó las descargas de las imágenes satelitales de Google Earth Engine, de acuerdo a los años 2012, 2017 y 2022.
- Se delimitó el área de estudio para la identificación de los suelos erosionados por las diferentes actividades agrícolas realizadas en el Fundo Santa María en Arequipa.
- Se realizó la elaboración de los mapas por cada 5 años para determinar la evolución de erosión del suelo en relación a los años 2012 -2022.

- Se realizó la combinación de bandas (1,2,3) para la identificación de las actividades agrícolas que causan la erosión de suelos en el Fundo Santa María en Arequipa.
- Se efectuó análisis correspondientes a las áreas de erosión del suelo el Fundo Santa María en Arequipa en base a los mapas elaborados.
- Así mismo se realizó el cálculo de erosión de suelo según la formula universal USLE, para determinar la erosión en Tn/ (ha. año) según año de estudio.
- Para la determinación del factor R, se utilizó información de precipitaciones diarias y mensuales dadas por el SENAHMI. Las cuales fueron analizadas en una tabla de Microsoft Excel. (Tabla 6, 7 y 8).

Tabla 6: *Precipitación mensual –anual del año 2012 en mm – Estación Meteorológica La Joya*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1	2012	98.2	153.81	31.3	19.31	0	0	0	0	0	0.3	0	2.12	304.74

Fuente: Senahmi, 2023

Tabla 7: *Precipitación anual – mensual en el año 2017 en mm – Estación meteorológica La Joya*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1	2017	32.8	190.21	26.7	0	2.8	0.8	0	0	0	0	0	3.1	256.41

Fuente: Senhami, 2023

Tabla 8: *Precipitación mensual- anual en el año 2022 en mm, Estación meteorológica la Joya*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1	2022	117	133.31	69.8	0	11	14.3	8.2	2.9	0	6.4	0	88	450.84

Fuente: Senahmi, 2023

- Para el cálculo del factor R, se hizo empleo de la siguiente formula:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.5 \log_{10} \left(\frac{p_i^2}{p} \right) - 0.08188)}$$

- Insertar en el programa Excel =SI(Hoja2!D3>0;1.735*10^(1.5*LOG10(Hoja2!D3^2/Hoja2!\$P3)-0.08188);0)
- Con esta fórmula se obtiene la erosividad por cada año, (2012,2017 y 2022).

- Se efectuó cálculo del factor K para determinar erodabilidad del suelo.
- Para ello se aplicó los valores de arena, limo, arcilla, materia orgánica, código de estructura del suelo y código de permeabilidad. Véase en el anexo N° 2
- Después se procedió a desarrollar la siguiente formula:

$$K = 1.313 * [2.1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3)]/100$$

- Se usó la codificación según estructura de suelo donde: (Tabla 9).

Tabla 9: *Código de estructura de suelo*

Código USLE	Tipo de estructura
1	Granular muy fina
2	Granular fina
3	Granular media a gruesa
4	Bloques – laminar - masiva

Fuente: FAO, 2000

- Así mismo se usó la codificación según permeabilidad de suelo. (Tabla 10).

Tabla 10: *Código de permeabilidad*

Clase Textural	Código de permeabilidad
Franco limoso	3
Franco arcilloso arenoso	4
Franco arcilloso	6
Franco arenoso	2

Fuente: FAO, 2000

- Se calculó el factor LS para determinar la topografía y pendiente del área de estudio.
- Para ello se hizo uso de la tabla de Wischmeier y Smith, 1978. (Tabla 11).

Tabla 11: *Rango de pendientes*

Grupos de pendientes en %	Factor LS
0 – 3	0,3
3 -12	1,5
12 -18	3,4
18 -24	5,6
24 -30	8
30 - 60	14,6
60 – 70	20,2
70 – 100	25,2
>100	28,5

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978

- Donde según análisis realizado en el software Arcgis, el Fundo Santa María tiene una pendiente del 8% que es un valor de 1,5.
- Se procedió a calcular el factor C que corresponde a la vegetación o cobertura vegetal.
- Se le dio el valor según la tabla de valores de cobertura vegetal, demostrada en la tabla n° 3. ya que esta zona se dedica a la siembra de cebolla, paprika, ajo y tuna, se colocó en la clasificación de cultivos anuales y herbáceos, donde adquiere un valor de 0.25.
- Se realizó el cálculo del factor P que corresponde a las prácticas de conservación.
- Esto se realizó de acuerdo al porcentaje de la pendiente de 8%, dándole un valor de 0.14.
- De acuerdo a estos datos y formulas se realizó la interpretación anual de erosión en el Fundo Santa María.
- De acuerdo con el valor encontrado se realizó la comparación de acuerdo a la siguiente tabla 12:

Tabla 12: *Clasificación de pérdidas de suelo.*

Pérdida de suelo (Tn/ha-año)	Grado de erosión
<10	Ninguna o ligera
10 - 50	Moderada
50 – 200	Alta
>200	Muy alta

Fuente: FAO, 2000

- Interpretación de resultados.
- Presentación del informe final.
- Subsanación de observaciones.
- Sustentación final de la investigación.

3.6. Método de análisis de datos

El método de análisis para de los resultados se obtuvo mediante software ArcGIS 10.8 y para la construir gráficos y tablas se usó el programa Excel que facilitó el análisis e interpretación de los resultados. y posteriormente agregados a la investigación.

3.7. Aspectos éticos

El presente trabajo es original, los datos obtenidos son reales, respetando los derechos de cada autor en cada cita, creados a partir de fuentes confiables, la redacción estuvo administrada bajo el programa anti plagio turnitin estipulado por la Universidad Cesar Vallejo, aceptado en resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017-UCV emitida el 23 de mayo de 2017.7.

IV. RESULTADOS

4.1. Estado actual de los suelos en el Fundo Santa María, Arequipa.

De acuerdo a las visitas continuas realizadas al área de estudio, el Fundo Santa María cuenta con características en flora, fauna, cultivos, tipo de suelo, geomorfología y clima, las cuales se detalla a continuación:

4.1.1. Flora: La vegetación del área de estudio consiste en especies típicas de los desiertos costeros y especies que funcionan como semillas latentes que germinan solo durante eventos inusuales de estrés hídrico en las tierras altas de los Andes, formando un grupo independiente muy distinto en la vegetación del cañón seco. Estas especies han desarrollado varias adaptaciones al clima desértico. Las especies encontradas son: grama (*Cynodon dactylon*), Tuna (*Opuntia ficus-indica*), y Sauce (*Salix humboldiana*).

4.1.2. Fauna: En la fauna del desierto costero los reptiles son los animales más comunes y más adaptados, aunque los anfibios también se pueden encontrar solo en los ríos y valles que pasan por el desierto, en el área de estudio se encontraron las siguientes especies, Cernícalo Americano (*Falco sparverius*), Alcaraván, Huerequeque (*Burhinus superciliaris*) y Burro Cimarrón (*Equus asinus*).

4.1.3. Tipo de suelo: En cuanto al tipo de suelo que presenta el Fundo Santa María es Solonchak háplico - Leptosol éutrico. (Tabla 14) Además que cuenta con presencia de arena, limo, arcilla y materia orgánica en determinadas proporciones. (Anexo 2)

4.1.4. Geomorfología: La morfología del área de estudio muestra los rasgos geomorfológicos típicos de las planicies costeras, las cuales se caracterizan por vastas áreas muy suavemente inclinadas hacia el noreste, formadas como resultado de procesos de erosión y sedimentación, generalmente zonas desérticas sin vegetación.

4.1.5. Erosión: Presenta erosión eólica, seguido de erosión por tipo de actividades, la erosión hídrica no es tan representativa por la ausencia de lluvias.

4.1.6. Fisiografía: El distrito de la Joya presenta 8 tipos de fisiografía, pero son dos los que resaltan en el área de estudio que comprende el Fundo Santa María, tales como Colina y Montaña – Colina con un área de 2.6037 ha y Planicie – Valle y llanura irrigada con un área de 24.0336 ha. (tabla 18)

4.1.7. Capacidad de uso Mayor: Dentro del área de estudio Fundo Santa María con una clasificación de tierras de protección con un área de 24.31 ha y con tierras aptas para cultivo limpio de 2.32 ha. (tabla 20)

4.1.8. Geología: Esta en la era Cenozoico, con sistema cuaternario, de serie Pleistoceno y con una unidad estratigráfica de depósito aluvial, la cual está caracterizada por presentar gravas, arena en matriz, limo arenosas, arenas y arcillas.

4.1.9. Clima: En este apartado se deben evaluar las variables meteorológicas: precipitación, temperatura, velocidad y dirección del viento. Los datos meteorológicos considerados en este análisis corresponden a la estación meteorológica de La Joya, la cual se observa a continuación:

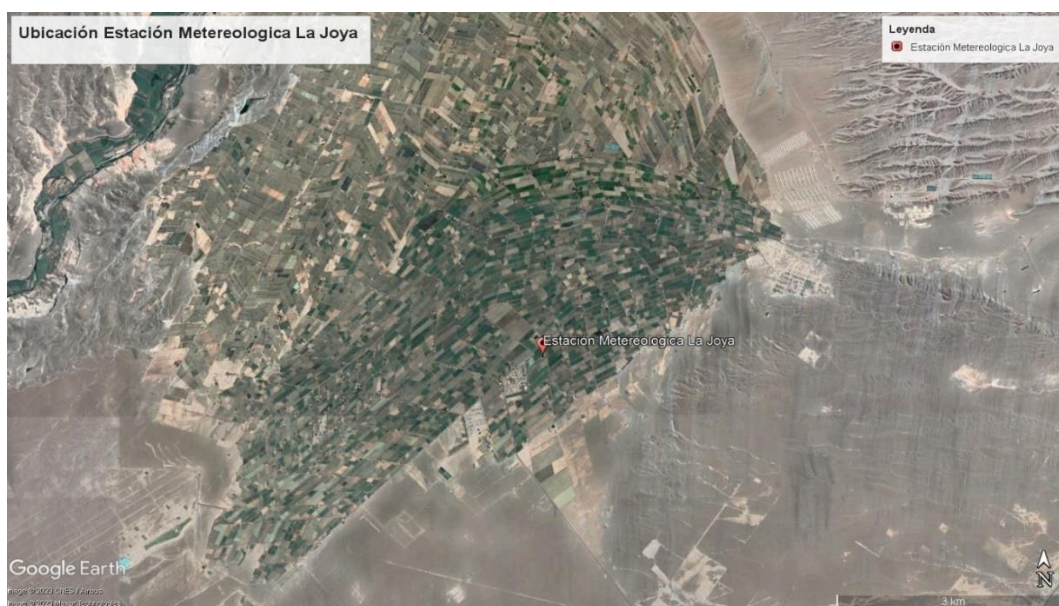


Figura 6: Ubicación de la Estación Meteorológica La Joya

Fuente: Google Earth Engine, 2023

En cuanto a las precipitaciones, los meses con presencia de lluvia son de enero a marzo, con una máxima de 12.7 mm y una mínima de 1.2 mm. De acuerdo a la temperatura tiene un máximo de 28°C y una mínima de 12°C. Con base en datos del Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional (SENAMHI) en la estación La

Joya, se analizó el diagrama de rosa de los vientos adjunto y se observó que la velocidad del viento varió de 0.5 a 2.1 m/s y la dirección principal del viento era del suroeste. y luego voló hacia el noreste (NE)

4.1.10. Actividades que se realizan: De acuerdo a las continuas visitas se ha logrado constatar que se dedican a la siembra de paprika, maíz y tuna, en el que el cultivo de maíz ocupa más de la tercera parte que comprende el área total del terreno. Así mismo se identificó alrededor de 30 cabezas ganado, destinado especialmente para la elaboración, producción y venta de productos lácteos dentro del distrito de La Joya. A continuación, se puede observar las parcelas de tuna, paprika, maíz y ganados. (Figura 7, 8, 9 y 10).



Figura 7: Cultivos de maíz



Figura 8: Cultivos de ají paprika



Figura 9: Cultivos de Tuna



Figura 10: Ganadería dentro del Fundo Santa María.

4.2. Evolución en la erosión de suelos generados por la actividad agrícola en el Fundo Santa María, en el período de 2012 a 2022.

4.2.1. Mapas de información física del área de estudio del Fundo Santa María

Con respecto al mapa de suelos, se hizo la identificación de tipos de suelo en el programa Arcgis 10.8, donde mediante el catálogo de Metadatos Perú - MINAM, se obtuvo el Shape de suelos, donde el distrito de La Joya cuenta con suelo tipo Leptosol lítico (Afloramiento lítico) que tiene un área total de 27762.864 ha y Solochank Háplico (Leptosol eutrico) que tiene un área total de 41937.83611 ha. Así mismo se identificó que el tipo de suelo en el área de estudio Fundo Santa María es Solochank Háplico (Leptosol eutrico) el cual tiene un área de 26.6373 ha, destinado especialmente para actividad agrícola.

