



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA, Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

ZONIFICACIÓN DE ÁREAS CONTAMINADAS POR EFECTOS DEL USO DE
AGUAS RESIDUALES CON CONTENIDOS DE
FLUROQUINOLONAS Y TETRACICLINAS, MEDIANTE TÉCNICAS
DE TELEDETECCIÓN EN EL VALLE DEL RIO MOQUEGUA 2020

PRESENTADA POR:

JUAN LUIS CCAMAPAZA AGUILAR

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

ZONIFICACIÓN DE ÁREAS CONTAMINADAS POR EFECTOS DEL USO DE AGUAS RESIDUALES CON CONTENIDOS DE FLUOROQUINOLONAS Y TETRACICLINAS, MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN EL VALLE DEL RIO MOQUEGUA 2020

PRESENTADA POR:

JUAN LUIS CCAMAPAZA AGUILAR

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

Dr. EVARISTO MAMANI MAMANI

PRIMER MIEMBRO

Dr. NESTOR QUISPE CONDORI

SEGUNDO MIEMBRO

Dr. VÍCTOR ANDRÉS GONZALES GONZALES

ASESOR DE TESIS

Dr. WALTER ALEJANDRO ZAMALLOA CUBA

Puno, 21 de diciembre de 2022

ÁREA: Ciencias de la Ingeniería.

TEMA: Contaminación de Suelo.

LÍNEA: Sistema de Información Geográfica.



DEDICATORIA

En primer lugar, agradecer a Dios, por darme lo mejor, la vida, salud, familia, amigos, y por guiar mis pasos y elegir lo bueno y lo malo, por todas las bendiciones que me da.

En memoria de mis Padres; Gerardo, y Adela, aunque no están presentes, pero viven por siempre en mis memorias y habitan en mis recuerdos, no sólo me dio la dicha de ser su hijo, sino que me enseñaron enfrentar la vida y sus ejemplos de vida, me estimularon a seguir adelante, gracias por darme la vida, y por ser la luz de mi vida.

Un especial reconocimiento a mi familia, mi esposa, y mis hijas, Rocío Rosario. Johana Deira. por su comprensión y permitir mi tiempo en mis estudios y ejecutar mi proyecto de investigación, por animar con su alegría y sonrisa a seguir adelante, Gracias a ellos los debo los momentos bellos y valiosos tiempos de alegría y confraternidad.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Moquegua, mi centro laboral, A mi alma mater Universidad Nacional del Altiplano, en especial al Programa de Doctorado, en Ciencia, Tecnología, y Medio Ambiente, a los docentes quienes compartieron sus experiencias, anécdotas, y casos de estudios a nivel Nacional e Internacional, a partir de allí fuimos motivados a investigar y contribuir en el Desarrollo de la Región y el País.

A mis asesores de tesis Dr. Franz Zirena Vilca, y Dr. Walter A. Zamalloa Cuba, por sus orientaciones e insistencia en la ejecución del presente proyecto de investigación, mi gratitud a mis jurados evaluadores Dr. Evaristo Mamani Mamani, Dr. Néstor Quispe Condori, Dr. Víctor Andrés Gonzales Gonzales, por sus observaciones y sugerencias acertadas, a mis compañeros de Estudio del programa de Doctorado, por los intercambios de conocimientos impartidos durante el desarrollo de las clases en las diversas materias, a raves de los debates, análisis y comentarios, lo que me permitió ampliar y fortalecer mis conocimientos en el tema de la aplicación de las herramientas de Teledetección en el campo de la planificación, organización, y administración de espacios geográficos desde el punto de vista ambiental.

Un reconocimiento a mis colegas de trabajo, en especial a mis colegas de la especialidad M.Sc. Yuri Turpo Cayo, y el Dr. Jorge Luis Aroste Villa, quienes de manera acertada me apoyaron en el desarrollo del presente trabajo denominado “Zonificación de áreas contaminadas por efectos del uso de aguas residuales con contenidos de fluoroquinolonas y tetraciclinas, mediante técnicas de teledetección en el valle del rio Moquegua 2020”, donde pude aplicar las técnicas de teledetección y SIG en la cuantificación de áreas contaminadas y análisis de datos sensoriales de la concentración de la sedimentación de fluoroquinolonas y tetraciclinas en las zonas del vertimiento de las aguas residuales del PTAR Moquegua, agradecer también a los diversos presidentes comités de regantes del valle de Moquegua por permitirme ingresar a las áreas de cultivo para recoger los datos de muestreo del suelo.

Atentamente:

Juan L. Ccamapaza A.



ÍNDICE GENERAL

	Pag.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
PANEL FOTOGRÁFICO	x
ÍNDICE DE ACRONIMOS	xi
RESUMEN:	xii
ABSTRACT:	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico	3
1.1.1. Espacio Geográfico	3
1.1.2. Contaminación.	6
1.1.3. Efectos químicos.	9
1.1.4. Herramientas de teledetección.	11
1.1.5. Principales aplicaciones de la teledetección.	48
1.1.6. Generación de planos y mapas.	52
1.2. Antecedentes	58

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	67
2.2. Enunciado del problema	69
2.3. Justificación	70
2.4. Objetivos	71
2.5. Hipótesis	72

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio	73
3.1.1. Características generales del área de Estudio.	74
3.2. Población.	76
3.3. Muestra.	77
3.3.1. Muestra de puntos de entrenamiento en la imagen satelital.	77
3.3.2. Muestreo de suelo en campo:	79
3.4. Método de investigación.	80
3.4.1. Tipo de Investigación.	80
3.4.2. Diseño de Investigación.	81
3.4.3. Variables.	81
3.4.4. Diseño Estadístico.	82
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	83
3.5.1. Determinar la distribución de áreas de cultivo mediante la técnica de análisis de imagen satelital en el valle de Moquegua.	83
3.5.2. Estimación de la concentración de los sedimentos de antibióticos en los suelos irrigados con aguas residuales de la PTAR mediante técnicas de teledetección.	86
3.5.2.1. Muestreo de suelo en campo:	86
3.5.2.2. Índice diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI) a partir de imágenes de UAV/RPAS:	89
3.5.2.3. Cálculo de índices espectrales:	90
3.5.2.4. Reducción de imágenes por puntos:	93
3.5.2.5. Correlación de datos de análisis de la imagen Sentinel 2, con los análisis de datos de suelos en laboratorio.	94
3.5.3. Elaboración de mapas de vulnerabilidad de suelos con presencia de antibióticos en las áreas irrigados por las aguas residuales provenientes de PTAR.	95
3.5.3.1. Método de Model Builder en Arc.GIS.	95

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4.1. Determinación de la distribución de áreas de cultivo mediante técnicas de análisis de imagen satelital.	96
4.2. Estimación de sedimentos antibióticos en los suelos irrigados con aguas residuales de la PTAR, mediante técnicas de teledetección.	100
4.2.1. Resultado de la determinación de concentración de antibióticos en los suelos de cultivo mediante muestreo en campo.	100
4.2.1.1. Elaboración de mapas digital de la concentración de antibióticos en los suelos irrigados del valle de Moquegua.	105
4.2.2. Determinación del índice diferencial de Vegetación Normalizada (NDVI) de las imágenes de UAS/RPAS.	112
4.2.3. Cálculo de índices espectrales.	114
4.2.3.1. NDVI a partir de imágenes satelitales Sentinel 2.	115
4.2.3.2. Resultado del índice de minerales arcillosos (CM).	116
4.2.3.3. Resultado del índice de minerales ferrosos (FM).	117
4.2.3.4. Resultado del índice de óxido de hierro (IO).	118
4.2.3.5. Reducción de Imágenes satelital Sentinel 2 por puntos.	119
4.2.4. Correlación de datos de análisis de la imagen satelital sentinel 2, con los datos de análisis de suelo en laboratorio.	119
4.3. Elaboración de Mapas.	128
DISCUSIÓN	129
CONCLUSIONES	130
RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFÍA	133
ANEXO	137



ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
1 Bandas de Landsat 8	44
2 Detalles de Espacial y Espectral de Sentinel-2	47
3 Principales características de los satélites pertenecientes al programa Copernicus	48
4 Cuadro de Coordenadas Geográfica WGS 84, zona del esferoide 19	74
5 Tabal de relación de nivel de confianza	77
6 Coordenadas de los puntos de muestreo en suelos agrícola de Moquegua	80
7 Operacionalización de las Variables	81
8 El coeficiente de Pearson de correlación.	83
9 Esquema general del procedimiento de elaboración de mapas de zonas de cultivo.	92
10 Cronograma de análisis cromatográfico.	102
11 Frecuencia de detección y cuantificación de antibióticos en suelo agrícola.	102
12 Frecuencia de detección y cuantificación de antibióticos en suelo agrícola.	103
13 Bandas espectrales de sensores	113
14 Contenido de tetraciclina en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.	120
15 Contenido de Sulfadimetoxine en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.	122
16 Contenido de Sulfametoxine en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.	124
17 Contenido de Sarafloxacino en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.	126

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
1 Simbología de presentación de la vegetación.	4
2 Capas de información que representan la realidad	11
3 Componentes de un SIG	12
4 Atributos no espaciales	14
5 Base de datos como abstracción del mundo real	14
6 Esquema General de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú - IDEP.	15
7 Formas de teledetección.	17
8 Relación de la temperatura con el máximo de radiación electromagnética emitida.	18
9 Espectro electromagnético.	20
10 El Espectro electromagnético.	21
11 Interacción entre los diferentes componentes de un sistema de teledetección.	22
12 Imágenes de satélite	25
13 Clasificación de aeronaves	28
14 Firma espectral de una imagen satelital.	30
15 Órbita geoestacionaria. Órbita cuasi polar.	31
16 Formato de una imagen digital en pixeles.	31
17 Bandas espectrales de diferentes sensores de teledetección.	32
18 Imagen original captada por el satélite (izquierda). Imagen corregida del efecto atmosférico (derecha).	33
19 Mayor resolución temporal gracias a la reorientación de sensores en pases consecutivos.	34
20 Bandas espectrales en la observación remota	37
21 Curvas de Reflectancia Espectral de Cuatro Objetivo	39
22 Red de satélites meteorológicos geoestacionarios	41
23 Representación de una órbita polar.	41
24 Representación gráfica del satélite Sentinel-1.	45
25 Localización de las 13 bandas del sensor MSI en el espectro electromagnético.	46
26 Coordenadas Geográficas de un punto.	55
27 Representación de coordenadas UTM	56
28 Sistema del GPS	57



29	Ubicación del área de estudio.	74
30	Área de estudio.	76
31	Establecimiento de puntos de entrenamiento.	78
32	Distribución binomial de la población desconocida.	78
33	Recojo de muestras de suelo.	79
34	Esquema general del procedimiento de elaboración de mapas de zonas de cultivo.	84
35	Recojo de muestra de suelo	88
36	Esquema general de la correlación de datos, para estimar la concentración de los sedimentos antibióticos.	94
37	Polígonos de áreas de cultivo.	98
38	Polígonos de áreas de cultivo	99
39	Determinación de puntos de muestreo.	101
40	Generación de mapas de concentración de antibióticos	105
41	Desviación estándar de la Clasificación de los datos de Tetraciclina.	106
42	Contenido de tetraciclina en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo	106
43	Desviación estándar de la Clasificación de los datos de Ciprofloxacino.	107
44	Contenido de Ciprofloxacino en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.	107
45	Desviación estándar de Clasificación de los datos de Enrofloxacin.	108
46	Contenido de Enrofloxacin en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.	108
47	Desviación estándar de la Clasificación de los datos de Sarafloxacin.	109
48	Contenido de Sarafloxacin en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.	109
49	Desviación estándar de la Clasificación de los datos de Sulfadimetoxine.	110
50	Contenido de Sulfadimetoxine en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.	110
51	Desviación estándar de la Clasificación de los datos de Sulfametoxine.	111
52	Contenido de Sulfametoxine en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.	111
53	Diseño del vuelo Fotogramétrico	112



54	Vuelo Fotogramétrico con el dron Phantom 4 pro+.	113
55	Desviación estándar del NDVI	115
56	Índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	115
57	Desviación estándar de minerales arcillosos.	116
58	Índice de minerales arcillosos (CM).	116
59	Desviación estándar de minerales ferrosos.	117
60	Índice de minerales ferrosos (FM).	117
61	Desviación estándar del Índice de óxido de hierro.	118
62	Índice de óxido de hierro (IO).	118
63	Model Builder, diagrama de flujo de elaboración de mapas, zonas con contenido de tetraciclina.	128

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pag.
1 Mapa de Ubicación	138
2 Mapa de áreas de Cultivo	139
3 Mapa de Ubicación de Puntos de Muestreo	140
4 Mapa de Identificación de Contenido de Antibioticos por Muestreo de suelos en Campo	141
5 Mapa de Índices Espectrales en base a la Imagen Satelital Sentinel 2 MSI	142
6 Mapa de Vulnerabilidad de suelos con presencia de sedimentos de concentración de antibióticos.	143
7 Ficha de Muestreo de Suelo	144

PANEL FOTOGRÁFICO

	Pag.
1 Cultivo de Vid en el Valle de Moquegua.	146
2 Vertimiento de las Aguas Residuales de la PTAR al río Moquegua.	146
3 Medición de Potencial de Hidrógeno, Temperatura, Oxígeno disuelto, Conductividad, y Turbidez del agua.	147
4 Flujo de circulación del Agua contaminada del río Moquegua.	147
5 Recojo de muestras de suelo en los laterales del río Moquegua.	148
6 Análisis de Suelos en el laboratorio de ecotoxicología de la Universidad de São Paulo de Brasil.	148



ÍNDICE DE ACRONIMOS

PTAR	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
NDVI	: Índice de vegetación de diferencia normalizada
DEM	: Modelo digital de elevaciones
CM	: Minerales arcillosos
FM	: Minerales ferrosos
IO	: Óxido de hierro
SIG o GIS	: Sistema de información geográfica.
GPS	: Sistema de posicionamiento global
EPS	: Empresa prestadora de servicios de agua potable
DNA	: Ácido desoxirribonucleico
UAS	: Vehículo aéreo no tripulado
RPAS	: Sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto
ND	: Nivel digital (Resolución radiométrica en imágenes de satélite)
NIR	: Longitud de onda del infrarrojo cercano
LWIR	: Infrarrojo de onda larga, entre 8 y 14 micras.
TIRS	: Infrarrojo térmico.
NASA	: Administración Nacional de Aeronáuticas y el Espacio.
ESA	: Agencia Espacial Europea
UV	: El espectro ultravioleta
IGN	: Instituto Geográfico Nacional
UTM	: Universal Transversal Mercator.
MSI	: Instrumento multiespectral
OMS	: Organización Mundial de la Salud.
MSD	: Compañía Farmacéutica Merck Sharp y Dohme

RESUMEN

La presente investigación titulada, Zonificación de áreas contaminadas por efectos del uso de aguas residuales con contenidos de fluoroquinolonas y tetraciclinas, mediante técnicas de teledetección en el valle del río Moquegua 2020, se realizó en el Distrito de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, en estos espacios geográficos, se cultivan productos de la zona como palta, vid, y otros. parte de ella, se riegan con aguas residuales, como objetivo principal fue determinar las áreas de influencia del nivel de concentración en los suelos con residuos antibióticos debido al uso de las aguas residuales, y como objetivos específicos fueron; determinar las áreas de cultivo mediante la técnica de teledetección, realizar la correlación lineal entre los datos de muestreo y los análisis de los índices espectrales de Sentinel-2, para estimar la concentración de la sedimentación de los antibióticos en los suelos irrigados, y finalmente elaborar el mapa de zonas contaminadas. Se utilizó el método de clasificación supervisada de Random Forest, y los mapas fueron elaborados bajo la metodología de model builder en la plataforma de Arc. GIS. La interpretación Estadística se realizó en la plataforma de Google Earth Engine y software R Studios, se realizó la Correlación de Pearson método estadístico que permitió analizar datos no paramétricos. Y Como resultado se obtuvo; El mapa de zonas de cultivo, concentración de la Tetraciclina en su banda 9 tuvo mayor correlación positiva con un valor de 0.6, seguido de sulfadimetoxine 0.4, y Sarafloxacina 0.35, concluyendo que si existe la concentración de antibióticos ver mapa.

Palabras clave: Contaminación de suelo, Emergente, Antibióticos, Índices espectrales, Riesgo ambiental, Sensores remotos.



ABSTRACT

This research entitled; Zoning of areas contaminated by the effects of the use of wastewater, with contents of fluoroquinolones and tetracyclines, using remote sensing techniques in the valley of Moquegua River 2020, was did in the Moquegua District, Province of Mariscal Nieto, in these geographical areas grown own products such as avocado, grapevine, and others. Most of them, are irrigated with wastewater, as main objective was determine the areas of influence of the level concentration in soils with antibiotic residues for the use of wastewater, as specific objectives were; determine the areas of cultivation using the remote sensing technique, perform the linear correlation between sampling data and Sentinel-2 spectral indices analysis, to estimate the concentration of antibiotic sedimentation in irrigated soils, finally was elaborate the map of contaminated areas. It was used The Random Forest supervised classification method and the maps were elaborated around the model builder methodology in the Arc. GIS PLATFORM. The statistical interpretation was performed on the Google Earth Engine platform and R Studios software, Pearson's Correlation, a statistical method that allowed analyzing non-parametric data, and as a result was obtained: the map of crop zones, concentration of Tetracycline in its band 9 had the highest positive correlation with a value of 0.6, followed by sulfadimethoxine 0.4, and Sarafloxacin 0.35, concluding that exists concentration of antibiotics in the soils.

Keywords: Soil contamination, Emerging, Antibiotics, Spectral indices, Environmental risk, Remote sensing.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se encuentra ubicada en el Departamento de Moquegua, que se localiza en la parte Sur Occidental del territorio peruano, está conformada por 3 provincias y un total de 21 Distritos, cuenta con una cuenca principal denominada cuenca Ilo-Moquegua, el mismo que forma parte del sistema hidrográfico de la vertiente del Pacífico, en estos espacios geográficos se encuentra el valle de Moquegua, formada por los ríos Huaracane, Torata y Tumulaca. Geológicamente en estas áreas, afloran rocas sedimentarias y rocas ígneas, pertenecen a la formación Moquegua donde prevalecen areniscas y lodolitas con contenidos de sales, en el segundo tramo, considerado como la mitad inferior del valle, predominan los sedimentos gruesos de gravas aluviales depositados por los ríos que atraviesan la región, con capas de arcillas pardas muy frágiles a la presencia del agua. El valle tiene una superficie plana que está delimitada por terrazas empinadas, y depresión tectónica, así lo define Nuñez y Medina, (2004).

Dentro de este valle se desarrollan diferentes actividades agropecuarias, una de ellas según el plan exportador de la Región Moquegua 2015, se cultivan principalmente el, orégano palta, tuna, uva, y otros productos como las hortalizas, todos ellos son irrigados con las aguas superficiales del río, y otras áreas cercanas a la planta de tratamiento son irrigados con las aguas residuales de la PTAR Moquegua. Según los análisis de suelo y índices espectrales, estos suelos contienen la concentración de los sedimentos antibióticos, como la tetraciclina, fluoroquinolonas como consecuencia del sistema de riego, sin embargo en la actualidad existen métodos y técnicas de identificación de elementos que permiten determinar el grado de concentración, que se pueden representar gráficamente de manera física o en formato digital, material que se utilizará en el futuro como herramienta de consulta en la elaboración de proyectos de desarrollo en la zona.

En el capítulo II, como problema principal, se identificó la concentración de sedimentación de antibióticos en los suelos irrigables próximos a la ubicación de las plantas de tratamiento, que muchas veces la población riega su agricultura con las aguas residuales si considerar las consecuencias de sus productos en la población consumidora. Por tanto, se plantea los siguientes objetivos; Determinar la distribución de áreas de cultivo mediante el análisis de técnicas de teledetección. Determinar los índices espectrales para correlacionar con los resultados de análisis de las muestras de suelo en campo, a fin de estimar la concentración de los sedimentos de las aguas residuales como sistema de riego en el valle de Moquegua. Y finalmente elaborar el mapa de

vulnerabilidad de suelos con la presencia de sedimentos de antibióticos en las áreas aledañas del río Moquegua a partir de la bifurcación del canal de evacuación de las aguas residuales aguas abajo.

En el capítulo III, Se describe los materiales utilizados y la metodología por objetivos, en este caso como material de trabajo se utilizó, la plataforma de Google Earth Engine y softwares aplicados en el campo de la ingeniería como son: Arc. GIS, AutoCAD civil 3D, R-estudios y otros, la metodología utilizada fue; clasificación supervisada de Radom Forest para las imágenes de satélite, análisis de las muestras de suelo en laboratorio, y los mapas fueron elaborados bajo la metodología de model builder en la plataforma de Arc. GIS. La interpretación Estadística se realizó en la plataforma de Google Earth Engine y software R-estudios, se aplicó la Correlación lineal de Pearson método estadístico que permitió analizar datos no paramétricos.

En el capítulo IV, Bajo la metodología establecida, se obtuvo como resultado la determinación de las zonas de cultivo con un área total de =3157.74 Has, con un Perímetro de = 95410.12 m. de los cuales el área de = 1624.6197 Has. Con un perímetro de = 72.78 Km. que equivale a 51.45 % que corresponde al área de estudio. Al realizar la correlación de Pearson, considerando como variable X las 13 bandas espectrales de la imagen satelital Sentinel 2-1C, y el desarrollo de los índices espectrales como es el de minerales arcillosos (CM), minerales ferrosos ((FM), óxido de hierro (IO), e Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), con las variables Y cuyos datos normalizados de los resultados de los análisis de las muestras de suelo en laboratorio, resulta que las diagramas de dispersión muestra que si existe una correlación positiva del antibiótico Tetraciclina con un valor de 0.60 nm, sulfadimethoxicine con un valor de 0.40 nm, sulfametoxicine con un valor de 0.36, consideradas como nivel alto y bajo, mientras los antibióticos del grupo fluoroquinolonas sarafloxacino resulta con un valor de 0.35 nm, como nivel bajo, en conclusión los resultados nos indica que si existe la probabilidad de la existencia de los antibióticos en los suelos irrigados del valle Moquegua, aledaños a las plantas de tratamiento.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Espacio Geográfico

Geografía.

de Ravetta (1998) señala que:

El objeto de estudio de la ciencia de la geografía es el espacio geográfico, que es un subproducto de la intrincada interacción entre la sociedad y la naturaleza. Dado que el hombre utiliza el medio ambiente de forma favorable o adversa para crear el Medio Ambiente, es esta sociedad la que ordena el Espacio Geográfico.

Espacio Geográfico.

Según Tibaduiza y Rodríguez (2007) lo define como el espacio geográfico:

Como el conjunto de estructuras espaciales y sus relaciones que existen en la superficie de la tierra y que son utilizadas por los seres humanos como objeto de acción, fuente de significado y lente a través de la cual ver el mundo, ha adquirido un significado fundamental en el mundo actual de la naturaleza productivamente alterada.

Zona de Cultivo.

La zona de cultivo según la página web slvf-associes.com, (2020) señala que:

Las zonas agrícolas son extensiones de tierra aptas para la agricultura. Como la agricultura es la principal actividad económica de la zona, es muy importante para la población local. Las regiones agrícolas son sencillas de ver porque tienen un clima ideal. Esta actividad sirve de base para todas las interacciones entre las personas que residen en estas zonas, tanto internas como externas. Cabe destacar que la palabra "agrícola" deriva de la cultura de la agricultura, que fue una de las

ocupaciones de subsistencia más importantes de la humanidad y recibió el nombre de los individuos que cultivaban la tierra hace milenios.

Vegetación.

El concepto de la vegetación según Urrutia y Martínez (2005) indica que:

Existen mapas específicos que describen de forma precisa las plantas y clasificación en una zona. Los mapas topográficos solamente pretenden reflejar, en el mejor de los casos, el uso familiar de la tierra (agreste, forestal, urbano, etc) o, simplemente, un claro contemplación de la ubicación de las principales masas forestales. Para ello se emplean símbolos gráficos de color verde a modo de una planta arbórea significativo. Ejemplo una conífera podría efectuar una repoblación de pinos, una planta arbórea más redondeado puede proceder un bosque de encinas o un mazacote de frondosas como un hayedo, una letrilla de broza espolvoreado de puntos verdes puede ser cubierta vegetal de arbolado bajo, puntos verdes dispersos podrían hacer referencia a pastizales, praderas o brañas, de esta manera se puede representar los diferentes tipos de plantas en un mapa o plano, así como lo señala la siguiente figura.

Figura 1

Simbología de presentación de la vegetación.



Nota: Información obtenida del Curso de Cartografía y Orientación – Javier Urrutia

Sistema de Riego.

Sistema de riego, es otro de los términos que se utiliza en áreas de ingeniería, al respecto en el documento de la web de Sánchez y Novo (2020) señala que “un sistema de riego son las instalaciones técnicas que se necesitan para la gestión de las tierras cultivables mediante el riego, y los clasifica en los siguientes sistemas”:

- Riego por superficie o por gravedad
- Riego por aspersión
- Riego localizado
- Riego subterráneo

Aguas residuales.

Según Fernández y Suayter (2003) define que “las aguas residuales son aguas contaminada no purificada, que provienen de las plantas industriales, de los hogares o agua pluviales contaminada por los asentamientos urbanos”.

Aguas Superficiales.

Fernández y Suayter (2003) define que “las aguas superficiales, son todas las aguas expuestas naturalmente a la atmósfera (ríos, lagos, depósitos, estanques, charcos, arroyos, represas, mares, estuarios, etcétera) y todos los manantiales, pozos u otros recolectores directamente influenciados en ellos”.

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Según el documento web de Spena y Group, (2016) señala que “Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales-PTAR es el conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales, con material disuelto y en suspensión usadas por una comunidad o industrial”.

PTAR Moquegua.

Según Manrique y Soto Romero (2017) en su informe de la EPS Moquegua, señala que el “agua residual en la ciudad, se da a través de tres plantas de tratamiento de aguas residuales conocidos como PTAR Moquegua”, las cuales son:

- Yaracachi
- San Antonio y
- Omo

Estas plantas de tratamiento en la actualidad presentan problemas operativos principalmente por el exceso de caudal de diseño, sobre ello existe una cuarta PTAR denominado locumbilla el mismo que se encuentra inoperativa. Estas plantas de

Tratamiento reciben de las aguas residuales a través de tres emisores operativos: Yaracachi, San Antonio y Omo. Cada uno conduce las aguas residuales a una planta de tratamiento, el mismo que es administrada por la EPS. También existe un Emisor desde el Distrito de Samegua que se conecta a nuestro sistema de tratamiento de aguas residuales, sin ser administrado por nuestra institución (Manrique y Soto Romero, 2017).

Planta de tratamiento de aguas residuales Omo

En su informe Manrique y Soto Romero (2017) señalan que:

Esta instalación de tratamiento cuenta con seis balsas de oxidación repartidas en 21,2 hectáreas y comenzó a funcionar en febrero de 2014. Esta EDAR cumple con los Límites Máximos Permisibles LMP establecidos en el tratamiento de Aguas Residuales. A partir del año 2014, el volumen de tratamiento se duplicó en comparación con el año 2015 y se mantuvo en ese nivel en 2016, mientras que en 2017, el volumen de tratamiento de aguas residuales es comparable a los de los años 2015 y 2016. Sin embargo, en 2018, se prevé que este volumen aumente.

El caudal medio de tratamiento era de 93 litros por segundo, y desde que se mejoró la capacidad de descarga de las lagunas terciarias con la instalación de la tubería paralela indicada anteriormente, el caudal medio del mes de octubre aumentó a 145 litros por segundo. La EDAR de Omo trató 3'544.906 metros cúbicos de aguas residuales al año, y el caudal medio de suministro fue de 112,4 litros por segundo (Manrique Y Soto Romero, 2017).

1.1.2. Contaminación.

Contaminación.

Fernández y Suayter (2003) señala que la contaminación es:

La presencia de cualquier agente físico, químico, biológico, de temperatura o de concentración de diversos agentes en el medio ambiente en lugares, formas o concentraciones tales que puedan ser perjudiciales para la salud, la seguridad o el bienestar de la población humana, dañinos para la vida animal o vegetal, o que obstruyan el uso y disfrute regular de los recursos, la propiedad y las áreas

recreativas. **Contaminación (1).** Alteración de un hábitat mediante la adición de materiales extraños que pueden hacerlo menos beneficioso para los seres vivos que lo habitan. **Contaminación (2).** La acción de un determinado agente, que generalmente tiene el efecto de degradar o contaminar, introduce materiales perjudiciales para el medio ambiente, impacta negativamente en el orden natural o en las agrupaciones sociales.

Contaminante.

El término contaminante según Fernández y Suayter (2003) es:

Cualquier elemento que, al incorporarse o actuar sobre la atmósfera, el agua, el suelo, la flora, la fauna o cualquier otro elemento del medio ambiente, altere o modifique su composición o tenga un efecto adverso sobre la salud humana. Esto incluye cualquier materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, derivados químicos o biológicos, así como cualquier forma de energía, radiación ionizante, vibraciones o ruido. 1982 Gaceta Oficial de México Contaminante. Los componentes naturales presentes en el medio ambiente pueden ser destruidos, degradados o descompuestos por un agente orgánico o químico.

Contaminación de suelo.

Jiménez Ballesta (2017) señala que la Contaminación de la tierra:

Es un cambio en las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo que es desfavorable y tiene un impacto en las personas, los animales, las plantas y el ecosistema en su conjunto se denomina contaminación del suelo. La contaminación del suelo es uno de los temas que más debate y atención recibe en la investigación, así como en los ámbitos social, económico y otros. Cuando utilizamos esta expresión nos referimos a la presencia de un agente químico en una concentración. Otra definición de contaminación es un proceso o una serie de actividades que reducen la capacidad de un suelo para generar cosas en el presente y en el futuro. En este sentido, se podría pensar que un suelo contaminado es un componente ambiental que no funciona correctamente.

Contaminación de agua.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), define que:

El agua que presenta cambios en su composición química que la hacen inútil está contaminada. En otras palabras, es agua contaminada que no puede utilizarse ni para beber ni para tareas importantes como la agricultura, y ganadería. También contribuye a la salubridad, que provoca más de 500.000 muertes en todo el mundo por diarrea y propaga enfermedades como el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis.

En consecuencia, Las principales fuentes de contaminación del agua son las bacterias, los virus, los parásitos, los pesticidas, los medicamentos, los plásticos, las heces, los nitratos, los fosfatos e incluso los materiales radiactivos. Debido a que estas sustancias no suelen colorear el agua, la contaminación del agua suele ser indetectable. Para determinar la calidad del agua, a menudo se analizan químicamente pequeñas muestras de agua y especies acuáticas. (Iberdrola, 2020)

Iberdrola (2020) Señala también que “las causas de la contaminación del agua, se debe a los siguientes factores naturales o antrópicos”:

- Calentamiento global
- Deforestación
- Actividades industriales, agrícolas y ganaderas
- Basuras y vertidos de aguas fecales
- Tráfico marítimo
- Derrames de combustible

Sedimentación del suelo.

En la plataforma de Blog de Maria (2011) define que

La etapa final de la morfogénesis, conocida como sedimentación, consiste en la recogida de elementos después de que hayan sido erosionados y desplazados.

La erosión es el proceso de eliminación física o química de sedimentos, suelos, aluviones y otros materiales no consolidados. A diferencia de la meteorización estática, requiere movimiento.

1.1.3. Efectos químicos.

Elementos químicos.

Según el Instituto Nacional de Cancer (2021) un elemento químico:

Es un término utilizado en química para describir una sustancia química directa que no puede dividirse en componentes más pequeños ni transformarse en otra molécula. Un átomo, formado por protones, neutrones y electrones, es la unidad fundamental de un elemento. Todos los átomos de un elemento contienen el mismo número de protones. Algunos ejemplos de elementos son el hidrógeno, el carbono, el oxígeno, el nitrógeno y el calcio.

Antibióticos.

Según la OMS (2018) señala que:

Los antibióticos son sustancias químicas fabricadas por diferentes tipos de microbios (bacterias, hongos y actinomicetos) que impiden el crecimiento de otros microorganismos y, en última instancia, los matan. Recientemente, la palabra se ha ampliado para abarcar sustancias artificiales que también tienen propiedades antibacterianas, como las sulfonamidas y las quinolonas.

Los medicamentos llamados antibióticos se utilizan para detener y tratar las infecciones bacterianas. Cuando las bacterias evolucionan en respuesta al uso de antibióticos, se desarrolla una resistencia a los mismos. Las bacterias desarrollan resistencia a los antibióticos, no las personas ni los animales. Estas bacterias pueden infectar tanto a personas como a animales, y estas enfermedades son más difíciles de curar que las causadas por bacterias no resistentes (OMS, 2018).

Tipos de antibióticos.

Según la página web de Austral (2016) indica que, “existen diferentes tipos de antibióticos como: penicilinas, aminoglucósidos, glicopéptidos, tetraciclinas, quinolonas, cloranfenicol, lincosamidas, rifamicinas, sulfonamidas, oxazolidinonas, nitroimidazoles” de los cuales señala también que “los efectos adversos se cuentan los menos graves como la intolerancia gastrointestinal que comprende náuseas, vómitos y diarreas; hasta los más graves como alergias que

podrían llevar a la muerte, disminución de la función de algún órgano central como el hígado, la médula ósea, el riñón, etc”.

Fluoroquinolonas.

Según AEMPS, (2018) indica que “Las quinolonas y fluoroquinolonas son antibióticos sintéticos utilizados para el tratamiento de un amplio espectro de infecciones bacterianas entre las que se incluyen infecciones de las vías urinarias y respiratorias, del aparato genital y gastrointestinal, así como infecciones cutáneas, óseas y articulares”.

Las acciones principales según el Manual MSD (2016) Las fluoroquinolonas tienen actividad de desinfectar “dependientemente de la concentración, mediante la abstención de la energía de la DNA girasa y la topoisomerasa, enzimas necesarias para la replicación del DNA”.

Y los riesgos son los siguientes:

Tiene un efecto adverso alto en gastrointestinales, un 5% de los pacientes sufren de irritaciones directas en el tubo digestivo y consecuentemente efectos en el sistema nervioso central, ejemplo; “cefaleas leves, somnolencia, insomnio, mareos, alteraciones del humor, los efectos estimulantes del sistema nervioso central de las fluoroquinolonas. La neuropatía (p. ej., dolor, ardor, hormigueo, entumecimiento, debilidad, cambio de la sensibilidad)”, así lo señala en el (Manual MSD, 2016)

Tetraciclina.

Según el Manual MSD (2016) señala que “las tetraciclinas son antibióticos bacteriostáticos que se unen a la subunidad 30S del ribosoma, por lo que inhiben la síntesis de proteínas bacterianas”, por tanto las tetraciclinas precisas son: “Doxiciclina, Eravaciclina (solo IV), Minociclina, Omadaciclina (nueva aminometilciclina), Tetraciclina”.

También indica que “los efectos adversos de las tetraciclinas incluyen; Trastornos gastrointestinales, Diarrea inducida por Clostridioides (antes denominado

Clostridium) difficile (colitis pseudomembranosa), Candidiasis, Fotosensibilidad, Efectos sobre huesos y dientes en los niños, Hígado graso, Disfunción vestibular (con minociclina)”, Todas las tetraciclinas orales causan “náuseas, vómitos y diarrea, y pueden producir diarrea inducida”

1.1.4. Herramientas de teledetección.

Sistema de información geográfica.

Escobar O. y Corra E (2014) indican que:

Técnicamente hablando, un SIG es una tecnología de gestión de la información geográfica formada por componentes electrónicos (hardware) y software que puede manejar una variedad de datos espaciales (información geográfica) y realizar análisis complejos sobre ellos respetando las normas establecidas por los profesionales en la gestión de dichos elementos.