Tabla 13: Tipo de suelo del distrito de la Joya

N°	CLASIFICACIÓN	ÁREA (Ha)	AREA(m2)
1	Leptosol lítico - Afloramiento lítico	27762.864	277628641.1
2	Solonchak háplico - Leptosol éutrico	41937.836	419378361.1

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 14: Área total del tipo de suelo del Fundo Santa María

N°	CLASIFICACIÓN_ FUNDO SANTA M.	ÁREA (Ha)	AREA(m2)
1	Solonchak háplico - Leptosol éutrico	26.6373	266373.334

Fuente: Elaboración propia, 2023

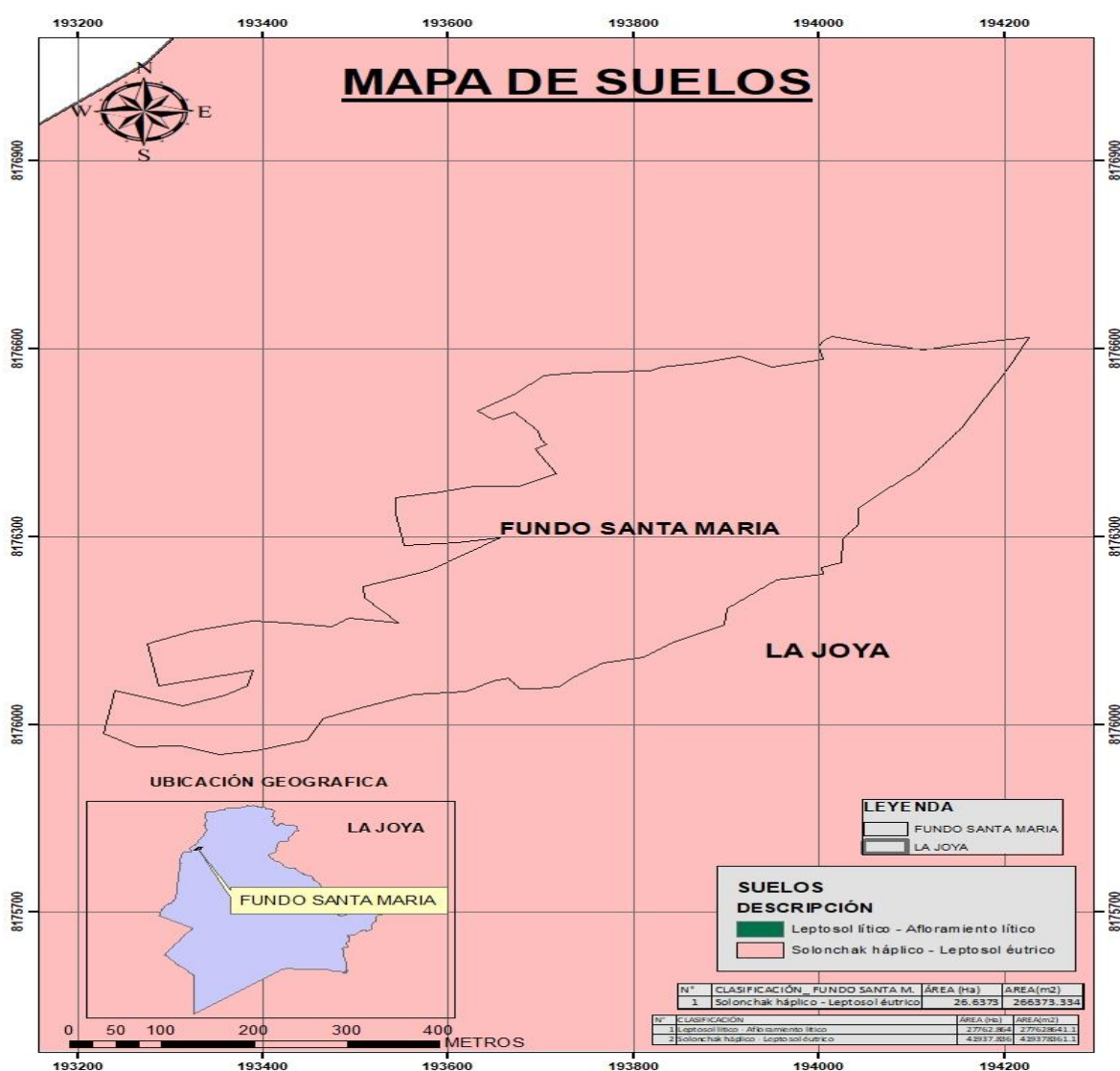


Figura 11: Mapa de suelos

Fuente: Elaboración propia, 2023

4.2.2. Mapa de cobertura vegetal del Fundo Santa María

De acuerdo al mapa siguiente, se identificó la cobertura vegetal con la que cuenta el distrito de La Joya, para ello también se descargó dicho Shapefile del catálogo de metadatos Perú _ MINAM, donde se demuestra que el área de estudio está determinada para agricultura andina costera el cual un abarca un área total de 26.64 ha. Así mismo el distrito de La Joya cuenta con otras clasificaciones como, agricultura costera andina que tiene un área total de 7710.71 ha, el área urbana comprende a 51.70 ha, cuenta con desiertos de 53191.69 ha y tiene terrenos poblados de cardones de 8773.17 ha. (Tabla 15 y 16) (Figura 12).

Tabla 15: *Clasificación de cobertura vegetal del distrito de la Joya.*

N°	CLASIFICACIÓN	ÁREA (Ha)	ÁREA (m2)
1	Agricultura costera andina	7710.71	77107065.11
2	Área urbana	51.70	516971.62
3	Desierto	53191.69	531916909
4	Cardonal	8773.17	87731681.56

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 16: *Área total de cobertura vegetal del Fundo Santa María*

N°	CLASIFICACIÓN	AREA(m2)	AREA (Ha)
1	Agricultura costera y andina	266373.32	26.64

Fuente: Elaboración propia, 2023



Figura 12: Mapa de cobertura vegetal

Fuente: Elaboración propia, 2023

4.2.3. Mapa de fisiografía del Fundo Santa María

Según el análisis del siguiente mapa se muestra dos zonas fisiográficas dentro del área de estudio que comprende el Fundo Santa María tales como, Colina y montaña que tiene un área de 2.60 ha y planicie – valle y llanura irrigada que cuenta con un área de 24.0336 ha. Así mismo dentro del territorio de La Joya se logró identificar, el área total de colina y montaña que es de 15629.23 ha, colina y montaña - vertiente montañosa empinada a escarpada de 10924.93 ha, montaña - vertiente montañosa empinada a escarpada de 4184.86 ha, colina y montañosa - vertiente montañosa moderadamente empinada de 15.80 ha, planicie –valle y llanura irrigada

de 3458.6 ha, planicie ondulada a disectada – llanura ondulada de 24941.01 ha, planicie ondulada a disectada – llanura disectada de 1331 ha y planicie – llanura de 8080.75 ha. (Tabla 17 y 18) (Figura 13).

Tabla 17: *Clasificación fisiográfica en el distrito de La Joya.*

N°	CLASIFICACIÓN	ÁREA (Ha)	Área (m2)
1	Colina y Montaña - Colina	15629.23	156292330.52
2	Colina y Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	10924.93	109249369
3	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	4184.86	41848693.38
4	Colina y Montañosa - Vertiente montañosa moderadamente empinada	15.80	158005.82
5	Planicie - Valle y llanura irrigada	3458.6	34586022.47
6	Planicie Ondulada a Disectada - Llanura ondulada	24941.01	249410050.5
7	Planicie Ondulada a Disectada - Llanura disectada	1330.99	13309973.33
8	Planicie - Llanura	8080.75	24941.01

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 18: *Área total de la clasificación fisiográfica en el Fundo Santa María*

N°	CLASIFICACIÓN	AREA(m2)	AREA (Ha)
1	Colina y Montaña - Colina	26037.359	2.6037
2	Planicie - Valle y llanura irrigada	240335.96	24.0336

Fuente: Elaboración propia, 2023

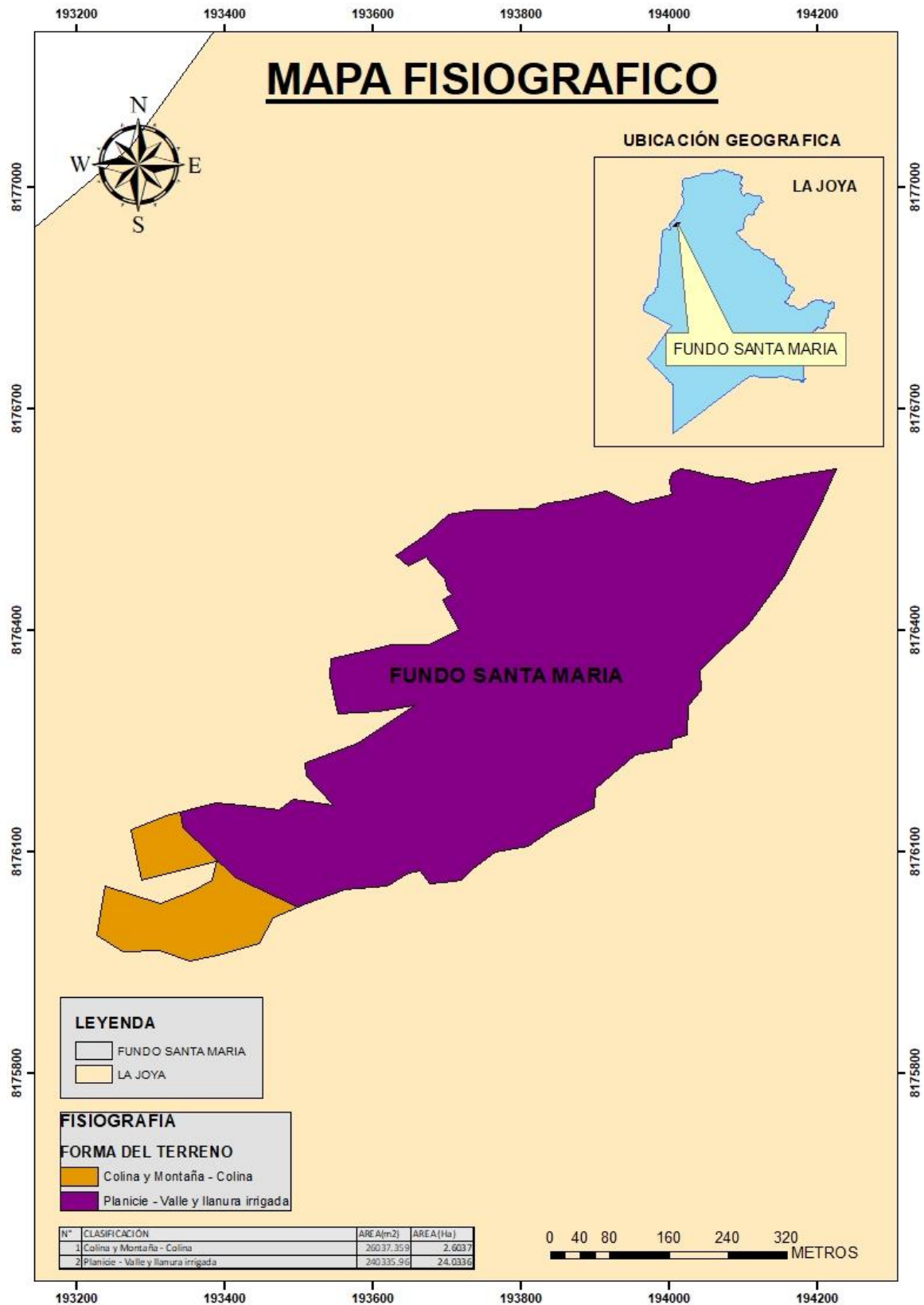


Figura 13: Mapa fisiográfico

Fuente: Elaboración propia, 2023

4.2.4. Mapa de capacidad de uso mayor del Fundo Santa María

Se obtuvo un mapa de uso mayor de uso del suelo del catálogo de metadatos Perú-MINAM y se aplicó al distrito de La Joya. La capacidad de alto uso se precisa como el potencial uso que un área desarrolla más allá de su capacidad diversa; Las siguientes unidades se pueden encontrar en el área de La Joya. (Tabla 19 y 20) (Figura 14).

Tabla 19: *Clasificación de capacidad de uso mayor en el distrito de La Joya*

N°	CLASIFICACIÓN	ÁREA (Ha)	ÁREA (m2)
1	Tierra apta para cultivo permanente, limitación suelo-necesidad de riego. Cálidad agrológica alta	441.21	4412149.60
2	Tierra de Protección	52007.85	520078530.7
3	Tierras aptas para cultivo en limpio (intensivo-arable), Limitación necesidad de riego. Cálidad agrológica alta	2166.48	21664751.32
4	Tierras aptas para cultivo en limpio (intensivo-arable), Limitación suelo-necesidad de riego. Cálidad agrológica alta	2971.80	29717996.44
5	Tierras aptas para cultivo en limpio (intensivo-arable), Limitación suelo-necesidad de riego. Cálidad agrológica media	12064.95	120649513.35

Fuente: Elaboración propia, 2023

Así mismo se identificó el área total de la clasificación de capacidad de uso mayor en el Fundo Santa María, estos son:

Tabla 20: *Clasificación de capacidad de uso mayor – Fundo Santa María*

N°	CLASIFICACIÓN	ÁREA (Ha)	AREA(m2)
1	Tierra de protección	24.31	243052.9
	Tierras aptas para cultivo en limpio (intensivo-arable), Limitación necesidad de riego. Cálidad		
2	Agrológica alta.	2.32	23201.595

Fuente: Elaboración propia, 2023

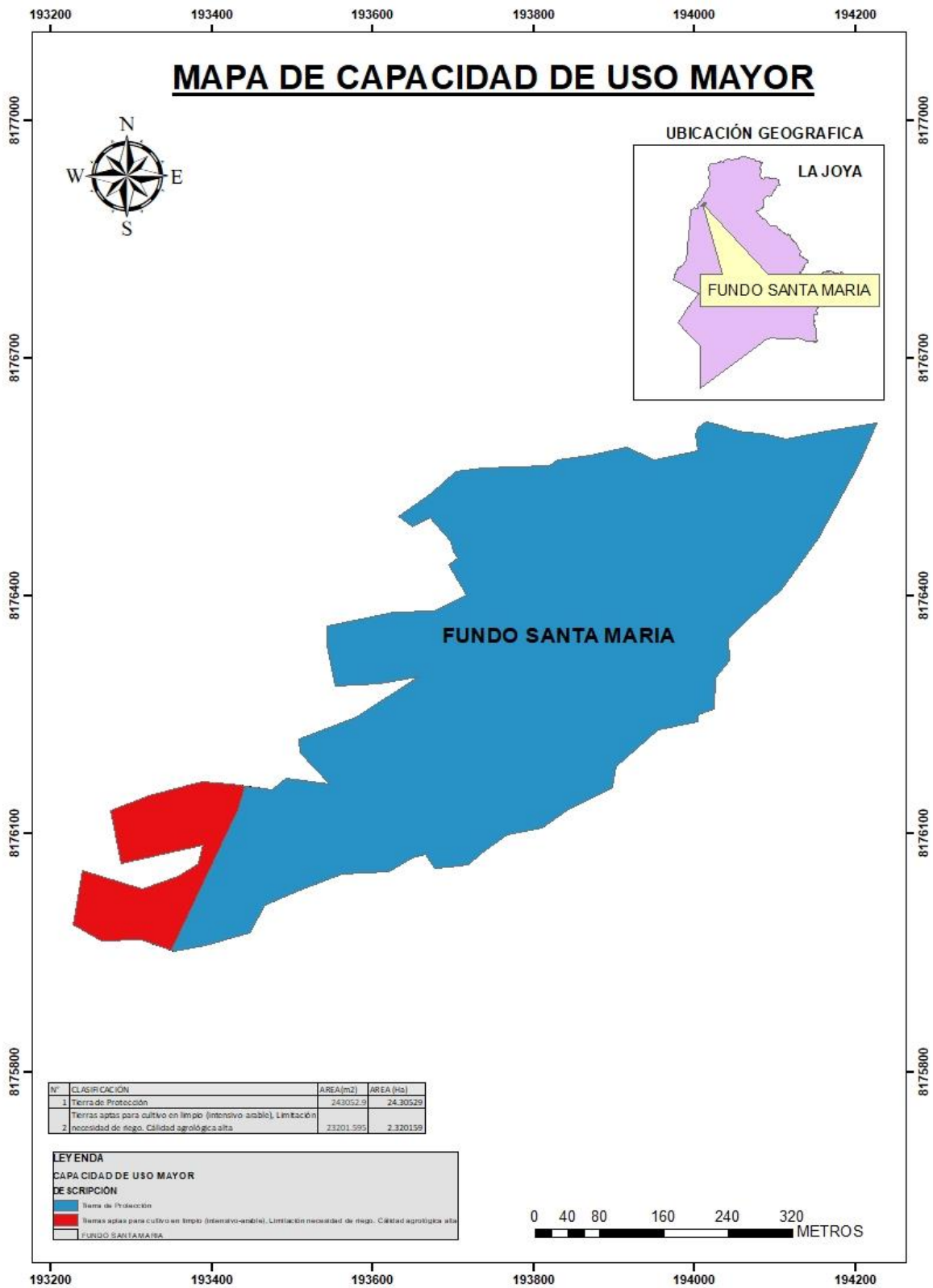


Figura 14: Mapa de capacidad de uso mayor

Fuente: Elaboración propia, 2023

4.2.5. Mapa de pendientes del Fundo Santa María

Fue formado el mapa de Pendientes dado los métodos mencionados en el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009). (Tabla 21) (Figura 15).

Tabla 21: *Rangos según pendiente*

Clase de pendiente	Rango de pendiente (%)	Termino descriptivo
A	0-2	Plana o casi a nivel
B	2-4	Ligeramente inclinada
C	4-8	Moderadamente inclinada
D	8-15	Fuertemente inclinada
E	15-25	Moderadamente empinada
F	25-50	Empinada
G	50-75	Muy empinada
H	<75	Extremadamente inclinada

Fuente: FAO, 2000

También de acuerdo a la elaboración del mapa de pendientes se ha identificado el rango con el que cuenta el distrito de la Joya el cual es de 0%- 8% y 8% - 25% que va desde moderadamente inclinado a moderadamente empinada, así mismo para la zona de estudio que comprende el Fundo Santa María se identificó que tiene una pendiente del 8%.

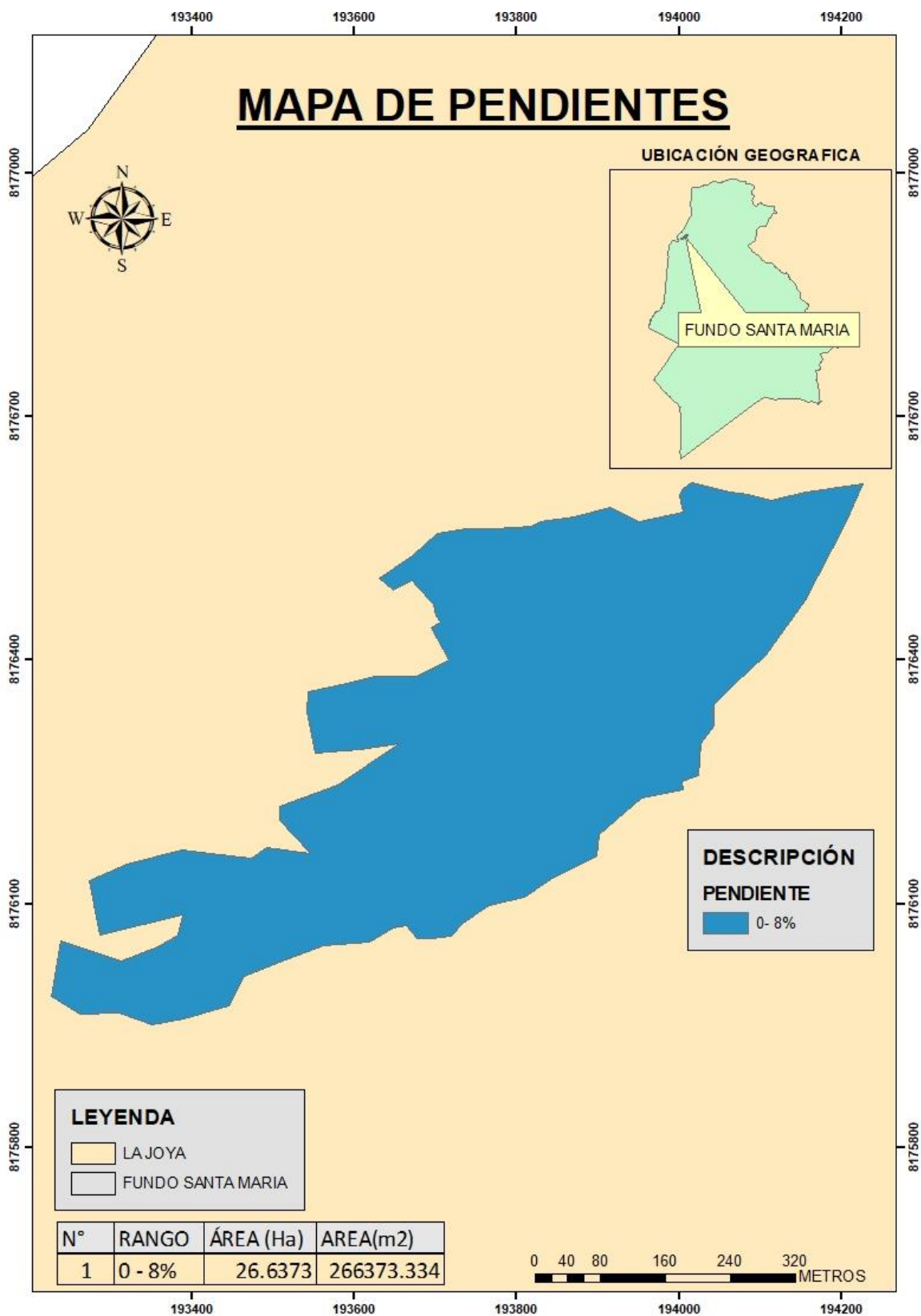


Figura 15: Mapa de pendientes

Fuente: Elaboración propia, 2023

4.2.6. Erosión del año 2012, Fundo Santa María

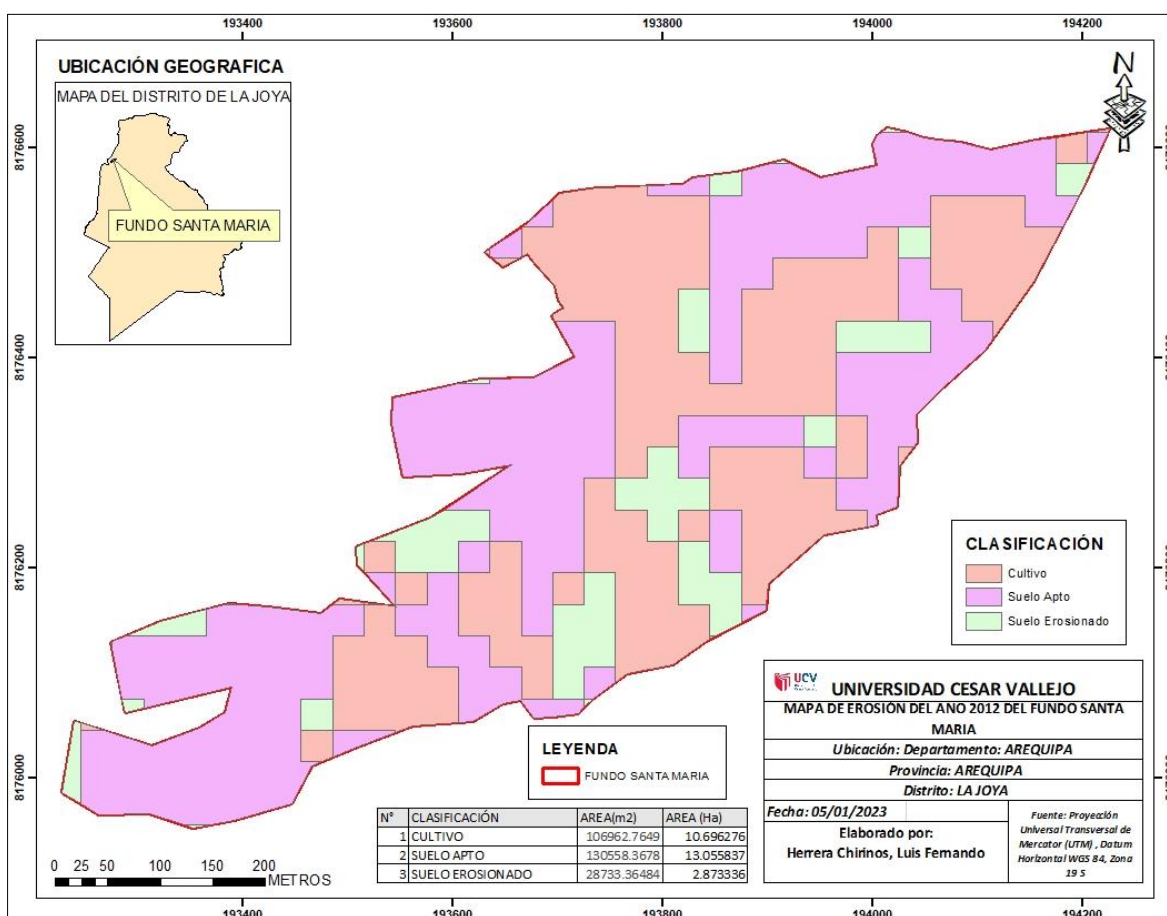


Figura 16: Mapa de erosión del año 2012, Fundo Santa María

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la figura 16 mediante el mapa se realizó un análisis de imágenes satelitales del correspondiendo a la fecha de 09 de agosto del 2013 del 2012, teniendo como área de estudio el Fundo Santa María, ubicado en el distrito de La Joya, donde se da a conocer el total de áreas de cultivos, suelo apto y suelo erosionado, demostrando que el área de cultivo es de 10.6962ha, suelo apto tiene un área total de 13.055 ha y suelo erosionado 2.873 ha.