Por ejemplo, tenemos la capa de límites municipales y la capa de hidrología (ríos y arroyos). A través del SIG, podemos consultar qué arroyos pasan por el municipio X, el río Y qué municipios atraviesa, la distancia entre el río Y y el arroyo Z, entre otras cosas. Los sistemas de información geográfica funcionan almacenando información en capas para cada tipo de tema o información que esté relacionada geográficamente (Escobar Ocampo y Corra Estrada, 2014).

Figura 2

Capas de información que representan la realidad

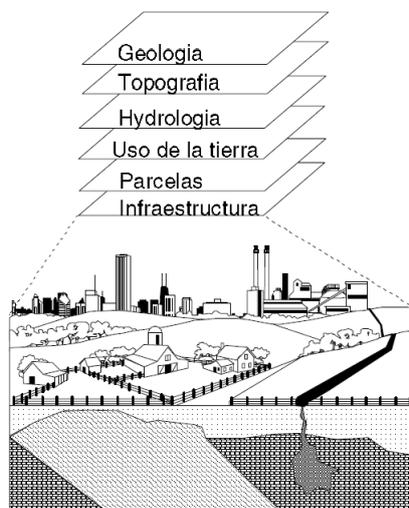


Figura 3

Componentes de un SIG



Nota: Escobar y Corra (2014)

Los autores Escobar O. y Corra E. (2014) señalan que un SIG consta de los siguientes componentes:

- *Equipos (Hardware)*: Hoy en día, la mayoría de los ordenadores, desde los PC hasta los ordenadores personales, pueden ejecutar programas de SIG.
- *Software*: Son los principales elementos de las aplicaciones SIG, que dan a los usuarios la capacidad de manipular y analizar datos, son los siguientes:
 - database administration program.
 - graphical user interface that makes the software simple to operate.
 - instruments for collecting and managing geospatial data.
 - Tools for geographic data consultation, analysis, and visualization.
 - There is now free GIS software accesible.
- *Datos*: Como ya se mencionó, este es el elemento de mayor interés porque contar con datos sólidos de apoyo es crucial para obtener mejores resultados al analizar la información. Teniendo en cuenta que los datos geográficos son los que caracterizan el mundo real, y que una información inexacta o incompleta daría lugar a resultados inexactos o incompletos, se enumeran las siguientes características de los elementos:
 - Cada elemento tiene una ubicación absoluta que viene determinada por sus coordenadas, ya que ocupa un espacio en la superficie terrestre o por debajo de ella.

- Todos los componentes del espacio interactúan entre sí, mantienen conexiones con otras cosas y establecen una ubicación relativa.
 - Cada elemento geográfico contiene una figura geométrica como propiedad visual que puede representarse mediante un punto (postes de luz), una línea (ríos) o un polígono (terreno poligonal) (Lago).
 - los atributos que lo caracterizan y que no pueden representarse fácilmente en un mapa, como el uso, el color, el valor, el propietario, etc.
- *Recursos humanos:* Sin los profesionales que gestionan, crean y definen las normas para aplicar el sistema al mundo real, la tecnología SIG no proporcionaría ningún resultado.

Base de datos.

Es otro de los términos que se utiliza bastante en el campo de un SIG, por tanto, Escobar O. y Corra E. (2014) Conceptualizan la Base de Datos de la siguiente manera:

Antes de abordar el tema de las bases de datos, es fundamental comprender varias ideas fundamentales relacionadas con el tema los cuales son:

- La columna de datos geográficos de una tabla es un **atributo**.
- **Base de datos:** un repositorio o lugar para almacenar información.

Cobertura Geográfica: es una capa de información que representa una línea, un punto, un polígono o cualquier otro tipo de elemento, para facilitar el descubrimiento de la información, esta capa se divide en muchas categorías.

Entidad: representa un carácter (persona, evento, objeto, etc.) que debe ser perceptible desde su entorno y proporcionar información. Esta entidad, que se basa en la idea de una base de datos, representa digitalmente la descripción de un accidente geográfico y está vinculada a un nombre que es intercambiable con otras entidades. (Ej: vías, línea de presurizada, barrios, localidades, municipios) (Korth, 1998).

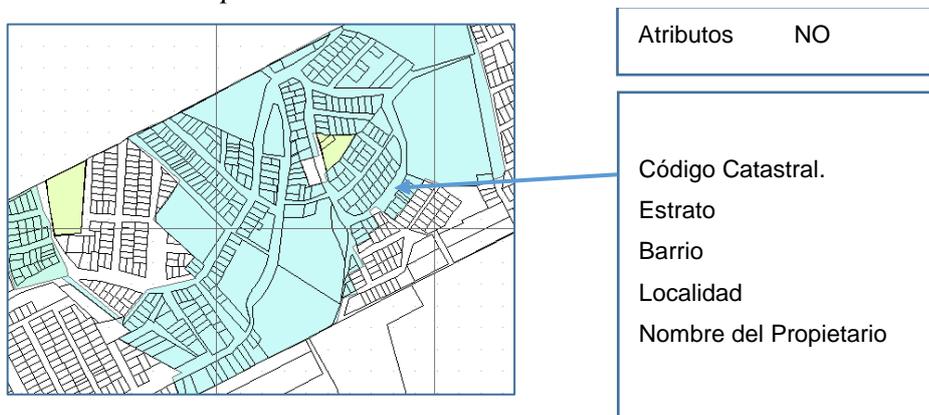
Modelo de datos: es una conceptualización descriptiva de los datos, sus relaciones, significado y restricciones de consistencia dentro de un SIG (Korth, 1998).

Descripción de Base de Datos:

En esencia un SIG está compuesto por dos grandes bases de datos los cuales son; base de datos alfanuméricos que consta justamente de todos los elementos señalados anteriormente, y el segundo es la base gráfica que son mapas, mapas temáticos y estadísticos, ambas informaciones se correlacionan y se obtiene una información (Ej. Dirección, Barrio, Nombre, etc.)

Figura 4

Atributos no espaciales



Nota: (Escobar Ocampo, 2014)

Por lo tanto, una base de datos es una colección de datos que ha sido organizada metódicamente para su posterior uso, permitiendo la integración de datos de todos los componentes del SIG (como puntos, líneas, polígonos, imágenes de satélite, tablas de datos, etc.); este tipo de base de datos nos permite crear abstracciones del complejo mundo real a uno sencillo y fácil de usar (Escobar Ocampo & Corra Estrada, 2014)

Figura 5

Base de datos como abstracción del mundo real



Fuente: (Escobar Ocampo, 2014)

Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (IDEP)

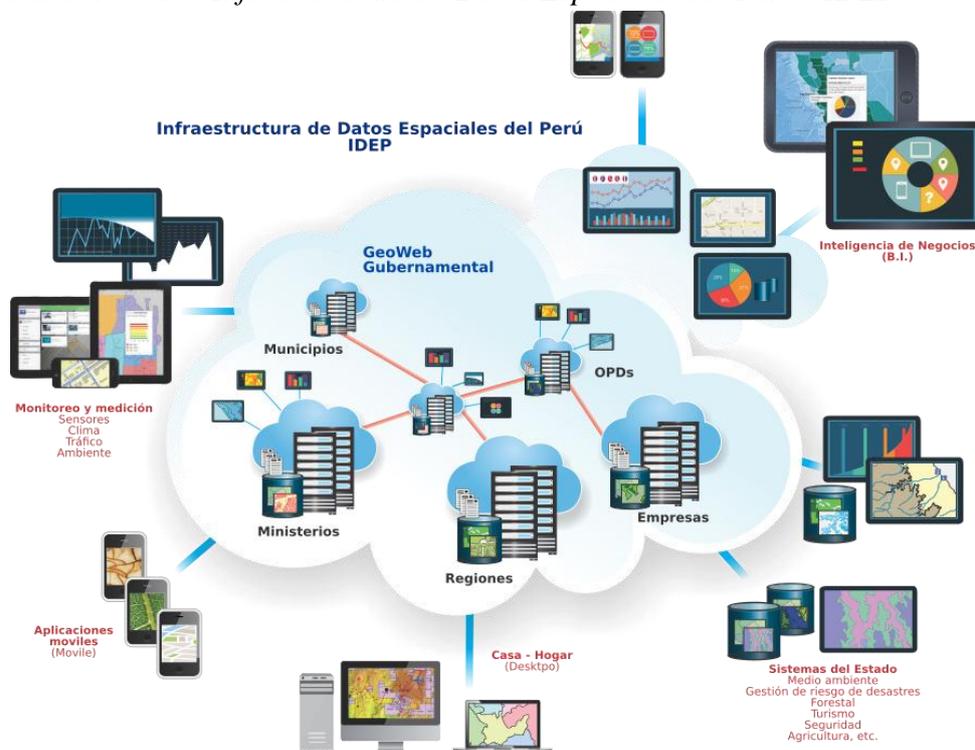
Según Infraestructura de datos espaciales del Perú (2007) señala que es el “conjunto articulado de políticas, estándares, organizaciones, recursos humanos y tecnológicos destinados a facilitar la producción, uso y acceso a la información geográfica del Estado a fin apoyar el desarrollo socio-económico y favorecer la oportuna toma de decisiones” implementada por al (Resolución Ministerial 325-2007-PCM).

Por tanto “La IDEP es una estructura virtual en red, mantenida por las mismas entidades públicas y privadas productoras de información geográfica, que brindan esta información vía internet con un mínimo de protocolos y especificaciones normalizadas”.

Además “La IDEP asegura la cooperación entre entidades públicas y privadas con el propósito de hacer accesible la información geográfica de nuestro territorio, y permite acceder a información geográfica oficial y actualizada de una manera eficaz y a bajo costo por internet”.

Figura 6

Esquema General de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú - IDEP.



Nota: Información obtenida de IDEP 2007

Teledetección.

En su artículo Mas Monsonis (2017) señala que “La teledetección espacial es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde los sensores instalados en plataformas espaciales, suponiendo que entre la tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar, de un haz energético artificial o por emisión propia”, en la actualidad se vienen utilizando información espectral a través de las imágenes de vehículos aéreos no tripulados UAS/RPAS, conocidos con el DRON.

Fundamentos físicos de la teledetección.

Mas Monsonis (2017) en su artículo señala que “la teledetección es una técnica que permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para ello, es necesario que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción, distinguiéndolos de la información que este les envía”.

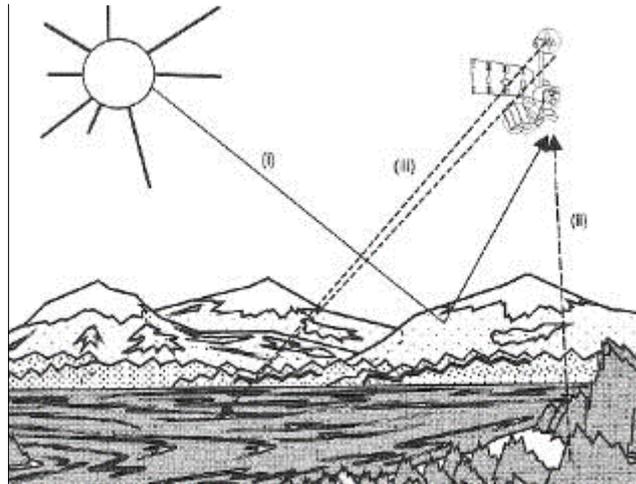
Ademas de ello Mas Monsonis (2017) señala que:

Todo sistema de teledetección debe contener un sensor, una superficie observada y un flujo de energía que conecte a los tres. Esto permite al sistema distinguir entre varios tipos de superficie.

El método por el que se consigue la interacción con la superficie varía entre los sensores, estableciéndose un flujo por i) reflexión cuando el sensor capta un flujo de energía del Sol reflejado por la superficie de la Tierra; ii) emisión cuando un dispositivo en la superficie emite una señal al espacio y es captada por el sensor; y iii) reflexión-emisión cuando el propio sensor emite y capta la onda una vez que se refleja en el objeto a estudiar. Los principios mencionados se representan visualmente en la figura 7

Figura 7

Formas de teledetección.



Nota: (i)Reflexión (ii)Emisión (iii)Reflexión-Emisión Chuvieco 2008.

Por otro lado, Mas Monsonis (2017) en su artículo señala que en “cualquiera de los tres casos definidos, el flujo energético constituye una forma de radiación electromagnética transmitida por radiación. Para poder entender completamente un sistema de teledetección, se detallan a continuación las dos teorías que tratan de explicar el comportamiento y las propiedades de la radiación electromagnética”.

1° Teoría Ondulatoria: consiste que la radiación electromagnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, y a la velocidad de la luz el mismo que contiene dos campos de fuerza, uno eléctrico y otro magnético, definidos por la longitud de onda y su frecuencia.

2° Teoría Cuántica: Establece la radiación electromagnética como una sucesión de fotones con masa igual a 0. Esta teoría permite calcular la cantidad de energía contenida en un fotón siempre y cuando se conozca su frecuencia, correspondiendo una mayor energía a altas frecuencias y viceversa.

El espectro electromagnético.

Para Mas Monsonis (2017) el espectro electromagnetismo es:

Según el pacto con la teoría cuántica, una longitud menor de onda soporta un incremento de la energía contenida por la radiación electromagnética. Y se relaciona con la frecuencia, siendo esta la inversa de la longitud de onda $f=1/L$.

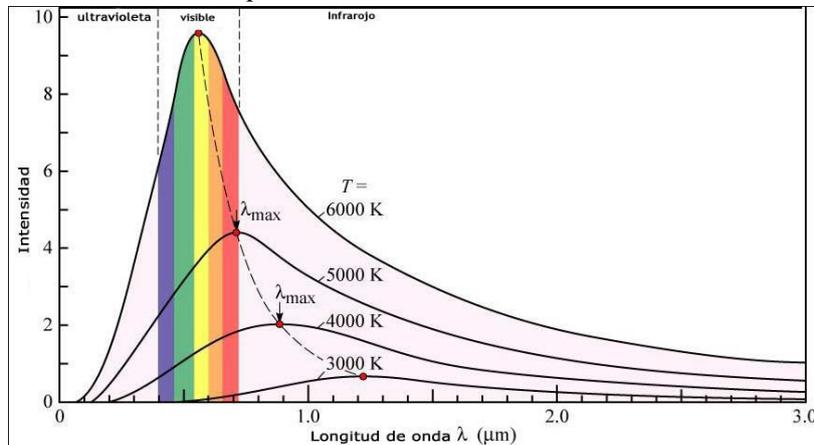
Siguiendo este principio, tendrá como consecuencia, una onda de gran frecuencia seguidamente tendrá una longitud de onda menor.

Así mismo señala que un cuerpo incandescente ya ha emitido radiación electromagnética. La temperatura del cuerpo emisor afecta a sus características físicas; las altas temperaturas provocan emisiones de alta energía y altas frecuencias de onda. 12. La relación entre la temperatura del elemento emisor y la longitud de onda máxima de la radiación se observa en la figura 9, (Mas Monsonis, 2017).

De la misma forma según los análisis, señala que “Se ha comprobado que el espectro visible corresponde a la máxima radiación emitida por un cuerpo a la temperatura del Sol, que es de unos 6000K. Este máximo cambia a longitudes de onda más largas cuando la temperatura del cuerpo emisor desciende, entrando en el infrarrojo. Al aumentar la temperatura, se entra en el espectro ultravioleta.” así lo define (Mas Monsonis, 2017).

Figura 8

Relación de la temperatura con el máximo de radiación



Nota: Dpto. Física Aplicada Universidad de Sevilla.

Otra definición es:

A pesar de la continua secuencia de valores de longitud de onda, se han identificado una serie de bandas en las que la radiación electromagnética presenta un comportamiento similar. El término "espectro electromagnético" hace referencia a cómo se organizan estas bandas en función de su longitud de onda. Cabe destacar

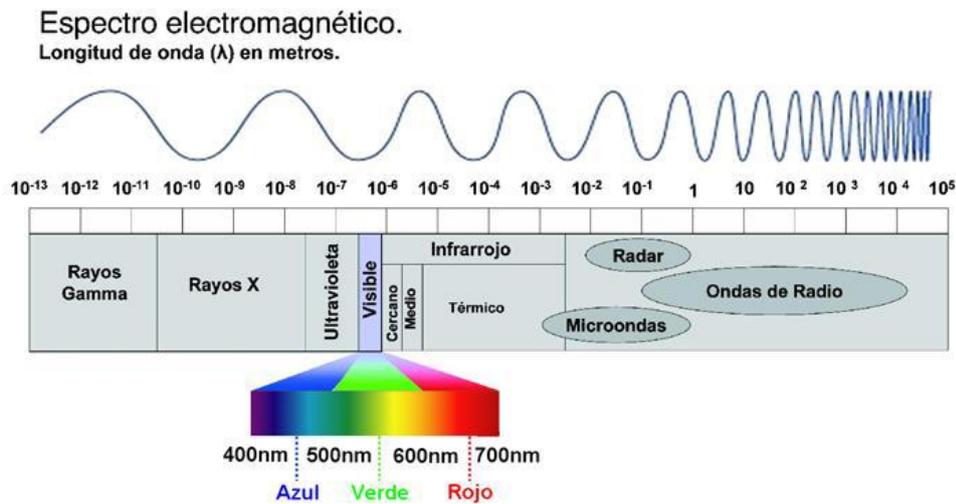
cinco bandas espectrales, ya que son las más empleadas con la tecnología actual cuando se trata de aplicaciones de teledetección, (Mas Monsonis, 2017).

- **Espectro Visible (VIS: 0,4 a 0,7 μ m):** Su nombre se debe a que el ojo humano sólo puede distinguir esta forma particular de radiación electromagnética. Hay tres bandas principales en el espectro visible: el rojo (0,7 a 0,6 m), el verde (0,6 a 0,5 m) y el azul (0,5 a 0,4 m). El Sol emite la mayor cantidad de energía en su pico del espectro visible (Mas Monsonis, 2017)
- **Infrarrojo cercano (NIR: 0.7 a 1.3 μ m):** “Resulta de especial importancia para discriminar masas vegetales, ya que coincide el NIR coincide con el máximo de reflexión de estas” (Mas Monsonis, 2017).
- **Infrarrojo medio (SWIR: 1.3 a 8 μ m):** En esta zona del espectro electromagnético coexisten los procesos de reflexión solar de las superficies y la emisión de energía electromagnética de la superficie terrestre. Es útil para determinar el contenido de humedad de los suelos entre 1,3 m y 2,5 m. Es el espectro perfecto para reconocer y detectar los incendios forestales, así como actividades como las erupciones volcánicas que alcanzan altas temperaturas en la superficie terrestre entre las longitudes de onda de 2,5 y 8 m. (Mas Monsonis, 2017)
- **Infrarrojo lejano o térmico (TIR: 8 a 14 μ m):** “En estas longitudes de onda se detecta con gran claridad el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres” (Mas Monsonis, 2017)
- **Micro-ondas (a partir de 1 mm):** Al tratarse de un tipo de energía extremadamente transparente para la atmósfera terrestre, es de enorme interés. Cuando un sensor genera y recibe directamente la radiación (como en un radar), se emplea este tipo de espectro y, en función de cómo se refleja la radiación, puede distinguir entre varias cosas. (Mas Monsonis, 2017)

En la siguiente figura 10 podemos observar el lector del espectro electromagnético el mismo que ve muy detallado para su mejor comprensión.

Figura 9

Espectro electromagnético.



Nota: Luz y pigmentos fotosintéticos. KhanAcademy.

Por último:

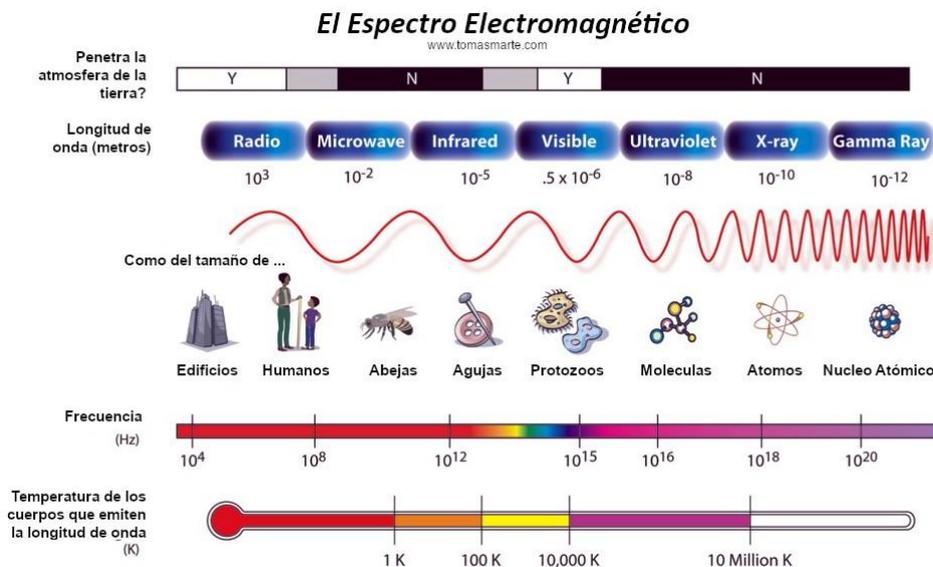
El espectro electromagnético que se va a utilizar se selecciona cuidadosamente de manera que la radiación generada o reflejada por la cubierta terrestre sea captada por el sensor situado en el espacio con la menor cantidad de interferencias. Esta decisión se tomó porque la atmósfera absorbe una parte del espectro electromagnético. El término "ventanas atmosféricas" se refiere a este fenómeno (Mas Monsonis, 2017)

El Espectro electromagnetismo.

El espectro electromagnetismo en su página web de bruburaca, Tomás Marte (2020) Señala que; “Podrías creer que todo en el mundo se limita a lo que puedes ver, pero si reflexionas un poco, te darás cuenta de que no es así. La energía eléctrica y magnética que se mueve por el cosmos es mucho mayor que la luz que perciben los humanos”.

Figura 10

El Espectro electromagnético.



Nota: <https://www.tomasmarte.com/2020/07/03/el-espectro-electromagnetico/>

Así mismo, Tomás Marte (2020) indica que “Las ondas de luz y otros tipos de energía que irradian (o viajan) desde el lugar donde se producen, se denominan radiación electromagnética. Juntas, forman lo que se conoce como espectro electromagnético”.

Del mismo modo Tomás Marte (2020) señala que:

El vívido arco iris que vemos en los días luminosos y nublados es sólo una pequeña porción del espectro electromagnético que es visible para la vista humana y representa la cantidad total de energía electromagnética que impregna nuestro planeta. Las ondas electromagnéticas que componen la luz visible, a la que nos referimos como luz visible, también son responsables de las ondas de radio, las microondas y todo lo demás.

La electricidad y el magnetismo se comportan como ondas ascendentes y descendentes y se mueven a la velocidad de la luz en una relación de ángulo recto (300.000 km por segundo). La gama de colores que los ojos humanos son capaces de percibir incluye el rojo (la frecuencia más baja y la longitud de onda más larga de la luz que pueden detectar), el naranja, el amarillo, el verde, el azul, el índigo

y el violeta (la frecuencia más alta y la longitud de onda más corta que podemos ver).

Regiones del espectro electromagnético.

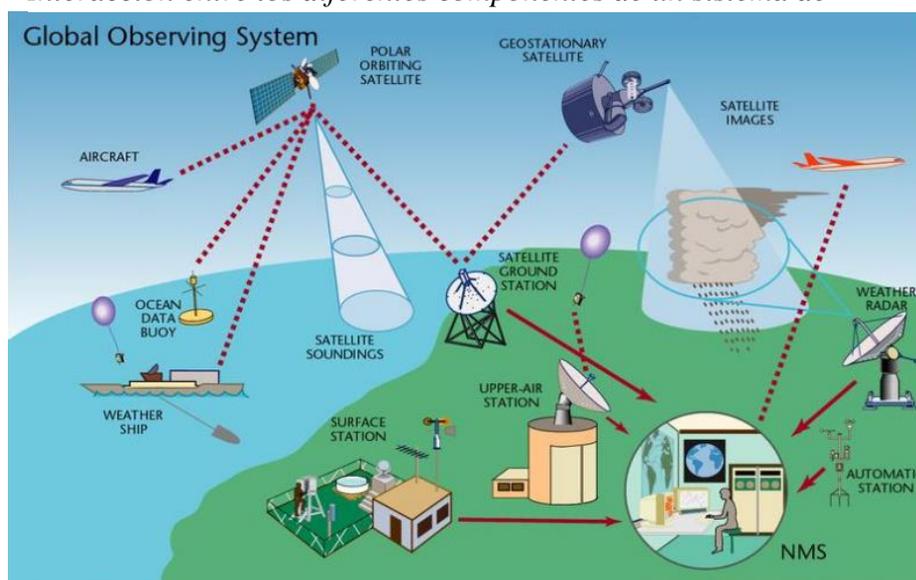
- Ondas de radio (longitud de onda > 10-1 metros)
- Microondas (longitud de onda ~ 10-3 a 10-1 metros)
- Infrarrojo (longitud de onda ~ 10-6 a 10-3 metros)
- Visible (longitud de onda ~ 10-7 metros)
- Ultravioleta (UV) (Longitud de onda 10-7 – 10-8 metros)
- Rayos X (longitud de onda de 10-8 a 10-12 metros)
- Rayos gamma (longitud de onda <10-12 metros)

Componentes de un sistema de teledetección.

Mas Monsonis (2017) relata la secuencia de los componentes donde se dice: Anteriormente, la idea de la teledetección se presentaba como una aplicación de la ciencia que permite recoger datos de la superficie terrestre sin contacto físico con las cosas que se ven. Para que el sensor sea capaz de recoger información terrestre, comunicarla, almacenarla de forma comprensible y, en última instancia, ser interpretada por un usuario para cumplir los requisitos de la definición, deben estar presentes una serie de componentes. Los componentes de un sistema de teledetección son los siguientes.

Figura 11

Interacción entre los diferentes componentes de un sistema de



Nota: World Meteorological Organization.

Tal y como reza Chuvieco S. (2008) en su libro Teledetección Ambiental, “un sistema de teledetección espacial incluye como mínimo seis elementos que interaccionan entre sí para dar lugar al conjunto de la Teledetección (p,18)”:

- a) **Fuente de energía:** Anteriormente, la idea de la teledetección se presentaba como una aplicación de la ciencia que permite recoger datos de la superficie terrestre sin contacto físico con las cosas que se ven. Para que el sensor sea capaz de recoger información terrestre, comunicarla, almacenarla de forma comprensible y, en última instancia, ser interpretada por un usuario para cumplir los requisitos de la definición, deben estar presentes una serie de componentes. Los componentes de un sistema de teledetección son los siguientes (Chuvieco, 2008, p.18)
- b) **Cubierta terrestre:** “Formada por los distintos elementos situados sobre la corteza terrestre, distinguiéndose principalmente masas de agua, materia vegetal y suelo desnudo... etc. Que con sus propiedades físicas características reflejan de manera determinada la radiación” (Chuvieco S., 2008).
- c) **Sistema sensor:** “Compuesto por el propio sensor y la plataforma que lo alberga. Capta la energía reflejada por la cubierta terrestre” (Chuvieco S., 2008).
- d) **Sistema de recepción de la información:** “Situado en la superficie terrestre, recibe la información transmitida por el sensor y la almacena para ser posteriormente distribuida entre usuarios” (Chuvieco S., 2008).
- e) **Intérprete:** “Convierte la información obtenida en datos de interés, con la finalidad de facilitar a un usuario final el empleo de dicha información” (Chuvieco S., 2008).
- f) **Usuario final:** “Encargado de escrutar la información obtenida y dictaminar unas determinadas consecuencias a raíz de su estudio” (Chuvieco S., 2008).

Imagen satelital.

En la página web de UCH (2018) define que:

Las La información obtenida por un sensor colocado en un satélite artificial se representa visualmente en imágenes de satélite. Estos sensores recogen los datos reflejados en la superficie de la Tierra, que luego se retransmiten al planeta y se

procesan adecuadamente, incluyendo el tratamiento numérico de la imagen, que incluye:

Preprocesamiento

Son los datos brutos iniciales que se utilizan para eliminar el ruido de la imagen y corregir las aberraciones radiométricas y geométricas. Los mecanismos que modifican los valores de brillo de los píxeles provocan aberraciones radiométricas. En la mayoría de los casos se deben a las interferencias atmosféricas y a los impactos en los instrumentos (UCH, 2018)

Realce

“Son procedimientos que tienden a mejorar la interpretación visual de una imagen, aunque no aumentan la cantidad de información contenida en ella. El rango de opciones que dispone el analista para realces de imagen es virtualmente ilimitado” (UCH, 2018).

Clasificación

“Es la etapa de operaciones, extracción de información reemplazando el análisis visual de la imagen mediante la aplicación de técnicas cuantitativas para automatizar la identificación de los objetos en una escena. Esto implica la aplicación de datos a distintas técnicas” (UCH, 2018).

Las Imágenes de satélite y su aplicación en la vida cotidiana

Según Axess (2020) en su página web señala que:

Desde principios del siglo XX, el ser humano se ha interesado por ver la superficie de la Tierra desde el espacio. Desde entonces, el ritmo de los avances tecnológicos nos ha permitido conocer mejor el mundo que nos rodea. Por ello, muchos gobiernos han destinado importantes recursos financieros a la investigación espacial en un esfuerzo por desarrollar nuevas herramientas e infraestructuras que permitan avanzar en esta comprensión.

Figura 12

Imágenes de satélite



Nota: Información obtenida de Networks Axess

Además Axess (2020) en su página web señala que:

Resultado de un sensor colocado a bordo de un satélite artificial que capta la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo, las imágenes de satélite también se denominan imágenes de observación de la Tierra, fotografías del espacio o simplemente fotografías de satélite. Estas imágenes se transmiten a estaciones terrestres para su visualización, procesamiento y análisis.

Tipos de imágenes

El tipo de sensor y el objetivo para el que se creó el satélite determinan los tipos de fotos de observación de la Tierra. Hoy en día se utilizan diferentes formas de imágenes satelitales, en función de su resolución espacial y de la información espectral, que van desde las primeras cámaras fotográficas instaladas en los satélites en la década de 1960 hasta los sensores hiperespectrales más avanzados y sensibles disponibles en la actualidad (Axess, 2020)

Por otro lado, Axess (2020) indica que; “la disponibilidad de imágenes satelitales gratuitas con diferentes resoluciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal, permite el uso de este recurso en distintos ámbitos, escalas y con distintas finalidades, siendo más accesibles”.

Aplicaciones

Según Axess (2020) “Las aplicaciones de las imágenes satelitales abarcan desde”:

- El espionaje militar.
- El monitoreo del cambio climático y de incendios e inundaciones.
- El seguimiento de sequías y la determinación de uso del suelo.
- La cartografía del flujo mundial del petróleo y la vigilancia de derrames del producto.
- La detección de floraciones de algas en el océano.
- El seguimiento de huracanes y tifones, y de la temperatura de la superficie.
- Las evaluaciones multiespectrales de vegetación.
- Hasta las aplicaciones que tanto nos deslumbran hoy, como poder ver el techo de nuestra casa con la aplicación Google Earth.

Además Axess (2020) señala que “Existen infinidad de aplicaciones probadas y potenciales de las imágenes satelitales, así como diversos proyectos nuevos para ser aplicados, no solo para el monitoreo del planeta, sino también para el mapeo y el análisis de otros astros del sistema solar”.

Imágenes tomadas por UAS/RPAS.

UAS/RPAS:

Díaz y Servigón (2015) Señala que los “UAS/RPAS son aeronaves sin tripulación a bordo, con unas particularidades técnicas excepcionales para realizar vuelos fotogramétricos, controlada remotamente a partir de un piloto mediante un sistema de control”.

Además Díaz y Servigón (2015) Señala que estas aeronaves, tienen dos segmentos claramente definidos:

- Segmento de Vuelo: Formado por el Vehículo Aéreo y los sistemas de Recuperación (aterrizaje sobre ruedas o patines, red, cable, paracaídas...) (Díaz y Cervigón, 2015).

- Segmento de Tierra: Formado por la Estación de Control (está en tierra y, recibe la información enviada por los drones y a su vez les dan órdenes) y los sistemas Lanzador (pueden ser hidráulicos, neumáticos, etc.) (Díaz y Cervigón, 2015).

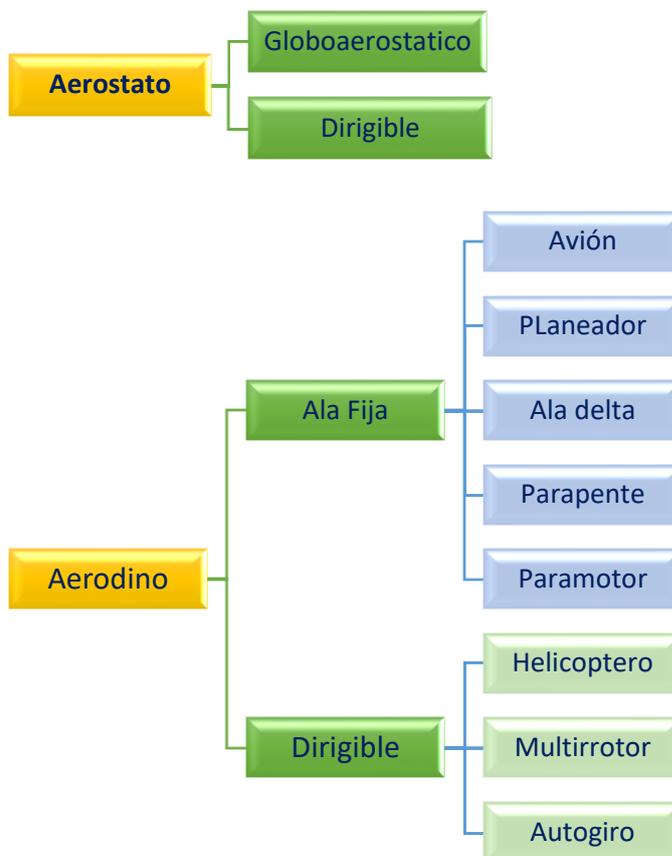
Díaz y Cervigón, (2015) indican que: “Para captar los datos necesarios para la observación aérea mediante UAS/RPAS, hay que formar cuatro conjuntos que se reparten entre la plataforma aérea y la estación terrestre siguientes”:

- Plataforma de Vuelo: el propio vehículo y su carga, es decir, la cámara fotográfica y otros sensores.
- Sistema de Control de Vuelo: Formado por receptores GPS+EGNOS integrados en la plataforma de vuelo. Georreferencia la información obtenida y controla el seguimiento del vehículo aéreo.
- Sistema de Lanzamiento y Recuperación: controla el despegue y el aterrizaje.
- Sistema de Comunicaciones: a través de la radio, comunica la estación de control con el UAS, transmite la información adquirida durante el vuelo.

Se pueden utilizar diferentes criterios para clasificar las aeronaves, pero la clasificación más común se basa en la forma en que la aeronave genera sustentación en la atmósfera.

Figura 13

Clasificación de aeronaves



Nota: Información Obtenida del libro de Díaz García-Cervigón, Juan José 2015.

Ala Rotatoria:

Díaz y Servigón (2015) indica que los “Vehículos aéreos no tripulados con ala rotatoria son aquellos en los cuales, las fuerzas de impulsión y estabilidad se logran mediante el giro de las hélices en el aire, siendo estos vehículos conocidos como multirrotores o helicópteros”.

Díaz y Servigón (2015) señala que sus características son:

- Despegue y aterrizaje vertical, reduciendo las necesidades de espacio para las maniobras de aterrizaje y despegue.
- Posibilidad de volar a puntos fijos Vuelo estacionario, muy útil para aplicaciones de inspección.
- Mayor maniobrabilidad y precisión de vuelo, ya que los sistemas de ala fija siguen trayectorias curvilíneas, con radios de giro relativamente grandes y

velocidades de ascenso y descenso bastantes estrictas, sin embargo, los multirrotores pueden volar siguiendo cualquier trayectoria en las tres dimensiones.

- El diseño de los multirrotores permite embarcar cargas de pago más voluminosas.