4.2.6.1. Factor R

Para ello se detalló la siguiente fórmula para encontrar la erosividad originada por las lluvias en el año 2012, siendo esta:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.5 \log_{10} \left(\frac{pi^2}{p} \right) - 0.08188)}$$

Insertar en el programa Excel
 =SI(Hoja2!D3>0;1.735*10^(1.5*LOG10(Hoja2!D3^2/Hoja2!\$P3)-0.08188);0)

Tabla 22: *Erosividad de la lluvia año 2012*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1	2012	255.78	982.8	8.28	1.94	0	0	0	0	0	0	0	0	1248.84

Fuente: Elaboración propia, 2023

$$R = 1248.84 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}$$

4.2.6.2. Determinación del Factor K

Se establece la siguiente fórmula para el cálculo de la erodabilidad del suelo. Siendo así:

$$K = 1.313 * \frac{[2.1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3)]}{100}$$

$$K = 1.313 * \frac{[2.1 * 10^{-4} * (12 - 0.92) * 61115.6^{1.14} + 3.25(3 - 2) + 2.5(2 - 3)]}{100}$$

$$K = 1.313 * \frac{[0.00021 * 11.08 * 20727.2 + 3.25 - 2.5]}{100}$$

$$K = 1.313 * 0.49$$

$$K = 0.64337 \text{ ton - ha - h/ha - MJ - cm}$$

4.2.6.3. Factor LS

Puesto que este lugar cuenta con una pendiente del 8% se le asigna el valor de 1.5.

4.2.6.4. Factor C

Se da el valor según la tabla n° 3 de valores de cobertura vegetal que es de 0.25, pues esta área cosecha cultivos anuales y herbáceos tales como la maíz, paprika y tuna.

4.2.6.5. Factor P

Se utilizó la tabla n° 4 que según el rango de pendiente que es de 8% se le asigna el valor de 0.10.

4.2.6.6. Cálculo de erosión del suelo en el año 2012

$$A=R * K * L * S * C * P$$

$$A=1248.84*0.64337*1.5*0.25*0.10$$

$$A= 30.13 \text{ Tn/ (ha. año)}$$

De acuerdo con esta fórmula, se detalla que la erosión alcanzada en el año 2012 que es de un total de 30.13 Tn/ (ha. año), el cual ha sido ocasionado en gran parte por las lluvias dadas a inicios y finales de este año y por otra parte a la actividad agrícola que allí se realiza. Así mismo se clasifica como una erosión moderada de acuerdo a la tabla n° 12.

4.2.7. Erosión del año 2017, Fundo Santa María

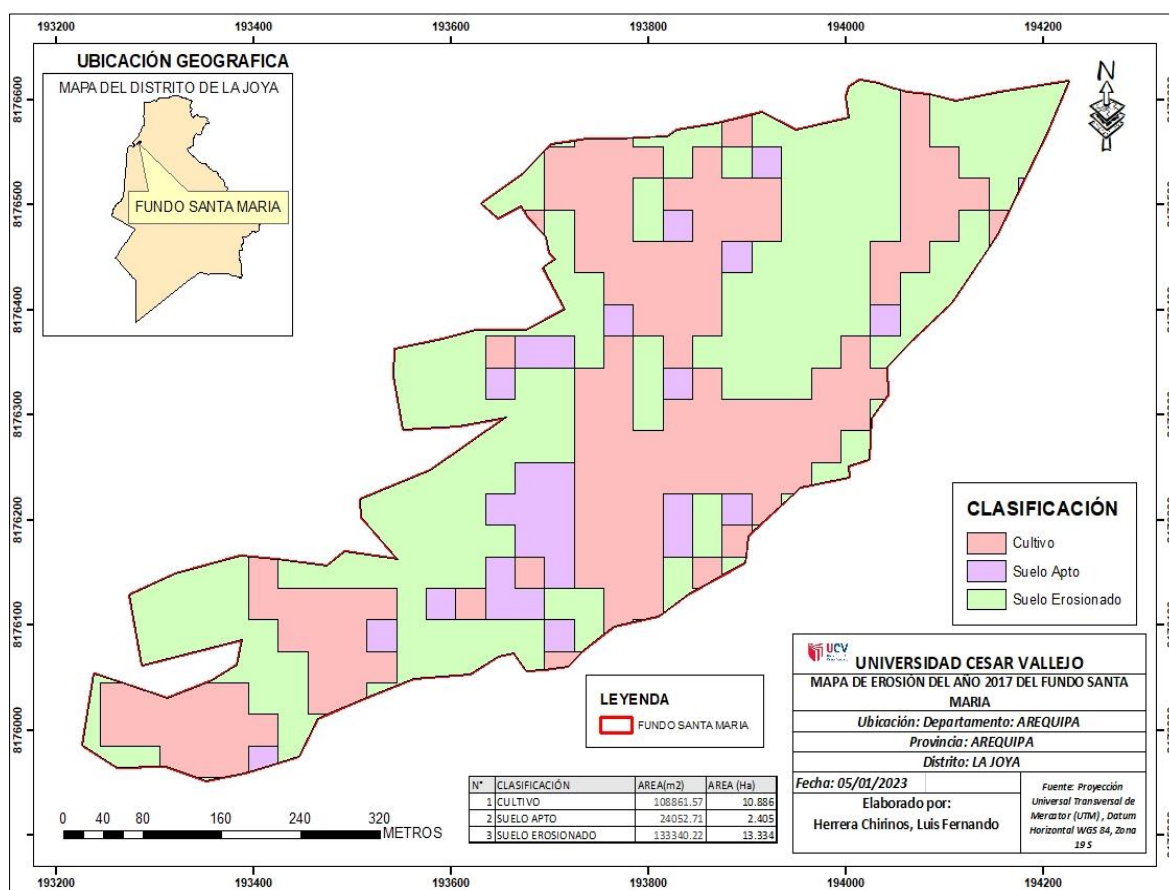


Figura 17: Mapa de erosión del año 2017, Fundo Santa María

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la figura 17 mediante el mapa se realizó el análisis de imágenes satelitales, correspondiente a la fecha de 11 de junio del 2017 en el Fundo Santa María, donde

se logró clasificar por cultivo, suelo apto y suelo erosionado. Donde El área total de cultivo fue de 10.886 ha, seguido de suelo apto que cuenta con un área de 2.405 ha y por último suelo erosionado con un área de 13.334 ha.

4.2.7.1. Determinación del factor R

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.5 \log_{10}(\frac{p_i^2}{p}) - 0.08188)}$$

Insertar formula en Excel:
 =SI(Hoja2!D3>0;1.735*10^(1.5*LOG10(Htoja2!D3^2/Hoja2!\$P3)-0.08188);0)

Tabla 23: *Erosividad de la lluvia en el año 2017*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
2	2017	12.349	2408	6.66	0	0.01	0.0002	0	0	0	0	0	0	2427.36

Fuente: Elaboración propia, 2023

$$R = 2427.36 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}$$

4.2.7.2. Determinación del factor K

Para determinar el factor de erodabilidad del suelo o factor k, se establece la siguiente formula:

$$K = 1.313 * \frac{[2.1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3)]}{100}$$

$$K = 1.313 * \frac{[2.1 * 10^{-4} * (12 - 0.92) * 61115.6^{1.14} + 3.25(3 - 2) + 2.5(2 - 3)]}{100}$$

$$K = 1.313 * \frac{[0.00021 * 11.08 * 20727.2 + 3.25 - 2.5]}{100}$$

$$K = 1.313 * 0.49$$

$$K = 0.64337 \text{ ton - ha - h/ha - MJ - cm}$$

4.2.7.3. Factor LS

Ya que este lugar cuenta con una pendiente del 8% se le da el valor de 1.5.

4.2.7.4. Factor C

Se le asigna el valor de 0,25, pues representa a una zona en el cual se dedican a la siembra y cosecha de cultivos anuales y herbáceos tales como a paprika, maíz y tuna.

4.2.7.5. Factor P

Para el cálculo de este factor se utilizó la tabla n° 4 que según el rango de pendiente que es de 8% se le asigna el valor de 0.10.

4.2.7.6. Cálculo de erosión del suelo en el año 2017

$$A=R * K * L * S * C * P$$

$$A=2427.36*0.64337*1.5*0.25*0.10$$

$$A= 59 \text{ Tn/ (ha. año)}$$

De acuerdo con el desarrollo de esta fórmula, se da a conocer el total de erosión en el año 2017 que tiene un total de 59 Tn/ (ha. año), siendo el principal factor de erosión la lluvia generada en el distrito y por ende en el área de estudio. En este año se considera una erosión alta esto según la tabla n° 12.

4.2.8. Erosión del año 2022, Fundo Santa María

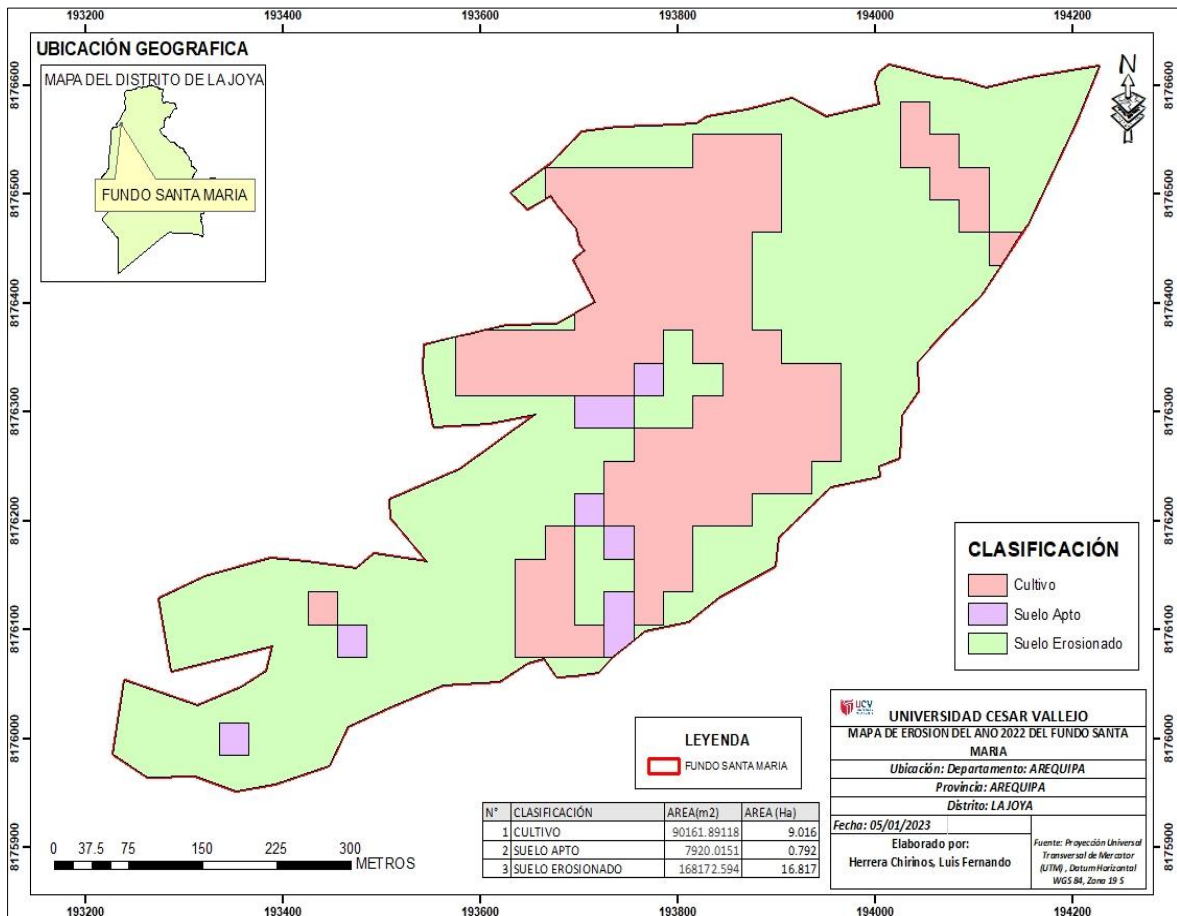


Figura 18: Mapa de erosión del año 2022, Fundo Santa María

Fuente: Elaboración propia, 2023

Según la figura 18, se da a conocer el análisis de imágenes satelitales correspondientes a la fecha de 14 de septiembre del 2022, teniendo como área de estudio el Fundo Santa María, donde se logró determinar que el área total de cultivo fue 9.016 ha, seguido del área total de suelo apto de 0.792 ha y suelo erosionado de 16.817 ha.

4.2.8.1. Determinación del factor R

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735x10^{(1.5\log_{10}\left(\frac{p_i^2}{p}\right)-0.08188)}$$

Insertar formula en el programa Excel:

SI(Hoja2!D3>0;1.735*10^(1.5*LOG10(Hoja2!D3^2/Hoja2!\$P3)-0.08188);0)

Tabla 24: *Erosividad de la lluvia en el año 2022*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
3	2022	240.59	355.6	51	0	0.2	0.4389	0.08	0.004	0	0.04	0	102	749.951

Fuente: Elaboración propia, 2023

$$R = 749.951 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}$$

4.2.8.2. Determinación del factor K

Para el cálculo del factor k se aplicó la siguiente formula:

$$K = 1.313 * \frac{[2.1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3)]}{100}$$

$$K = 1.313 * \frac{[2.1 * 10^{-4} * (12 - 1.3) * 2733.548^{1.14} + 3.25(3 - 2) + 2.5(2 - 3)]}{100}$$

$$K = 1.313 \frac{[0.00021 * 10.7 * 8276.9 + 3.25 - 2.5]}{100}$$

$$K = 1.313 * 0.193$$

$$K = 0.2534 \text{ ton - ha - h/ha - MJ - cm}$$

4.2.8.3. Factor LS

Ya que el área de estudio cuenta con una pendiente del 8% a este se le asigna el valor de 1.5.

4.2.8.4. Factor C

Ya que el Fundo Santa María se dedica a la siembra de paprika, maíz y tuna, perteneciendo al grupo de cultivos anuales y herbáceos se le asigna el valor de 0.25.

4.2.8.5. Factor P

Según el rango de pendiente de 8 % se le asigna el valor de 0.10.

4.2.8.6. Cálculo de erosión del suelo en el año 2022

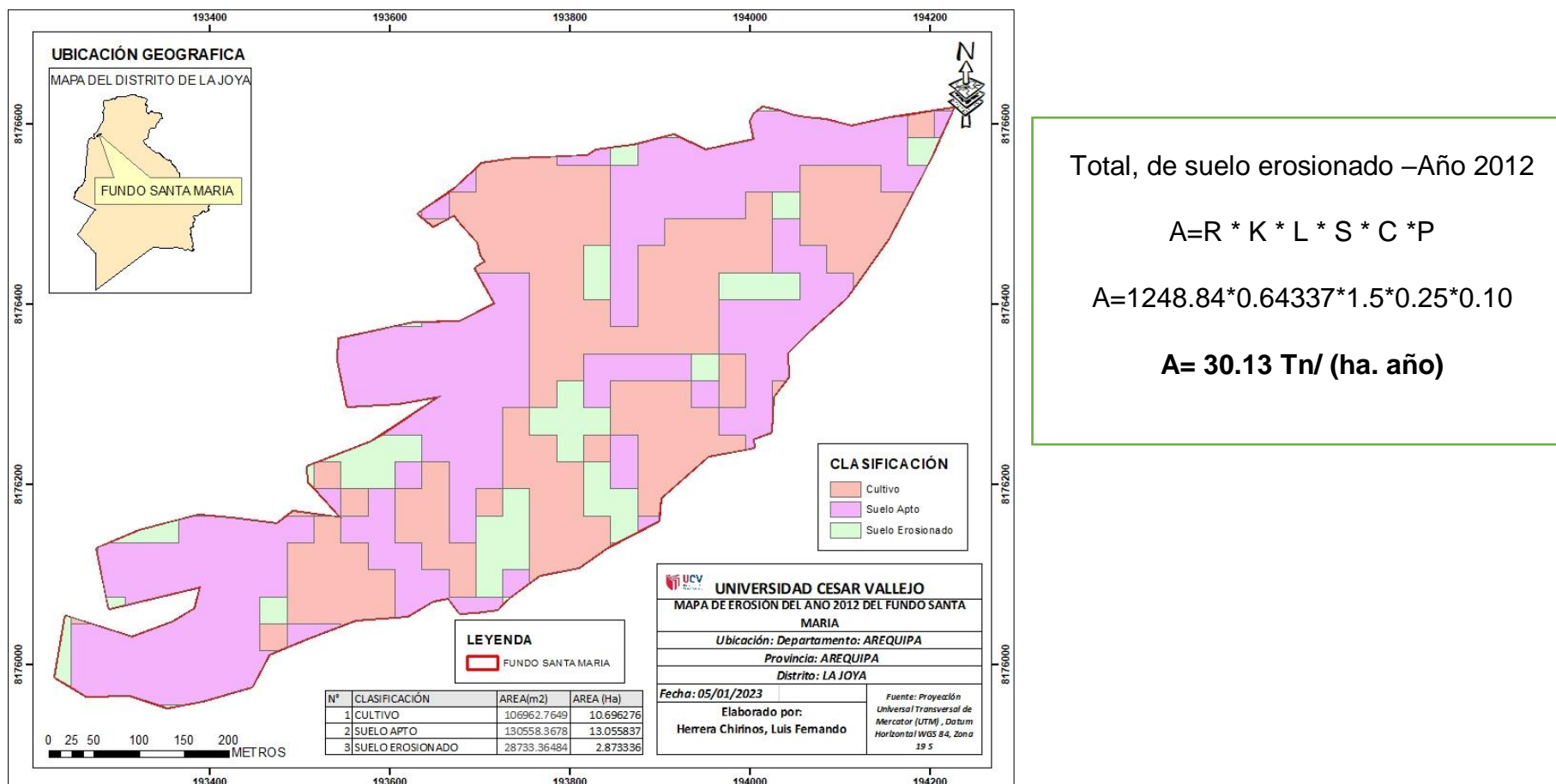
$$A=R * K * L * S * C * P$$

$$A= 749.951*0.2534*1.5*0.25*0.10$$

$$\mathbf{A= 7.12 Tn/ (ha. año)}$$

De acuerdo con el desarrollo de esta fórmula, se da a conocer el total de erosión del año 2022 que tiene un total de 7.12 Tn/ (ha. año), un nivel de erosión muy bajo por la ausencia de lluvias y por ello se consideró una temporada seca. Esta erosión se considera ninguna o ligera, debido a que no hubo demasiadas lluvias y ausencia de siembra.

4.3. Relación que existe entre la erosión del suelo y el uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María, Arequipa.



Total, de suelo erosionado –Año 2012

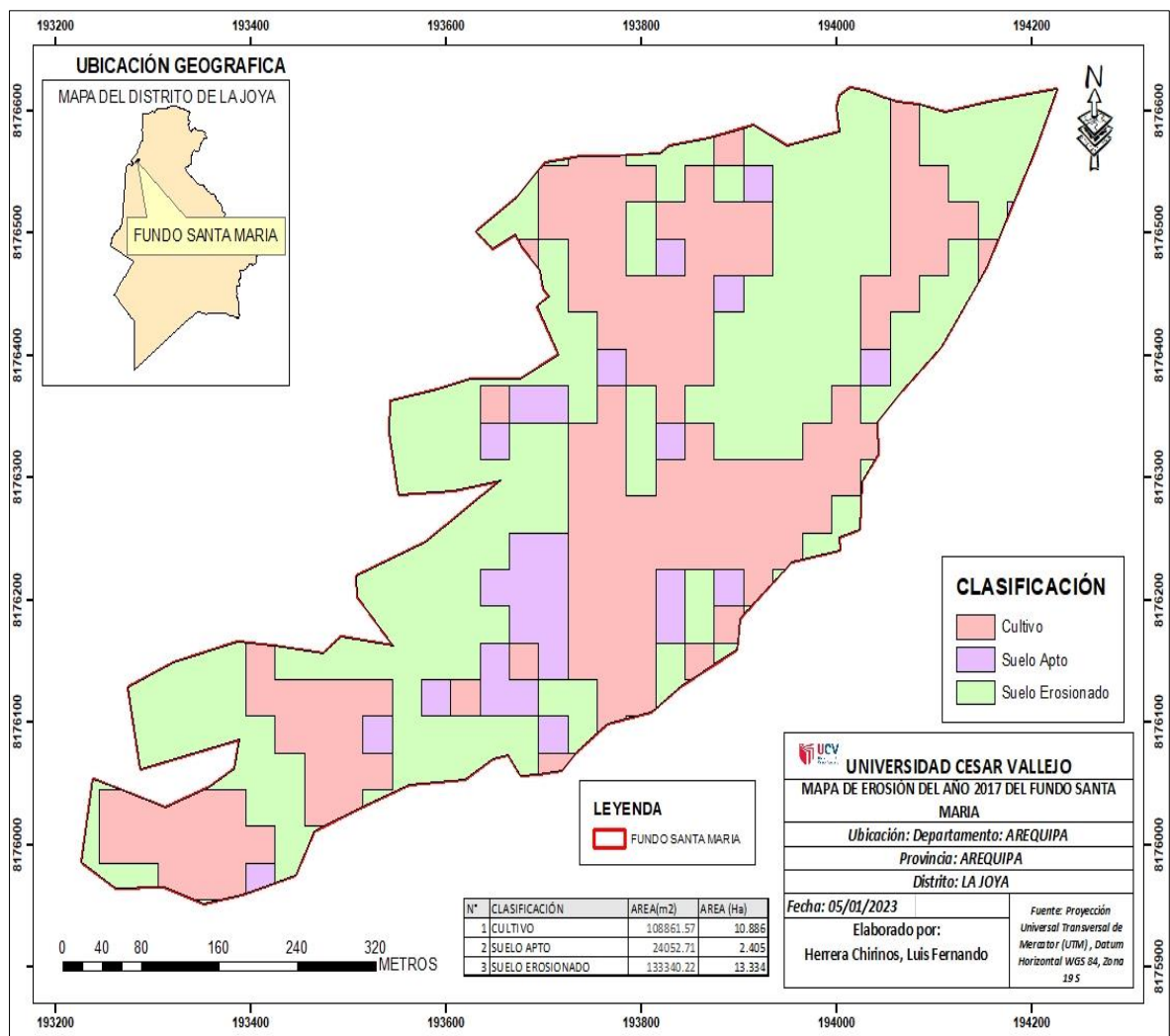
$$A=R * K * L * S * C * P$$

$$A=1248.84*0.64337*1.5*0.25*0.10$$

$$A= 30.13 \text{ Tn/ (ha. año)}$$

Figura 19: Relación entre la erosión de suelo y el uso de imágenes satelitales, año 2012.

De acuerdo a la figura 19, dan a entender el total de suelo erosionado según análisis matemático y análisis de imágenes satelitales, se determina que existen diferentes resultados, los cuales están expresadas una en Tn/ (ha. año) y otra en m² y ha, respectivamente. Por ejemplo, para determinar suelo erosionado mediante imagen satelital se realizó la clasificación de uso de suelos, en el que el suelo erosionado tenía un total de 2.873336 ha, además que por criterio de observación se identificó por suelo desnudo como suelo erosionado, sin embargo, mediante la ecuación universal de erosión de suelos este tenía un valor distinto de 30.13 Tn/ (ha. año), esto porque intervinieron distintos valores tales como la precipitación anual, textura de suelo (%arena, %limo y %arcilla) determinada por análisis de suelo en laboratorio, tipo de actividades, pendiente, topografía y prácticas de conservación. Ambas técnicas son eficaces para la determinación de erosión de suelo, pues se complementan entre sí, pero para resultados ideales y con un rango de error mínimo es recomendable el uso de análisis de suelo actuales y el uso de análisis matemáticos.