Así lo señala el autor.

Aparatos con ala fija:

Diaz y Servigon (2015) Indica que “los equipos de ala fija, son los considerados como aviones, y sus principales características son”:

- Son más eficientes que los multirrotores, ya que, a igualdad de tamaño, tienen mayor autonomía.
- Vuelan a mayor velocidad, por lo que al tener además mayor autonomía recubren más superficie, siendo más útiles en tareas de cartografía o teledetección.
- Tienen menor huella sonora, siendo más indicados para operaciones de vigilancia.
- Tienen mayor rango meteorológico, en términos de temperatura, viento y lluvia.

Reflectancia de las superficies terrestres

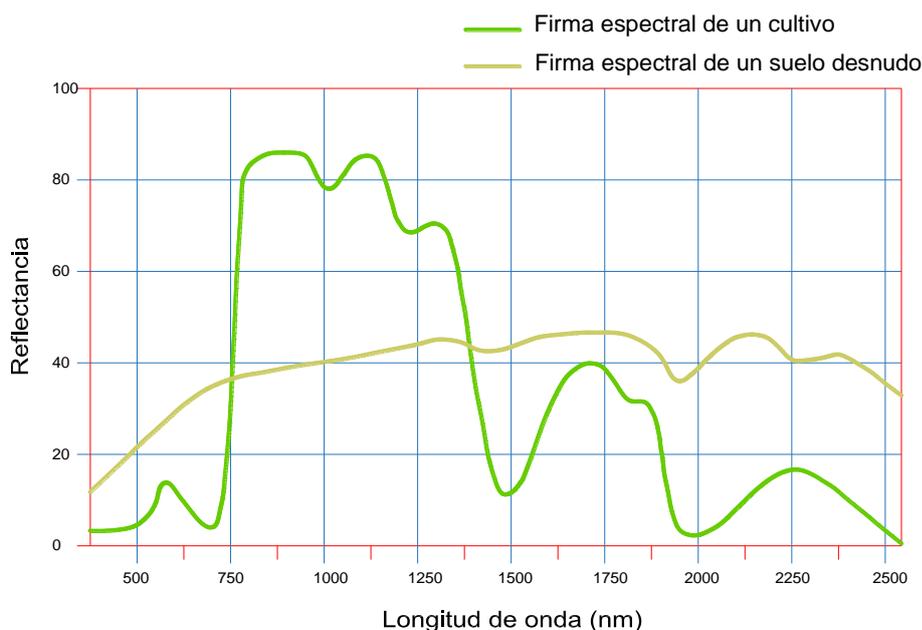
Para Labrador García et al. (2012) señala que “La reflectancia espectral es una característica de las superficies terrestres, algo fundamental en teledetección. Se define como la proporción de energía incidente que es reflejada por una superficie”.

Por lo tanto, es una cantidad adimensional con un rango de 0 a 1 o de 0 a 100% para valores porcentuales. Esta característica cambia con la longitud de onda para una determinada superficie. El término "curva de reflectancia espectral" o "firma espectral" se refiere al gráfico de la reflectancia espectral frente a la longitud de onda (Figura 15). La disposición de estas curvas permite derivar las propiedades espectrales de una superficie y tiene un impacto significativo en la selección de la zona espectral en la que deben recogerse los datos de teledetección para una determinada aplicación (Labrador García et al., 2012).

Por ejemplo, en la siguiente figura; “las curvas de reflectancia espectral para la vegetación siempre manifiestan los picos y valles que se muestran. Los valles en la región del visible vienen dados por los pigmentos en las hojas de las plantas”.

Figura 14

Firma espectral de una imagen satelital.



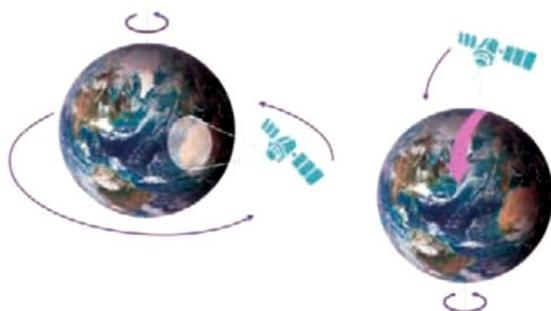
Nota: Información obtenida de (Labrador G., Évora B., & Arbelo P., 2013)

Características orbitales de los satélites de teledetección

Una órbita es la trayectoria que sigue una nave espacial al rodear la Tierra. Las cualidades y objetivos de los sensores del satélite la determinan. Normalmente, la altura, la dirección y la rotación en relación con la Tierra sirven para determinar las órbitas. (Labrador García et al., 2012).

Se dice que los satélites de gran altura que observan continuamente la misma zona de la superficie terrestre están en órbitas geoestacionarias (Figura 16 - izquierda). Debido a su ubicación constante con respecto a la superficie de la Tierra y a su altitud típica de 36.000 km, que es igual a la velocidad de rotación de la Tierra (Figura 16 - izquierda). con respecto a la superficie de la Tierra. Este tipo de órbita es la que utilizan los satélites meteorológicos como METEOSAT (Labrador García et al., 2012)

Figura 15
Órbita geoestacionaria. Órbita cuasi



Resolución de las imágenes.

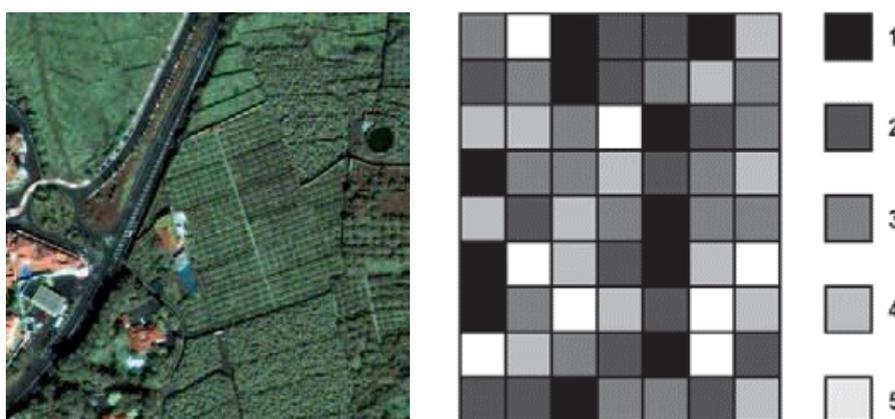
Labrador García et al., (2012) En libro señala “que los sensores instalados en los satélites de teledetección poseen una serie de particularidades que determinan las características de las imágenes que van a proporcionar. Estas características vienen definidas básicamente por diferentes tipos de resolución”:

Resolución Espacial

Para Labrador García et al. (2012) “es una medida de la distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra, y viene representada por un píxel. Un píxel es la unidad mínima que conforma una imagen digital”

Figura 16

Formato de una imagen digital en pixeles.



Nota: “Formato de una imagen digital (7 x 9 píxeles). Cada píxel representa un área de la superficie terrestre. Los tonos de gris de cada píxel hacen referencia a distintos niveles de energía detectada” (Labrador García et al., 2012)

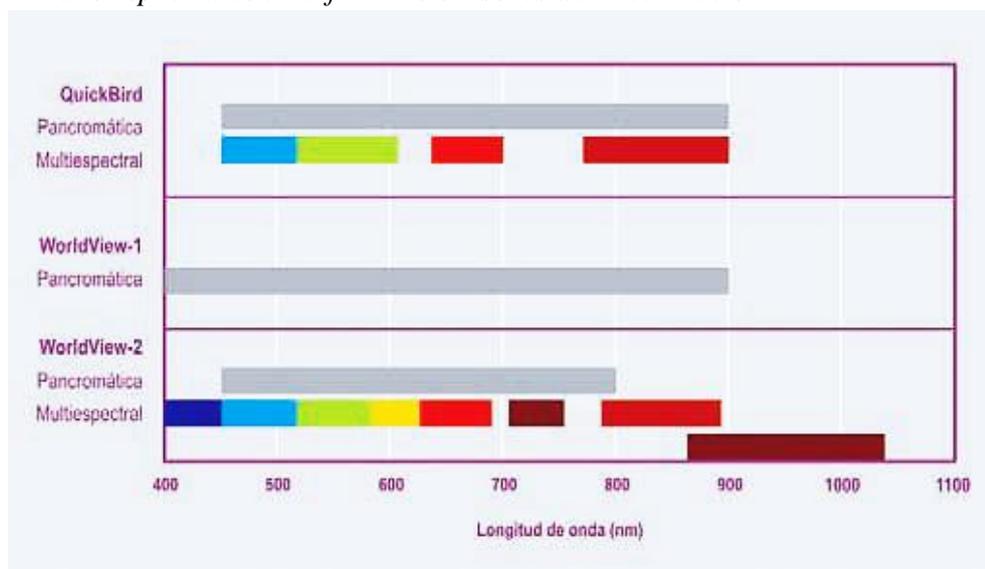
Resolución Espectral

Los equipos de teledetección normalmente sólo detectan la radiación en bandas de longitud de onda específicas para muestrear el espectro electromagnético (Figura 17). La luz azul, por ejemplo, sería captada por un sensor sensible a las longitudes de onda comprendidas entre 0,4 y 0,5 m. La banda espectral o canal de los datos de una imagen se denomina así. (Labrador García et al., 2012) define la “resolución espectral de un sensor como el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar”.

“Un incremento en la resolución espectral resultará en un número mayor de canales o bandas espectrales. Sin embargo, esta resolución adicional supone también un costo en términos de volumen de datos e incremento del costo de procesamiento” (Labrador García et al., 2012).

Figura 17

Bandas espectrales de diferentes sensores de teledetección.



Nota: Información Obtenida de (Labrador G., Évora B., & Arbelo P., 2013)

Resolución Radiométrica

La menor cantidad de energía necesaria para aumentar el valor de un píxel en un nivel digital se conoce como resolución radiométrica de los datos de teledetección (ND). El rango dinámico, o el mayor número de niveles digitales, que un sensor específico es capaz de detectar es otro término para la amplitud o extensión radiométrica. Los sensores más actuales suelen tener valores entre 0 y 2047. Dado

que todos los valores dentro de ese rango pueden ser representados por 11 bits (dígitos binarios) en un sistema digital, nos referiremos a esta situación como tener 11 bits de resolución radiométrica (Labrador García et al., 2012).

Dado que en ambas influye el contraste, la resolución radiométrica de las imágenes digitales es equivalente a la cantidad de escalas de grises de una fotografía en blanco y negro. La información visual de las fotografías digitales suele ser inferior a la que realmente contienen, ya que el ojo humano sólo puede ver unos 30 tonos de gris distintos. (Labrador García et al., 2012)

Al eliminar o minimizar el impacto de la atmósfera, existen métodos que permiten medir la reflectancia en relación con los objetos de la superficie. (Figura 19).

Figura 18

Imagen original captada por el satélite (izquierda). Imagen corregida del efecto atmosférico (derecha).



Nota: Información Obtenida del Satellite Imaging Corporation.

Resolución Temporal

Para Labrador García et al. (2012) define que:

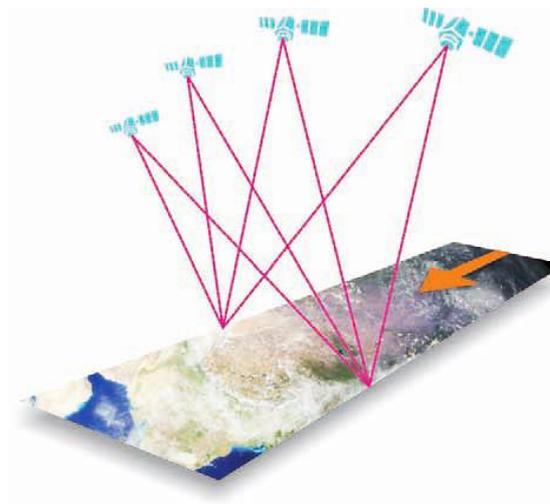
El ciclo de repetición, o intervalo de tiempo, entre dos adquisiciones posteriores de imágenes de la misma zona de la superficie se conoce como resolución temporal y está muy influenciado por las características orbitales del satélite. La fase de retorno es otro nombre para ello. Los satélites de recursos naturales (del tipo LANDSAT)

suelen tener una frecuencia de 16 a 18 días, mientras que los satélites meteorológicos (NOAA y METOSAT) suelen tener una frecuencia diaria o incluso menor. Sin embargo, muchos satélites modernos tienen la capacidad de rotar el sensor (Figura 20), lo que les permite aumentar su frecuencia de revisita para una zona determinada. Esta capacidad es crucial para vigilar las catástrofes naturales o para detectar procesos que no son especialmente duraderos en el tiempo.

La capacidad de reposicionar el sensor a ambos lados de la línea de paso del satélite, la anchura de la franja y la latitud -ya que, en el caso de las órbitas cuasi polares, cuanto más alta sea la latitud, más corto será el periodo de revisita- son los tres factores clave que determinan la resolución temporal de un sensor. La capacidad de tomar imágenes de la misma región de la superficie terrestre en distintos momentos del día o del año es una de las características más significativas de los satélites de teledetección. Las propiedades espectrales de una superficie terrestre pueden alterarse a lo largo del tiempo. Se pueden recoger y comparar imágenes multitemporales para encontrar estos cambios (Labrador García et al., 2012)

Figura 19

Mayor resolución temporal gracias a la reorientación de sensores en pases consecutivos.



Fuente: Satellite Imaging Corporation.

Tipos de imágenes de teledetección

Según Labrador García et al. (2012) define que:

El tipo de salida que suelen dar los satélites de teledetección es una imagen digital rasterizada (Figura 20). A cada píxel de esta imagen se le asignan uno o varios valores numéricos (niveles digitales) que corresponden a la energía media recibida dentro de una banda espectral determinada. Como resultado, se pueden adquirir los siguientes tipos de imágenes:

Imagen multiespectral (MS). Según Labrador García et al. (2012) una:

imagen en la que se asignan a cada píxel tantos valores numéricos como bandas espectrales pueda detectar el sensor. Esta forma de producto es la más útil a priori, ya que nos da esencialmente las firmas espectrales de los numerosos elementos que componen la imagen. El satélite IKONOS, por ejemplo, ofrece una imagen multiespectral con 4 bandas que cubren los rangos espectrales asociados a la luz azul, verde, roja e infrarroja cercana. La capacidad de examinar los componentes de la imagen aumenta con el número de bandas que ofrece el sensor.

Además de las fotografías multiespectrales, también existen las fotos hiperespectrales, menos frecuentes. Se distinguen por contener datos en varias bandas. Son necesarias, principalmente en mineralogía, para investigaciones de identificación y clasificación extremadamente precisas. Actualmente son bastante escasas porque sólo proceden de algunos satélites experimentales, como el sensor HYPERION (220 bandas) a bordo de la nave espacial EO-1 (Labrador García et al., 2012).

Imagen pancromática (PAN). Labrador García et al. (2012) señala que:

Produce una imagen que suele representarse en escala de grises, ya que contiene una única banda espectral que suele abarcar una parte importante del espectro visible y el comienzo del infrarrojo (imagen en blanco y negro). En cambio, se diferencian de las imágenes multiespectrales enviadas por el mismo satélite en que tienen una mejor resolución espacial. Por ello, resultan especialmente interesantes para detectar componentes diminutos de la superficie terrestre que son invisibles en las imágenes multiespectrales.

Cuando se pueden obtener al mismo tiempo fotos multiespectrales y pancromáticas de un satélite, esto se conoce como opción de paquete, y es práctica normal proporcionar ambas imágenes a petición.

Imagen fusionada (PS).

Según Labrador García et al. (2012) señala que:

El tipo de imagen se crea fusionando una imagen pancromática y otra multiespectral. La imagen pancromática se denomina PS. En esencia, consiste en asignar valores de un algoritmo que combina la imagen pancromática con la multiespectral a cada píxel de la imagen pancromática. El resultado es una imagen multiespectral con la resolución espacial de la imagen pancromática. Debido a que los algoritmos utilizados para crear estas imágenes modifican los datos espectrales originales registrados por los sensores, a menudo sólo se utilizan como ayuda para la interpretación visual y no para el análisis espectral. Los distribuidores oficiales de satélites que pueden captar imágenes multiespectrales y pancromáticas incluyen esta fusión en su oferta. Con el software adecuado, esta fusión puede.

Imagen estéreo.

En realidad, se trata de dos imágenes del mismo lugar tomadas desde varias perspectivas. Muchos satélites tienen la capacidad de rotar el sensor, lo que les permite captar este tipo de imágenes en una sola pasada o en varias. Se emplean con frecuencia para crear modelos de elevación del terreno Labrador García et al. (2012).

Bandas espectrales.

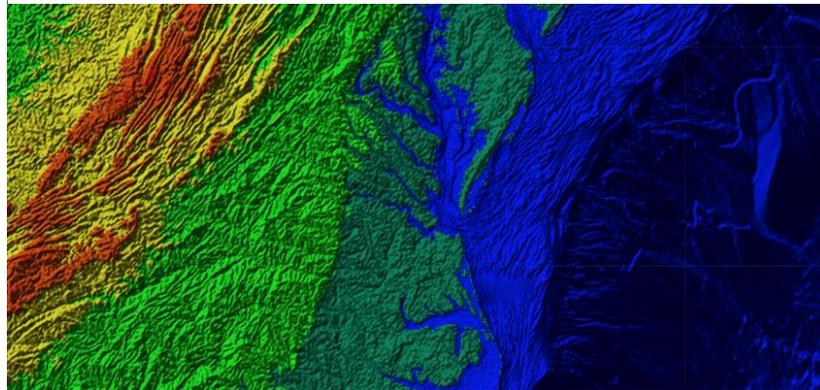
En su página web de Eos Data Analytics (2021) señala que:

Las imágenes por satélite tienen varios usos en el mundo real en numerosos sectores. La teledetección, a menudo conocida como observación remota, es la ciencia en la que se basan los mapas basados en satélites que pueden clasificar diferentes tipos de cobertura del suelo, detectar cambios o juzgar la salud de los cultivos. Los satélites emplean sensores a distancia para recopilar datos sobre diversas características de la superficie, como la cubierta del suelo, las estructuras,

la superficie del agua, la temperatura del aire, las elevaciones del terreno y muchas otras características.

Figura 20

Bandas espectrales en la observación remota



Nota: Imagen Satelital Earth Observig System

Las bandas satelitales más comunes.

Según el documento de web (Eos Data Analytics, 2021) define las bandas satelitales en el siguiente orden.

La banda costera según (Eos Data Analytics, 2021) señala que:

Se hizo para medir los cambios de color del océano, destacar las aguas poco profundas y encontrar pequeñas partículas de aerosol en el aire. El espectro visible abarca una gama de longitudes de onda de 400 a 700 nanómetros, que está cubierta por las bandas roja, verde y azul. Se utiliza junto con

Rojo, verde y azul (Eos Data Analytics, 2021) señala que:

Juntas, forman la banda pancromática, o banda de "todos los colores". A diferencia de la mayoría de las otras bandas, una imagen pancromática suele aparecer en blanco y negro y tiene una mayor resolución espacial. Para "afinar" la imagen compuesta final y resaltar más detalles, un pancromático se combina con cualquier otra banda espectral.

Las longitudes de onda del infrarrojo cercano (NIR)

Según (Eos Data Analytics, 2021) que la longitud de onda:

A diferencia de las bandas azules, verdes y rojas, se reflejan en las hojas y el dosel de las plantas sanas de forma considerablemente más brillante. Se encuentran justo después del rojo visible. Esta banda es perfecta para vigilar las plantas y comparar las masas de agua con otras formas cercanas.

Las nubes de gran altitud que no se detectan en la mayoría de las otras bandas pueden verse en las imágenes tomadas en la banda de los cirros.

Con la banda LWIR

(Eos Data Analytics, 2021) señalan que la banda LWIR:

Se Puede detectar el calor radiante que irradian las superficies terrestres y marinas en el rango infrarrojo de onda larga (8 a 14 micras). Esto implica que podemos calibrar el grado de calor de estas superficies. El infrarrojo de onda larga es una de las dos bandas espectrales de Landsat-8, que permite a este satélite controlar las temperaturas.

las dos bandas siguientes: (TIRS) Infrarrojo térmico: Banda 10 del infrarrojo térmico (TIRS) (10,6 - 11,19 micras).

Infrarrojo térmico (TIRS) banda 11 (11,50 - 12,51 micras)

Firma espectral.

(Pantaleone & Tosini, 2012) en su artículo señala que:

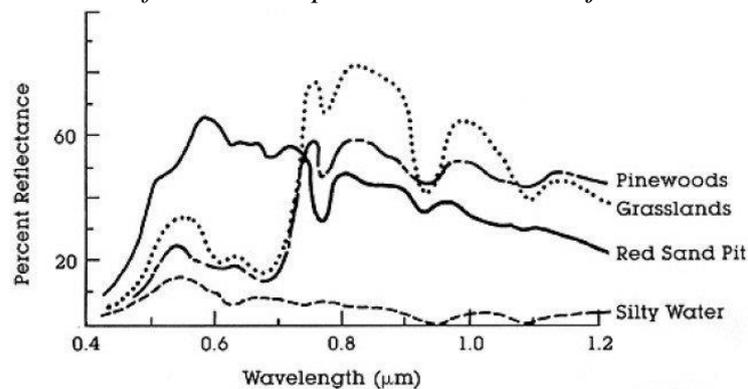
La medición cuantitativa o característica espectral de un elemento en una determinada longitud de onda (banda única) o rango de longitudes de onda se conoce como su firma espectral (multibanda). Esta medición varía en función del día del año y de la región que se haya medido. Las condiciones meteorológicas son otro aspecto que influye. Las fotos se ajustan mediante un factor de radiancia para poder hacer comparaciones sin tener en cuenta la hora o el lugar. Sin embargo, si sólo se quiere realizar una investigación limitada sin tener en cuenta la estación del año, se emplea el llamado ND o número digital, que es sólo el valor del píxel para una determinada banda y coordenada, como se muestra en la figura.

Firma Espectral

Por otro lado, la NASA (2017) define que “La firma espectral es la reflectancia en función de la longitud de onda (mira Figura Curvas de Reflectancia Espectral de Cuatro Objetivos); cada material tiene una firma única, por lo tanto, puede ser usada para la clasificación de materiales”.

Figura 21

Curvas de Reflectancia Espectral de Cuatro Objetivo



Nota: Información establecida por la (NASA L. , 2013)

Sistema sensor.

Mas Monsonis (2017) Afirma que:

Un sistema de sensores, está formado por el sensor y la plataforma sobre la que está montado, se encarga de recoger datos de la superficie terrestre y decodificarlos para su transmisión. La resolución de un sensor viene determinada por su capacidad para distinguir entre diferentes objetos y recoger información de la superficie terrestre con gran detalle. En la actualidad existen satélites con alta resolución, aunque la resolución de los sensores depende de las capacidades tecnológicas actuales.

Tipos de sensores

Mas Monsonis (2017) Señala que:

Dependiendo de cómo obtengan los datos de la superficie terrestre, hay dos tipos distintos de sensores. Los llamados sensores pasivos, que registran la radiación electromagnética emitida por la superficie terrestre, son un tipo de dispositivo. Los

sensores activos, en cambio, crean ondas de energía y las captan una vez que se reflejan en la superficie terrestre.

De los sensores pasivos podrían ser:

- Sistemas fotográficos.
- Radiómetros de microondas.
- Sensores ópticos electrónicos.

De los sensores activos puede ser:

- Sistema Radar
- Sistema Lidar.

Las orbitas satelitales.

Mas Monsonis (2017) Señala que:

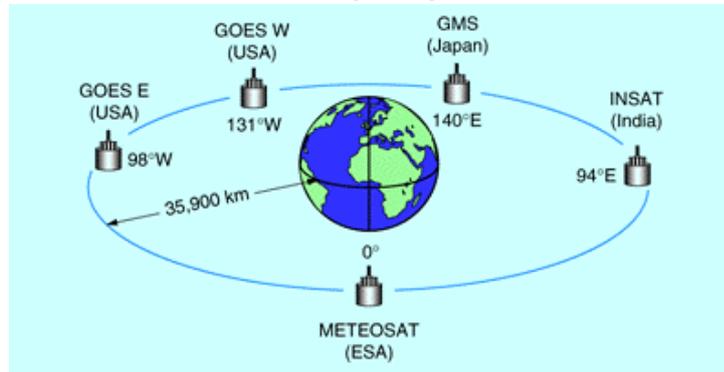
El sensor de la cámara tiene que estar montado en una plataforma espacial para poder ver la Tierra desde el espacio. La capacidad de un satélite para mantener una órbita estable alrededor de la Tierra durante un largo periodo de tiempo es el resultado de la anulación de las fuerzas que operan sobre él. Por un lado, está la atracción gravitatoria de la Tierra, que atrae al satélite. Por otro lado, la revolución del satélite alrededor de la Tierra provoca una fuerza centrífuga. Como no hay resistencia del aire fuera de la atmósfera terrestre, puede girar a una velocidad constante.

Órbitas geoestacionarias: según Mas Monsonis (2017)

Las órbitas geoestacionarias son aquellas en las que el satélite se mueve al unísono con la velocidad de rotación de la Tierra a una distancia de 36.000 kilómetros del ecuador. Como resultado, el satélite puede beneficiarse de ver siempre el planeta desde el mismo ángulo y tomar rápidas instantáneas de la misma superficie. Esto es muy útil para el seguimiento del tiempo.

Figura 22

Red de satélites meteorológicos geoestacionarios



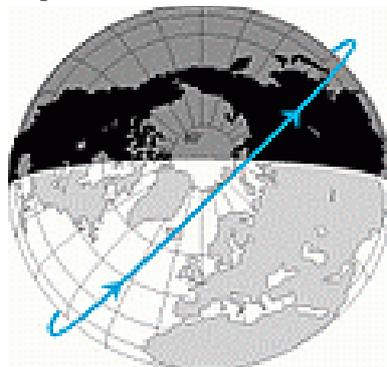
Fuente: @ESA. Las órbitas de los satélites.

Órbitas heliosíncronas: según Mas Monsonis (2017) señala que:

El funcionamiento de los sensores pasivos de muchas naves espaciales en órbita terrestre depende de la reflexión de la luz solar. Por ello, sus órbitas deben modificarse para el día y la noche. Las imágenes de estos satélites, que se utilizan sobre todo para vigilar los recursos naturales, deben obtenerse en las mismas condiciones de iluminación para poder compararlas eficazmente. Las grabaciones deben tomarse de acuerdo con este requisito a la misma hora local del día para que la altitud del sol sobre el horizonte se mantenga constante. La órbita polar de una nave espacial satisface estas condiciones.

Figura 23

Representación de una órbita polar.



Fuente: @ESA. Las órbitas de los satélites.

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Según Aguilar et al. (2016) afirma que:

La intensidad de la radiación de determinadas bandas del espectro electromagnético que emite o refleja la vegetación se mide mediante teledetección para crear el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, que se utiliza para cuantificar la cantidad, la calidad y el desarrollo de la vegetación.

Análisis visual de imágenes satelitales.

(Mas Monsonis, 2017) indica que:

En una imagen digital, el área vista se divide en una serie de parcelas, que suelen ser cuadradas y representan la región instantánea que el sensor pudo ver en un momento dado. La unidad más pequeña de información de la imagen está formada por estas parcelas, que se conocen como píxeles. En otras palabras, cada pequeño cuadrado que compone una imagen y que es visible cuando la imagen se expande se denomina píxel. El nivel digital se refiere al valor numérico que utiliza cada píxel para ser codificado (ND).

Características de las imágenes de satélite Landsat 8.

Imagen Satelital Landsat 8

Según Ariza (2013) en su artículo define que:

Las nueve bandas espectrales de las imágenes de Landsat 8 producidas por el sensor (OLI) y (TIRS) tienen una resolución espacial de 30 metros para las bandas 1 a 7 y 9. La investigación sobre aerosoles y costas puede beneficiarse de una nueva banda (1) (azul intenso). La nueva banda (9) es útil para detectar los cirros. La banda 8 (pancromática) tiene una resolución de 15 metros. Con una resolución de 100 metros, las dos bandas térmicas 10 y 11 pueden ayudar a proporcionar temperaturas superficiales más precisas (Tabla. 1). La escena tiene unos 170 kilómetros de norte a sur por 183 km de este a oeste (106 km por 114 km).

Tabla 1

Bandas de Landsat 8

Sensor	Band number	Nombre de la banda	Wavelength (μm)	Resolution (m)	Band Applications
OLI	1	Costera (Coastal)	0.43 - 0.45	30	Estudios costeros y de aerosoles
OLI	2	Azul	0.45 - 0.51	30	Cartografía batimétrica, que distingue el suelo de la vegetación y la vegetación caducifolia de la vegetación de coníferas
OLI	3	Verde	0.53 - 0.59	30	Destaca los picos de máxima vegetación, que son útiles para evaluar el vigor de las plantas
OLI	4	Roja	0.63 - 0.67	30	Distingue las laderas de vegetación
OLI	5	Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30	Destaca el contenido de biomasa y las costas
OLI	6	Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)	1.57 - 1.65	30	Distingue la humedad del suelo y de la vegetación; penetra a través de nubes finas
OLI	7	Infrarrojo de Onda Corta 2 (SWIR 2)	2.11 - 2.29	30	Mejora de la lectura de la humedad del suelo y la vegetación y la penetración a través de nubes finas
OLI	8	Pancromática (Pan)	0.50 - 0.68	15	Resolución de 15 metros, definición de imagen más nítida
OLI	9	Cirros (Cirrus)	1.36 - 1.38	30	Mejor detección de la contaminación en cirros
TIRS	10	Sensor Térmico Infrarrojo 1 (TIRS 1)	10.60 - 11.19	30 (100)	Resolución de 100 metros, mapeo térmico y humedad estimada del suelo
TIRS	11	Sensor Térmico Infrarrojo 2 (TIRS 2)	11.50 - 12.51	30 (100)	Resolución de 100 metros, mapeo térmico y humedad estimada del suelo

Fuente: Earth Observing System 2013.

Características de las imágenes de satélite Sentinel.

Programa Copernicus:

Mas Monsonis (2017) Señala que:

La Agencia Espacial Europea (ESA), que se encarga de poner en órbita los satélites y difundir los datos que recogen, y la Unión Europea, que se encarga de la iniciativa general del programa a través de la Comisión de Medio Ambiente, dirigen conjuntamente el programa Copérnico, antes conocido como "Vigilancia Mundial del Medio Ambiente y la Seguridad".

Sentinel-1:

Se trata de una misión satelital equipada con un radar. Gracias al radar instalado, puede proporcionar información sobre la superficie terrestre con cualquier tiempo, de día o de noche. La constelación Sentinel-1 proporciona fotos de alta calidad, una resolución espacial mejorada y una cobertura global para apoyar actividades como la coordinación de equipos de emergencia o la vigilancia del océano y la tierra (Mas Monsonis, 2017)

Figura 24

Representación gráfica del satélite Sentinel-1.



Nota: Información obtenida de @ESA. (2017). El programa Copérnico.

Misión Sentinel-2:

Según Mas Monsonis (2017) indica que:

El proyecto, desarrollado por la ESA, pretende crear observaciones de la superficie de la Tierra para hacer un seguimiento de la cantidad de plantas, suelo y agua en las zonas superficiales y costeras. Hay dos satélites idénticos en el programa. Lanzados

en junio de 2015, Sentinel-2a y Sentinel-2b (lanzado en marzo de 2017). En comparación con los 16 días suministrados por la misión Landsat 7 y los 26 del programa SPOT, cada satélite ofrece una resolución temporal de 10 días. Al combinarlos, el proyecto ha alcanzado una resolución temporal de 5 días. Cada 15 a 30 días, se puede obtener una visión general sin nubes gracias a la alta resolución temporal en comparación con otras aplicaciones.

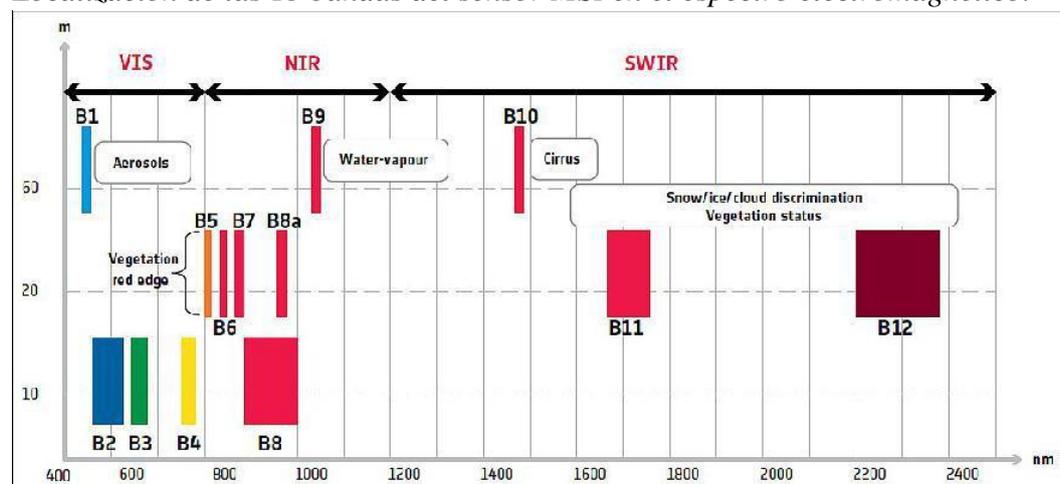
El sensor MSI (Multispectral Instrument), que consta de 13 bandas espectrales, está instalado en los satélites de la misión Sentinel-2.

Según Mas Monsonis (2017) indica que figura 26 muestra gráficamente la distribución y amplitud de las 13 bandas espectrales del sensor MSI del espectro electromagnético, las mismas que están compuestas por los siguientes:

- Bandas de 10m de resolución espacial: azul-B2 (490nm); verde-B3 (560nm); rojo-B4 (665nm); infrarrojo cercano-B8 (842nm).
- Bandas de resolución espacial igual a 20m: B5 (705nm), B6 (740nm), B7 (783nm), B8a (865nm), B11 (1610nm) y B12 (2190nm).
- Bandas con 60m de resolución espacial: B1 (443 nm), B9 (940 nm) y B10 (1375 nm).

Figura 25

Localización de las 13 bandas del sensor MSI en el espectro electromagnético.



Nota: Obtenida por European Space Agency. (2017). Sentinel-2MSI Technical Guide

Además de ello ESA “ha fijado la monitorización de la superficie terrestre, el servicio de gestión de emergencias y la integridad territorial como los objetivos fundamentales de la constelación Sentinel-2”.

- *Monitorización de superficie terrestre:* Los datos geográficos sobre la cubierta terrestre y sus componentes, como la salud de la vegetación o el seguimiento del ciclo del agua, son proporcionados por los satélites Sentinel-2. Entre las aplicaciones a las que dan soporte estos datos se encuentran la planificación del uso del suelo, el seguimiento de los bosques, la distribución del agua, la agricultura, etc. (Mas Monsonis, 2017)
- *Servicio de gestión de emergencias:* “A través del programa Copernicus EMS, se provee a todos los agentes involucrados en la gestión de desastre naturales, emergencias civiles y humanitarias, de información geoespacial precisa proporcionada por el sensor del satélite” (Mas Monsonis, 2017)
- *Seguridad territorial:* “Consiste en aplicar el programa especial al servicio de la vigilancia y seguridad territorial. Una forma alertar los servicios del orden del traspaso de fronteras, invasión marítima o dar soporte táctico a misiones de la UE en el extranjero” (Mas Monsonis, 2017).