Total, de suelo erosionado, año 2017

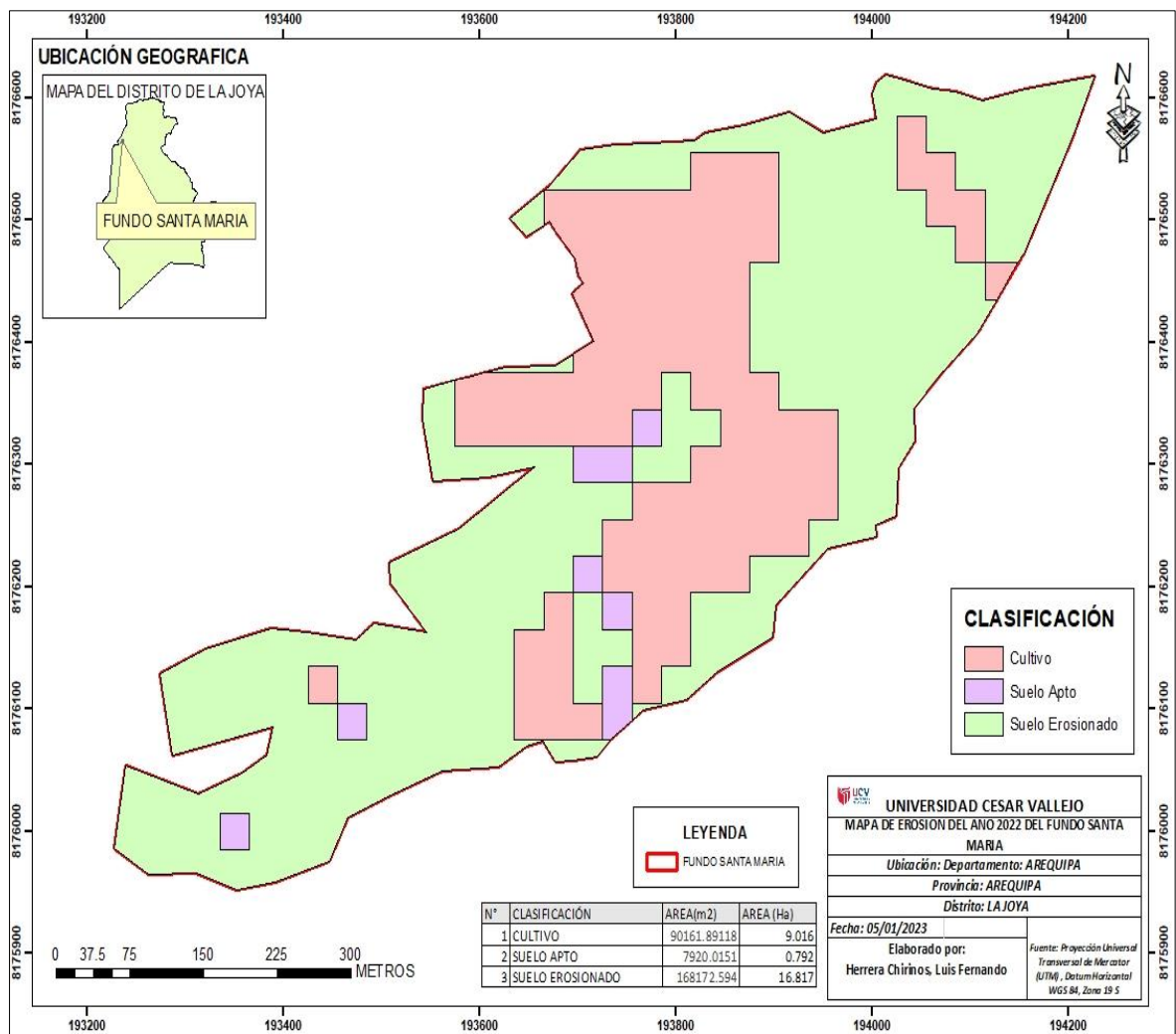
$$A=R * K * L * S * C * P$$

$$A=2427.36*0.64337*1.5*0.25*0.10$$

A= 59 Tn/ (ha. año)

Figura 20: Relación entre la erosión del suelo y el uso de imágenes satelitales, año 2017.

Según la figura 20, se demostró el total de erosión de suelos expresadas en hectáreas esto de acuerdo al uso de imágenes satelitales y $Tn/(ha.año)$ esto por el uso de la ecuación universal de erosión de suelos, dadas en el año 2017. Como se puede observar, ambos resultados se han incrementado a comparación del año 2012, esto por la variación en datos meteorológicos con respecto a la precipitación dada en el año 2017, pues según el SENAEMI fue un año en el que se vio mayor presencia de lluvias. Así mismo, se observa que según el uso de imágenes satelitales el área erosionada tiene un total de 13.334 ha, esto de acuerdo a la observación de suelo expuesto o desnudo, sin embargo, mediante el uso de la ecuación universal el resultado fue de 59 $Tn/(ha. año)$, esto por los distintos valores dados por la textura del suelo del área de estudio, pendiente, topografía, total de precipitaciones, entre otros. Ambos métodos son eficaces para determinar erosión, pero con una diferencia en resultados, pues el con el uso de imágenes satelitales se determina ciertas áreas solo con observación y procesamiento en el programa Arcgis 10.8, sin embargo, mediante análisis matemáticos, se usa datos o valores dados por la FAO y por análisis del propio terreno, los cuales resultan ser más eficientes en cuanto cálculo de erosión de suelo por cada año.



Total, de erosión de suelo, año 2022

$$A=R * K * L * S * C * P$$

$$A= 749.951*0.2534*1.5*0.25*0.10$$

$$A= 7.12 \text{ Tn/ (ha. año)}$$

Figura 21: Relación entre la erosión del suelo y las imágenes satelitales, año 2022.

De acuerdo a la figura 21, el cual da a conocer la correlación entre la erosión del suelo y el uso de imágenes satelitales en el año 2012, se determina que existe relación, pero el resultado por ambas es distinto, pues ambos se usan para la identificación de erosión del suelo, pero se realizan con distinto procesamiento.

Mediante el uso de imágenes satelitales se determinó que existe una erosión de suelo de 16.817 ha, 3 hectáreas más en comparación con el año 2017, sin embargo, mediante la ejecución de la ecuación universal de erosión de suelos se determinó que en el año 2022 la erosión del terreno fue de 7.12 Tn/ (ha. año). Ambos métodos son comúnmente usados para la determinación de erosión de suelos, con una diferencia de que mediante el empleo de imágenes satelitales se calcula el área(ha) y por la ecuación se calcula la masa (Tn), además que influyen datos del factor precipitación, topografía, pendiente, prácticas de conservación y actividades que allí se realizan. También se logra observar que en ese año el valor de erosión alcanzada es mucho menor en comparación con los demás años estudiados, ello debido a la ausencia de lluvias en todo el año, es por eso que se consideró como una temporada seca en dicha provincia y por ende el distrito de La Joya, por esto no se realizó mucho la siembra de cultivos, debido a la ausencia de agua para riego. Si bien es cierto, la provincia de Arequipa tiene pocas precipitaciones que ocurren entre los meses enero y marzo, estas no superan los 1000 mm por año, es por ello que la erosión no es tan significativa como en lugares con clima tropical.

V. DISCUSIÓN

En el presente estudio se estableció el estado actual de los suelos del Fundo Santa María, en donde mediante características físicas como la flora presente en el área el cual está comprendida entre la presencia de gramas, tunas y árboles de sauce, este fundo también tiene un suelo de tipo Solonchak háplico - Leptosol éutrico, además que sus caracteres geomorfológicos son propios de llanuras costeras, presenta en su mayoría erosión eólica. Así mismo presenta una fisiografía Colina y Montaña – Colina con un área de 2.6037 ha y Planicie – Valle y llanura irrigada con un área de 24.0336 ha, en cuanto a su capacidad de uso mayor tiene una clasificación de tierras de protección con un área de 24.31 ha y con tierras aptas para cultivo limpio de 2.32 ha, y por último dentro del Fundo se realizan actividades como la siembra y cosecha de cebolla, paprika, tuna y ajo, como también la presencia de un aproximado de 30 cabezas de ganado. Por otro lado, en el estudio Castillo y Cenepo (2022), el cual usaron técnicas de teledetección para determinar el grado de erosión en áreas de cultivo de maíz en el distrito de San Martín de Alao, el cual es un producto con mayor auge dentro del departamento de San Martín, así mismo este lugar cuenta con un clima tropical lo que hace que la erosión en su mayoría sea de tipo hídrica, cuenta con flora diversa tal como árboles frutales, arboles maderables, medicinales y ornamentales. Cabe señalar que también es un lugar dedicado a la ganadería y exportación de café, lo que indica la presencia de suelos de grano grueso y fino, fino y grueso de tipo arcilloso CL y CH. Tipos GP, GM y GC, contenido de humedad de bajo a moderado y en fisiografía representa como llanura amazónica. Sin embargo, en el estudio realizado por Escobar y Guarín (2018), señala que realizaron un análisis multitemporal de la cobertura y uso de suelo en la cuenca media del Río Chicamocha, Colombia, en donde identificaron el estado actual de dicho lugar como, las actividades agrícolas, sobrepastoreo, uso inadecuado del suelo, deforestación, uso excesivo de tierras agrícolas y crecimiento demográfico; esto acarrea consecuencias tales como pérdida de tierras, reducción de la productividad de la tierra, afectación de los recursos hídricos

en dicha cuenca, etc. Así mismo, presenta en su mayoría erosión hídrica y eólica.

Se identificó la evolución en la erosión de suelos generados por actividad agrícola, en el año 2012 se empleó imágenes satelitales donde se determinó la erosión por hectáreas tenían un total de 2.8733 ha y mediante la ejecución de la ecuación universal de erosión de suelos se determinó en masas la erosión de 30.13 Tn/ (ha. año), así mismo en el año 2017 se determinó por imágenes satelitales el total de área erosionada de 13.314 ha, mientras por el uso de la ecuación universal este adquiriría un valor de 59 Tn/ (ha. año) por último en el año 2022 dicho Fundo tuvo una erosión por área de 16.817 ha y mediante el uso de la ecuación universal este tuvo una erosión de suelo de 7.12 Tn/ (ha. año). A diferencia del estudio de Maquera (2020), quien utilizó imágenes satelitales para determinar la cobertura y los cambios de uso del suelo en la provincia de Tacna en 2007, 2012 y 2017, determinó que la cobertura en 2007 era de 14.131 ha y 56.236,10 ha, área urbana y área de cultivo, respectivamente, mientras que, en 2017, se aumenta la superficie a 22.464,10 hectáreas y 65.508,90 hectáreas, lo que supone un incremento del 59% y 16,5% respectivamente en el período de 10 años. Un estudio similar en cuanto al uso de la ecuación universal de erosión de suelos la realizó Cabrejos (2018) Para el cálculo de la erosión anual se utilizaron los factores R, K, LS, C y P, donde las áreas con riesgo de erosión moderado, determinado por análisis matemático y utilizando imágenes de satélite, representaron el 45,4% (17.048,4 ha) del territorio y las áreas de riesgo bajo. la erosión ocupó el 45,4% del territorio del 43,8% (16.463,4 hectáreas) de microcuencas, además se observó que el 33,4% (12.549,13 hectáreas) del área de microcuencas son de nivel socioeconómico bajo o medio y nivel de riesgo erosión 32%. (12.298,27 ha) del territorio se encontraba en riesgo de erosión y de nivel socioeconómico bajo, el 8,7% (3.278,4 ha) del territorio se encuentra en estado más crítico; con alto riesgo de erosión y bajo nivel socioeconómico.

Se determinó la relación que existe entre la erosión del suelo y el uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María; pues ambas técnicas son comúnmente usadas para la determinación de erosión de suelos, con una diferencia de que mediante el empleo de imágenes satelitales se calcula el área(ha) y por la ecuación se calcula la masa (Tn), además que influyen datos del factor precipitación, topografía, pendiente, prácticas de conservación y actividades que allí hacen. Sin embargo, en el estudio realizado por Ouyang et al. (2018) que investigó los patrones espacio-temporales de la erosión del suelo con base en una versión modificada de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y realizó un análisis de la contribución de la erosión del suelo, donde determinó que ambos métodos son cruciales para obtener resultados exactos de un determinado área de estudio, pues contribuye a la toma de decisiones para la recuperación de suelos y realizar actividades de gestión agrícola en cuencas hidrográficas. Por otro lado, en la investigación de Vijith et al. (2018) que empleó la clasificación supervisada de las imágenes Landsat 8 Optical Land Imager (OLI) para identificar ocho clases de cobertura terrestre (LC) (agricultura mixta, arrozales en colinas, arrozales húmedos, arbustos/arbustos/hierbas, terreno yermo expuesto, superficie artificial, guijarros /guijarros y cuerpo de agua), además de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), esto en las cadenas montañosas tropicales en Borneo, en el que determinó dicho estudio fue un éxito por el uso de ambas técnicas, pues se logró identificar y mapear el uso de la tierra y la cobertura de la tierra existentes en la región de la selva tropical de las tierras altas de Sarawak, Borneo. También se identificaron áreas vulnerables a la erosión del suelo y la contribución de la actividad de cobertura terrestre en la pérdida total del suelo.

VI. CONCLUSIONES

Se determinó el estado actual de los suelos del Fundo Santa María, donde tiene un suelo de tipo Solonchak háplico - Leptosol éutrico, presenta en su mayoría erosión eólica, en cuanto a su capacidad de uso mayor tiene una clasificación de tierras de protección con un área de 24.31 ha y con tierras aptas para cultivo limpio de 2.32 ha, y por ultimo dentro del fundo se realizan actividades como la siembra y cosecha de cebolla, paprika, tuna y ajo, como también la presencia de un aproximado de 30 cabezas de ganado.

Se identificó la erosión en el año 2012, se empleó imágenes satelitales donde se determinó la erosión por hectáreas tenían un total de 2.8733 ha y mediante la ejecución de la ecuación universal de erosión de suelos se determinó en masas la erosión de 30.13 Tn/ (ha. año), así mismo en el año 2017 se determinó por imágenes satelitales el total de área erosionada de 13.314 ha, mientras por el uso de la ecuación universal este adquiriría un valor de 59 Tn/ (ha. año) por ultimo en el año 2022 dicho fundo tuvo una erosión por área de 16.817 ha y mediante el uso de la ecuación universal este tuvo una erosión de suelo de 7.12 Tn/ (ha. año).

Se determinó la relación que existe entre la erosión del suelo y el uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María; pues ambas técnicas son comúnmente usadas para la determinación de erosión de suelos, con una diferencia de que mediante el empleo de imágenes satelitales se calcula el área(ha) y por la ecuación se calcula la masa (Tn), además que influyen datos del factor precipitación, topografía, pendiente, prácticas de conservación y actividades que allí se realizan.

VII. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones relacionada al uso de imágenes satelitales para comprobar la erosión del suelo, se recomienda antes de realizar la exploración, hacer un análisis mediante la observación directa al área de estudio, para identificar las principales actividades que se realizan, flora y fauna, así como una revisión bibliográfica para identificar su fisiografía, clima y geomorfología.

Usar imágenes satelitales para el reconocimiento de erosión de suelos, esto en cuanto al área total, pero para saber con más exactitud es necesario el uso de la ecuación universal de erosión de suelos.

Para futuros investigadores, se recomienda usar las imágenes satelitales y la ecuación universal de erosión de suelos, para establecer la erosión de un determinado territorio, además que también es necesario realizar un análisis de suelo en laboratorio para mayor veracidad en sus resultados.

REFERENCIAS

- Abass, K., Adanu, S. K., & Agyemang, S. (2018). *Peri-urbanisation and loss of arable land in Kumasi Metropolis in three decades: Evidence from remote sensing image analysis*. *Land Use Policy*, 72, 470–479. doi:10.1016/j.landusepol.2018.01
- Abdel-Kader, F. H. (2018). Assessment and monitoring of land degradation in the northwest coast region, Egypt using Earth observations data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.02.001>
- Ahmad, N. and Pandey, P.: Assessment and monitoring of land degradation using geospatial technology in Bathinda district, Punjab, India, *Solid Earth*, 9, 75–90, <https://doi.org/10.5194/se-9-75-2018>, 2018.
- Aneseyee, A. B., Elias, E., Soromessa, T., & Feyisa, G. L. (2020). Land use/land cover change effect on soil erosion and sediment delivery in the Winike watershed, Omo Gibe Basin, Ethiopia. *Science of The Total Environment*, 138776. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138776>
- Awotwi, A, Anornu, GK, Quaye-Ballard, JA, Annor, T. Monitoring land use and land cover changes due to extensive gold mining, urban expansion, and agriculture in the Pra River Basin of Ghana, 1986–2025. *Land Degrad Dev*. 2018; 29: 3331–3343. <https://doi.org/10.1002/ldr.3093>
- Batunacun, Nendel, C., Hu, Y., & Lakes, T. (2018). Land-use change and land degradation on the Mongolian Plateau from 1975 to 2015-A case study from Xilingol, China. *Land Degradation & Development*, 29(6), 1595–1606. <https://doi.org/10.1002/ldr.2948>
- Batunacun, Wieland, R., Lakes, T., Yunfeng, H., & Nendel, C. (2019). Identifying drivers of land degradation in Xilingol, China, between 1975 and 2015. *Land Use Policy*, 83, 543–559. doi:10.1016/j.landusepol.2019.02.013
- Bayat, F., Monfared, A. B., Jahansooz, M. R., Esparza, E. T., Keshavarzi, A., Morera, A. G., Cerdà, A. (2019). Analyzing long-term soil erosion in a ridge-shaped persimmon plantation in eastern Spain by means of ISUM measurements. *CATENA*, 183, 104176. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104176>
- Borrelli, P, Meusburger, K, Ballabio, C, Panagos, P, Alewell, C. Object-oriented soil erosion modelling: A possible paradigm shift from potential to actual risk

- assessments in agricultural environments. *Land Degrad Dev.* 2018; 29: 1270–1281. <https://doi.org/10.1002/ldr.2898>
- Cabrejos, Mirella (2018) Modelamiento Geoespacial En La Determinación Del Riesgo, Vulnerabilidad Y De La Cuantificación De La Erosión Hídrica En La Microcuenca Del Rio Atuen – Amazonas. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Castillo y Cenepo. Teledetección para la Estimación de Suelos Degradados Usados en Cultivos de Maíz del Distrito de San Martín, Perú 2022. Universidad Cesar Vallejo.
- Das, Arnab et al. Investigation of human-induced land use dynamics in a representative catchment on the Chota Nagpur Plateau, India: A spatiotemporal application of soil erosion modeling with connectivity index studies. *CATENA* Volume 217, October 2022, 106524. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106524>
- Escobar y Guarín. (2018) Análisis De Los Procesos De Desertificación A Partir Del Cambio Multitemporal En La Cobertura Y Uso Del Suelo En La Cuenca Media Del Río Chicamocha, Colombia. Universidad De Ciencias Aplicadas Y Ambientales – U.D.C. A.
- FAO, (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO N°8. Roma
- Hazbavi Z., Sadeghi S.H., Gholamalifard M. Dynamic Analysis Of Soil Erosion-Based Watershed Health. *Geography, Environment, Sustainability.* 2019;12(3):43-59. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-58>
- Gichenje, H, Godinho, S. Establishing a land degradation neutrality national baseline through trend analysis of GIMMS NDVI Time-series. *Land Degrad Dev.* 2018; 29: 2985– 2997. <https://doi.org/10.1002/ldr.3067>
- Liniger, H., Harari, N., van Lynden, G., Fleiner, R., de Leeuw, J., Bai, Z., & Critchley, W. (2019) Achieving land degradation neutrality: The role of SLM knowledge in evidence-based decision-making. *Environmental Science & Policy*, 94, 123–134. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.01.001>
- Liu H, Luo X. Understanding Farmers' Perceptions and Behaviors towards Farmland Quality Change in Northeast China: A Structural Equation Modeling Approach. *Sustainability.* 2018; 10(9):3345. <https://doi.org/10.3390/su10093345>

- Liu, Y., Wang, Y. Ingeniería de tierras rurales y alivio de la pobreza: lecciones de regiones típicas de China. *J. Geogr. ciencia* 29, 643–657 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1619-9>
- Mahala, A. Soil erosion estimation using RUSLE and GIS techniques—a study of a plateau fringe region of tropical environment. *Arab J Geosci* 11, 335 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3703-3>
- Maquera, Estanislao. Analisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en el departamento de Tacna, período 2007, 2012, 2017. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna. – 2020
- Mao, D, Wang, Z, Wu, B, Zeng, Y, Luo, L, Zhang, B. Land degradation and restoration in the arid and semiarid zones of China: Quantified evidence and implications from satellites. *Land Degrad Dev.* 2018; 29: 3841– 3851. <https://doi.org/10.1002/ldr.3135>
- Mariano, D. A., Santos, C. A. C. dos, Wardlow, B. D., Anderson, M. C., Schiltmeyer, A. V., Tadesse, T., & Svoboda, M. D. (2018). *Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. Remote Sensing of Environment, 213, 129–143.* doi:10.1016/j.rse.2018.04.048
- Marchi M, Ferrara C, Biasi R, Salvia R, Salvati L. Agro-Forest Management and Soil Degradation in Mediterranean Environments: Towards a Strategy for Sustainable Land Use in Vineyard and Olive Cropland. *Sustainability.* 2018; 10(7):2565. <https://doi.org/10.3390/su10072565>
- Mekonnen, Z., Taddese Berie, H., Woldeamanuel, T., Asfaw, Z., & Kassa, H. (2018). *Land use and land cover changes and the link to land degradation in Arsi Negele district, Central Rift Valley, Ethiopia. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 12, 1–9.* doi:10.1016/j.rsase.2018.07.012
- Mohamed, E.S.; Abu-hashim, M.; AbdelRahman, M.A.E.; Schütt, B.; Lasaponara, R. Evaluating the Effects of Human Activity over the Last Decades on the Soil Organic Carbon Pool Using Satellite Imagery and GIS Techniques in the Nile Delta Area, Egypt. *Sustainability* 2019, 11, 2644. <https://doi.org/10.3390/su11092644>
- Molina, Katty. 2019. Teledetección multitemporal para la determinación de suelos degradados en el distrito de Palpa 2019. Universidad Cesar Vallejo

- Nampak, H, Pradhan, B, Mojaddadi Rizeei, H, Park, H-J. Assessment of land cover and land use change impact on soil loss in a tropical catchment by using multitemporal SPOT-5 satellite images and Revised Universal Soil Loss Equation model. *Land Degrad Dev.* 2018; 29: 3440– 3455. <https://doi.org/10.1002/ldr.3112>
- Nguyen, T. T. H. (2019). Drivers of forest change in Hoa Binh, Vietnam in the context of integration and globalization. *Singapore Journal of Tropical Geography.* <https://doi.org/10.1111/sjtg.12289>
- Novoa, J., Chokmani, K., & Lhissou, R. (2018). *A novel index for assessment of riparian strip efficiency in agricultural landscapes using high spatial resolution satellite imagery. Science of The Total Environment, 644, 1439–1451.* doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.0
- Pande, C.B., Moharir, K.N., Khadri, S.F.R. *et al.* Study of land use classification in an arid region using multispectral satellite images. *Appl Water Sci* 8, 123 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0764-0>
- Piacentini, T.; Galli, A.; Marsala, V.; Miccadei, E. Analysis of Soil Erosion Induced by Heavy Rainfall: A Case Study from the NE Abruzzo Hills Area in Central Italy. *Water* 2018, 10, 1314. <https://doi.org/10.3390/w10101314>
- Ouyang, W., Wu, Y., Hao, Z., Zhang, Q., Bu, Q., & Gao, X. (2018). Combined impacts of land use and soil property changes on soil erosion in a mollisol area under long-term agricultural development. *Science of The Total Environment, 613-614, 798–809.* doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.1
- Ozsahin, Emre, Umit Duru, and Ilker Eroglu. 2018. "Land Use and Land Cover Changes (LULCC), a Key to Understand Soil Erosion Intensities in the Maritsa Basin" *Water* 10, no. 3: 335. <https://doi.org/10.3390/w10030335>
- Rogge, D., Bauer, A., Zeidler, J., Mueller, A., Esch, T., & Heiden, U. (2018). *Building an exposed soil composite processor (SCMaP) for mapping spatial and temporal characteristics of soils with Landsat imagery (1984–2014). Remote Sensing of Environment, 205, 1–17.* doi:10.1016/j.rse.2017.11.004
- Saha, S., Gayen, A., Pourghasemi, H.R. *et al.* Identification of soil erosion-susceptible areas using fuzzy logic and analytical hierarchy process modeling in an agricultural watershed of Burdwan district, India. *Environ Earth Sci* 78, 649 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8658-5>

- Sepuru, T. K., & Dube, T. (2018). An appraisal on the progress of remote sensing applications in soil erosion mapping and monitoring. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 9, 1–9. doi:10.1016/j.rsase.2017.10.005
- Torres, Gilmer. Análisis multitemporal de la erosión del suelo mediante imágenes satelitales y su relación con el fenómeno El Niño, Lambayeque 2019. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Vijith, H., Hurmain, A., & Dodge-Wan, D. (2018). *Impacts of Land Use Changes and Land Cover Alteration on Soil Erosion Rates and Vulnerability of Tropical Mountain Ranges in Borneo. Remote Sensing Applications: Society and Environment*. doi:10.1016/j.rsase.2018.09.003
- Wang, F., An, P., Huang, C., Zhang, Z., & Hao, J. (2018). *Is afforestation-induced land use change the main contributor to vegetation dynamics in the semiarid region of North China? Ecological Indicators*, 88, 282–291. doi:10.1016/j.ecolind.2017.12.061
- Wynants, M., Solomon, H., Ndakidemi, P., & Blake, W. H. (2018). *Pinpointing areas of increased soil erosion risk following land cover change in the Lake Manyara catchment, Tanzania. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 71, 1–8. doi:10.1016/j.jag.2018.05.008
- Xie H, Zhang Y, Wu Z, Lv T. A Bibliometric Analysis on Land Degradation: Current Status, Development, and Future Directions. *Land*. 2020; 9(1):28. <https://doi.org/10.3390/land9010028>
- Zurqani, H. A., Post, C. J., Mikhailova, E. A., Schlautman, M. A., & Sharp, J. L. (2018). *Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 69, 175–185. doi:10.1016/j.jag.2017.12.006