Tabla 2

Detalles de Espacial y Espectral de Sentinel-2

Name	Pixel Size	Wavelength	Description
B1	60 meters	443.9nm (S2A) / 442.3nm (S2B)	Aerosols
B2	10 meters	496.6nm (S2A) / 492.1nm (S2B)	Blue
B3	10 meters	560nm (S2A) / 559nm (S2B)	Green
B4	10 meters	664.5nm (S2A) / 665nm (S2B)	Red
B5	20 meters	703.9nm (S2A) / 703.8nm (S2B)	Red Edge 1
B6	20 meters	740.2nm (S2A) / 739.1nm (S2B)	Red Edge 2
B7	20 meters	782.5nm (S2A) / 779.7nm (S2B)	Red Edge 3
B8	10 meters	835.1nm (S2A) / 833nm (S2B)	NIR
B8A	20 meters	864.8nm (S2A) / 864nm (S2B)	Red Edge 4
B9	60 meters	945nm (S2A) / 943.2nm (S2B)	Water vapor
B11	20 meters	1613.7nm (S2A) / 1610.4nm (S2B)	SWIR 1
B12	20 meters	2202.4nm (S2A) / 2185.7nm (S2B)	SWIR 2

Nota: Obtenido de slideshare, (2016)

Tabla 3

Principales características de los satélites pertenecientes al programa

Misión Copérnico	Lanzamiento	Sensores a bordo	Objetivo
Sentinel-1	2014	C-SAR	Continuidad de registros del programa ENVISAT para la vigilancia de tierras y océanos
Sentinel-2	2014	MSI (Sensor multiespectral)	Obtención de información en alta resolución de toda la superficie terrestre, complementado al programa Landsat y SPOT
Sentinel-3	2016	OLCI (Visible), SLSTR (Radiómetro de temperatura en superficie oceánica), SRAL (Altimetro) y MRW (Radiómetro de Micro-Ondas).	Observación precisa del nivel del agua y la superficie emergida terrestre.
Sentinel-4	2019	UVN(Ultravioleta, Visible e Infrarrojo Cercano).	Monitorización de la calidad del aire, contenido en ozono, radiación solar y control climático
Sentinel-5	2020	UVNS(Ultravioleta, Visible, Infrarrojo Cercano y Lejano).	Medición de la composición atmosférica, nubes y aerosoles para aplicaciones climáticas
Sentinel-5 (Precursor)	2016	TROPOMI (Instrumento de medidas troposféricas)	Medición de la composición atmosférica, nubes y aerosoles para aplicaciones climáticas
Sentinel-6	Sin fecha		Mediciones altimétricas de precisión.

Fuente: (Mas Monsonis, 2017).

1.1.5. Principales aplicaciones de la teledetección.

En esta parte de la revisión de la literatura, mostraremos algunos estudios que se han aplicado, Todos ellos para entender y estudiar el mundo cambiante del que formamos parte: La Tierra.

Estudio Agrario.

En su artículo de Investigación Mas Monsonis, (2017) señala que:

En la actualidad, la agricultura cubre el 37% de la superficie terrestre, de la cual el 11% son tierras de cultivo y el 37% restante son pastos. Las exigencias a la agricultura son cada vez mayores, ya que hay que alimentar a más de 7.000 millones de personas, sobre todo porque las tierras de cultivo actuales son vulnerables a la sequía, la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes. (ESA Agency 2013).

Hoy en día, los estudios agrícolas que utilizan imágenes por satélite y sistemas de información geográfica (SIG) se utilizan principalmente para controlar la salud de los cultivos. Para saber rápidamente si habrá una situación de escasez de alimentos es necesario tener en cuenta desde la producción prevista hasta la salud de las plantas, pasando por el estado de madurez (Mas Monsonis, 2017).

El análisis de las fotos de los satélites puede identificar las mejores aplicaciones de fertilizantes y las necesidades de agua de los cultivos en función del tipo de cultivo, dando lugar a un nuevo enfoque de la agricultura más ecológico y respetuoso con el medio ambiente (Mas Monsonis, 2017)

Por último, el seguimiento del estado de las masas forestales responsables de la captación de dióxido de carbono puede realizarse utilizando SIG para analizar las imágenes de satélite.

Visión global atmosférico.

En su artículo Mas Monsonis, (2017) señala que:

La humanidad obtiene su oxígeno de la atmósfera, que también protege la vida de la peligrosa radiación espacial. Por desgracia, la actividad humana está alterando la composición de la atmósfera, con cantidades alarmantes de dióxido de carbono, nitrógeno, metano y otros aerosoles. El principal factor que explica el efecto invernadero, la aparición de la lluvia ácida, el agotamiento de la capa de ozono y otros fenómenos que tienen un impacto directo en la salud humana es un cambio en la composición.

Es posible crear mapas tridimensionales que facilitan la comprensión del estado de la atmósfera gracias a los sensores a bordo de los satélites que pueden detectar cambios minúsculos en la composición atmosférica del orden de partes por billón (ppb).

Estudios geológicos.

Mas Monsonis, (2017) indica que “La vigilancia espacial demuestra que el suelo terrestre no es tan sólido como parece. La corteza terrestre está continuamente en movimiento, debido a una lenta pero continua deriva continental que ocasionalmente se manifiesta en forma de volcanes y terremotos”.

Por otro lado, la fluctuación de la altura de vastas extensiones de tierra que, de otro modo, habrían pasado desapercibidas, se ha identificado a escala subcentimétrica mediante la observación de la Tierra desde cientos de kilómetros de distancia, así lo señala (Mas Monsonis, 2017).

Por lo tanto Mas Monsonis, (2017) señala que:

Los pequeños cambios en el paisaje que se han producido entre dos fotos de la misma zona se encuentran fusionando las fotografías. Además, encontrar volcanes activos que antes se creían extinguidos puede hacerse con gran precisión mediante la observación por satélite. La teledetección se emplea en el campo de la investigación geológica para comparar e identificar las características del tipo de yacimiento que se va a encontrar en la búsqueda de recursos minerales.

Variación de la superficie terrestre.

Mas Monsonis, (2017) señala que, “La superficie terrestre representa el terreno más variado del sistema solar, siendo transformado gradualmente por agentes geológicos, actividad biológica e interacción atmosférica. Actualmente, la evolución continúa por la humanidad: los desiertos avanzan, los bosques retroceden y las ciudades se expanden”

En consecuencia, los instrumentos de los satélites permiten categorizar la superficie terrestre para detectar los cambios. El seguimiento de los indicadores de erosión y

la búsqueda de diversas formas de albedo que puedan discriminar entre litologías terrestres son posibles gracias a la teledetección. Los mapas cartográficos se elaboran mediante representaciones tridimensionales de la superficie terrestre creadas con altímetros.

Visión de costas y océanos.

Mas Monsonis, (2017) define la distribución de la costa y océanos en que:

El 70% de la superficie terrestre está cubierta de agua. Los océanos son la máquina del clima tal y como la entendemos actualmente, ya que absorben aproximadamente la mitad de la energía solar y la distribuyen a los polos a través de las corrientes oceánicas y los vientos. Los océanos también proporcionan una gran parte del oxígeno del mundo, con su agua, que libera el fitoplancton que vive allí más del 50% del oxígeno producido, a pesar de que sólo representa el 1% del peso total de la biomasa en la Tierra. Como "sumideros" de dióxido de carbono, los mares lo capturan y fijan en sus aguas para frenar el futuro calentamiento global. A su vez, el 60% de la población mundial vive a menos de 60 kilómetros de un océano o mar, lo que proporciona alimentos y recursos económicos al facilitar a los barcos mercantes la entrega de productos.

La capacidad de ver los mares y océanos desde el espacio ayuda a mejorar la seguridad, a planificar rutas para el transporte marítimo que aprovechen las corrientes y a identificar los patrones típicos del viento. Además, los sensores multiespectrales como MERIS a bordo de Envisat pueden distinguir entre el fitoplancton y los niveles de contaminación con poca o ninguna variación de color, y AATRS puede seguir la evolución del nivel del mar y medir la temperatura de la superficie del mar (Mas Monsonis, 2017)

Seguimiento de hielo y nieve.

Mas Monsonis, (2017) dentro de la aplicación de la teledetección señala que:

La criosfera, es decir, la superficie terrestre capaz de soportar hielo o nieve de forma casi permanente, cubre un área tres veces mayor que la décima parte de la superficie de la Tierra que está permanentemente cubierta por glaciares o hielo. La criosfera desempeña un papel crucial en el control de la temperatura del planeta; su elevado

albedo permite que la energía solar escape de la atmósfera, y su existencia afecta a los vientos y a las corrientes oceánicas. Según estudios recientes, la criosfera es especialmente vulnerable a las consecuencias del calentamiento global. En órbita alrededor del planeta, los satélites equipados con radares permiten la detección y posterior medición de la superficie cubierta de hielo, revelando la fluctuación de su espesor.

Desastres naturales.

Mas Monsonis, (2017) señala que la teledetección:

Con el uso de los satélites, los investigadores quieren averiguar si la frecuencia de las catástrofes naturales está aumentando o si las personas se están volviendo más susceptibles a los mismos sucesos como resultado de la globalización y el crecimiento de la población. En la actualidad, los trabajadores de emergencias que actúan sobre el terreno para ayudar a las personas afectadas por catástrofes naturales tienen acceso a información rápida, precisa y fiable procedente de los satélites de teledetección. Desde hace muchos años, la información relativa a las catástrofes naturales se comparte de forma cooperativa, pero en el año 2000, las principales agencias espaciales llegaron a un acuerdo para dar prioridad a la observación de las zonas afectadas por un determinado tipo de catástrofe natural, poniendo a disposición de los servicios de emergencia toda la información sobre la catástrofe procedente de los distintos satélites.

1.1.6. Generación de planos y mapas.

Planos

Según la página de Significados.com, (2014) señala que:

Un plano es una superficie bidimensional en la que se representa gráficamente un elemento o región. La palabra latina planus, que significa "plano" o "liso", es el origen de la palabra. Los planos se utilizan en varias disciplinas científicas, como las matemáticas (geometría), la geografía, el diseño, la arquitectura, el urbanismo, la ingeniería y la construcción en general.

“Por ende, los planos sirven para diseñar, calcular y/o visualizar diferentes objetos y espacios, ya sea para llevarlos a la realidad, para describir la realidad o para imaginar el aspecto de algo así lo define” (Significados.com, 2014).

La escala Cartográfica.

(IGN y G. de España, 2017) define que la escala es “La relación existente entre las distancias medidas en un plano o mapa y las correspondientes en la realidad lo denomina escala. Por tanto, la escala es una proporción entre dos magnitudes lineales, independientemente del sistema de unidades de longitud”.

Las escalas principales son:

- Escala numérica
- Escala gráfica.
- Escala textual.

Mapas

Hansen y Dirección General De Geografía (2020) Señala que un mapa es:

Documentos que incluyen información seleccionada que ha sido generalizada y distribuida simbólicamente en relación con una determinada distribución geográfica en una enorme región, a menudo la superficie de la tierra, y que se refieren a la totalidad o parte de una superficie real o ideal. Se utiliza un sistema de coordenadas universal para mostrar la información, que es de carácter genérico y se proporciona en tamaños relativamente pequeños.

Además de ello afirma que todos los mapas deben de contener los siguientes elementos:

- Contienen información general
- Son de escalas relativamente chicas
- Están en un sistema universal de coordenadas
- Cubren áreas grandes
- Consideran la curvatura terrestre
- Procesos múltiples y bastante complicados
- Requiere de un sistema complejo de administración

Según (IGN y G. de España, 2017) La Cartográfica Internacional un mapa es “la representación convencional gráfica de fenómenos concretos o abstractos, localizados en la Tierra o en cualquier parte del Universo”.

De forma general, los mapas se pueden clasificar desde dos puntos de vista:

- Según la escala de trabajo y
- Según el propósito general o topográfico y particular o temático para el que ha sido creado.

Tipos de mapas.

(IGN y G. de España, 2017) “Señala que los mapas se clasifican en los siguientes tipos”.

a) Según la escala de trabajo

- *Mapas de pequeña escala:*
- *Mapas de gran escala:*

b) Según el propósito para el que ha sido creado

- *Mapas topográficos:*
- *Mapas temáticos:*

Los elementos de un mapa

(IGN y G. de España, 2017) Señala que los elementos imprescindibles que deben aparecer en todos los mapas son:

La leyenda y la escala. Mientras que la leyenda (signos tradicionales) ayuda al usuario a interpretar con precisión los símbolos que aparecen en el mapa, la escala se emplea para dejar claro el vínculo métrico entre el mapa y la realidad que representa. Sin embargo, en los márgenes del mapa pueden añadirse otros componentes e información. Su posición y atributos están establecidos y fijados por ciertas normas cartográficas, y se conservarán en los mapas posteriores de la misma serie, como se ve en el ejemplo siguiente.

(IGN y G. de España, 2017) “En el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (MTN50) se establecen los siguientes elementos para todas las hojas de la serie”:

- a) *Portada del mapa*
- b) *Situación, divisiones administrativas y términos municipales*
- c) *Escala, proyección y elipsoide*

- d) *Portada del mapa*
- e) *Toponimia y vértices geodésicos*
- f) *Leyenda*

Datum horizontal y vertical.

Sistemas de Coordenadas

Urrutia Martínez (2005) “Indica que es un sistema elemental Para señalar un punto exacto del mapa se debe usar algún sistema que permita referenciar puntos. Es en este punto donde hacen su aparición los sistemas de coordenadas”.

Existen diversos sistemas de coordenadas, pero los más utilizados son dos:

- Sistema de coordenadas geográficas.
- Sistema de coordenadas rectangulares U.T.M.

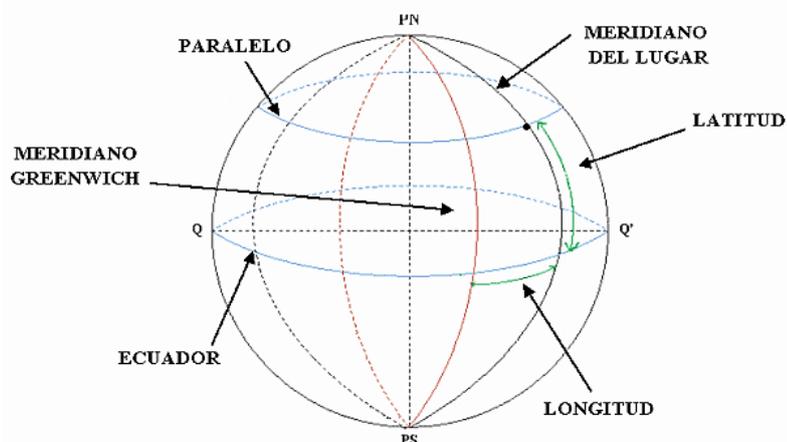
Sistema de coordenadas Geográficas.

Urrutia Martínez (2005) Señala que:

En la superficie del globo, sólo hay un paralelo y un meridiano para cada punto. Esto implica que podemos especificar con precisión la ubicación de ese punto en el planeta utilizando la latitud de ese paralelo y la longitud de ese meridiano. La combinación de la latitud y la longitud de un punto se denomina coordenadas geográficas.

Figura 26

Coordenadas Geográficas de un punto.



Fuente: Cartografía y Orientación, Urrutia – Javier 2005

En conclusión, la latitud y la longitud son dos magnitudes angulares que se utilizan para representar cada punto de la superficie del globo. La primera indica la distancia entre el ecuador y el paralelo que pasa por ese lugar en grados, minutos y segundos. El ángulo entre el meridiano que pasa por ese lugar y el meridiano utilizado como referencia se expresa en la segunda (Urrutia Martínez, 2005).

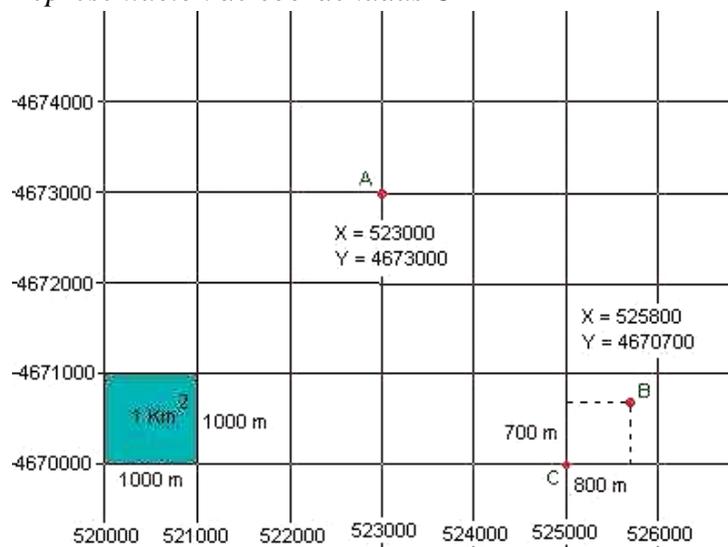
Sistema de coordenadas UTM.

Según Ibañes Asencio et al., (2006) señala que:

Los puntos de la superficie de la Tierra pueden localizarse utilizando el sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) basado en una cuadrícula. Fue desarrollado por el ejército estadounidense en 1947 y se basa en un modelo elipsoidal de la Tierra (el elipsoide de referencia internacional de Hayford). En la actualidad, el elipsoide WGS84 sustituye al elipsoide de referencia internacional de Hayford para garantizar la compatibilidad con el sistema de posicionamiento global GPS. El metro es su unidad de medida fundamental.

Figura 27

Representación de coordenadas UTM



Nota: Figura que representa a la coordenada UTM según (Urrutia Martínez, 2005)

GPS (Global Position System)

Según Urrutia Martínez (2005) Señala que el G.P.S.

Son las siglas de Global Position System, un sistema creado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos que permite a los usuarios determinar su ubicación (o coordenadas) en cualquier lugar del planeta mediante un dispositivo receptor que detecta la señal enviada por un grupo de satélites que orbitan el planeta. El dispositivo receptor G.P.S. suele denominarse por su nombre abreviado.

El sistema utiliza una constelación de satélites -un grupo de satélites en órbita sobre la superficie de la Tierra-. La constelación de 24 satélites Navstar, que emplea el sistema G.P.S., está repartida a una distancia de 20.200 kilómetros de la superficie terrestre. El proyecto, que se inició en 1973 y finalizó en marzo de 1994, está supervisado por.

Figura 28

Sistema del GPS



Fuente: Urrutia Martines

Además de ello (Urrutia Martínez, 2005) “señala que existen otros sistemas de posicionamiento global, como GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System), desarrollado por el gobierno soviético, y el proyecto GNSS (Global Navigation Satellite System), que pretende la constitución de propia constelación de satélites para uso civil”.

“El G.P.S. permite la navegación por cualquier forma muy sencilla y con gran precisión por lo que su uso se ha popularizado rápidamente en todos los ámbitos, desde la geodesia, la ingeniería, la navegación marítima, el excursionismo o el alpinismo” (Urrutia M., 2005).

1.2. Antecedentes

A nivel Internacional.

Pantaleone & Tosini, (2012) en su artículo *Clasificación de cultivos a partir de imágenes satelitales LANDSAT EM*, Señala que se analizó la clasificación de cultivos en imágenes satelitales Landsat. Específicamente, utilizando firmas espectrales multibanda para detectar, mediante un clasificador denominado clasificación de base radial, donde el clasificador itera sobre toda la imagen satelital (las siete bandas), incluyendo los bordes negros producidos por la rotación que usualmente presenta la imagen satelital. Se seleccionó como campo de estudio “El rincón de Fincati”, indica que en la región "Centinela del Mar", una porción de la costa atlántica al norte de Necochea. Se utilizaron imágenes Landsat 5 de la Senda 224 y de la Fila 87 que fueron tomadas en temporadas apropiadas para los cultivos investigados (en particular, a mediados de enero de 2004, 05 y 06).

De unos pocos campos de esta región se recogieron datos de trazado y de cultivo que coincidían con las fechas de las imágenes.

Se examinaron tres tipos de cultivos diferentes; maíz, soja y patatas. Según sus características espectrales, el error se calcula como la desviación estándar del valor de ND de la banda, que es la media de los ND de los lotes utilizados como referencia de clasificación para cada cultivo analizado.

En conclusión; El proceso de clasificación aplicado sobre distintas imágenes satelitales permitió evaluar el método de detección de sembrados a partir de firmas de los mismos. Este método utilizó un filtro con un umbral de 14 que funciona dilatando los bordes interiores y erosionando los bordes exteriores del lote. La imagen después del post-procesamiento demostró la eliminación de puntos de detección únicos y la inclusión de puntos no identificados dentro de un área de cultivo. Debido al umbral elegido, no se pudieron excluir varios lugares que produjeron falsos positivos.

(Cesar Augusto et al., 2017) en su artículo *Tendencia en el siglo XXI del Índice de Diferencias Normalizadas de Vegetación (NDVI) en la parte sur de la península de Baja California*, Señala que el uso de la teledetección en la investigación ha hecho posible la realización de análisis a escalas que antes eran muy difíciles de ejecutar. En este estudio se examinó el comportamiento promedio y la tendencia persistente del NDVI por píxel en la porción sur de la península de Baja California de 2001 a 2015, utilizando fotos satelitales MODIS. Se examinaron 1 377 985 píxeles en total, y el 67,04% de ellos revelaron valores promedio de NDVI entre 0,1 y 0,3 compatibles con regiones secas. Los valores más altos ($>0,8$) se descubrieron dentro de la Reserva de la Biosfera de Sierra La Laguna (RBSL), hacia el sur de la península, donde había parches de mayor cobertura forestal.

Además señala que, el análisis de tendencias mostró que los valores de tendencia del NDVI en esta misma región de la RBSL son negativos, lo que indica una disminución del vigor vegetativo. Los valores de tendencia negativos también estaban fuertemente correlacionados con las áreas alrededor de la RBSL que tenían mayores densidades de población y más desarrollo turístico, lo que nos permite concluir que hay una presión significativa en toda la región del sur de la península que es responsable de los cambios del sistema. Para determinar si se trata sólo de alteraciones estructurales o si ya existen cambios funcionales, será necesario evaluar su magnitud. Esperamos que este esfuerzo inicial sirva de trampolín para más estudios que ayuden a la planificación y toma de decisiones de la región.

Diaz y Servigon (2015) En su informe final de Tesis *“Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión 2015”*: Señala que “El objetivo del presente estudio es demostrar el valor del uso de UAS/RPAS (Sistemas aéreos no pilotados / sistemas aéreos pilotados remotamente) para realizar tareas de agricultura de precisión, así como el enorme valor de los sistemas de información geográfica al trabajar con estas fotos”.

Para ello, analizaron la variabilidad agronómica en función de diversos índices de vegetación (NDVI, GNDVI, RVI, GVI, NGRDI, RG), a partir de imágenes aéreas

tomadas con cámaras multispectrales montadas en UAS/RPAS. También realizaron un estudio estadístico entre estos índices para determinar cuál de ellos (GNDVI, RVI, GVI, NGRDI, RG) tiene una mayor correlación.

En conclusión; Diaz y Servigon (2015) señala que “El uso de la tecnología (UAS/RPAS) sugiere un aumento de la productividad, así como una importante disminución del tiempo y los gastos. Para recoger datos para la agricultura de precisión en regiones o zonas más pequeñas, los UAS/RPAS y las cámaras multispectrales son bastante útiles. También son muy útiles para evaluar porciones específicas de amplias extensiones de terreno y extrapolar esta información al resto de la superficie. Para la investigación de vastas explotaciones, se requiere la teledetección”.

Así mismo Diaz y Servigon (2015) indica que:

Los mapas de índices de vegetación demuestran la semejanza de los índices de vegetación NDVI y GNDVI, que son casi idénticos. Los índices NDVI y GNDVI pueden utilizarse como punto de partida para cartografiar el estado vegetativo de diversos cultivos. En cambio, los índices RG y NGRDI no sirven para cartografiar el vigor de los cultivos.

(González et al., 2015) En su artículo “*Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión*” Indica que:

Gracias a sus múltiples ventajas para sobrevolar los campos y los cultivos, los drones son una tecnología que ayuda a los numerosos procesos agrícolas, permite recoger datos cruciales y evaluar el estado de la zona vigilada. Con los drones, el proceso de revisión de los cultivos puede realizarse de forma remota utilizando tecnología de cámaras de alta definición e información georreferenciada para su posición específica, lo que elimina la necesidad de inspeccionar manualmente todo el cultivo para identificar los problemas que está experimentando. La capacidad de identificar enfermedades, plagas, malas hierbas y posibles consecuencias futuras de los daños climáticos, como las heladas o la sequía, es extremadamente vital. Los costes asociados a los procedimientos de riego, fertilización, pulverización y plantación se reducen gracias a la eficiencia a nivel económico y medioambiental.

En **conclusión**, afirma que es necesario utilizar drones con cámaras multispectrales para obtener información precisa de los componentes presentes en una determinada área de interés; en el caso de las explotaciones agrícolas, son de gran ayuda para el análisis de los cultivos y la toma de decisiones pertinentes y adecuadas para aumentar la productividad del sector agrícola. Con la ayuda de los drones se pueden desarrollar soluciones completas y más potentes para los problemas que surgen en el campo.

Cuando se utilizan adecuadamente las imágenes multispectrales de los drones, es posible aproximarse a una radiografía de los cultivos, identificando cuestiones que afectan al comportamiento normal de los mismos pero que no son visibles a simple vista. Esto permite una gestión inmediata.

(Vázquez et al., 2002) En su artículo *Utilización De Imágenes De Satélite Para Determinar Áreas Con Problemas De Lixiviación De Nitratos*, señala que:

Para que la planificación y la gestión de los recursos sean eficaces, es necesario comprender y controlar las acciones humanas sobre el medio ambiente. En este sentido, la teledetección permite una evaluación más actualizada, rápida y eficaz de los recursos naturales y sus problemas. El Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, que presenta problemas ambientales como consecuencia de las aguas residuales utilizadas para el riego de las regiones agrícolas, fue el lugar del presente estudio. Utilizando datos de campo, el programa informático IDRISI y fotos de satélite Landsat-TM, se evaluó y clasificó el contenido de nitratos del terreno. Los resultados mostraron que las elevadas concentraciones de nitratos están directamente relacionadas con la lixiviación de los mismos y generan problemas de contaminación en las capas del suelo de 60 a 90 cm de profundidad, donde es posible detectar los niveles de concentración de nitratos mediante las fotos de satélite.

Andrés y Martínez (2010) En su artículo; *Método para identificación de cultivos de arroz (Oryza sativa L.) con base en imágenes de satélite*: indica que:

Utilizando imágenes satelitales de Landsat 7 ETM+ y ASTER, esta investigación creó una técnica para detectar cultivos de arroz en regiones particulares de los

departamentos de Cundinamarca y Tolima (Colombia). El método combina una serie de pasos, incluyendo el preprocesamiento de la imagen, el desarrollo de la máscara utilizando la lógica difusa y los valores promedio de textura, el procesamiento digital utilizando el análisis de componentes principales, la extracción de miembros finales utilizando un visor n-dimensional, la clasificación de coberturas utilizando SAM, y la evaluación de los resultados. Con un valor kappa entre 0,45 y 0,74 y una precisión global superior al 70%, el enfoque permitió identificar las cosechas de arroz. Esto nos permite pensar que se trata de un método eficaz para recopilar datos sobre las regiones cultivadas cuando se trata de ayudar a la toma de decisiones agrícolas.

(Pu Miao et al., 2022) en artículo *Presencia de antibióticos en los diferentes procesos de depuración biológica, depuradoras de aguas residuales regeneradas y suelos regados con efluentes*, señala que:

Para combatir la escasez de agua, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas, las aguas residuales regeneradas se utilizan cada vez más para el riego agrícola. En este estudio se analizó la presencia y la eliminación de 24 antibióticos en dos sistemas de tratamiento de aguas residuales (STAR) y sus zonas de riego, ambos en el noroeste desértico de China. Entre los distintos WWTS (MBR) se encontraban los de absorción-biodegradación (AB) + anaeróbico-anóxico-óxico (AAO). Se encontraron 19 antibióticos, con valores que iban desde insignificantes hasta 60,8 g/L. En invierno, dominaron las quinolonas (QN) y los macrólidos (ML), pero en verano lo hicieron los ML y las sulfonamidas (SA). Para la mayoría de los antibióticos, el sistema AAO + AAO + MBR demostró una mayor eficiencia de eliminación, mejorando su adsorción y biodegradación. Las concentraciones de los antibióticos descubiertos fueron mayores en verano que en invierno, con la excepción de la ofloxacina (OFC) y la norfloxacin (NFC). Sin embargo, debido al aumento de la actividad microbiana con el calor, la eficacia de la eliminación de los antibióticos aumentó en un 2-141% en verano en comparación con el invierno. Aunque los restos de antibióticos fueron eliminados en parte por las plantas de tratamiento de aguas regeneradas, siguieron teniendo un impacto en el medio ambiente del suelo tras el riego verde. Los QN se encontraron principalmente en el suelo de regadío, con una concentración máxima de 150,9 ng/kg de NFC. Según

una evaluación de riesgos ecológicos, al menos dos lugares de regadío indicaron una preocupación ecológica baja o media para OFC, NFC, enrofloxacina y lomefloxacina. Por lo tanto, la reutilización de las aguas residuales regeneradas debería ser objeto de mayor consideración, ya que puede suponer una amenaza de toxicidad para las especies del entorno del suelo.

Franklin et al. (2022) En su artículo denominado *Comportamiento de sorción y desorción de cuatro antibióticos a concentraciones que simulan la reutilización de aguas residuales en suelos agrícolas y forestales*, señala que:

Es necesario comprender mejor el destino y el transporte de los antibióticos en los sistemas del suelo para identificar posibles amenazas a la salud humana y animal debido al aumento de la resistencia a los antibióticos. La capacidad de sorción y el comportamiento de partición de los contaminantes orgánicos en matrices sólidas suelen evaluarse mediante los coeficientes de adsorción (K_d y K_f). Las características de sorción de los antibióticos a bajas concentraciones (ng L^{-1} - g L^{-1}) en suelos naturales pueden no verse reflejadas por la práctica común de utilizar mayores dosis de antibióticos (mg L^{-1}) y un mayor volumen de agua adicionada en relación con la masa del suelo ($>5:1$). El objetivo de este trabajo fue emplear parámetros que imitan las condiciones normales del suelo para determinar los comportamientos de sorción y desorción de cuatro antibióticos que se detectan frecuentemente en los suelos como resultado de la reutilización de aguas residuales. Las concentraciones de sulfametoxazol (SMX), trimetoprima (TMP), lincomicina (LIN) y ofloxacina (OFL) se equilibraron con cuatro tipos de suelo diferentes en una proporción de 2:1 entre el agua vertida y la masa del suelo, que es la representación más exacta de las condiciones de campo. En esta investigación, los rangos de los valores $\log K_f$ y $\log K_{foc}$ para TMP, SMX y LIN fueron 1,88-1,95, 0,43-1,4, 2,7-3,2, y 0,65-1,4, 2,0-4,1, respectivamente. La ofloxacina se adsorbió extensamente a las partículas del suelo, lo que hizo imposible calcular los coeficientes de adsorción. Las mayores proporciones de la solución de adición con respecto a la masa del suelo ($>5:1$), en comparación con estudios anteriores que utilizaban tipos de suelo similares, dieron lugar a valores de sorción más elevados. En general, TMP y OFL

(Cuevas et al., 2009) En su artículo **Detección y Resistencia a Antibióticos De *Escherichia coli* Y *Salmonella* en Agua y Suelo Agrícola**, indica que:

En cuatro zonas del Valle de Culiacán, en Sinaloa (México), se recogieron 51 muestras de agua y 23 de suelo y se examinaron para detectar la presencia de *Salmonella* y la cantidad de *Escherichia coli*. Además, se identificaron los patrones de resistencia de *Salmonella* a los tres últimos antimicrobianos encontrados en *E. coli*, así como a la ampicilina, ciprofloxacina, trimetoprim-sulfametoxazol, tetraciclina y estreptomycin. En las muestras de suelo examinadas no se encontró *Salmonella* ni *E. coli*, pero en las muestras de agua se encontraron 20 cepas diferentes de *Salmonella*. Se identificaron 13 cepas diferentes de *Salmonella* mediante serotipado, entre ellas Typhimurium, 2 Infantis, 1 Anatum, 1 Agona, 1 Oranienburg, 1 Minnesota y 1 Give. Con unos mínimos de 4 UFC/100 mL, unos máximos de $4,5 \times 10^5$ UFC/100 mL y una media de $1,6 \times 10^4$ UFC/100 mL, el 98% de las muestras de agua analizadas estaban contaminadas con *E. coli*, de las que se eligieron cepas para evaluar el perfil de resistencia a los antibióticos.

Doce cepas de *Salmonella* eran resistentes a la tetraciclina, pero todas eran sensibles a la ampicilina, la ciprofloxacina y el trimetoprim-sulfametoxazol. Sólo una cepa de *E. coli* de las 46 examinadas era resistente a la gentamicina, mientras que 23 cepas presentaban una resistencia intermedia a la tetraciclina, la estreptomycin y los demás fármacos. El $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ fue altamente resistente a todas las cepas de *Salmonella* a concentraciones entre 1200 y 1600 g mL⁻¹. La presente investigación demostró que el agua del Valle de Culiacán contenía varios serotipos de *Salmonella* y cantidades significativas de *E. coli*.

Martínez Alcalá et al. (2020) En su revista científica denominada ***Antibióticos como contaminantes emergentes. Riesgo ecotoxicológico y control en aguas residuales y depuradas***, Señalan que:

El estudio se centra en los antibióticos, que son compuestos químicos que pueden producirse de forma intencionada o semi artificial o a través del metabolismo secundario de los microbios. Desde 1928, cuando Alexander Fleming desarrolló la penicilina, han muerto menos personas por enfermedades y, desde entonces, el uso de antibióticos ha aumentado considerablemente en todo el mundo, hasta un 65% entre 2000 y 2015. Se utilizan en el ganado, la acuicultura, la agricultura y otros

campos, además del uso humano. Las penicilinas, los macrólidos y las fluoroquinolonas son los antimicrobianos que más se consumen en el ser humano.

Martínez Alcalá et al. (2020)

El macrólido azitromicina y las quinolonas ciprofloxacina y ofloxacina, que se identificaron en todas las muestras, fueron las sustancias más frecuentemente descubiertas entre todas las examinadas en este estudio para estar presentes en los influentes.

Cuando se examinaron los efluentes, se descubrió que la azitromicina era, una vez más, el antibiótico más descubierto. Los medicamentos eritromicina y ciprofloxacina quedaron en segundo y tercer lugar esta vez.

Se descubrieron valores atípicos para la quinolona norfloxacina en la EDAR 2. Los macrólidos, la claritromicina y la azitromicina presentaron las mayores concentraciones medias en los influentes, según un cálculo de los valores medios registrados para cada antibiótico. seguidos por el miembro de la familia de las quinolonas ofloxacina.

(Rodríguez, 2017) En su artículo, *“Las aguas residuales y sus efectos contaminantes”*, señala que:

Se producen grandes volúmenes de aguas residuales sucias como resultado de la ausencia de instalaciones de tratamiento de aguas residuales en ciudades, empresas, alojamientos, minas, granjas y hoteles, lo que tiene un impacto negativo en el medio ambiente. La mayor parte de estas aguas se vierten en fosas sépticas, vertederos, suelos abiertos, lagos, ríos y el océano.

El vertido de efluentes líquidos procedentes de los suministros de agua domésticos, comerciales e industriales ha provocado preocupación y esfuerzos en todo el mundo para encontrar soluciones. Por ello, estas aguas deben considerarse especialmente nocivas, sobre todo cuando se vierten en la superficie del suelo, en el subsuelo o en las masas de agua. Los organismos patógenos, la mayoría de los cuales proceden del sistema digestivo, están presentes en estas aguas. Es el caso de las bacterias entéricas, que pueden provocar diversas enfermedades acuáticas, como el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la paratifoidea, entre otras. La poliomielitis y la hepatitis infecciosa, entre otras dolencias, son algunas de las enfermedades más

comunes provocadas por los virus presentes en las aguas residuales. Las enfermedades provocadas por microorganismos incluyen la disentería amebiana y la bilharziasis, entre otras.