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

TÍTULO	Caracterización de la erosión de suelos causada por la actividad agrícola utilizando imágenes satelitales del Fundo Santa María, Arequipa, 2022					
PROBLEMA	GENERAL	¿Cómo es la caracterización de la erosión de suelos causada por la actividad agrícola mediante uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María Arequipa 2022?				
	ESPECÍFICOS	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el estado actual de los suelos en el Fundo Santa María, Arequipa? • ¿Cuál es la relación entre la erosión del suelo y el uso de imágenes Landsat del Fundo Santa María? • ¿Cuál es la evolución en la erosión de suelos generados por la actividad agrícola en el Fundo Santa María, en el período de 2012 a 2022? 				
OBJETIVOS	GENERAL	Evaluar la caracterización de erosión de suelos causada por la actividad agrícola mediante uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María Arequipa 2022				
	ESPECÍFICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el estado actual de los suelos en el Fundo Santa María, Arequipa. • Determinar la relación que existe entre la erosión del suelo y el uso de imágenes Landsat del Fundo Santa María, Arequipa. • Identificar la evolución en la erosión de suelos generados por la actividad agrícola en el Fundo Santa María, en el período de 2012 a 2022 				
HIPÓTESIS	Hipótesis general	Será posible realizar la caracterización de erosión de suelos causada por la actividad agrícola mediante uso de imágenes satelitales del Fundo Santa María, Arequipa, 2022				
	Hipótesis específicas	<ul style="list-style-type: none"> • Se logrará determinar el estado actual de los suelos en el Fundo Santa María, Arequipa. • Será posible determinar la relación que existe entre la erosión del suelo y el uso de imágenes Landsat del Fundo Santa María. • Se podrá identificar la evolución en la erosión de suelos generados por la actividad agrícola en el Fundo Santa María, en el período de 2012 a 2022. 				
VARIABLES	INDEPENDIENTE Imágenes satelitales	<ul style="list-style-type: none"> • Imágenes satelitales. • Combinación RGB 	DIMENSIONES	<ul style="list-style-type: none"> • Google earth • Bandas 1, 2,3 (color natural) 	INDICADORES	Nominal

	<p>DEPENDIENTE</p> <p>Erosión de suelos causada por actividad agrícola.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Actividades agrícolas. • Áreas deforestadas • Mapas de evolución de la erosión de suelos 	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivos de paprika, cultivos de maíz y cultivos de tuna. • Cobertura vegetal (ha), Cobertura no vegetal (ha). • Erosión superficial entre los años 2012 a 2022 		<ul style="list-style-type: none"> - mS/cm - % - Cm - Unidades - kg 	<p>U n i d a d e m e d i d a</p>
--	--	--	---	--	--	--

Anexo 2: Análisis de suelo en laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUAS Y FOLIARES



SOLICITANTES: Herrera Chirinos, Luis Fernando

PROVINCIA: Arequipa

DISTRITO: Arequipa

FECHA DE MUESTREO: 05/01/2023

FECHA DE REPORTE: 20/01/2023

Título: Caracterización de la erosión de suelos causada por la actividad agrícola utilizando imágenes satelitales del Fundo Santa María, Arequipa, 2022

Número de muestra	Análisis mecánico			Clase Textural	pH	M.O. %
	% Arena	% Arcilla	% Limo			
M - 01	48.36	18.12	26.33	F Arenoso	6.92	0.92
M - 02	37.12	16.26	32.20	F Arenoso	6.77	1.3

pH	% M.O.
6.92	0.92
6.77	1.3
Neutro	Bajo

Clasificación	% M.O.	Escala de pH	pH
Bajo	< 2	Extremadamente ácido	< 4.5
Medio	2.0 - 4.0	Fuertemente ácido	> 4.5 - 5.4
Alto	> 4	Moderadamente ácido	> 5.4 - 6.5
		Neutro	> 6.5 - 7.3
		Moderadamente alcalino	> 7.3 - 8.3
		Fuertemente alcalino	> 8.3

Ing. Carlos Verde Girbau
 Lab. de Análisis de Suelos y Aguas
 UNSM - TARAPOTO
 Facultad de Ciencias Agrarias

Anexo 3: Tipo de suelo encontrada en el Fundo Santa María



Anexo 4: Parcelas de paprika



Anexo 5: Parcelas de Tuna



Anexo 6: Constancia de aceptación



CONSTANCIA

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Por la presente se deja constancia de haber revisado los instrumentos de investigación para ser utilizados en la investigación, cuyo título es: ***“Caracterización de la Erosión de Suelos Causada por la Actividad Agrícola Utilizando Imágenes Satelitales del Fundo Santa María, Arequipa, 2022”*** del autor Herrera Chirinos, Luis Fernando estudiante del Programa de estudio de la Universidad César Vallejo, filial Trujillo.

Dichos instrumentos serán aplicados para la investigación tipo aplicada, que realizarán a través de la recolección de información de los experimentos y análisis de suelo en laboratorio, que servirán para nutrir los resultados y discusiones de la tesis.

Las observaciones realizadas han sido levantadas por el autor, quedando finalmente aprobadas. Por lo tanto, cuenta con la validez y confiabilidad correspondiente considerando las variables de la investigación.

Se extiende la presente constancia a solicitud del interesado(a) para los fines que considere pertinentes.

Trujillo, 14 de diciembre de 2022




Mg. José Máximo Díaz Pinto
DNI:48058146

Anexo 7: Matriz de calificación de instrumentos



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres: Díaz Pinto José Máximo
 Cargo o institución donde labora: Gerente titular FUCOMA IES E.I.R.L.
 Especialidad o línea de investigación: Maestría en gestión ambiental.
 Instrumento de evaluación: Guía de observación de datos y ficha de recolección de datos.
 Autor (s) del instrumento (s): Herrera Chirinos, Luis Fernando

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

(1) INACEPTABLE (2) MÍNIMAMENTE ACEPTABLE (3) ACEPTABLE

CRITERIOS	INDICADORES	Inaceptable						Mínimamente aceptable			Aceptable			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.													X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.													X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental													X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.													X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.													X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.													X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.													X
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental													X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.													X
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.												X	
PUNTAJE TOTAL														

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 81 "Excelente"; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

El instrumento está apto para ser aplicado

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90

FUCOMA IES E.I.R.L.
 Gerente titular
 CP. N° 20374

Trujillo, 14 de diciembre de 2022

Anexo 8: Matriz de calificación de instrumentos



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres: Vásquez Vásquez Fernando.
 Cargo o institución donde labora: Consorcio San Martín.
 Especialidad o línea de investigación: Maestría en gestión ambiental.
 Instrumento de evaluación: Guía de observación de datos y ficha de recolección de datos.
 Autor (s) del instrumento (s): Herrera Chirinos, Luis Fernando.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

(1) INACEPTABLE (2) MÍNIMAMENTE ACEPTABLE (3) ACEPTABLE

CRITERIOS	INDICADORES	Inaceptable					Mínimamente aceptable			Aceptable				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.													X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.													X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental.													X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.													X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.													X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.													X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.													X
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental.													X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.													X
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.												X	
PUNTAJE TOTAL														

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 81 "Excelente"; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

El instrumento está apto para ser aplicado

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90

FERNANDO VÁSQUEZ VÁSQUEZ
 M.G. M.C. Y SEG. INDUSTRIAL
 REG. CIP. 53546

Arequipa, 14 de diciembre de 202

Anexo 9: Matriz de calificación de instrumentos



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres: Mendoza López, Karla Luz
 Cargo o institución donde labora: UCV
 Especialidad o línea de investigación:
 Instrumento de evaluación: Fichas de recolección de datos.
 Autor (s) del instrumento (s): Herrera Chirinos, Luis Fernando

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

(1) INACEPTABLE (2) MÍNIMAMENTE ACEPTABLE (3) ACEPTABLE

CRITERIOS	INDICADORES	Inaceptable						Mínimamente aceptable			Aceptable			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.										X			
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.										X			
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental.											X		
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.											X		
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.										X			
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.										X			
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.											X		
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental.											X		
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.										X			
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.										X			
PUNTAJE TOTAL												87		

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 81 "Excelente"; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

87

Karla Luz Mendoza López
 DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES
 CIP: 122149

Lima, 23 de febrero de 2023

Anexo 10: Instrumento de guía de observación

Anexo 2: Guía de observación directa

LUGAR DE ESTUDIO: _____ REALIZADO POR: _____

FECHA: _____ RESPONSABLE: _____

TITULO: Caracterización de la erosión de suelos causada por la actividad agrícola utilizando imágenes satelitales del Fundo Santa María, Arequipa, 2022			
Imágenes Satelitales – Combinación de bandas RGB			
Imágenes	Google earth	Bandas RGB	Observaciones
Año – 2012			
Año – 2017			
Año – 2022			

 Karla Luz Mendoza López DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES CIP: 122149	  FERNANDO VASQUEZ VASQUEZ ING. HIG. Y SEG. INDUSTRIAL REG. CIP. 53546	  Oscar Pedro José Medina INGENIERO AMBIENTAL CIP. Nº 203744
---	--	---

Anexo 11: Instrumento de guía de observación directa.

Anexo 3: Guía de observación directa

LUGAR DE ESTUDIO: _____ REALIZADO POR: _____

FECHA: _____ RESPONSABLE: _____

TITULO: Caracterización de la erosión de suelos causada por la actividad agrícola utilizando imágenes satelitales del Fundo Santa María, Arequipa, 2022				
Áreas deforestadas				
Año	Cobertura vegetal	Porcentaje de reducción de cobertura vegetal	Área total deforestada	Observaciones
Año – 2012				
Año – 2017				
Año – 2022				

 Karla Luz Mendoza López DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES CIP: 122149	  FERNANDO VASQUEZ VASQUEZ ING. HIG. Y SEG. INDUSTRIAL REG. CIP. 63346	  FERNANDO VASQUEZ VASQUEZ ING. HIG. Y SEG. INDUSTRIAL REG. CIP. 63346
--	--	---

Anexo 12: Instrumento de recolección de datos.

Anexo 4: Fichas de recolección de datos

LUGAR DE ESTUDIO: _____ REALIZADO POR: _____

FECHA: _____ RESPONSABLE: _____

TITULO: Caracterización de la erosión de suelos causada por la actividad agrícola utilizando imágenes satelitales del Fundo Santa María, Arequipa, 2022				
Imágenes satelitales				
Google earth	Banda RGB	Años	Estado actual del suelo	Observaciones

 Karla Luz Mendoza López DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES CIP: 122149	  FERNANDO VASQUEZ VASQUEZ ING. HIG. Y SEG. INDUSTRIAL REG. CIP. 63646	  José Manuel José Martínez ING. EN CIENCIAS AMBIENTALES CIP. Nº 203746
--	---	---

Anexo 13: Instrumento de fichas de recolección

Anexo 4: Fichas de recolección de datos

LUGAR DE ESTUDIO: _____ REALIZADO POR: _____

FECHA: _____ RESPONSABLE: _____

TITULO: Caracterización de la erosión de suelos causada por la actividad agrícola utilizando imágenes satelitales del Fundo Santa María, Arequipa, 2022				
Erosión de suelo causada por actividad agrícola				
Año	Actividad agrícola	Área total de la cobertura vegetal	Área total de la cobertura no vegetal	Observaciones
2012				
2017				
2022				

 <p>Karla Luz Mendoza López DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES CIP: 122149</p>	  <p>FERNANDO VASQUEZ VASQUEZ ING. HIG. V. SEG. INDUSTRIAL REG. CIP. 53541</p>	  <p>Daniel José Medina ING. HIG. V. SEG. INDUSTRIAL REG. CIP. Nº 203746</p>
--	---	---

Anexo 14: Instrumento de fichas de recolección de datos.

Anexo 5: Fichas de recolección de datos

TITULO: Caracterización de la erosión de suelos causada por la actividad agrícola utilizando imágenes satelitales del Fundo Santa María, Arequipa, 2022										
Años	Coordenadas		Altura	Características físicas de suelo						Observaciones
	Norte	Este	MSNM	pH	% arena	% limo	% arcillo	Clase textual	Materia orgánica	
2012										
2017										
2022										

 Karla Luz Mendoza López DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES CIP: 122149	  FERNANDO VASQUEZ VASQUEZ ING. HIG. P-SEG. INDUSTRIAL REG. CIP. 53541	  Oscar Pineda José Martínez INGENIERO AMBIENTAL CIP. Nº 203746
---	--	---



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MONTALVO MORALES KENNY RUBEN, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Caracterización de la Erosión de Suelos Causada por la Actividad Agrícola Utilizando Imágenes Satelitales del Fundo Santa María, Arequipa, 2022

", cuyo autor es HERRERA CHIRINOS LUIS FERNANDO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 20.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 18 de Marzo del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
MONTALVO MORALES KENNY RUBEN DNI: 43713929 ORCID: 0000-0003-4403-4360	Firmado electrónicamente por: KRMONTALVO el 23- 03-2023 19:12:58

Código documento Trilce: TRI - 0537462