(Rudke et al., 2020) En su artículo ambiental denominado *“Impacto de las actividades mineras en las zonas de protección ambiental del suroeste del Amazonas: Una evaluación basada en el SIG y la teledetección”* Señala que:

Una colonización no indígena relativamente reciente en el estado amazónico de Rondônia, en el suroeste de Brasil, ha dado lugar a una serie de presiones sociales y conflictos de intereses que ahora se reconocen en la zona. En este contexto, cabe destacar que las 57 Unidades de Conservación deben garantizar la preservación de la biodiversidad del bioma amazónico. Por otro lado, tiene una serie de efectos negativos sobre el medio ambiente y la sociedad, que varían según las particularidades de la minería y el tipo de mineral. Por ello, esta investigación se ha centrado en la situación de los emprendimientos mineros de Rondônia, y se evaluaron los efectos de estas actividades en las zonas designadas para la protección del medio ambiente de forma complementaria. La variedad de la cobertura del suelo de la zona de investigación se cartografió mediante imágenes del Landsat 8 OLI, y también se evaluaron los efectos que acompañan a las operaciones mineras. Si se tiene en cuenta la deforestación, la superficie aumenta hasta unos 6110 km², es decir, más del 5,2% de las Unidades de Conservación. Además, sugerimos la elaboración del Índice de Presión Minera, que permite clasificar las Unidades de Conservación según el nivel de presión de las operaciones mineras. El índice sugerido fue bastante eficaz.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema

El recurso hídrico en la Región Moquegua, está constituido por aguas de escorrentías, aguas embalsadas como la Laguna Pasto Grande y aguas subterráneas, constituye un sistema hidrográfico que pertenece a la Vertiente Occidental de los Andes y está comprendida por dos cuencas: la del río Moquegua y la cuenca del río Tambo, potencial que comprende una masa hídrica promedio anual de 628.7 millones de m³. El potencial hídrico embalsado en la Laguna artificial de Pasto Grande, en época de máxima reserva es de 185 millones de metros cúbicos, derivando aguas a la cuenca del río Moquegua, beneficiando áreas de cultivo de los valles de Moquegua e Ilo y el área urbana de Moquegua e Ilo, la superficie bajo riego es de 17,725 hectáreas.

Es así que, dentro de este valle se realizan actividades agropecuarias a orillas del río Moquegua en donde se utilizan diversos fertilizantes para su cultivo, entre los cuales los más utilizados son importados del extranjero, principalmente de Rusia, Estados Unidos y Canadá.

Sin embargo en el lado sur oeste del valle de Moquegua se ve impactado por el vertimiento de aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento, caso que es considerado como abono para la agricultura contribuyendo positivamente desde el punto de vista económico (más baratos) y de fertilidad (mayor producción), pero desde el punto de vista sanitario, su uso muestra muchos puntos en contra (son causa de enfermedades), que lo hacen objeto de muchas controversias, tal como considera

(Zamora et al., 2008) En su estudio de investigación denominada **Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón**, señala que el uso de aguas residuales en la agricultura puede aumentar el ingreso de materia orgánica y nutrientes a los suelos cultivados lo cual contribuye a mantener e incrementar la fertilidad del mismo, pero también puede traer efectos ambientales nocivos que deterioran la calidad del suelo y del agua. También señala que los suelos bajo riego continuo con aguas residuales muestran elevadas concentraciones de cadmio y plomo, lo cual puede implicar riesgos a la salud por contaminación con metales pesados. El sistema de tratamiento de aguas residuales permitió disminuir la DQO, DBO y coliformes totales, aunque no hubo remoción efectiva de los nutrientes P y N.

Como se puede ver, no se pudo encontrar estudios sobre los efectos de las aguas residuales en el valle de Moquegua, así como ocurre en otros países como el caso de Coro, estado de falcón, Cuba, Sin embargo por visita técnica en el lugar del vertimiento de las aguas residuales al río Moquegua, se pudo apreciar que la población riega sus cultivos con estas aguas residuales sin saber los efectos negativos que pueda ocasionar en la agricultura, ganadería así como en la salud humana, frente a este **problema** se puede decir que existen la posibilidad de la concentración y sedimentación de los antibióticos (Fluoroquinolonas, y tetraciclina) en los suelos cultivables del valle de Moquegua, básicamente en el sector Omo para aguas abajo, antibióticos que de alguna manera directa o indirectamente influyen en la producción de los productos, los mismos que puedan afectar en la salud humana y la biodiversidad, por consiguiente no se sabe que zonas contiene la concentración de estos sedimentos, y en que magnitud, temas que se tendrá que estudiar con mayor detalle.

Por consiguiente, según (Vázquez et al., 2002) , señalan que para detectar estos sedimentos en los últimos años se ha generalizado el uso de imágenes satelitales para determinar áreas homogéneas en campos tanto ganaderos como de siembra. Sin embargo, en muchos casos se carece de estimaciones sobre el nivel de correspondencia entre áreas generadas mediante técnicas de procesamiento digital

de imágenes satelitales y la presencia de tipos de cultivo determinados mediante técnicas de muestreo en terreno.

El análisis de las bandas satelitales y la combinación adecuada de sus datos, permite determinar (con alto grado de acierto) problemas asociados a los cultivos, como presencia de hongos, infestados por parásitos, enfermedades, y otros. Por tanto, en el presente estudio se identificará la concentración de antibióticos en el suelo.

2.2. Enunciado del problema

Interrogante General.

¿Existirá algún método o técnicas de teledetección, para identificar con mayor aproximación los suelos contaminados con presencia de residuos de Fluoroquinolona, y Tetraciclinas debido al uso de las aguas residuales procedentes de la PTAR, en el valle de Moquegua?

Interrogante Especifica.

- ¿Cuál será la distribución de áreas de cultivo mediante imágenes de satélite Landsat 8 a través de análisis de bandas espectrales, en el valle de Moquegua, provincia de mariscal Nieto?
- ¿Cuál será el índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) a partir de imágenes satelitales e imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS para estimar la concentración de la sedimentación de las aguas residuales provenientes de la PTAR como sistema de riego en el valle de Moquegua?
- ¿Como será la distribución de cultivos con la presencia de concentración de fluoroquinolonas y tetraciclinas en las áreas de afectadas en los suelos irrigados por las aguas residuales provenientes de la PTAR, en el valle de Moquegua?

2.3. Justificación

El presente proyecto de investigación, involucra la presencia de residuos de antibióticos en las aguas residuales provenientes de una planta de tratamiento, se justifica porque permitió identificar que los suelos de áreas de cultivo, presenten posibles concentraciones de antibióticos como consecuencia del uso de aguas residuales como sistema de riego, para lo cual se utilizó las imágenes de satélite de mayor resolución espectral, a través del cual se realizó el análisis de series temporales del índice de vegetación (NDVI) y otros del valle de Moquegua con la finalidad de identificar las posibles áreas contaminadas con estos compuestos químicos, en base a ello se adoptó la metodologías más adecuadas para su estimación.

Se justifica, porque los avances tecnológicos en el campo de la teledetección permite la vigilancia de la superficie, elementos presentes, los tipos de cobertura vegetal, y los ecosistemas, gracias a la disponibilidad de los datos de imagen satelital con resoluciones Espaciales, espectrales, radiométricas y Temporales cada vez mejores, la que nos permite identificar, analizar y evaluar el monitoreo de los procesos dinámicos que se producen en la superficie terrestre, en este caso del valle de Moquegua, donde se podrá determinar las áreas con posibles concentraciones de antibióticos de las aguas residuales provenientes de la PTAR Moquegua, sobre las áreas de cultivo a partir de la afluencia de estos elementos, a fin de conservar y prevenir posibles contaminaciones.

Como se puede apreciar, la aplicación de las técnicas de la teledetección hoy en día, es cada vez más usual en el análisis y gestión de los recursos naturales, con la diferencia de que cada imagen tiene sus limitaciones en cuanto a resolución espacial, espectral, temporal, y radiométrica, algunos son disponibles de manera gratuita en las páginas propias en la web, y otros tienen un costo por el servicio de la toma de imágenes. Por otro lado podemos indicar que en la actualidad con la aparición de los vehículos aéreos no tripulados, conocidos por las siglas **UAS Sistema aéreo no tripulado** (Unmanned Aerial System) o **RPAS sistemas aéreos pilotados remotamente** (Remotely Piloted Aircraft System), en concordancia con el avance de la tecnología de los sensores y microsensores, es decir cámaras

fotográficas digitales de alta precisión permite censar o registrar objetos en la superficie terrestre con Alta Resolución, superando de esta manera el concepto de la teledetección, una tecnología que posibilita los trabajos de campo con mayor facilidad siendo además una solución económicamente viable en trabajos de ingeniería, es decir en lugar de realizar trabajo de manera tradicional en día, con este equipo se realizan en minutos y horas lo cual ahora el tiempo y la economía (Díaz García, 2015).

Por lo tanto, el presente proyecto de investigación justifica porque utilizará nuevas técnicas y nuevos equipos en su análisis e investigación, en el tema de estimación de concentración de antibióticos en los suelos cultivables, a fin de determinar el grado de contaminación que podría ocasionar el uso de las aguas servidas como sistema de riego en el desarrollo de la agricultura así como la identificación de los tipos de cultivos y sus elementos que los acompañan, considerando que los productos que se obtienen son consumidas por la población en general, y estos posiblemente estarían afectando directa e indirectamente en la salud de las personas, de tal manera que los gobernantes o personas que conducen estas áreas para la producción de la agricultura, tomen en cuenta y puedan prevenir la contaminación.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Determinar el nivel de influencia de la contaminación de suelos con residuos de Fluoroquinolona, y Tetraciclinas debido al uso de las aguas residuales procedentes de la PTAR Moquegua, aplicando técnicas de Teledetección Satelital en el valle de Moquegua.

2.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la distribución de áreas de cultivo mediante el análisis de imágenes de satélite, en el valle de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto.
- Establecer el índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAV/RPAS, e imágenes de satélite para

estimar la concentración de la sedimentación de las aguas residuales provenientes de la PTAR como sistema de riego en el valle de Moquegua.

- Elaborar el mapa de vulnerabilidad de suelos con la presencia de sedimentos de concentración de fluoroquinolonas y tetraciclinas en las áreas afectadas en los suelos irrigados por las aguas residuales provenientes de la PTAR, en el valle de Moquegua.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

La aplicación de las técnicas de teledetección y fotogrametría con drones, permite identificar con mayor aproximación los suelos contaminados con presencia de residuos de Fluoroquinolona, y Tetraciclinas debido al uso de las aguas residuales procedentes de la PTAR, en el valle de Moquegua.

2.5.2. Hipótesis específicas

- La técnica de combinación de las bandas espectrales de la imagen de satelital de alta resolución, permite determinar con mayor aproximación la distribución de áreas de cultivo en el valle de Moquegua, provincia de mariscal nieta.
- El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAV/RPAS, e imágenes de satélite, permite estimar con mayor aproximación la concentración de sedimentos de las aguas residuales provenientes de la PTAR como sistema de riego en el valle de Moquegua.
- Con el análisis en los suelos irrigados por las aguas residuales provenientes de la PTAR Moquegua, permite elaborar con mayor aproximación el mapa de cultivos con la presencia de concentración de fluoroquinolonas y tetraciclinas en las áreas de cultivo en el valle de Moquegua.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

El presente estudio de investigación se desarrolló en el valle de Moquegua, específicamente en las áreas cercanas al vertimiento de las aguas servidas de la PTAR Moquegua, está comprendida las áreas cultivo al margen Izquierdo y derecho del Rio del mismo nombre, considerando como inicio la zona de PTAR-01 hasta la zona del valle Omo lugar donde afluye las aguas residuales de la PTAR-02, a partir de allí aguas abajo, los cultivos son irrigados con la influencia de las aguas residuales:

Políticamente el lugar de estudios se encuentra ubicada en lo siguiente:

Lugar	: Valle Omo aguas abajo, del rio Moquegua
Distrito	: Moquegua
Provincia de	: Mariscal Nieto
Departamento	: Moquegua

Geográficamente el lugar de estudios se encuentra enmarcada en las siguientes coordenadas geográficas.

Figura 29

Ubicación del área de estudio.

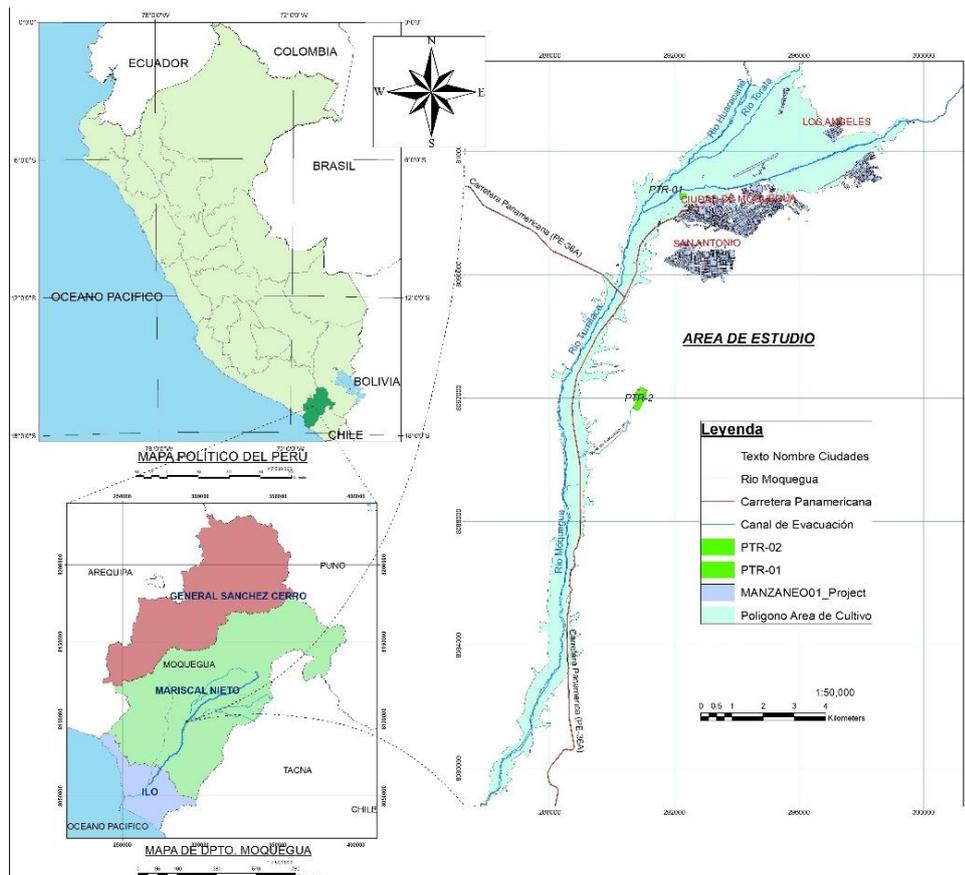


Tabla 4

Cuadro de Coordenadas Geográfica WGS 84, zona del esferoide 19

Pts.	Longitud	Latitud	Altitud
01	70°57'16.91" Oeste	17°10'59.96" Sur	1328.00 m.s.n.m.
02	71°00'03.78" Oeste	17°20'43.12" Sur	954.00 m.s.n.m.

Nota: Coordenadas de inicio y final del área de estudio, obtenidas en base al mapa base del IGN.

3.1.1. Características generales del área de Estudio.

- **Clima.**

La región costera del departamento tiene un clima templado que se caracteriza por su constancia a lo largo del año, con temperaturas medias que oscilan entre los 11°C (agosto) y los 27°C (febrero). En cambio, la zona costera próxima a la cordillera tiene un clima seco y desértico que se extiende hasta la región andina.

Existen dos cuencas hidrográficas en la zona:

- a) la cuenca del río Moquegua. Sus principales afluentes son los ríos Tumulaca, Torata, Moquegua e Ilo, y forma parte del Sistema Hidrográfico del Pacífico.
- b) Nace en el distrito de Yunga en la provincia de Sánchez Cerro, en la confluencia de los ríos Paltiture e Ichua. Su longitud total es de 276 km, y la porción que corresponde al Departamento de Arequipa es donde desemboca en el Océano Pacífico. Carumas, Coralaque, Ichua, Paltiture, Ubinas, Omate, Puquina, etc. son algunos de sus principales afluentes.

- **Características geológicas.**

Según, predes (2004) indica que:

La confluencia de los ríos Moquegua, Torata y Huaracane creó el valle en el que se encuentra la ciudad de Moquegua. La mayoría de las rocas de la región son volcánicas y sedimentarias. Las rocas sedimentarias forman parte de la Formación Moquegua, que se caracteriza por sus areniscas y fangolitas llenas de sal, así como por estratos de arcillas marrones conocidos como "Moro Moro" que son extremadamente sensibles a la presencia de agua.

Las gravas aluviales y los sedimentos gruesos, dejados por los ríos que atraviesan el valle, constituyen la mayor parte de su parte inferior. El relieve del valle, plano y constreñido por una topografía abrupta, es el resultado de un importante hundimiento provocado por la presencia de fallas geológicas como la del Inca, Tropiche, Jachay y El Siglo, entre otras, que crean un paisaje con relieve escalonado.

- **El suelo.**

Entendiendo que el suelo es el resultado de la integración del clima y seres vivos, está formado por materia orgánica, minerales, agua, aire y pequeños organismos vivos como bacterias y hongos. Por tanto, un suelo agrícola suele incluir entre un 15 y un 35% de agua, entre un 1 y un 5% de materia orgánica (un suelo especialmente fértil), alrededor de un 45% de minerales y el 75% restante de aire, el componente inorgánico del suelo, en forma de arcillas, contiene minerales que aportan nutrientes a las plantas, en ellas se encuentran compuestos capaces de interactuar con el agua en el suelo.

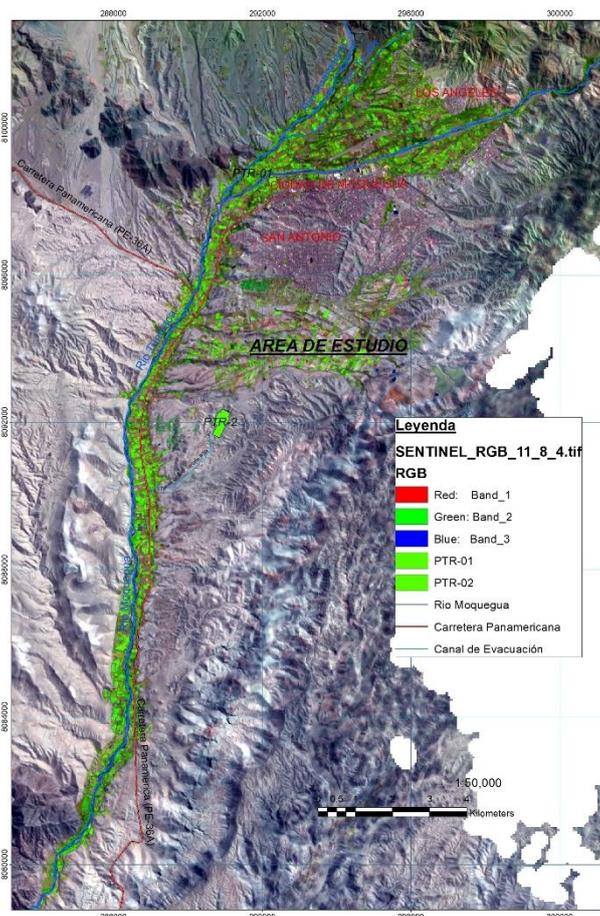
En Moquegua tenemos variedad de suelos distribuidos en diferentes zonas, como, por ejemplo, en la franja del río Moquegua margen izquierdo y derecho tenemos un suelo gravoso con presencia de cantos rodados, grava y arena, sobre ello va acompañado el limo material partícula más fina como consecuencia de la desintegración de las plantas.

3.2. Población.

Se consideró como población, el área de estudios que comprende aproximadamente de 3157.7402 Has, con un perímetro de 95.41 Km., con una dirección de 195°, y con un rumbo de S 15° O, partiendo desde la planta de tratamiento antiguo conocida como PTR-01 que queda cerca de la zona urbana de la ciudad hasta la zona de Omo aguas abajo ultimo sector del valle cultivable, con una longitud aproximada de 20 km, ubicado a margen derecho e izquierdo del trayecto de la carretera panamericana Moquegua Tacna (PE-36A).

Figura 30

Área de estudio.



3.3. Muestra.

3.3.1. Muestra de puntos de entrenamiento en la imagen satelital.

Bajo el método de Random Forest, sobre la Imagen satelital sentinel2 MSI de 13 bandas espectrales, según (Fuentelsaz, 2004) el tamaño de muestra infinita, se determinó basado en población desconocida, método que se utiliza en proyectos de teledetección.

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 x p x q}{e^2}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra buscado

Z_{α}^2 = Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza (NC)

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

q = (1-p) Probabilidad de que ocurre el evento estudiado

e = Error de entonación máximo aceptado.

Antes de calcular la población infinita, en este caso de un espacio geográfico, se consideró la propuesta de la tabla de nivel de confianza por Fuentelza Gallego, quien sugiere los siguiente.

Tabla 5

Tabla de relación de nivel de confianza

Nivel de confianza	α	$Z_{\alpha/2}$	$(Z_{\alpha/2})^2$
99%	0,01	2,576	6,636
95%	0,05	1,960	3,842
90%	0,10	1,645	2,706
80%	0,20	1,280	1,638
50%	0,50	0,674	0,454

Fuente: Tabla sugerida por (Fuentelsaz, 2004)

Reemplazando en la ecuación principal, tenemos:

$$n = \frac{1.96^2 x 0.95 x 0.05}{0.05^2}$$

$n = 72.99 \approx 73$, El resultado se redondeó a 73 puntos, sobre el cual por margen de error se determinó a 76 puntos de entrenamiento como puntos de muestreo como se puede apreciar en los anexos.

Figura 31

Establecimiento de puntos de entrenamiento.



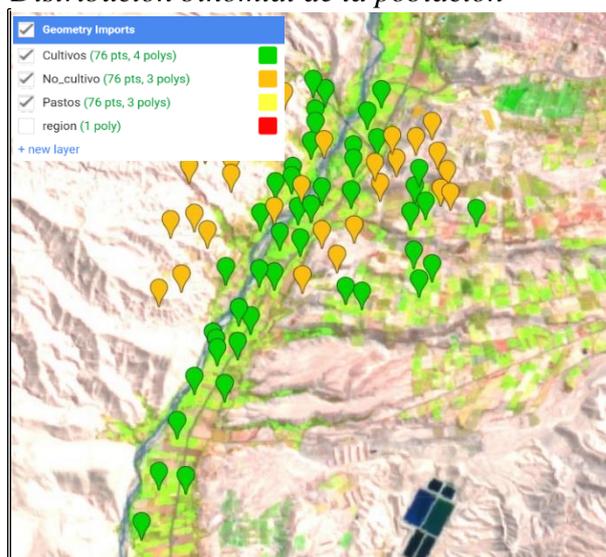
Nota: Ubicación de puntos de entrenamiento en la plataforma de Google Earth Engine 2022.

En la figura 31 se puede apreciar la determinación de los puntos de entrenamiento que consiste en elegir puntos de zonas de cultivo con la misma característica en el área de estudio, para lo cual se considerando 3 elementos siguientes como puntos de muestreo.

- 76 puntos de entrenamiento como muestreo de suelos con cultivo.
- 76 puntos de entrenamiento como muestreo de suelos sin cultivo
- 76 puntos de entrenamiento como muestreo con pastos naturales.

Figura 32

Distribución binomial de la población



3.3.2. Muestreo de suelo en campo:

El muestreo de suelos en campo, se realizó Según el libro de la Guía Técnica para Muestras de Mendoza y Espinoza, donde señala que existe dos **tipos de muestreo**, Simples y compuestas, que consiste en recopilar muestras entre 6 a 12 muestras como mínimo por unidad de muestreo, También hace hincapié en la conexión entre la representatividad de las muestras y los objetivos del muestreo de suelos, donde considera: i) La gestión de nutrientes (fertilidad), ii) el seguimiento de referencia y continuo de la conservación y la restauración del suelo, iii) la remediación, y por último iv) la caracterización para la planificación del uso del suelo. Señala también que las escalas pueden abarcar desde pequeñas parcelas, granjas, hasta el nivel de paisaje (comunidad, microcuenca y multiparcela), y dependen del tamaño de la región y de la cantidad de muestras, así como de la variabilidad del lugar, También sugiere tomar un mínimo de tres muestras a determinadas profundidades de cada tipo de suelo o gestión en esta situación. Para una precisión del 80%, cada muestra puede incluir 6 o 12 submuestras (Swenson et al., 1984). La cantidad estándar de suelo utilizada para el análisis es de 0,25 kg, sin embargo, aconseja recopilar 0,5 kg y llevar al laboratorio en un recipiente hermético o en una bolsa de plástico claramente marcada con tinta permanente (cuando se requiera medir la humedad).

Es así que, bajo la referencia señalada, para el presente proyecto de Investigación se aplicó el tipo de muestra compuesta, siendo su representatividad iv) Caracterización para fines de planificación del uso de la tierra, donde se determinó **25 puntos de muestreo** ubicados según Patrones de muestreo en

levantamientos de suelo, Muestreo por topo secuencia, que consistió en muestrear el suelo en pie de ladera y planicie aluvial, ubicados a margen derecha e Izquierda del río Moquegua, a fin de recopilar muestras de mayor representatividad.

Figura 33

Recojo de muestras de suelo.



Tabla 6

Coordenadas de los puntos de muestreo en suelos agrícola de Moquegua

Puntos de muestreo	COORDENADAS UTM			COORDENADAS GEOGRÁFICAS			Altitud (msnm)	
	ESTE	NORTE	COTA	LONGITUD ESTE	LATITUD SUR			
	(m.)	(m.)	(msnm)					
MS-01	287219.00	8081424.00	954.00	17° 20'	33.74"	71° 00'	08.45"	954.00
MS-02	287331.00	8081386.00	958.00	17° 20'	35.01"	71° 00'	04.67"	958.00
MS-03	287531.00	8081388.00	972.00	17° 20'	35.01"	70° 59'	57.90"	972.00
MS-04	288258.00	8083499.00	987.00	17° 19'	26.61"	70° 59'	32.54"	987.00
MS-05	288425.00	8083459.00	999.00	17° 19'	27.96"	70° 59'	26.90"	999.00
MS-06	288586.00	8083689.00	1009.00	17° 19'	20.54"	70° 59'	21.37"	1009.00
MS-07	288347.00	8085791.00	1036.00	17° 18'	12.10"	70° 59'	28.72"	1036.00
MS-08	288482.00	8085808.00	1032.00	17° 18'	11.59"	70° 59'	24.15"	1032.00
MS-09	288569.00	8085816.00	1047.00	17° 18'	11.36"	70° 59'	21.20"	1047.00
MS-10	288370.00	8087522.00	1069.00	17° 17'	15.81"	70° 59'	27.34"	1069.00
MS-11	288695.00	8087708.00	1072.00	17° 17'	09.87"	70° 59'	16.27"	1072.00
MS-12	288982.00	8087855.00	1078.00	17° 17'	05.18"	70° 59'	06.50"	1078.00
MS-13	288840.00	8089475.00	1110.00	17° 16'	12.45"	70° 59'	10.75"	1110.00
MS-14	289000.00	8089513.00	1111.00	17° 16'	11.27"	70° 59'	05.32"	1111.00
MS-15	289177.00	8089564.00	1115.00	17° 16'	09.67"	70° 58'	59.31"	1115.00
MS-16	288692.00	8092703.00	1168.00	17° 14'	27.42"	70° 59'	14.63"	1168.00
MS-17	289602.00	8094157.00	1199.00	17° 13'	40.44"	70° 58'	43.33"	1199.00
MS-18	289708.71	8094119.59	1200.000	17° 13'	41.69"	70° 58'	39.73"	1200.00
MS-19	289541.00	8094221.00	1202.00	17° 13'	38.34"	70° 58'	45.37"	1202.00
MS-20	291047.51	8096583.67	1210.000	17° 12'	22.00"	70° 57'	53.58"	1210.00
MS-21	290649.00	8097104.00	1259.00	17° 12'	04.94"	70° 58'	06.88"	1259.00
MS-22	290874.00	8096960.00	1259.00	17° 12'	09.70"	70° 57'	59.32"	1259.00
MS-23	292209.00	8098678.00	1321.00	17° 11'	14.27"	70° 57'	13.56"	1321.00
MS-24	292103.00	8099117.00	1328.00	17° 10'	59.95"	70° 57'	17.00"	1328.00
MS-25	292244.00	8098868.00	1323.00	17° 11'	08.10"	70° 57'	12.31"	1323.00

Nota: Datos que se han obtenido mediante el registro de coordenadas con el GPS en todos los puntos de muestreo.

3.4. Método de investigación.

3.4.1. Tipo de Investigación.

El proyecto de investigación, se ajusta al método de investigación descriptiva y aplicada, donde se describe la concentración de sedimentos antibióticos en el suelo, mediante el análisis de las técnicas de teledetección, y sus posibles efectos en la agricultura en la zona del valle Moquegua como consecuencia del sistema de riego con aguas residuales de la PTAR Moquegua.

3.4.2. Diseño de Investigación.

El trabajo de investigación será no experimental, pues no se manipularán las variables, lo que se hará es observar las unidades empíricas o variables tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos, el diseño de investigación por su alcance temporal será seccional o transversal, toda vez que se recolectarán los datos en un solo momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelacionar en un momento determinado. Este diseño será de tipo correlacional de causa-efecto, teniendo como objetivo describir relaciones entre dos o más variables determinantes.

3.4.3. Variables.

Las variables se pueden observar en la siguiente tabla de operacionalización de las variables en el siguiente orden.

Tabla 7

Operacionalización de las Variables

Variables	Dimensión	Indicadores	Categorías	Instrumentos
<u>Variable Independiente</u>				
Teledetección	Determinación de áreas de cultivo por el análisis de imagen satelital	NDVI (Random Forest)	Has.	Software Google Earth Engine y GIS.
	Bandas espectrales	Espectros de la Vegetación	Resolución de la imagen satelital.	
Suelos	Caracterización del suelo, con contenido de sedimentación de antibióticos.	Área de estudio.	Muestras.	Análisis de suelos en laboratorio
<u>Variable Dependiente</u>				
Áreas de Cultivos	Identificación de zonas de cultivos y no cultivos.	Tipos de cultivos.	Áreas en Has.	Software Google Earth Engine y GIS.
Áreas contaminadas	Presencia de residuos de antibióticos en las áreas de cultivo.	Tipos de antibióticos contaminantes	Grado de contaminación	Aplicación del software Google Earth Engine y GIS.

3.4.4. Diseño Estadístico.

La interpretación Estadística se realizó a través del software R Studios, donde el análisis de Correlación de Spearman o Pearson método estadístico que se utilizó para el análisis de datos no paramétricos, y el Kendal, estadística utilizada para medir la asociación ordinal entre dos cantidades medidas.

R de Pearson

Así como señala Sánchez y Escamilla (2020) que el R de Pearson es una herramienta estadística que nos ha servido para ver si existe correlación lineal entre dos variables o no, en ellos de manera menos formal, hemos podido observar que el coeficiente de correlación de Pearson en ambos casos debe de ser con datos cuantitativos, así como resultó en los valores de X, e Y.

La fórmula es la siguiente.

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}\right)} \sqrt{\left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N}\right)}}$$

El coeficiente de correlación de Pearson (r) se midió en una escala de 0 a 1, tanto en dirección positiva como negativa. Un valor de “0” indica que no hay relación lineal entre las variables. Un valor de “1” o “-1” indica, respectivamente, una correlación positiva perfecta o negativa perfecta entre dos variables. Normalmente, el valor se ubicará en alguna parte entre 0 y 1 o entre 0 y -1. En las ciencias sociales, donde la mayoría de las variables son simultáneamente afectadas por una gran multitud factores, una correlación positiva de 0,7 o una correlación negativa de -0,7 se considera muy fuerte. (Por último, tenga en mente el coeficiente de Pearson mide sólo relaciones lineales entre variables, y no es útil para medir relaciones que no son lineales)

Tabla 8

El coeficiente de Pearson de correlación.

Valor del Coeficiente de Pearson	Grado de Correlación entre las Variables
$r = 0$	Ninguna correlación
$r = 1$	Correlación positiva perfecta
$0 < r < 1$	Correlación positiva
$r = -1$	Correlación negativa perfecta
$-1 < r < 0$	Correlación negativa

Nota: Valores que se han utilizado para el análisis de correlación de dos variables, en este caso de imagen satelital y análisis de suelo.

3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

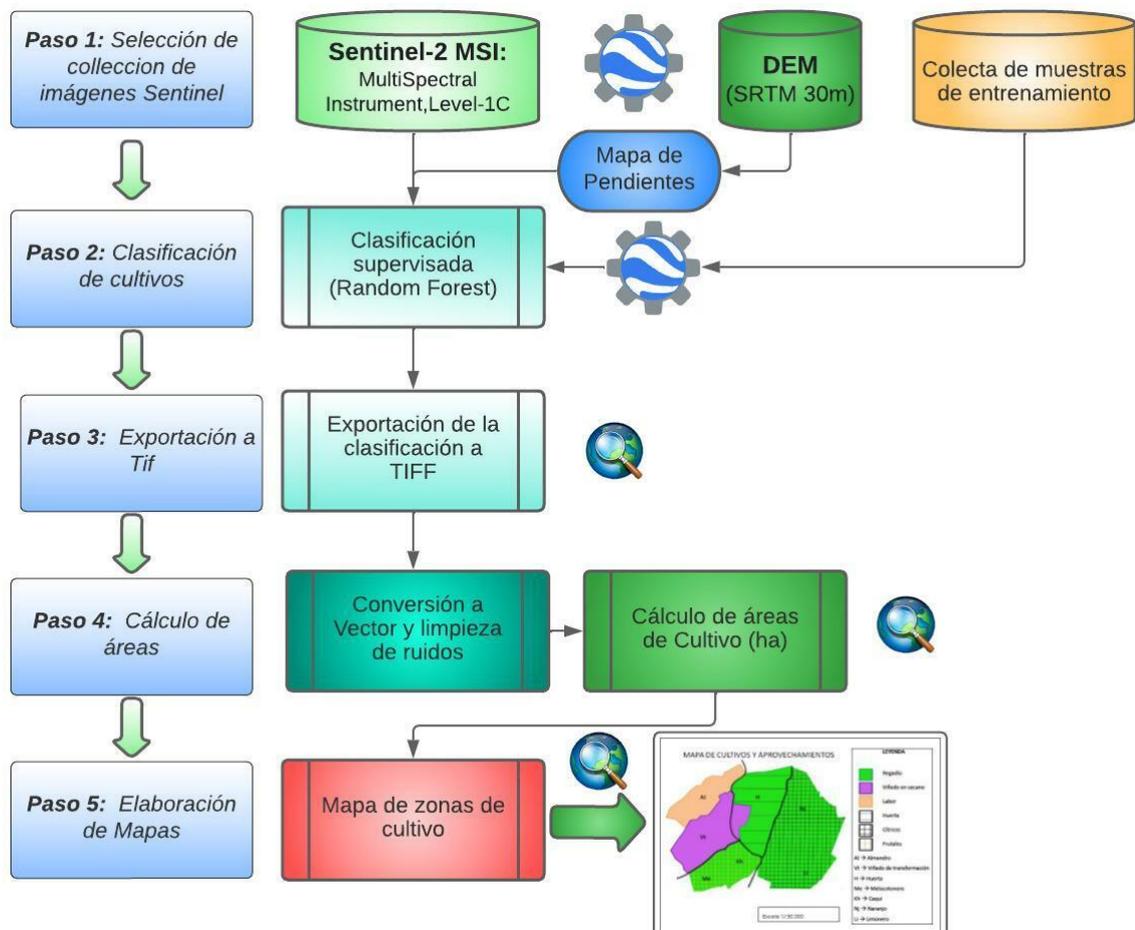
3.5.1. Determinar la distribución de áreas de cultivo mediante la técnica de análisis de imagen satelital en el valle de Moquegua.

Los suelos del valle, son el medio fundamental en la producción de la agricultura en el Departamento de Moquegua; y juegan un papel importante en el contexto económico actual, por eso la generación de la información gráfica de áreas de cultivo a través de la aplicación de softwares especializados es importante, puesto que se estará creación información base para la administración, organización de espacios geográficos de zonas de cultivo.

El desarrollo de la elaboración de zonas de cultivo en el valle de Moquegua, se realizó a través del análisis de imagen satelital sentinel 2 en la plataforma de Google Earth Engine que es una plataforma de análisis geoespacial basada en la nube de datos que permite al usuario usar la infraestructura de Google, en ella se utilizó el lenguaje de programación Java Script, y como plataforma final se utilizó el software Arc. GIS, para elaborar el mapa final de las zonas de cultivo bajo el siguiente esquema:

Figura 34

Esquema general del procedimiento de elaboración de mapas de zonas de cultivo.



Nota: Esquema del Procedimiento de elaboración de mapa de zonas de cultivo en la plataforma de lucid 2022.

La figura nos muestra el procedimiento de elaboración de mapa de zonas de cultivo, en ello primero se seleccionó la imagen satelital Sentinel-2 MSI, que lleva una carga útil de instrumentos ópticos que muestreará 13 bandas espectrales: cuatro bandas a 10 m, seis bandas a 20 m y tres bandas a 60 m de resolución espacial. La anchura de la franja orbital será de 290 km. Así lo señala en (eesa, 2015)

En este caso se seleccionó la misión Sentinel-2 MSI (instrumento multiespectral) nivel 1C, por que Ofrece una breve descripción de la misión y sus vínculos con las misiones precursoras, además de presentar los formatos de los productos disponibles y los parámetros geofísicos medidos.

El procesamiento del nivel 1C incluye correcciones radiométricas y geométricas, como la rectificación ortográfica y el registro espacial en un sistema de referencia global con una precisión inferior al píxel (eesa, 2015)

El tratamiento de nivel 1C se dividió en los siguientes pasos:

- Asociación de baldosas: selección de baldosas predefinidas que se cruzan con la huella de la imagen requerida.
- Cálculo de la malla de remuestreo: permite vincular la imagen geométrica nativa con la imagen geométrica de destino (ortorectificada).
- Remuestreo de cada banda espectral mediante un filtro de interpolación y remuestreo de cuadrículas en la geometría de la ortoimagen. En esta etapa también se calculan las reflectancias del TOA.
- Se realizan los cálculos de la máscara de nubes y de tierra/agua.
- Las imágenes de nivel 1C que se produjeron se comprimieron utilizando el método JPEG2000 y una cabecera GML para una imagen geográfica.

Sobre ello se descargó también el DEM (SRTM 30 m), que significa el modelo digital de elevaciones, sobre ello se realizó la colectad e muestras de entrenamiento para determinar el NVDI y mapa de pendientes.

Con la colecta de muestras de entrenamiento más el DEM con el apoyo de mapa de pendientes, se realizó la clasificación de cultivos por el método de Clasificación Supervisada (Random Forest). obteniendo como resultado el mapa de cultivos en formato Ráster, la misma que fue exportado en formato TIF plataforma de GIS.

En la plataforma Arc. GIS, a través de su herramienta Arc. Toolbox, se convierte el archivo de formato ráster a formato vectorial y se realiza la limpieza de ruidos, una vez convertido en polígonos, se procede a uniformizar y crear el polígono del área de cultivo para calcular el área de zonas de cultivo.

Finalmente, se elaboró el mapa de Cultivos en la plataforma de Arc. GIS, considerando todos los elementos geográficos y cartográficos que debe contar un mapa, este mapa representa las zonas de cultivo en el valle de Moquegua,

específicamente las zonas agrícolas ubicadas cercanas a la zona de la planta de tratamiento antiguo así como la zona del afluente de la planta de tratamiento actual ubicado en la zona de Omo aguas abajo.

3.5.2. Estimación de la concentración de los sedimentos de antibióticos en los suelos irrigados con aguas residuales de la PTAR mediante técnicas de teledetección.

3.5.2.1. Muestreo de suelo en campo:

Para el mejor estudio y estimación de la presencia de antibióticos (tetraciclina y fluoroquinolona) en los suelos agrícolas del valle como consecuencia del sistema de riego con las aguas residuales de la PTAR Moquegua, se ubicó los puntos de muestreo estratégicamente en concordancia con la guía de muestreo de suelos del ministerio del ambiente, considerando los siguientes aspectos.

- Definición de los puntos de muestreo en el mapa base.
- Obtención de las coordenadas UTM de cada punto de muestreo.
- Ubicación de los puntos de muestreo a través del replanteo con GPS.
- Consideraciones generales de las vías de acceso y la importancia del lugar.
- Escarbado del hoyo y recojo de muestra de suelo depositando en la bolsa de muestreo.
- Codificación de la bolsa de muestreo.
- Georreferenciación del punto de muestreo en coordenadas UTM WGS 84.
- Descripción general del punto de muestreo.

Materiales y herramientas utilizados para el recojo de las muestras de suelo.

- Pico y pala mediana
- Bolsas de muestreo.
- Pintura.
- Pincel.
- Libreta de campo.
- GPS.
- Wincha o cinta métrica.

Las muestras de suelo, se recogieron según recomendaciones de Galego, (2017) donde aconseja para seleccionar y recoger correctamente las muestras, en ese sentido la selección del punto de muestreo, se realizó definiendo la parcela que tenga menos vegetación con características similares, considerando los siguientes detalles.

- Aspecto del cultivo: alteración del color o del desarrollo, signos evidentes de carencia.
- Tipo de suelo: tonalidad, grosor y facilidad de arado (suelos pesados/ligeros).
- Sobre el esfuerzo agrícola de los años anteriores, que incluyó subsolado, abonado orgánico extensivo y encalado.
- En la pendiente del terreno se observa un claro cambio de suelo plano a suelo inclinado.

Para el caso de la profundidad de muestreo, consideró los siguientes valores orientativos:

- 10 a 20 cm de profundidad en praderas
- Suelos para invernaderos: 15-25 cm.
- Hortalizas y cultivos anuales: 20-30 cm.
- Viñedos y frutales: hasta 50-60 cm (distinguiendo los 25 cm superiores).

De los cuales para el presente proyecto de investigación por la uniformidad del terreno y para obtener muestras representativas, se utilizó el tercer caso.

Técnica de muestreo; una vez definida la parcela con características uniformes, se tomaron la cantidad suficiente de suelo en promedio de 4000 gr./punto, luego se mezclaron bien, de los cuales se tomó una parte entre 500 a 1000 gr. de suelo, por el método de cuarteo, las mismas que se depositaron en una bolsa de plástico con cierre hermético, registrando los siguientes datos; Código del punto, fecha, descripción general de la parcela, profundidad de muestreo, y finalmente se georreferenció el punto de muestreo en el sistema de coordenadas UTM, datum WGS 84.

Figura 35

Recojo de muestra de suelo



Nota: El personal del equipo de investigación, recogiendo muestras de suelos en los suelos cultivables del valle Moquegua 2021.

El recojo de muestras se ha realizado según la guía para el muestreo de suelos del Ministerio del ambiente, donde en cada punto de muestreo, se recogió una porción de suelos (500 gr.) tal como se indicó anteriormente, georreferenciado y codificado, luego es depositado en un papel aluminio, selladas en bolsas ziplot y guardadas en cooler luego fueron refrigeradas, para su posterior traslado.

Después de los trabajos de campo, las muestras se trasladaron al laboratorio de ecotoxicología del centro de energía nuclear para la agricultura, de la universidad de São Paulo Brasil, allí fueron analizados todas las muestras por el Dr. Franz Zirena, Director de Investigación, donde señala que para realizar los análisis se utilizó un cromatógrafo de líquidos (Agilent Technologies, Wilmington, DE, EE.UU.) con una bomba de carga cuaternaria 1260 VL Infinity, una bomba analítica binaria de la serie 1200, un auto muestreador 1260 Infinity con ajuste de volumen hasta 900 L, un desgasificador 1260 Infinity, un horno de columnas y una válvula de conmutación de 10 puertos.

Se utilizó un espectrómetro de masas triple cuádruplo (MS/MS) 6420 (Agilent Technologies, Wilmington, NC, EE.UU.) se acopló al sistema SPE-LC utilizando la ionización por electrospray (ESI). Los parámetros de la ESI en el modo de ionización negativa para FF y en el modo de ionización positiva para los demás

analitos. para los demás analitos. Las condiciones de la fuente de ionización fueron las siguientes: temperatura del gas 325 oC; flujo de gas, 12 L/min; presión de gas del nebulizador, 50 psi N₂; y voltaje capilar, 4000 V.

3.5.2.2. Índice diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI) a partir de imágenes de UAV/RPAS:

Se utilizó los siguientes equipos y materiales:

01 vehículo aéreo no tripulado (Dron Phantom Pro 4 +, con Camara RBG)

Puntos de muestreo.

Software Agisoft PhotoScan.

- Diseño del vuelo.

Sobre el área de estudio, y en los lugares de los puntos de muestreo, se realizaron los vuelos fotogramétricos con el dron, considerando para ello la altura de vuelo, cámara usada, considerando el objetivo que se persigue y la identificación de los cultivos, dado que esto afecta a la altitud a la que se volará y, a su vez, determina la resolución espacial de las imágenes, el número de imágenes necesarias para cubrir el cultivo y la duración del vuelo, es un factor crucial a tener en cuenta para evitar problemas con la autonomía del vehículo (Torres-Sánchez et al., 2013).

- Ejecución del vuelo.

El UAS está equipado con una cámara y, tras el despegue manual, se activa la ruta de vuelo prevista. A medida que el vehículo se desplaza por el campo de cultivo, empieza a capturar imágenes automáticamente hasta que lo sobrevuela por completo. A continuación, pasa al control manual cuando se acerca al aterrizaje. El UAS/RPAS transmite datos a la estación base sobre diversos aspectos durante el vuelo, como la posición, la duración de la batería y la potencia del motor.

- Preprocesamiento de las imágenes.

Las fotografías captadas durante el vuelo se descargaron de la cámara al ordenador; los archivos producidos por la cámara tradicional pueden utilizarse

directamente; sin embargo, se requiere un procedimiento de conformación de mosaicos antes del análisis de las imágenes que producirán los mapas. Para crear una imagen ortográfica, que represente el campo de cultivo en su totalidad, se combinan todas las fotografías capturadas durante el vuelo y se les dan coordenadas.

- Generación de mapas.

El software Agisoft Photo Scan nos permite generar a parte de los Ortomosaicos, nube de puntos, modelos de elevaciones, diferentes ficheros en formato (*.TIFF) para calcular el índice de vegetación normalizada. Sin embargo, en el presente estudio por la posibilidad de la cámara del dron, no se pudo obtener imágenes con más bandas espectrales, debido a que la cámara del dron es en el sistema RBG, en consecuencia, no se puede trabajar el análisis de NDVI para ese propósito de determinar la concentración de los sedimentos antibióticos, debido a falta de más bandas espectrales, por tanto, la plataforma Google Engine, nos limita su aplicación o simplemente resulta que no hay correlación.

3.5.2.3. Cálculo de índices espectrales:

a) **Índice diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI) a partir de imágenes de satélite.**

Sobre la base de la imagen satelital escogida en el objetivo 01, se procede con la selección y enmascaramiento de ruidos, para ello se tuvo que filtrar las imágenes por fechas y porcentaje de nube < 50%, el enmascaramiento de nubes fue por píxeles, de esa manera se pudo lograr limpiar la imagen para poder analizar.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), en cambio, es una indicación directa de la biomasa fotosintéticamente activa o, dicho de otro modo, un indicador de la salud de la vegetación.

Por consiguiente, para el presente proyecto de investigación, el cálculo del NDVI se realizó a través de la siguiente ecuación.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Donde:

NIR = Es la luz infrarrojo cercano

Red = Rojo, es la luz roja visible.

Para el caso de Sentinel 2, como banda roja utilizamos la banda 4 y la banda 8 para el infrarrojo cercano o NIR.

b) Método de minerales arcillosos.

Se determinó bajo la metodología que establece (Esri, 2022) donde Calcula la proporción de minerales arcillosos (CM) a partir de un objeto ráster multibanda y devuelve un objeto ráster con los valores del índice.

Utilizando dos bandas del infrarrojo de onda corta (SWIR), el enfoque de la proporción de minerales de arcilla (CM) es un indicador geológico utilizado para localizar unidades minerales que incluyen arcilla y alunita. La cartografía de los compuestos minerales hace uso de los CM.

$$CM = \frac{SWIR1}{SWIR2}$$

Para determina se utilizó el siguiente código.

```
ClayMinerals      (raster,      {swir1_band_id},  
{swir2_band_id})
```

Tabla 9

Esquema general del procedimiento de elaboración de mapas de zonas de cultivo.

Parámetro	Explicación	Tipo de datos
raster	La trama de entrada. El ID de la banda del infrarrojo de onda corta 1 (SWIR1).	Raster
swir1_band_id	El índice de identificación de la banda utiliza una indexación basada en uno. (El valor predeterminado es 6) El ID de la banda del infrarrojo de onda corta 2 (SWIR2).	Entero
swir2_band_id	El índice de identificación de la banda utiliza una indexación basada en uno. (El valor predeterminado es 7)	Entero

c) Método de minerales ferrosos

Para determinar los minerales ferrosos se realizó según Dogan (2009) “Método de ratio de minerales ferrosos (FM, por sus siglas en inglés) es un índice geológico que sirve para identificar las entidades rocosas con cierta cantidad de minerales que contienen hierro mediante la banda SWIR y la banda NIR. Los FM se utilizan en la representación cartográfica de compuestos minerales”.

$$FM = \frac{SWIR}{NIR}$$

Donde:

SWIR = valores de píxel de la banda infrarroja de onda corta

NIR = valores de píxel de la banda infrarroja cercana

Para Landsat TM y ETM+, esto corresponde a las bandas 5 (SWIR) y 4 (NIR).

Para Landsat 8, esto corresponde a las bandas 6 (SWIR) y 5 (NIR).

Si usa una lista delimitada por espacios, identificará las bandas SWIR y NIR en el siguiente orden: SWIR NIR. Por ejemplo, 6 5.

d) Método Óxido de hierro

Se realizó Según Dogan (2009) donde “Utilizando las bandas rojas y azules, la técnica de la relación de óxido de hierro (IO) es un indicador geológico utilizado para detectar entidades rocosas que han sufrido la oxidación de sulfuros con hierro. El IO se utiliza en la cartografía de compuestos minerales y es útil para localizar entidades de óxido de hierro que están cubiertas de bosque.”.

$$\text{Óxido Hierro} = \frac{\text{Rojo}}{\text{Azul}}$$

Donde:

Rojo = valores de píxel de la banda roja

Azul = valores de píxel de la banda azul

Esto corresponde a las bandas 3 (rojo) y 1 para Landsat TM y ETM+ (azul). Esto corresponde a las bandas 4 (rojo) y 2 para Landsat 8. (azul).

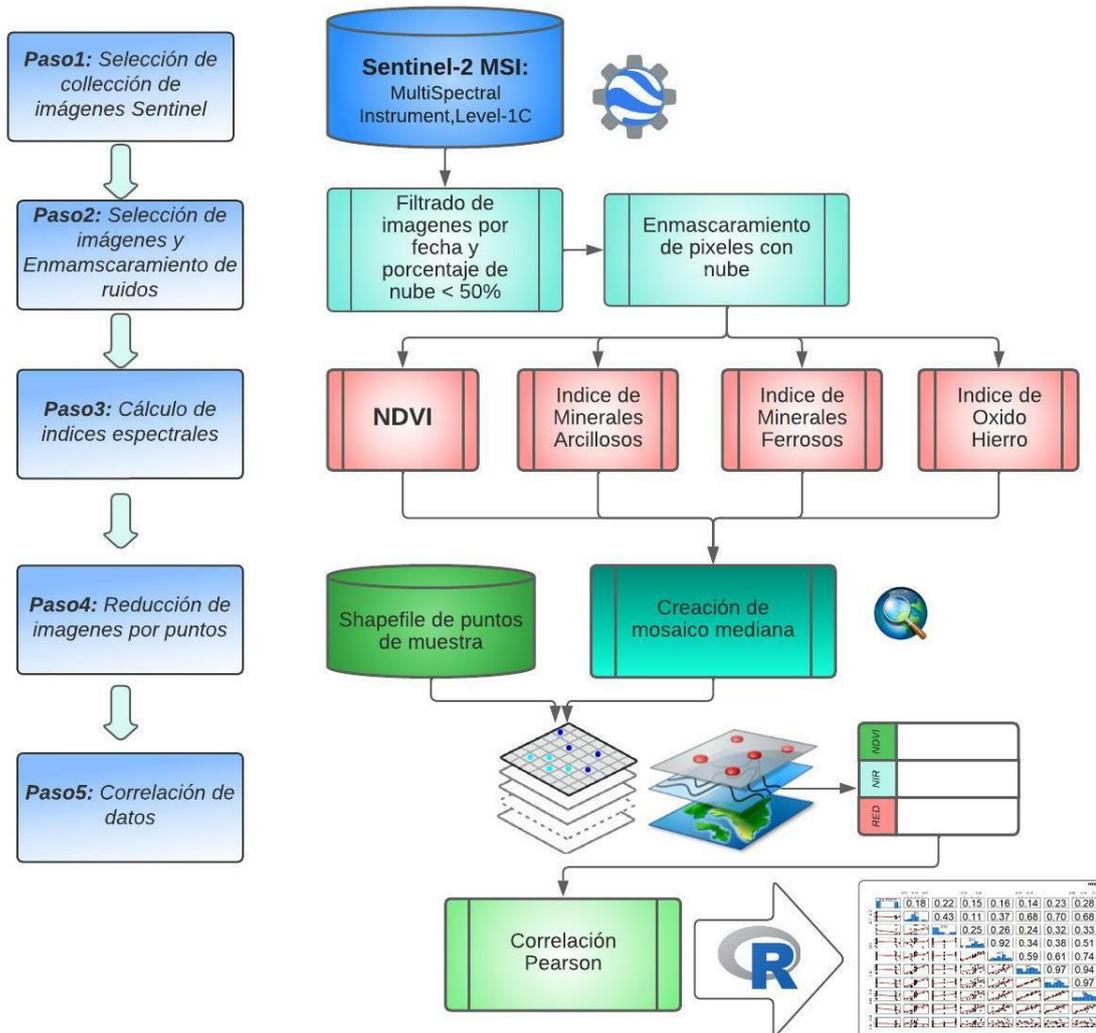
Las bandas roja y azul pueden distinguirse utilizando una lista delimitada por espacios en el siguiente orden: rojo azul, Por ejemplo, 4 2.

3.5.2.4. Reducción de imágenes por puntos:

En esta etapa se desarrolló la reducción de la información en un solo formato (shp), por muestras, y creación de mosaicos medianas, considerando los siguientes índices espectrales como es el caso de: Índice de vegetación normalizada, el índice de Minerales arcillosos, el índice de minerales ferrosos, y el índice de óxido de hierro, con todo ello se redujo en formato señalado, para posterior traslado a la plataforma de Arc. GIS, a fin de conformar las capas con todos sus atributos para su posterior análisis y comentario.

Figura 36

Esquema general de la correlación de datos, para estimar la concentración de los sedimentos antibióticos.



Nota: El esquema del proceso de la generación de mapas, se desarrolló en la plataforma de Lucid online.

3.5.2.5. Correlación de datos de análisis de la imagen Sentinel 2, con los análisis de datos de suelos en laboratorio.

La correlación de las variables, se realizó en base a lo que señala (Sánchez y Escamilla, 2020) donde el resultado puede ser en la escala de 0 a 1, quiere decir que el coeficiente de correlación de Pearson (r) es en sentido positivo, significa que, si existe correlación, y si el valor de “0”, entonces el resultado será que no existe una relación lineal entre las variables. Una correlación positiva perfecta o negativa

completa entre dos variables tiene un valor de "1" o "-1", respectivamente. En la mayoría de los casos, necesariamente el valor resultará siempre entre 0 y 1 o 0 y -1 de los cuales una correlación positiva perfecta será de 0.7 o una correlación negativa perfecta de -0.7, es decir que no hay correlación, son los parámetros que se considerarán para la interpretación de los resultados del presente estudio. Por último, también se considerará que el coeficiente de Pearson sólo será útil para analizar correlaciones lineales entre variables y es ineficaz para medir interacciones no lineales)".

3.5.3. Elaboración de mapas de vulnerabilidad de suelos con presencia de antibióticos en las áreas irrigados por las aguas residuales provenientes de PTAR.

3.5.3.1. Método de Model Builder en Arc.GIS.

Los mapas se han realizado según Pucha C. (2012), para lo cual se utilizó la plataforma de Arc. GIS que tiene la capacidad de construir y compartir modelos a través de su herramienta de ArcToolbox, el programa Model Builder nos permitió desarrollar, actualizar y gestionar modelos con gran precisión que están vinculados a una serie de herramientas de geoprocésamiento y que utilizan el resultado como una conexión de herramientas como entrada para otra".

Bajo el argumento señalado, y en cumplimiento al tercer objetivo, se utilizó el método señalado (model builder), con ello se generó los mapas de vulnerabilidad de suelos con la presencia de antibióticos en las área irrigadas con aguas residuales de la PTAR Moquegua, como dato se utilizó la base grafica generada como producto por análisis de las imágenes de satelital sentinel 2 y mapas generadas con los resultados de análisis de laboratorio de los datos de muestreo del suelo en campo con contenido de elementos de antibióticos en la zona del valle de Moquegua.

Según resultados de la correlación de ambas informaciones, se procedió a elaborar el mapa de zonas de vulnerabilidad como consecuencia del contenido de los elementos antibióticos, parámetro que se utilizó para delimitar las áreas de cultivo con problemas de contenido de este elemento, que posiblemente este afectando directa o indirectamente en la producción de la agricultura.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la distribución de áreas de cultivo mediante técnicas de análisis de imagen satelital.

Selección de la imagen sentinel 2 banda QA

En la plataforma de Google Earth Engine, a través de los códigos en java script, se buscó la imagen Satelital Sentinel-2 MSI multiespectral Instrument Level-1C en ello se seleccionó el área de estudio en base a los puntos de muestreo realizado en el campo, a través de los siguientes códigos.

```
var PUNTOS = ee.FeatureCollection("users/sigyury/JCA/PUNTOS_MUESTRA");  
var AT = ee.FeatureCollection('users/sigyury/JCA/AT_JCA')
```

Enmascaramiento de las nubes.

Luego se realizó el enmascaramiento de nubes, por ser uno menos selectivo, porque la colección es pre filtrada por la banda **Cloudy_pixel_percentage**, para usar solo un granulo relativamente, gránulos libres de nubes, los códigos fueron siguientes.

```
function maskS2clouds(image) {  
  var qa = image.select('QA60')
```

Los bits 10 y 11 son nubes y cirros, respectivamente.

```
  var cloudBitMask = 1 << 10;  
  var cirrusBitMask = 1 << 11;
```

Ambas banderas deben ser puestas a cero, indicando condiciones claras.

```
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0).and(  
    qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0))
```

Devuelve los datos enmascarados y escalados, sin las bandas QA.

```
  return image.updateMask(mask).divide(10000)  
    .select("B.*")  
    .copyProperties(image, ["system:time_start"])}  
}
```

De esta manera se generó el DEM (modelo digital de elevaciones), a fin de determinar la colecta de muestras de entrenamiento, estableciendo en ellos una colección de 76 puntos de entrenamiento como muestreo de suelos con cultivo, suelos sin cultivo, y suelos con pastos naturales, agregando sobre ello el mapa de pendientes que presenta la zona.

Generación de NDVI.

Cabe recordar que el Índice de Vegetación (IV), se utiliza para determinar la existencia de plantas y árboles, así como su salud general, a través de la reflectancia espectral que emite la vegetación el mismo que es registrada en varias bandas espectrales por un sensor antes de crear el NDVI. Para mejorar el contraste entre la vegetación (que tiene una alta reflectancia) y el suelo estéril, un IV es una combinación matemática de dos o más de estas bandas espectrales.

Entonces para el presente estudio, el NDVI se ha determinado según la ubicación de puntos de entrenamiento que indica la concentración de la población de la vegetación que puede ser arboles o arbustos, el sensor lo identifica a través de su biomasa fotosintéticamente activa o, en términos simples, un cálculo de la salud de la vegetación, el mismo que se puede utilizarse durante toda la temporada de producción de cultivos, excepto cuando la vegetación y su cubierta vegetal sea demasiado escasa, ya que su reflectancia espectral es demasiado baja.

Para determinar el NDVI se utilizó la siguiente ecuación.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Donde:

NIR = Es la luz infrarrojo cercano

Red = Rojo, es la luz roja visible.

En este caso se utilizó como banda roja, la banda 4 y la banda 8 para el infrarrojo cercano o NIR, por tanto, en la plataforma de Google Earth engine, a través de los siguientes códigos se obtuvo el NDVI de la zona:

```
var addNDVI = function(image) {  
  var ndvi = image.normalizedDifference(['B8',  
  'B4']).rename('NDVI');
```

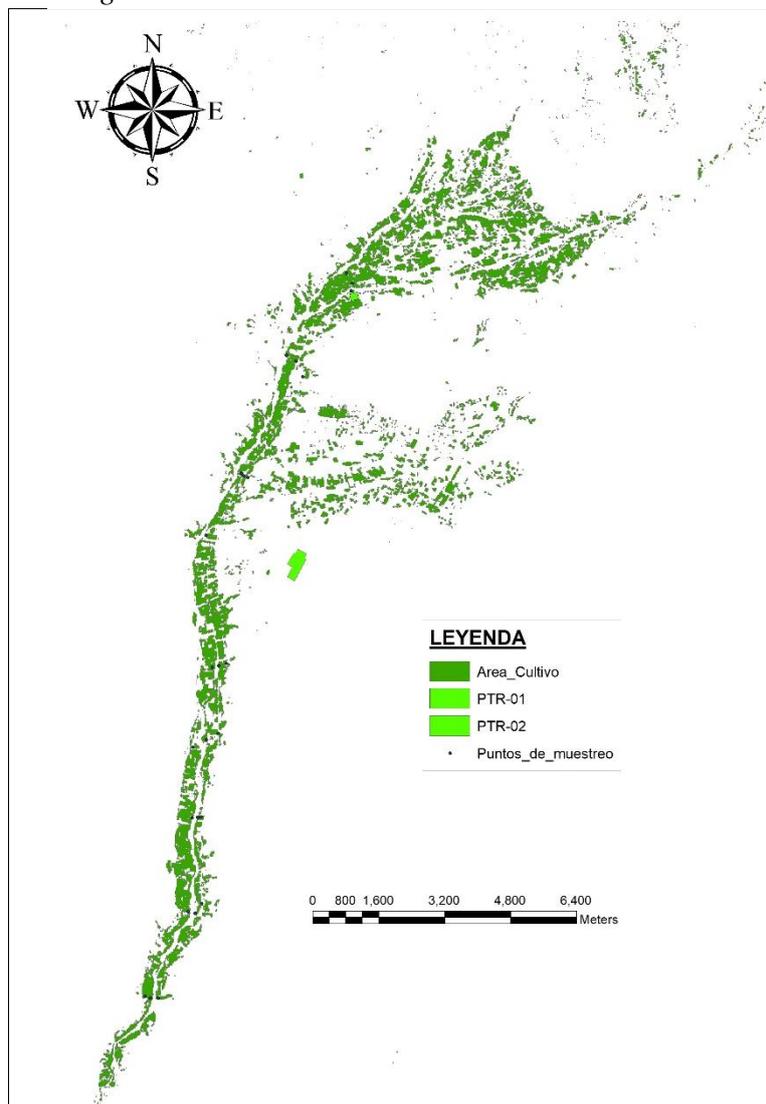
```
return image.addBands(ndvi);  
};
```

Clasificación de Cultivos.

Bajo la metodología de Clasificación supervisada de Random Forest, se determinó las zonas de cultivo en formato TIF, luego se convirtió en formato vectorial para su exportación a la plataforma de Arc. GIS, en ellos podemos observar que los polígonos están distribuidos en diferentes áreas, tal como se puede apreciar en la siguiente imagen.

Figura 37

Polígonos de áreas de cultivo.



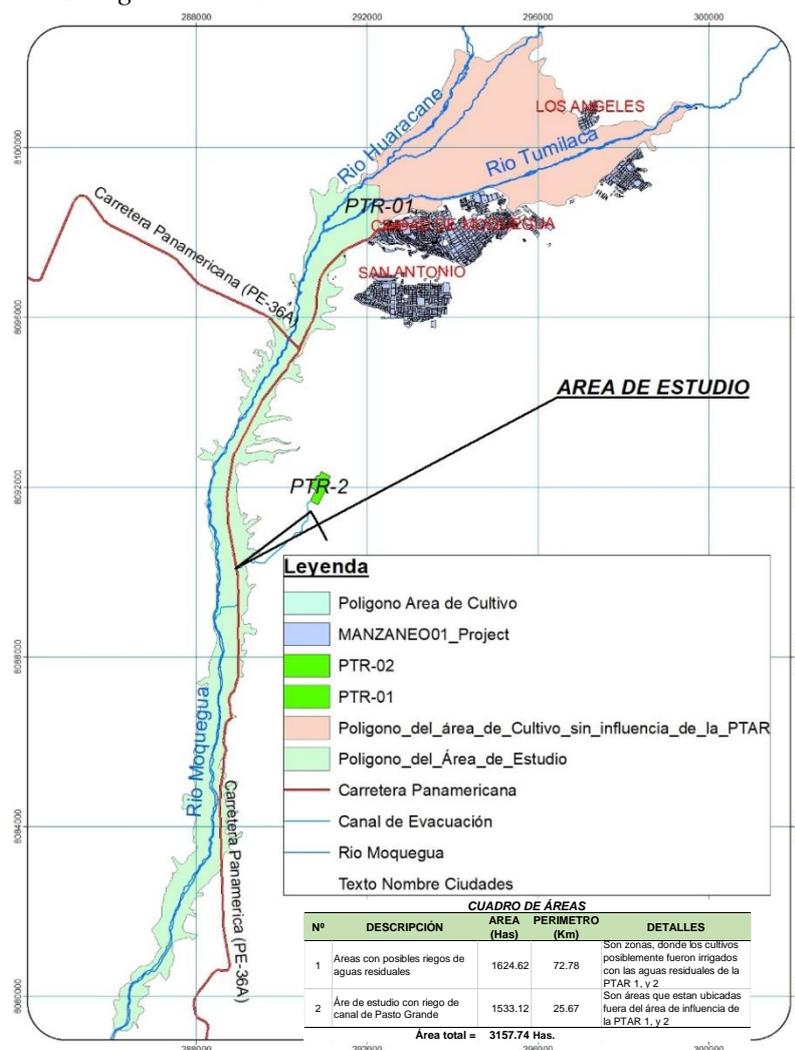
Nota: Es el resultado del análisis de la imagen satelital generada en polígonos en la plataforma de Arc. GIS.

Agrupación de áreas de cultivo, y conformación del polígono zona de cultivo.

En base a la imagen procesada, el siguiente paso fue agrupar las regiones de áreas de cultivo, tomando en cuenta las áreas de cultivos irrigados con las aguas residuales de la PTAR 01 así como de la PTAR 02, no se consideró la zona de nuevos proyectos que se instalaron en la quebrada como la asociación Alto Calaluna, Cambrune, Asoagrim, y otros, debido a que dichos proyectos no utilizan las aguas servidas.

En consecuencia, como producto de la asociación de la los polígonos, se logró obtener el siguiente mapa que está conformado por un polígono general que los agrupa a todas las áreas de cultivo que suman un total de Área =3157.74 Has, P = 95410.12 m.

Figura 38
Polígonos de áreas de cultivo



Nota: Se logro agrupar las áreas en un solo polígono, considerado como polígono de área de cultivo.

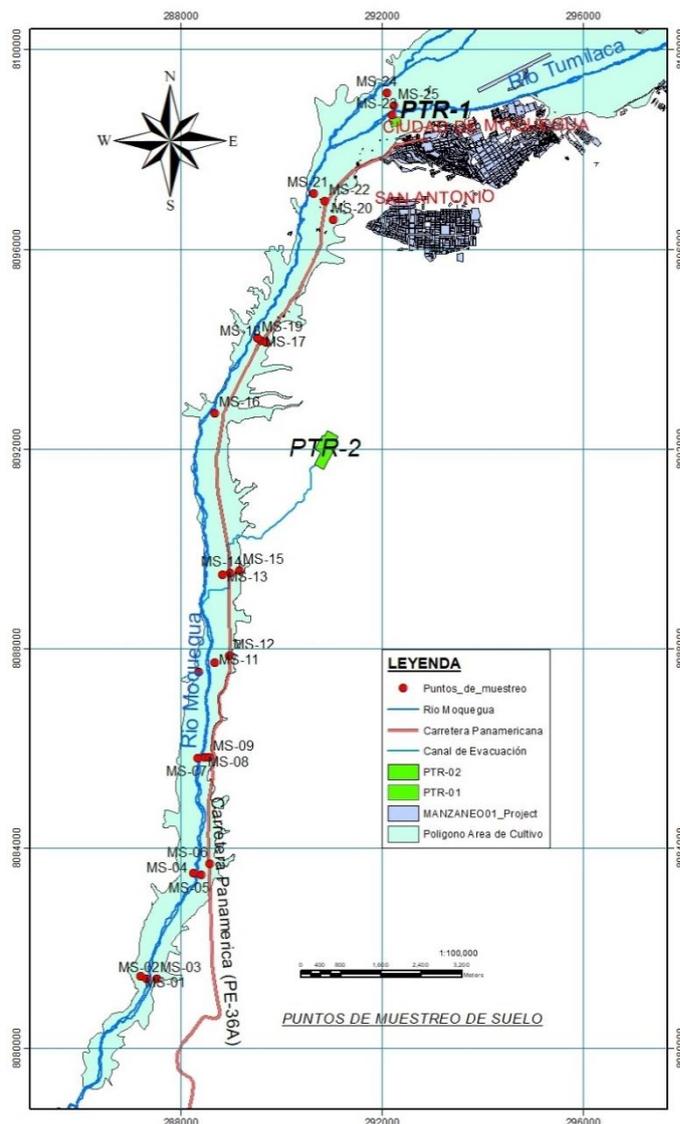
4.2. Estimación de sedimentos antibióticos en los suelos irrigados con aguas residuales de la PTAR, mediante técnicas de teledetección.

Para el mejor acercamiento a la estimación de concentración de antibióticos en los suelos irrigados con aguas residuales en el valle de Moquegua, primero se recolectó las muestras de suelo en campo, luego las muestras fueron analizadas en un laboratorio especializado, donde se consideró los estándares de patrones analíticos, y se utilizó con un espectrómetro de masas triple cuádruplo (MS/MS) 6420 (Agilent Technologies, Wilmington, NC, EE.UU.) se acopló al sistema SPE-LC utilizando la ionización por electrospray (ESI), y estos resultados obtenidos y los resultados del análisis de la imagen satelital sentinel 2, se correlacionaron los datos para determinar las áreas de concentración de antibióticos en los suelos irrigados con las aguas residuales de la PTAR Moquegua, en el siguiente orden.

4.2.1. Resultado de la determinación de concentración de antibióticos en los suelos de cultivo mediante muestreo en campo.

En los resultados de los análisis de 25 muestras de suelo agrícola, se determinaron la frecuencia de detección y cuantificación de 6 antibióticos tal como se puede apreciar en la tabla 8 donde nos muestra que la mayor frecuencia de detección se dio con la tetraciclina TC (100%), seguido por Sulfametoxine SMT (48%), luego continua con Ciprofloxacino CFX (28%) y otros elementos en menor proporción. Consecuentemente a ello, también se analizó la mayor concentración de antibióticos el mismo que se dio en Sarafloxacino SAR (8.01 ± 0.59 ng/g) cuyo valor máximo alcanzo a 9.07 ng/g. seguido de Sulfmetoxine SMT (2.71 ± 0.16 ng/g), Ciprofloxacino CFX (6.70 ± 0.48 ng/g) y otros elementos en menor concentración. Finalmente, como resultado de las 25 muestras seleccionados, 2 contenían todos los antibióticos y 3 muestras contenían cuatro antibióticos y otros en menor medida.

Determinación de puntos de muestreo.



Nota: en la figura se muestra la ubicación de los puntos de muestreo del suelo en campo, los mismos que han sido georreferenciados a un sistema de coordenadas UTM, datum WGS 84, para su ubicación se consideró el acceso a los puntos en referencia a la vía principal.

Finalizada los trabajos de campo, el siguiente paso fue analizar las muestras de los datos recolectados en campo en laboratorio, para lo cual se estableció el siguiente cronograma de actividades de estudio cromatográfico de suelo en laboratorio, los pasos y fechas es como se indica a continuación.

Cronograma de análisis cromatográfico.

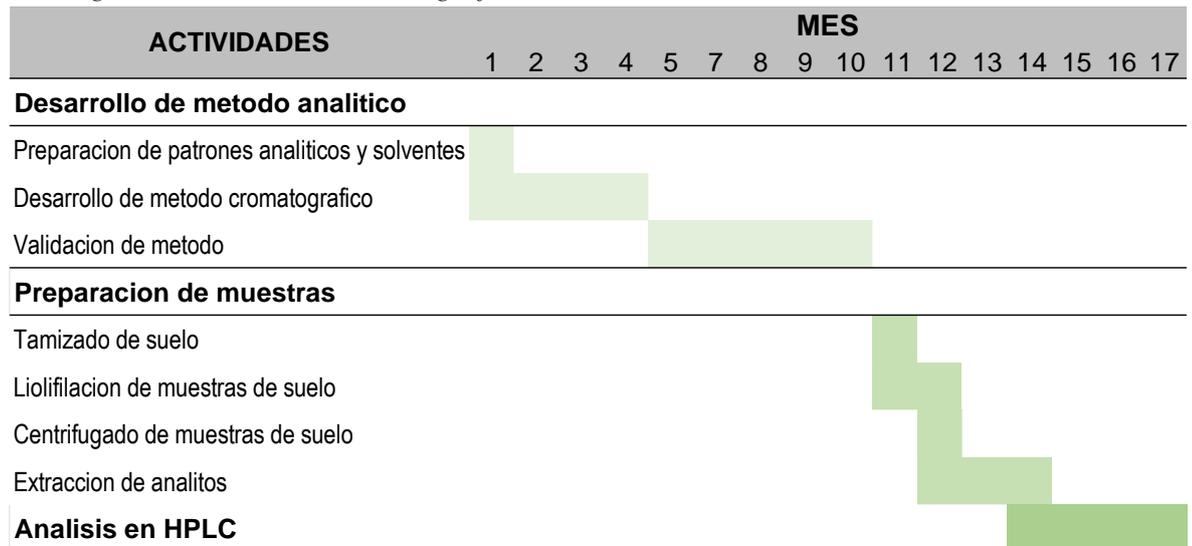


Tabla 11

Frecuencia de detección y cuantificación de antibióticos en suelo agrícola.

Grupo	Antibiótico	Abreviatura	Promedio ng g ⁻¹	Desv Est	Valor min	Valor max	Frecuencia de detección (%)
Sulfonamidas	Sulfametoxine	SMT	2.71	0.16	2.56	3.17	48
	Sulfadimetoxine	SDM	0.63	0.11	0.56	0.85	24
Tetraciclina	Tetraciclina	TC	6.2	0.33	5.81	7.23	100
	Ciprofloxacino	CFX	6.7	0.48	6.15	7.33	28
Fluoroquinolona:	Enrofloxacin	EFX	4.86	0.12	4.75	4.99	12
	Sarafloxacin	SAR	8.01	0.59	7.71	9.07	20

Nota:

En la tabla 9, frecuencia de detección y cuantificación de antibióticos en los suelos agrícolas del valle de Moquegua, se puede apreciar que la tetraciclina y el sarafloxacin tiene mayor frecuencia de detección que otros elementos, eso significa que los suelos agrícolas de las zonas de cultivo, contiene estos elementos que probablemente esté ocasionando algunos efectos en la producción de los productos, lo cual amerita otro estudio o investigación de los efectos en los consumidores de los productos en el valle de Moquegua.

Tabla 12

Frecuencia de detección y cuantificación de antibióticos en suelo agrícola.

ESTADO DE SUELO	CODIGO DE LABORATORIO	CODIGO DE MUESTRA	COORDENADAS UTM WGS 84		CONCENTRACION ANTIBIOTICOS ng/g						
			ESTE	NORTE	SULFAMETOXINE	SULFADIMETOXINE	SULFATIAZOLE	TETRACICLINA	CIPROFLOXACINO	ENROFLOXACINO	SARAFLOXACINO
CONTAMINADA	1	MS - 01	287219.00	8081424.00	2.6335	0.6143	0	7.2325	6.6593	0	7.745
	11	MS - 02	287331.00	8081386.00	2.8312	0	0	6.3466	0	0	0
	17	MS - 03	287531.00	8081388.00	2.6596	0	0	6.024	0	0	0
	15	MS - 04	288258.00	8083499.00	0	0	0	6.2225	0	0	0
	3	MS - 05	288425.00	8083459.00	0	0	0	6.5098	0	0	0
	23	MS - 06	288586.00	8083689.00	0	0.562	0	6.0757	7.2225	0	7.7111
	19	MS - 07	288347.00	8085791.00	0	0	0	6.0875	0	0	0
	2	MS - 08	288482.00	8085808.00	0	0	0	6.6464	0	0	0
	24	MS - 09	288569.00	8085816.00	2.7143	0.5757	0	5.9764	6.9491	0	9.0748
	6	MS - 10	288370.00	8087522.00	0	0.5762	0	5.8112	0	0	7.7111
	5	MS - 11	288695.00	8087708.00	0	0	0	6.4659	0	0	0
	8	MS - 12	288982.00	8087855.00	2.6511	0	0	6.2664	0	0	0
PARCIALMENTE CONTAMINADA	22	MS - 13	288840.00	8089475.00	3.1681	0	0	5.9209	0	4.8271	0
	21	MS - 14	289000.00	8089513.00	0	0	0	6.0365	6.3474	0	0
	10	MS - 15	289177.00	8089564.00	2.6224	0	0	6.2686	0	0	0
AREA LIBRE	4	MS - 16	288692.00	8092703.00		0	0	6.0338	0	0	0
	18	MS - 17	289602.00	8094157.00	2.6961	0	0	5.8747	6.1506	4.7505	0
	20	MS - 18	289708.71	8094119.59	2.5577	0	0	6.313	0	0	0
	9	MS - 19	289541.00	8094221.00	2.7355	0	0	6.0514	6.2347	4.9884	0
	7	MS - 20	291047.51	8096583.67		0	0	6.8462	7.3259	0	0
	16	MS - 21	290649.00	8097104.00	2.6485	0	0	5.8746	0	0	0
	14	MS - 22	290874.00	8096960.00	0	0	0	6.1677	0	0	0
	25	MS - 23	292209.00	8098678.00	2.5946	0.846	0	5.9293	0	0	0
	13	MS - 24	292103.00	8099117.00	0	0.6133	0	6.0284	0	0	7.832
	12	MS - 25	292244.00	8098868.00		0	0	5.9517	0	0	0

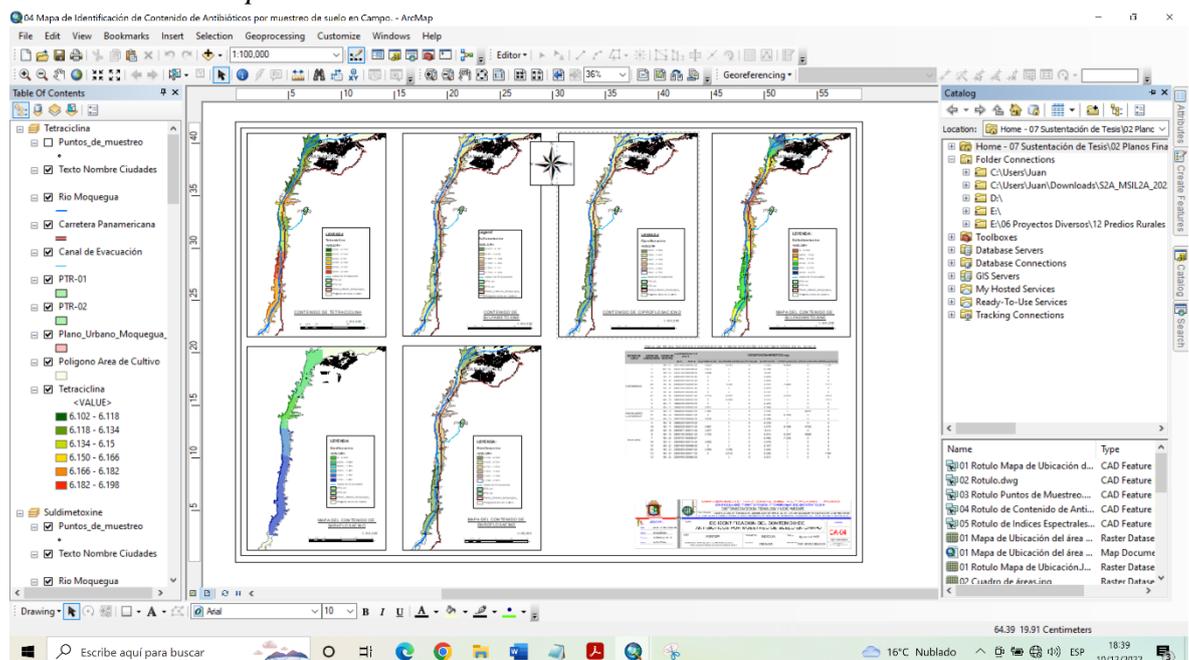
4.2.1.1. Elaboración de mapas digital de la concentración de antibióticos en los suelos irrigados del valle de Moquegua.

Los mapas digitales de la concentración de antibióticos en los suelos irrigables del valle de Moquegua, se realizaron en la plataforma Arc. GIS, como variables se utilizó los datos de los resultados del análisis de muestra de suelo que se realizaron en el laboratorio especializado, específicamente en el laboratorio de ecotoxicología del centro de energía nuclear para la Agricultura de la Universidad de São Pablo de Brasil.

Los resultados se pueden apreciar en la tabla 15, donde están clasificadas por tipo de antibióticos, en base a estos resultados se elaboraron los diversos mapas según su contenido en la plataforma de Arc. GIS, cuyos resultados se pueden apreciar en las siguientes páginas, en cada una de ellas muestra la concentración de los antibióticos según su incidencia o contenido, en los anexos se puede apreciar con mayor detalle la presentación gráfica de cada elemento, allí nos indica cuál es su contenido de cada elemento según zonas o áreas de cultivo.

Figura 40

Generación de mapas de concentración de antibióticos



- Concentración de Tetraciclina.

Considerando que la tetraciclina es un antibiótico bacteriostático que se unen a la subunidad 30S del ribosoma, por lo que inhiben la síntesis de proteínas bacterianas, a través del análisis de la muestra de suelo, se pudo obtener los siguiente.

Figura 41

Desviación estándar de la Clasificación de los datos de

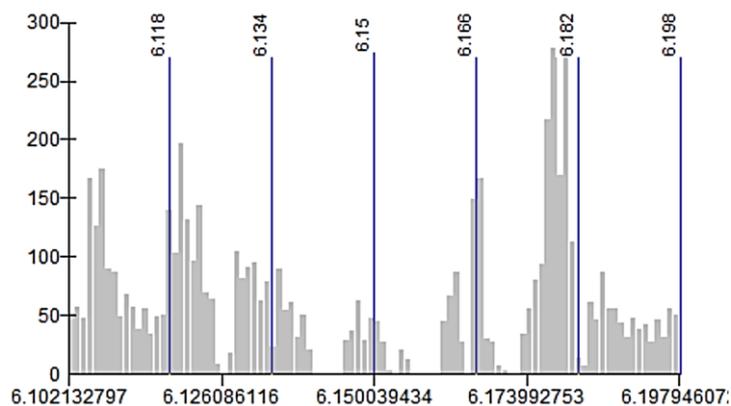
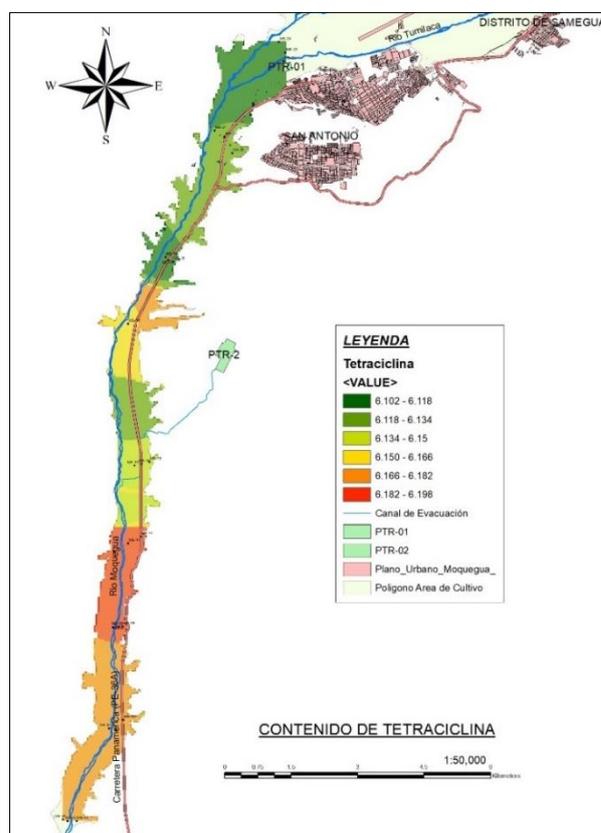


Figura 42

Contenido de tetraciclina en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo

La figura muestra el contenido del elemento tetraciclina en los suelos irrigados con aguas residuales de la PTAR, donde se puede apreciar que en la zona de Homo para aguas abajo, es decir a partir de la bifurcación del canal de evacuación de las aguas servidas al río Moquegua, existe un contenido alto de tetraciclina, con un valor de 6.182-6.198 nm, lo que indica que los suelos agrícolas contienen este elemento.



- **Concentración de Ciprofloxacino.**

La clasificación se desarrolló en la plataforma de Arc. GIS, agrupados en 6 datos principales, donde se puede apreciar su desviación estándar siguiente.

Figura 43

Desviación estándar de la Clasificación de los datos de Ciprofloxacino.

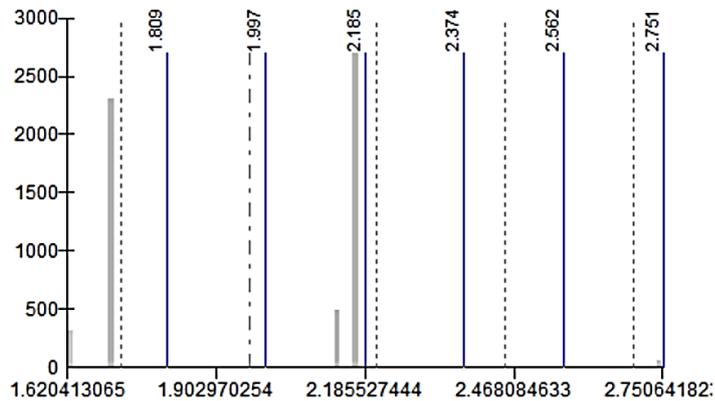
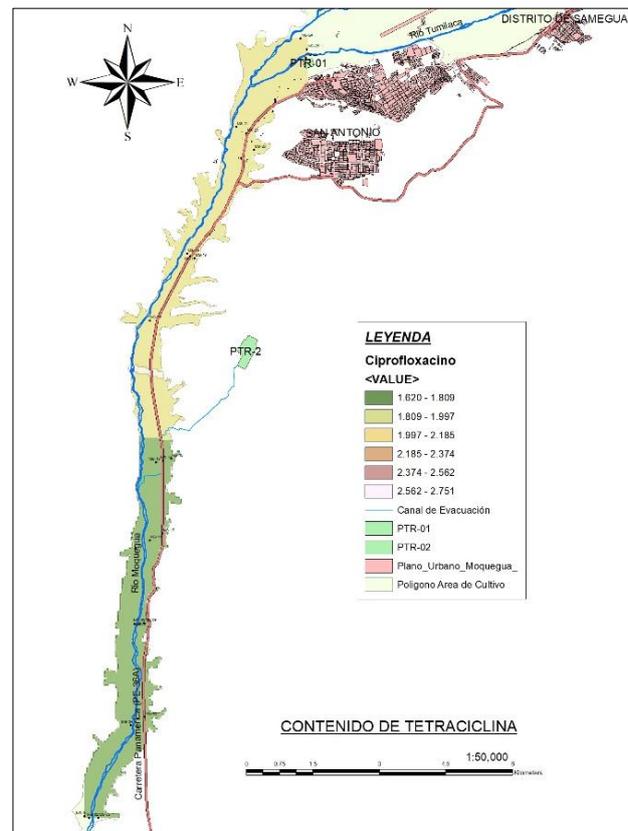


Figura 44

Contenido de Ciprofloxacino en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.

La figura nos muestra el contenido de elemento ciprofloxacino, según su análisis estadístico para su clasificación, y según su desviación estándar, resulta que a partir del vertimiento de aguas residuales y su confluencia al río Moquegua, los suelos contienen en menor porcentaje, quiere decir que existen, pero en menor proporción, lo que quiere decir a partir de esta confluencia, los suelos probablemente este con contenido de este antibiótico.



- Concentración de Enrofloxacino.

Para la clasificación de los antibióticos, se se consideró 6 grupos principales para su interpretación, donde su desviación estándar resulto los siguiente.

Figura 45

Desviación estándar de Clasificación de los datos de Enrofloxacino.

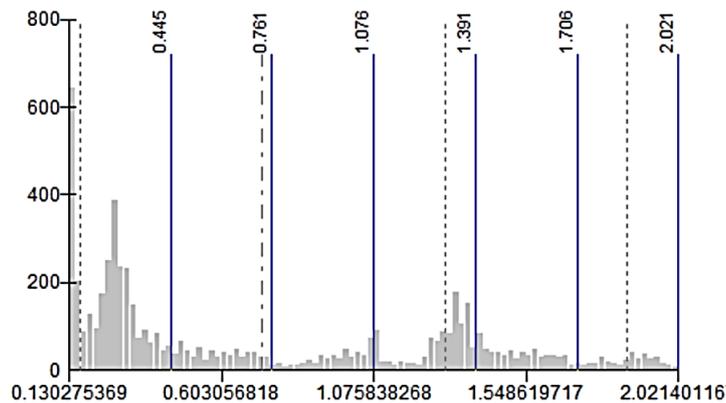
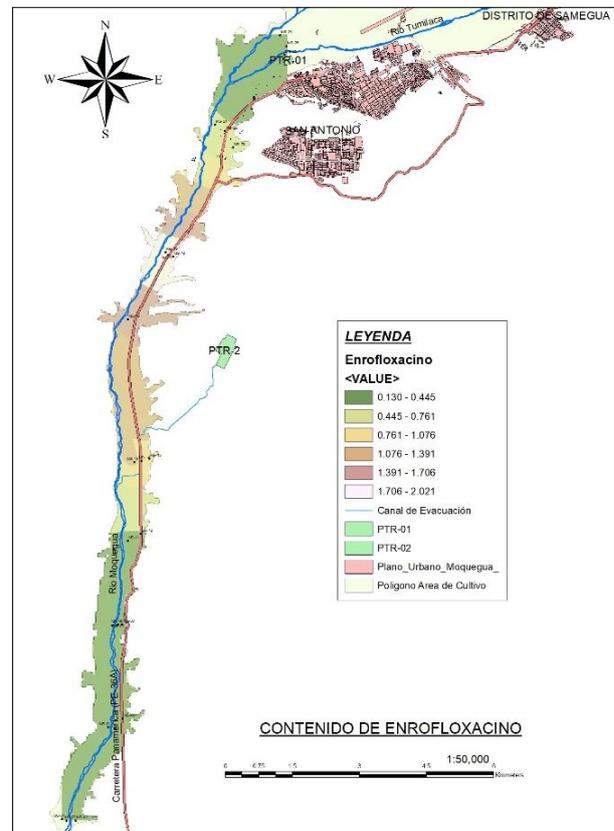


Figura 46

Contenido de Enrofloxacino en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.

La figura nos muestra el contenido de enrofloxacino, según la clasificación estadística desarrollada en la plataforma de Arc. Resulta que en los muestreos 11 y 12 cercana a la PTAR-01, y punto de muestreo 23, 24, 25 cercanas a la PTAR-02 presentan el contenido de este elemento, lo que significa que existe la concentración de enrofloxacino en las desembocaduras de las plantas de tratamiento.



- **Concentración de Sarafloxacino.**

La clasificación de los antibióticos, se desarrolló en la plataforma de Arc. GIS, se consideró 6 grupos principales, su desviación estándar resulto los siguiente.

Figura 47

Desviación estándar de la Clasificación de los datos de Sarafloxacino.

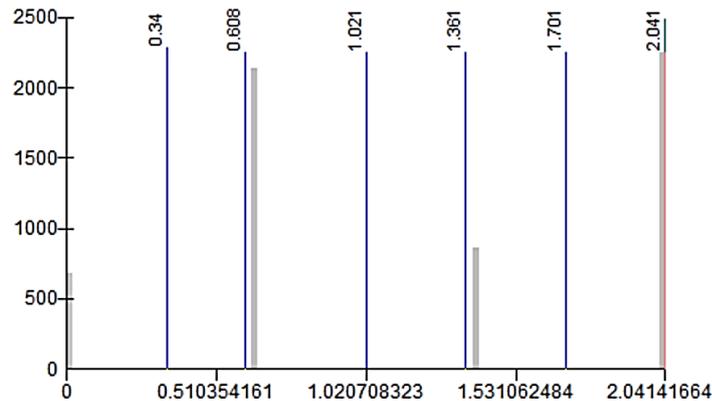
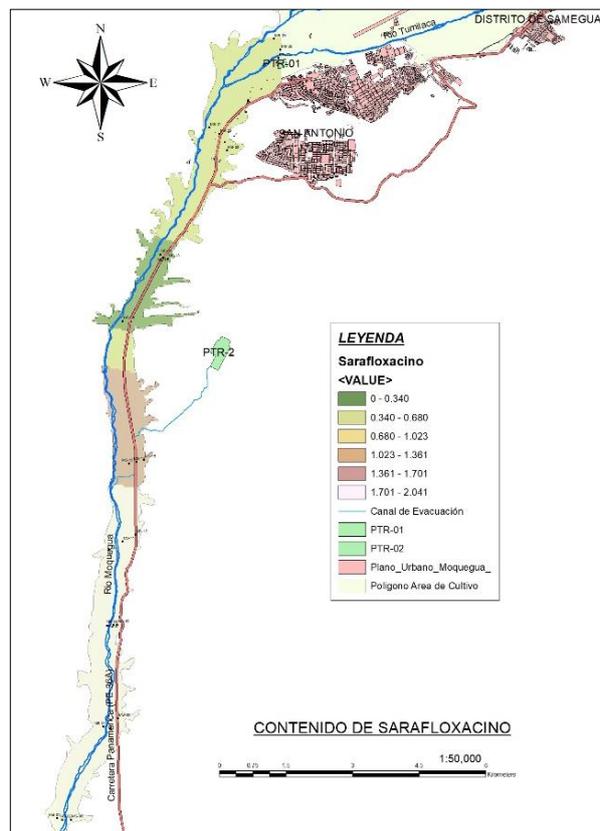


Figura 48

Contenido de Sarafloxacino en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.

La figura nos muestra la concentración de Sarafloxacino, según la clasificación estadística desarrollada en la plataforma de Arc. Resulta que en los puntos de muestreo 11 y 12, donde afluye el canal de evacuación de las aguas servidas al río para aguas abajo, los suelos presentan un alto contenido de este elemento, lo que significa que existe la sedimentación de la concentración de Sarafloxacino en los suelos irrigables cercana al río Moquegua.



- **Concentración de Sulfadimetoxine.**

La clasificación de los antibióticos, se desarrolló en la plataforma de Arc. GIS, se consideró 6 grupos principales, su desviación estándar resulto los siguiente.

Figura 49

Desviación estándar de la Clasificación de los datos de Sulfadimetoxine.

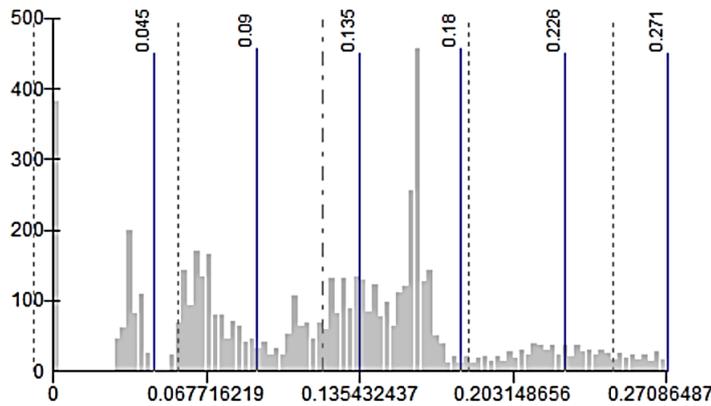
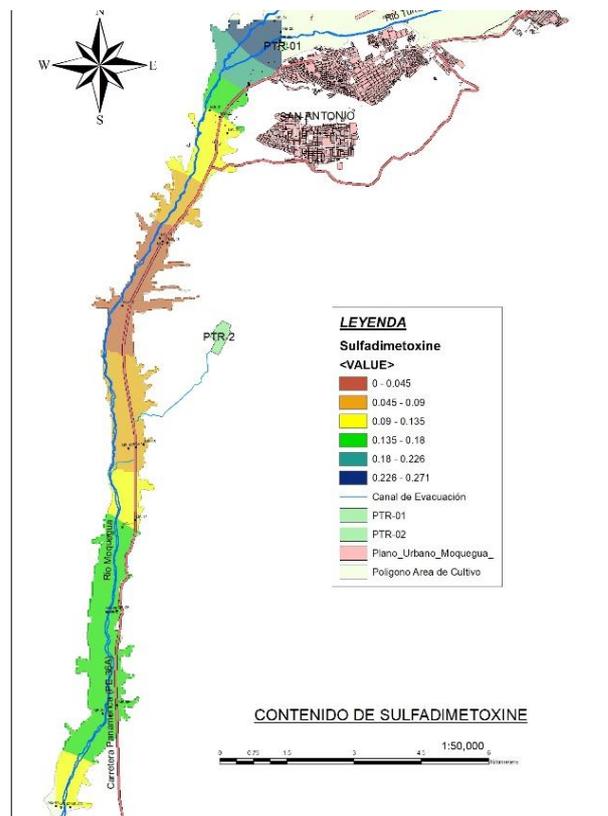


Figura 50

Contenido de Sulfadimetoxine en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.

La figura nos muestra la desviación estándar del contenido de los antibióticos, donde nos indica que, en la zona del vertimiento de las aguas servidas hacia el río, contiene la concentración regular de sulfadimetoxine con un valor entre los rangos de (0.045 a 0.226), cuyos resultados corresponde a los puntos de muestreo 20, 21, 22, también se puede observar que este elemento se encuentra en los lugares donde el suelo no es irrigado con las aguas residuales.



- **Concentración de Sulfmetoxine.**

La clasificación de los antibióticos, se desarrolló en la plataforma de Arc. GIS, se consideró 6 grupos principales, su desviación estándar resulto los siguiente.

Figura 51

Desviación estándar de la Clasificación de los datos de

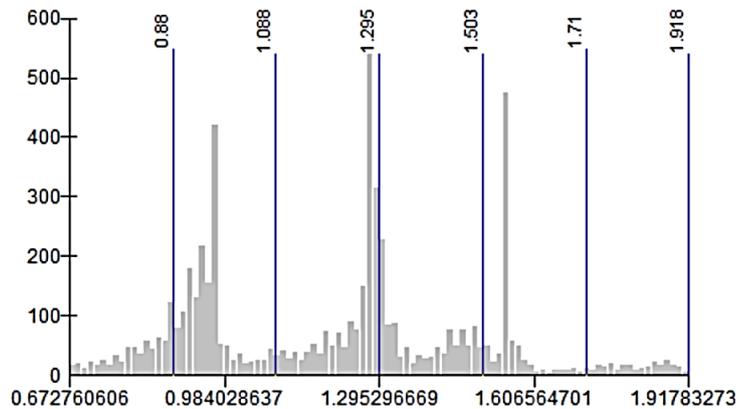
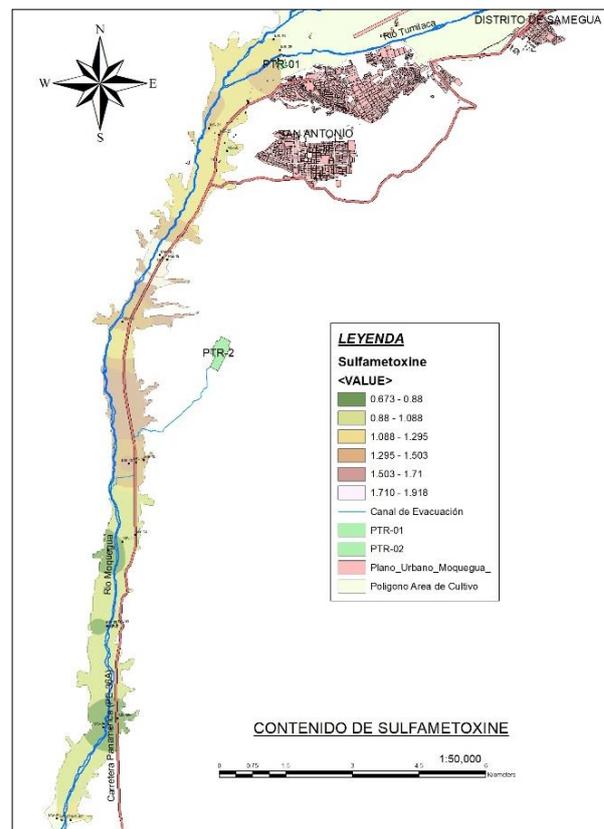


Figura 52

Contenido de Sulfametoxine en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.

La figura nos muestra, la desviación estándar del contenido de la concentración de Sulfametoxine, donde la mayor concentración con un valor de 1.503 a 1.71 se encuentra en la zona del vertimiento de las aguas servidas de la PTAR hacia el río, resultado que se puede interpretar como contenido leve, lo que significa que no es significativa la presencia de este elemento en los suelos irrigables cercana al río Moquegua.



4.2.2. Determinación del índice diferencial de Vegetación Normalizada (NDVI) de las imágenes de UAS/RPAS.

Antes de realizar el vuelo fotogramétrico con el equipo UAS/RPA (Dron), primero se tuvo que solicitar permiso a las oficinas de la autoridad Nacional de Agua, así como con los diversos presidentes de los comités regantes, a fin de que nos facilite el acceso a las zonas de cultivo.

En gabinete, en la plataforma de Google Earth, se pre planifico el área de vuelo, en base a un diseño de vuelo, considerando la altura de vuelo, dirección, y la cobertura del área de desplazamiento, luego esta información de guardo en una memoria USB para la transferencia al Dron.

Para el mejor desarrollo del vuelo fotogramétrico, se consideró tres aspectos importantes a la hora de realizar fotogrametría con drones:

- La trayectoria de vuelo
- El solape entre las imágenes.
- Posición de la cámara.

Figura 53

Diseño del vuelo Fotogramétrico



Bajo los aspectos señalados, el siguiente paso fue dirigirnos al campo, y realizar un pequeño reconocimiento de campo por las zonas de trabajo, en base a ello a través de un software en una laptop se planificó el vuelo fotogramétrico de la zona escogida, considerando la cobertura del área del vuelo.

En seguida se revisó el estado de las baterías (testear cargas y su funcionamiento), luego se instaló el equipo y en base al plan de vuelo establecido, se procedió con el despeje y pilotaje del dron sobre las áreas de vuelo, verificando en todo momento la altura de vuelo y la velocidad a fin de no variar la toma de las imágenes.

Figura 54

Vuelo Fotogramétrico con el dron Phantom 4 pro+.



Además de ello se ha considerado que un vehículo aéreo no tripulado debe contar con los siguientes elementos, a fin de adquirir con mayor aproximación la determinación del NDVI.

Tabla 13

Bandas espectrales de sensores

SENSOR	BANDA ESPECTRAL
Visible -RGB (Cámara Fotográfica)	380-780 Nanómetros
Visible (Cámara de Video)	380-780 Nanómetros
Infrarrojo cercano	3 Bandas 500-950 Nanómetros
Multiespectral	18 Bandas 500-950 Nanómetros
Hiperspectral	400 Bandas 450-950 Nanómetros
Térmico	8-12 Micrómetros

En consecuencia, con los datos adquiridos del dron, en el presente estudio de investigación **no se pudo obtener los resultados esperados**, debido a que se utilizó un vehículo aéreo no tripulado con cámara RGB, el mismo que no permite interactuar la correlación o combinación de las bandas para obtener el NDVI adecuado, razón por la cual no se describe su resultado por lo que **no permite generar adecuadamente el NDVI**, sin embargo, bajo el procedimiento que se planteó se desarrolló la ejecución del vuelo fotogramétrico en campo en los lugares de los puntos de muestreo, considerando en ello la altura de vuelo, cámara usada, identificando las zonas para cubrir el área de cultivo y la duración del vuelo, aspecto que se han tomado para evitar problemas con la autonomía del vehículo.

4.2.3. Cálculo de índices espectrales.

En referencia a lo que señala Cherlinka, en su artículo en la página de Eos Data Analytics señala que los índices de vegetación son un parámetro importante del análisis del desarrollo de los cultivos. Entre las numerosas ventajas de los índices de vegetación en la teledetección están la precisión de los datos y el control a kilómetros de distancia, los cuales son los principales impulsores de la adopción de esta práctica tecnológica”.

En consecuencia, en el presente estudio, los índices espectrales como es el caso del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), el índice de minerales arcillosos (CM), el índice de minerales ferrosos (FM), y el índice de óxido de hierro (IO), se determinaron en la plataforma de Google Earth Engine, a través de diversos códigos conforme indica el procedimiento del manual de la plataforma.

Las ecuaciones de los índices espectrales están establecidas en la metodología, en las siguientes figuras, se muestra los **resultados** de los índices de cada elemento, los mismos que en adelante se correlacionarán con los resultados del análisis de los antibióticos que se determinó en el laboratorio, como producto del muestreo de los suelos que se realizó en campo, los resultados podemos apreciar en las siguientes figuras.

4.2.3.1. NDVI a partir de imágenes satelitales Sentinel 2.

En la plataforma de Google Earth Engine, según los datos enmascarados y escalados, sin las bandas QA, se ejecutó los siguientes códigos de java script.

```
Return image.updateMask(mask).divide(10000).select("B.*")
.copyProperties(image, ["system:time_start"]);
var addNDVI = function(image) {
var ndvi = image.normalizedDifference(['B8',
'B4']).rename('NDVI');return image.addBands(ndvi);};
```

y se obtuvo como resultado los siguiente:

Figura 55

Desviación estándar del NDVI

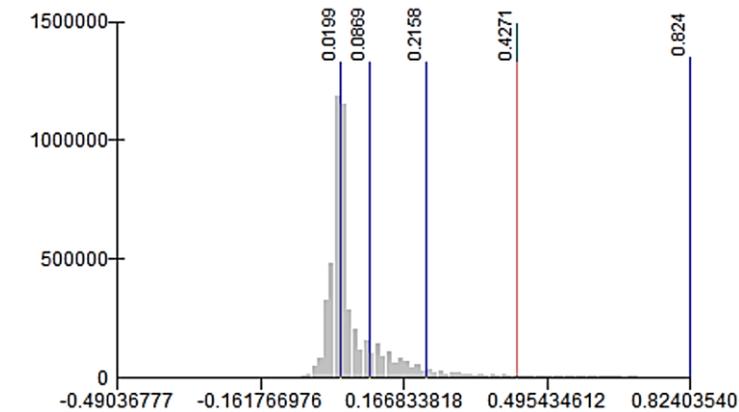
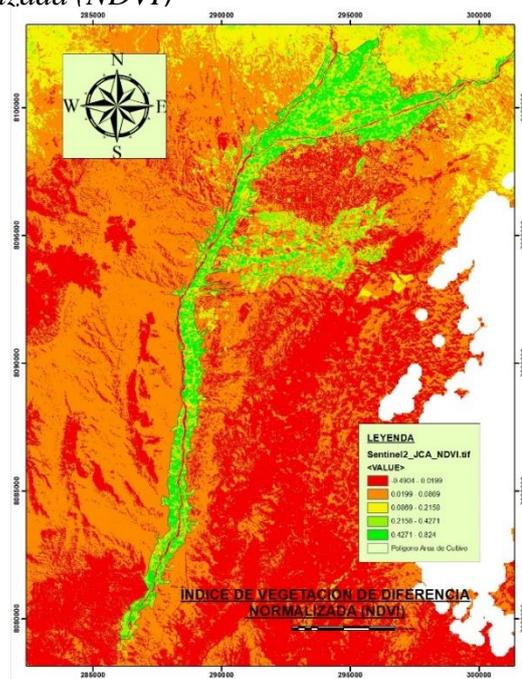


Figura 56

Índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El NDVI se calculó con la siguiente fórmula: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$, donde NIR es la luz del infrarrojo cercano y Rojo es luz roja visible.



4.2.3.2. Resultado del índice de minerales arcillosos (CM).

En la plataforma de Google Earth Engine, según los datos enmascarados y escalados, sin las bandas QA, se ejecutó los siguientes códigos de java script.

```
var addMinerales_arcillosos=function(image) {
var Min_arc=image.expression('(SWIR1 /
SWIR2)',{SWIR1:image.select('B11'), SWIR2:
image.select('B12'), }).rename('Min_arc');return
image.addBands(Min_arc);}; y resultó los siguiente:
```

Figura 57

Desviación estándar de minerales arcillosos.

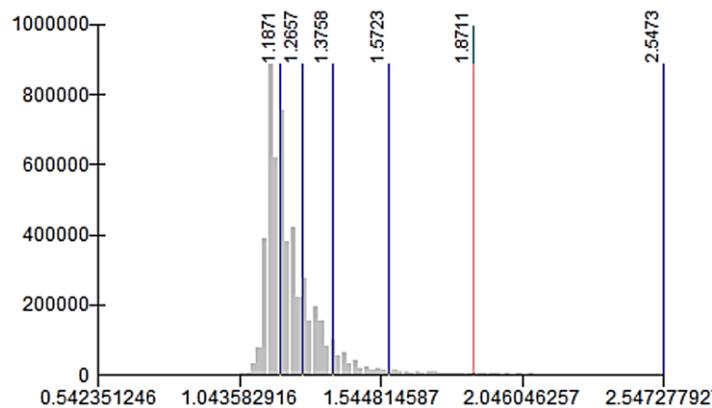
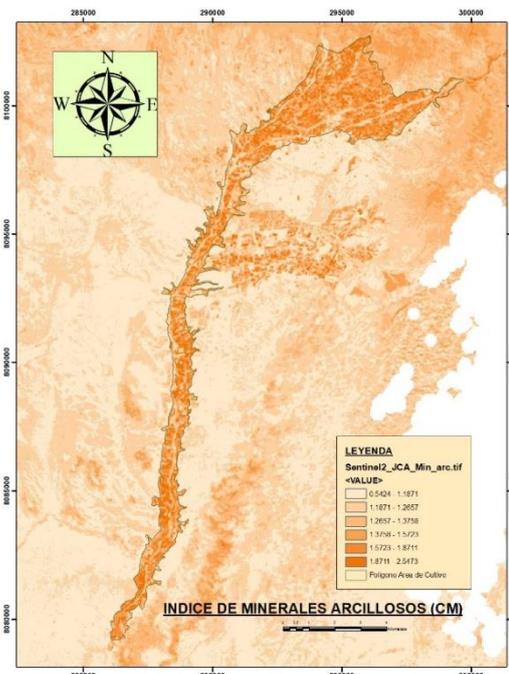


Figura 58

Índice de minerales arcillosos (CM).

En la imagen se muestra la proporción de minerales de arcilla entre las bandas SWIR1 y SWIR2. Esta relación aprovecha la capacidad de los minerales del agua para absorber la radiación en el rango de 2,0-2,3 micras, como la arcilla o la alunita. Dado que se trata de una relación, esta relación amortigua las fluctuaciones de luz provocadas por la topografía.



4.2.3.3. Resultado del índice de minerales ferrosos (FM).

En la plataforma de Google Earth Engine, según los datos enmascarados y escalados, sin las bandas QA, se ejecutó los siguientes códigos de java script.

```
var Minerales_ferrosos = function(image) {
  var Min_fer= image.expression('(SWIR1 / NIR)',
    {NIR: image.select('B8'),SWIR1: image.select('B11'),
    }).rename('Min_fer');return image.addBands(Min_fer);};
```

Cuyo resultado fue lo siguiente:

Figura 59

Desviación estándar de minerales ferrosos.

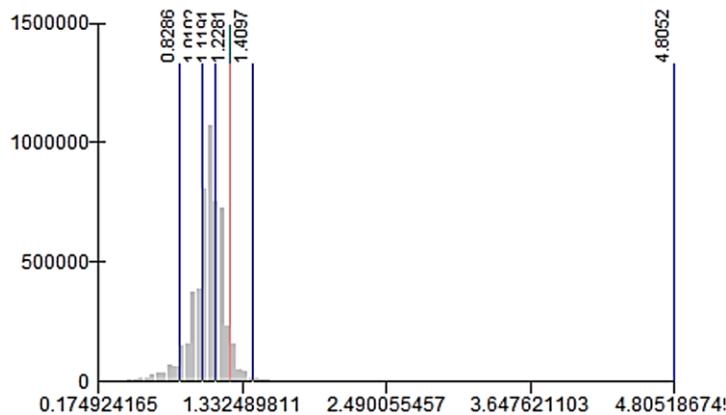
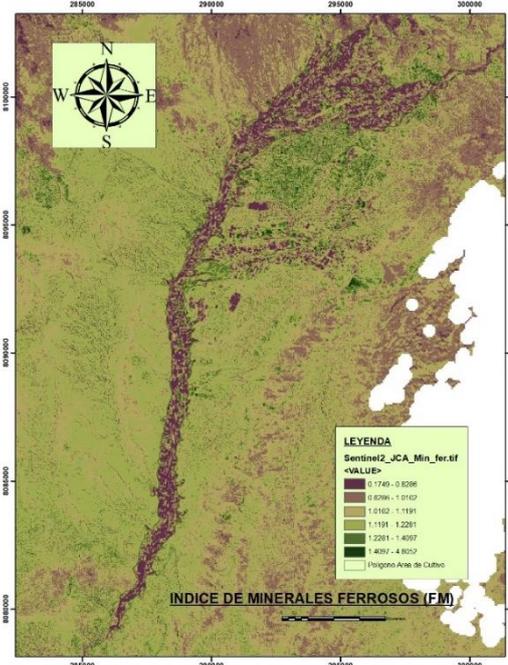


Figura 60

Índice de minerales ferrosos (FM).

La figura nos muestra, la relación de minerales ferrosos, donde resalta los minerales que contienen hierro, en este caso se ha utilizado la relación entre las bandas SWIR y NIR, cuyo resultado se puede apreciar en la siguiente figura.



4.2.3.4. Resultado del índice de óxido de hierro (IO).

En la plataforma de Google Earth Engine, según los datos enmascarados y escalados, sin las bandas QA, se ejecutó los siguientes códigos de java script.

```
var Oxido_de_hierro = function(image) {var Oxido_hier=
image.expression( '(red/blue)', {
red: image.select('B4'),blue: image.select('B12'),
}).rename('Oxido_hier');
return image.addBands(Oxido_hier);};
```

Cuyo resultado es el siguiente:

Figura 61

Desviación estándar del Índice de óxido de hierro.

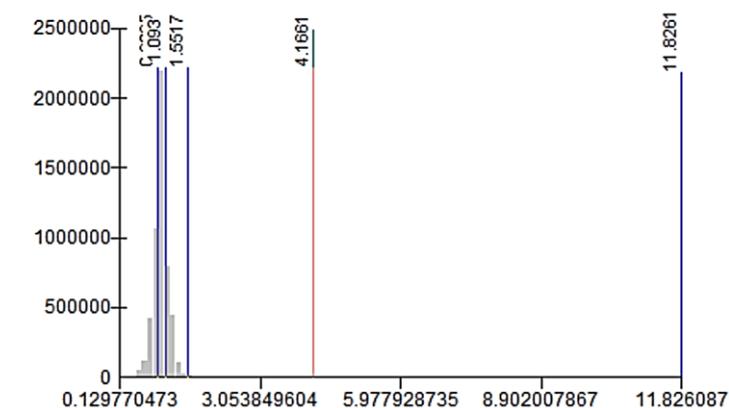
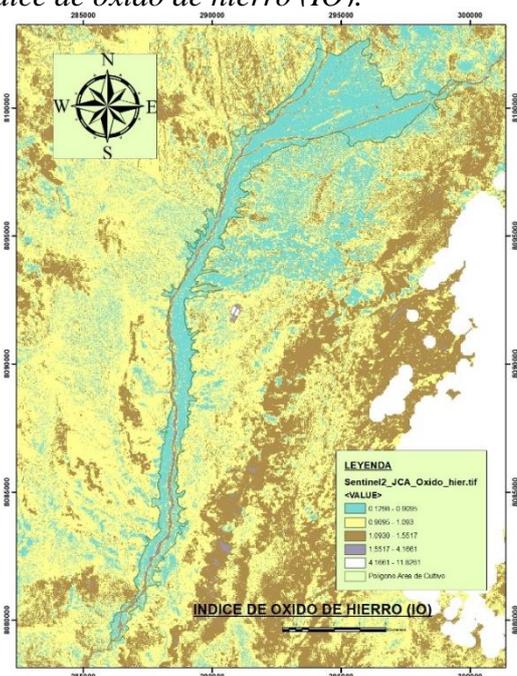


Figura 62

Índice de óxido de hierro (IO).

La imagen muestra la proporción de óxido de hierro entre las longitudes de onda roja y azul. Debido a la existencia de filosilicatos limoníticos y a cómo éstos afectan al óxido de hierro limonítico, la banda azul es absorbida, mientras que la roja es reflejada. Como resultado, las zonas con una alteración importante del hierro brillan. El diseño del índice permite atenuar los cambios de luz provocados por las sombras del suelo.



4.2.3.5. Reducción de Imágenes satelital Sentinel 2 por puntos.

En esta fase del trabajo, consiste en juntar toda la información desarrollada en la plataforma de Google Earth Engine, como son polígonos de concentración de antibióticos mediante el análisis de muestreo de suelos en campo, análisis de los índices espectrales de los antibióticos más relevantes, todo ello en la plataforma de Arc. GIS, se reajustó los datos, obteniendo como resultado archivos en Shapefile (shp) que significa archivo informático creado por ESRI que un shapefile es un formato directo, no topológico, utilizado para registrar la posición geométrica de las entidades geográficas y los datos de atributos. En un shapefile, los elementos geográficos pueden ser representados por puntos, líneas o polígonos (áreas). En el espacio de trabajo que alberga los shapefiles también se incluyó la tabla de Data base, que a su vez contienen características adicionales que están conectadas a las entidades de un shapefile. Con ello se desarrolló el siguiente trabajo.

4.2.4. Correlación de datos de análisis de la imagen satelital sentinel 2, con los datos de análisis de suelo en laboratorio.

Así como indica Vinuesa (2016) “Que la correlación es una medida de la conexión lineal (covariación) entre dos variables cuantitativas continuas se afirma en su parte del libro (x, y). Averiguar si dos variables covarían es la técnica más sencilla para establecer su correlación (varían juntas). Es crucial recordar que el hecho de que haya una conexión no siempre significa que haya una causa”.

Una medida estandarizada de la relación lineal o covariación entre dos variables se llama correlación. Esta medida, también conocida como índice de correlación r , puede oscilar entre -1 y $+1$, correspondiendo los extremos a correlaciones perfectas negativas y positivas. Es evidente que no existe una relación lineal entre las dos variables cuando $r = 0$. La dirección de la varianza de ambas variables se indica con una correlación positiva. Cuando dos variables tienen una correlación negativa, fluctúan en direcciones opuestas. El aspecto intrigante del índice de correlación es que r , que suele leerse así, es una medida de la magnitud del efecto.

- correlación despreciable: $r < |0.1|$
- correlación baja: $|0.1| < r \leq |0.3|$
- correlación mediana: $|0.3| < r \leq |0.5|$
- correlación fuerte o alta: $r > |0.5|$

En consecuencia, bajo los parámetros establecidos, se realizó la matriz de correlación de Pearson de antibióticos en relación con las bandas espectrales, los resultados fueron variados, dentro de los cuales los más principales dentro de la correlación mediana a correlación alta fueron los siguientes:

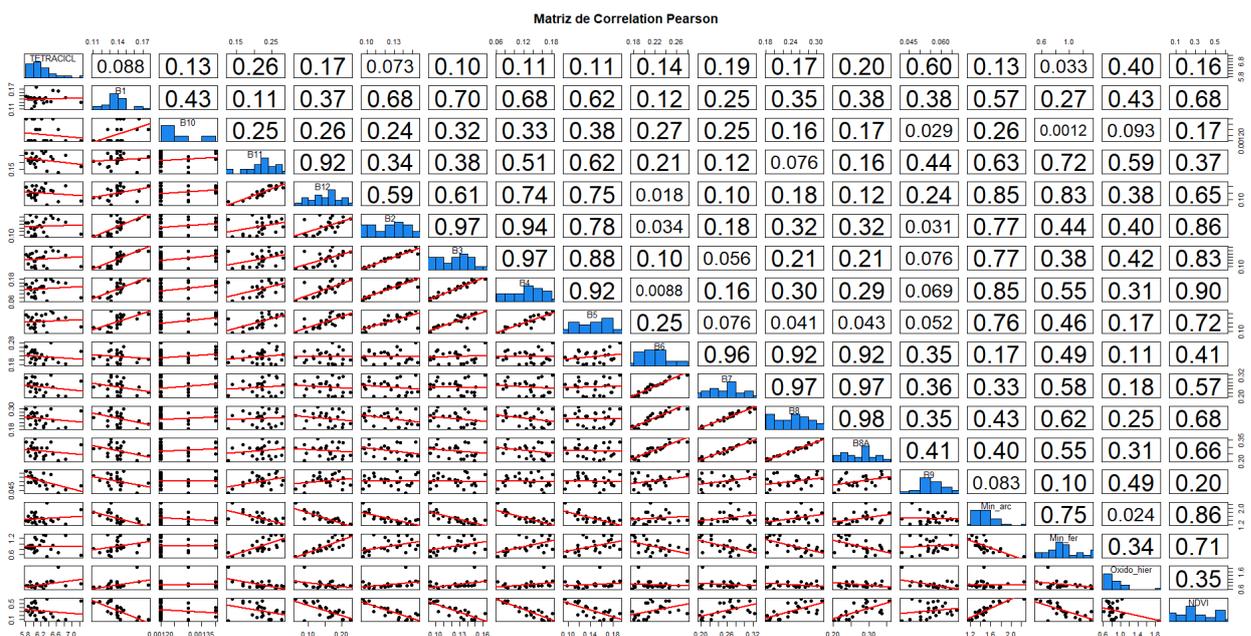
- Tetraciclina con un valor de 0.6 nm.
- Sulfadimetoxine con un valor de 0.40 nm.
- Sulfametoxine con un valor de 0.36 nm.
- Sarafloxacino con un valor de 0.35 nm.

- Contenido de Tetraciclina.

Considerando que las tetraciclinas constituyen un grupo de antibióticos, unos naturales y otros obtenidos por semisíntesis, que abarcan un amplio espectro en su actividad antimicrobiana. Químicamente son derivados de la naftacenocarboxamida policíclica, con un núcleo tetracíclico de donde deriva el nombre del grupo.

Tabla 14

Contenido de tetraciclina en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.



Prueba de correlación.

VARIABLES: X= Bandas espectrales

Y= Tetraciclina.

Con los variables señalados, se obtuvo la gráfica de **diagrama de dispersión** (tabla 21) de cada antibiótico con las bandas espectrales, de los cuales algunos muestran una correlación baja y otros una correlación alta como es el caso de la tetraciclina.

Planteamiento de la hipótesis.

Ho: No existe correlación entre las variables.

Ha: Si existe correlación entre las variables.

Nivel de significancia

Alfa = 0.05 o 5%

Prueba Estadística

Coefficiente de correlación de Pearson.

Valor de coeficiente de correlación.

R = 0.60 nm. o longitud de onda.

Valor de P o significancia

En este caso se considera cero por que ningún elemento está por debajo de cero entonces el valor de p será.

P = 0.000000

Conclusión.

Como el valor de P es menor a 0.05 entonces se rechaza la hipótesis Ho, y se acepta la hipótesis Ha lo que demuestra que existe evidencias de correlación entre variables, además como el valor de R esta entre 0.50 y 1, quiere decir que la correlación es muy alta en la banda B9, por lo tanto, en el área de estudios, si existe la concentración de la sedimentación de tetraciclina.

Además, la figura nos muestra que el valor 0.60 nm significa que existe una correlación positiva o alta, mientras los demás elementos como es el caso de óxido de hierro y la banda 11, también existe una correlación positiva mediana, pero en menor proporción 0.40, y 0.23 respectivamente, tal como se puede apreciar en la Tabla 21.

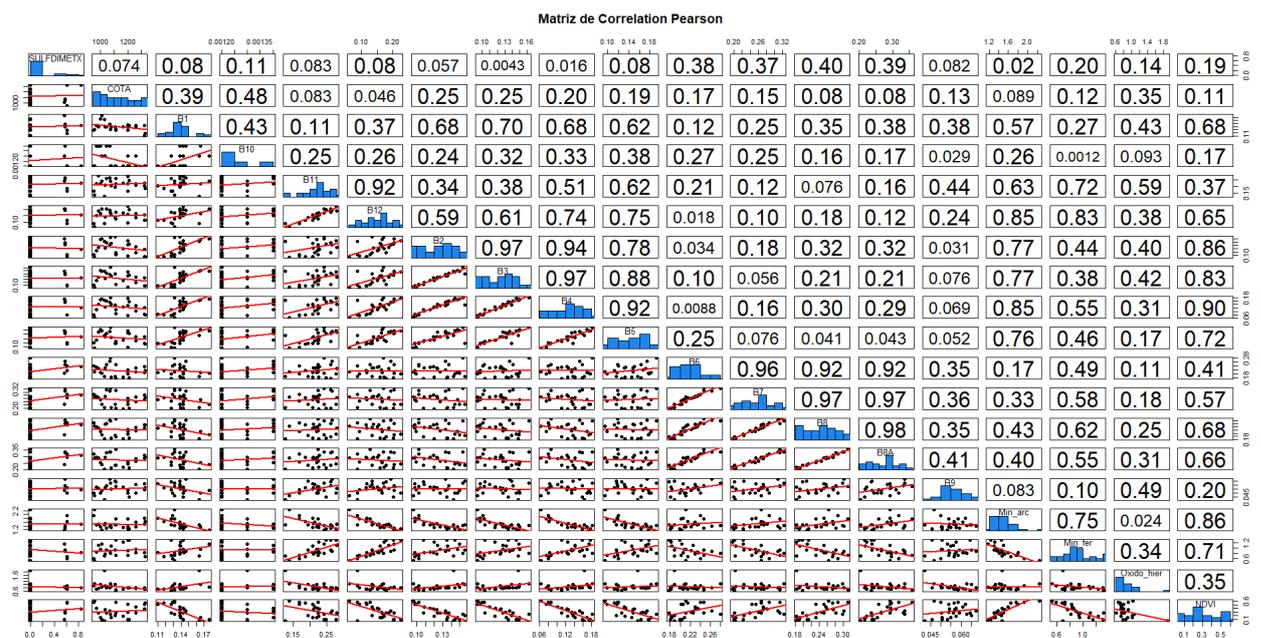
- Contenido de Sulfadimetoxine.

Según (Wikipedia, 2002) señala que la “sulfadimetoxina es una medicación antimicrobiana de tipo sulfamida duradera la cual se usa en la medicina veterinaria. Es usado para tratar muchas infecciones, como las respiratorias, entéricas, del tracto urinario y del tejido blando, o por sí mismo o con ormetoprime para ampliar el rango deseado”.

En este caso para el análisis de este elemento, se ha realizado una matriz de correlación de Pearson entre el elemento Sulfadimetoxine y las bandas espectrales de la imagen satelital sentinel 2, considerando sobre ello las 4 índices espectrales desarrollados, con el objetivo de obtener una correlación positiva o fuerte entre las variables, sin embargo realizando el análisis de correlación resulta que la banda B8 (NIR) tiene una correlación moderada, mientras los demás como es el caso de la B8A, B6, B7, se correlacionan medianamente, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

Tabla 15

Contenido de Sulfadimetoxine en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.



Prueba de correlación.

Variables: X= Bandas espectrales e índices espectrales.

Y= Sulfadimethoxine.

Con los variables señalados, se obtuvo la gráfica de **diagrama de dispersión** de cada antibiótico con las bandas espectrales, de los cuales algunos muestran una correlación baja y otros una correlación mediana como es el caso de la sulfadimetoxine.

Planteamiento de la hipótesis.

Ho: No existe correlación entre las variables.

Ha: Si existe correlación entre las variables.

Nivel de significancia

Alfa = 0.05 o 5%

Prueba Estadística

Coefficiente de correlación de Pearson.

Valor de coeficiente de correlación.

R = 0.40 nm. o longitud de onda.

Valor de P o significancia

En este caso se considera cero por que ningún elemento está por debajo de cero entonces el valor de p será.

P = 0.000000

Conclusión.

Como el valor de P es menor a 0.05 entonces se rechaza la hipótesis Ho, y se acepta la hipótesis Ha lo que demuestra que si existe evidencias de correlación entre variables, además como el valor de R se encuentra entre 0.30 y 0.50, lo que quiere decir que la correlación es moderada o mediana con la banda B8, por lo tanto, en el área de estudios, si existe la concentración de la sedimentación de sulfadimetoxine de manera moderada.

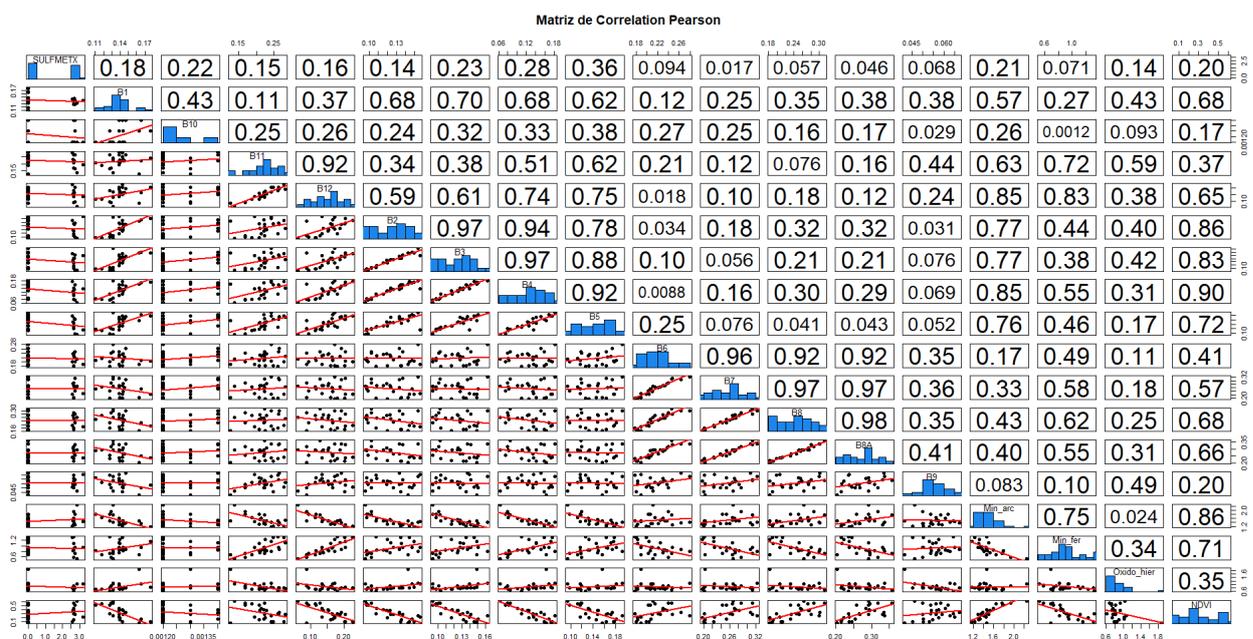
- Contenido de Sulfametoxine.

Considerando que es un antibiótico combinado que se utiliza para tratar infecciones producidas por bacterias, infecciones de las vías urinarias, problemas de oído, bronquitis, diarrea y otros.

En el presente estudio, considerando como variable los resultados del análisis de laboratorio se ha realizado una matriz de correlación de Pearson entre el elemento Sulfamethoxine y las bandas espectrales de la imagen satelital sentinel 2, adicionando sobre ello las 4 índices espectrales desarrolladas, a fin de lograr una correlación positiva o fuerte entre las variables, sin embargo realizando el análisis de correlación de Pearson, resulta que la banda B5 (red, roja) cuyo resultado 0.36 nm, indica que tiene una correlación moderada, mientras los demás como es el caso de la B4, B10, CM, NDVI, y otros elementos se correlacionan medianamente a baja, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

Tabla 16

Contenido de Sulfametoxine en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.



Prueba de correlación.

Variables: X= Bandas espectrales

Y= Sulfamethoxine.

Con los variables señalados, se obtuvo la gráfica de **diagrama de dispersión** de cada antibiótico con las bandas espectrales, de los cuales algunos muestran una correlación baja y otros una correlación mediana como es el caso de la sulfamethoxine.

Planteamiento de la hipótesis.

Ho: No existe correlación entre las variables.

Ha: Si existe correlación entre las variables.

Nivel de significancia

Alfa = 0.05 o 5%

Prueba Estadística

Coefficiente de correlación de Pearson.

Valor de coeficiente de correlación.

R = 0.36 nm. o longitud de onda.

Valor de P o significancia

En este caso se considera cero por que ningún elemento está por debajo de cero entonces el valor de p será.

P = 0.000000

Conclusión.

Los análisis muestran que el valor de P es menor a 0.05 entonces se rechaza la hipótesis Ho, y se acepta la hipótesis Ha lo que demuestra que si existe evidencias de correlación entre variables, de manera que el valor de R se encuentra entre 0.30 y 0.50, lo que significa que la correlación es moderada o mediana con la banda B5, por lo tanto, en el área de estudios, si existe la concentración de la sedimentación de sulfamethoxine de manera baja, seguido por los demás elementos.

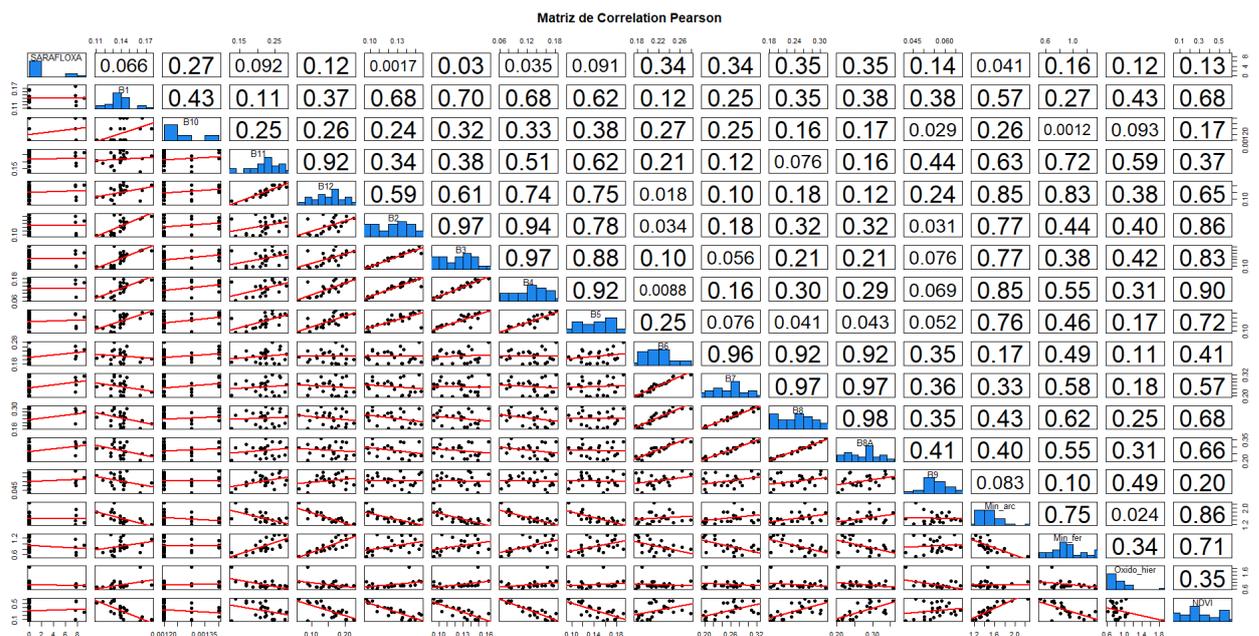
- **Contenido de Sarafloxacin.**

Según (Wikipedia, 2002) señala que la ciprofloxacina es un antibiótico del grupo de las fluoroquinolonas con efectos bactericidas. Su modo de acción consiste en paralizar la replicación bacterial del ADN al unirse con una enzima llamada ADN girasa, que queda bloqueada.

En consecuencia, en el presente análisis de correlación de Pearson, se utilizaron como variables, los resultados del análisis de laboratorio del antibiótico Sarafloxacin y las bandas espectrales de la imagen satelital sentinel 2, adicionando sobre ello las 4 índices espectrales, a fin de lograr una correlación positiva o fuerte entre las variables, sin embargo como producto de correlación de Pearson, resulta que la banda B8 y B8A (NIR, y borde rojo) presenta una correlación con valor de 0.35 nm, lo que indica que tiene una correlación mediana, mientras los demás elementos, como es el caso de la B6, B7, B10, FM, y otros elementos se correlacionan de mediana a baja, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

Tabla 17

Contenido de Sarafloxacin en los suelos irrigados del valle de Moquegua mediante muestreo de campo.



Prueba de correlación.

Variables: X= Bandas espectrales

Y= Sarafloxacino.

Con los variables señalados, se obtuvo la gráfica de **diagrama de dispersión** del antibiótico con las bandas espectrales, de los cuales algunos muestran una correlación baja y otros una correlación mediana como es el caso de Sarafloxacino.

Planteamiento de la hipótesis.

Ho: No existe correlación entre las variables.

Ha: Si existe correlación entre las variables.

Nivel de significancia

Alfa = 0.05 o 5%

Prueba Estadística

Coefficiente de correlación de Pearson.

Valor de coeficiente de correlación.

R = 0.35 nm. o longitud de onda.

Valor de P o significancia

En este caso se considera cero por que ningún elemento está por debajo de cero entonces el valor de p será.

P = 0.000000

Conclusión.

Los análisis muestran que el valor de P es menor a 0.05 entonces se rechaza la hipótesis Ho, y se acepta la hipótesis Ha lo que demuestra que, si existe evidencias de correlación entre variables, de manera que el valor de R se encuentra entre 0.30 y 0.50, lo que significa que la correlación es moderada o mediana con la banda B8, B8A, por lo tanto, en el área de estudios, si puede decir que existe la probabilidad de concentración de la sedimentación de sarafloxacino o ciprofloxacino en los suelos irrigables de manera baja, mientras los demás elementos muestra por debajo ello.

4.3. Elaboración de Mapas.

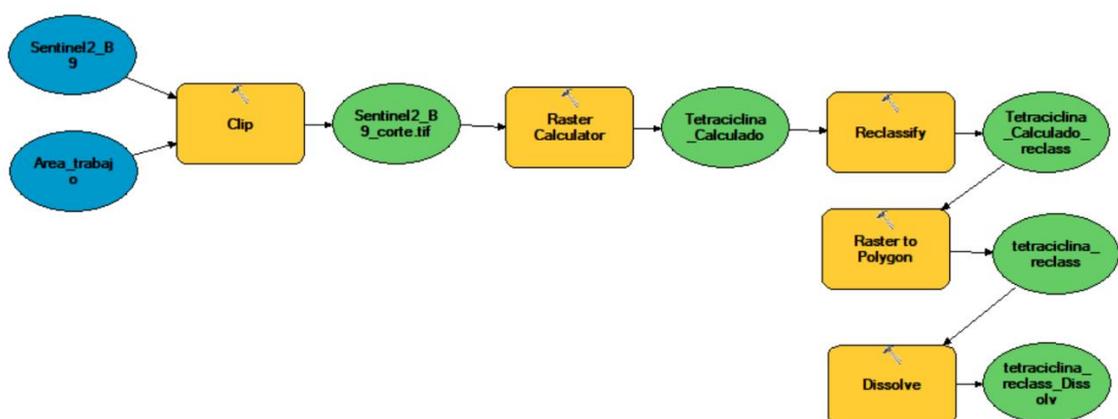
Según el Manual de (Esri, 2021) se desarrolló el Model Builder que es un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo de geoprocésamiento. Estos modelos de geoprocésamiento nos han permitido automatizar y documentar los procesos de análisis espacial y de administración de datos. Por tanto, la creación de este modelo de geoprocésamiento nos permitió modificar y mejorar, donde un modelo se representa como un diagrama que encadena secuencias de procesos y herramientas de geoprocésamiento, utilizando la salida de un proceso como la entrada de otro proceso.

Bajo el concepto definido y según el manual, los mapas se han elaborado en el siguiente orden.

- Construcción de un modelo, donde se ha agregado datos vectoriales o raster para conectarlos con sus herramientas.
- Se ha procesado de forma iterativa cada clase de entidad, ráster, archivo o tabla de un espacio de trabajo.
- Como resultado, se pudo visualizar la secuencia de su flujo de trabajo como un diagrama fácil de interpretar.
- Sobre ello se ha ejecutado un modelo paso por paso, hasta un paso seleccionado, o ejecutar todo el modelo.
- Finalmente se ha convertido el modelo en una herramienta de geoprocésamiento que puede compartirse o utilizarse en otros modelos.

Figura 63

Model Builder, diagrama de flujo de elaboración de mapas, zonas con contenido de tetraciclina.



DISCUSIÓN

- ✓ Según Aguilar et al. (2016) en su definición de Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). afirma que la intensidad de la radiación de determinadas bandas del espectro electromagnético que emite o refleja la vegetación se mide mediante teledetección, que se utiliza para cuantificar la cantidad, la calidad y el desarrollo de la vegetación, sin embargo no precisa la metodología, mientras en el presente estudio, el NDVI se determinó mediante el análisis de índices espectrales a través de 76 puntos de entrenamiento identificado en la imagen satelital, lo que significa a mayor puntos de entrenamiento, mayor será la precisión de la identificación de los elementos en la superficie.

- ✓ Mas Monsonis (2017) indica que en la imagen satelital sentinel 2 en su banda 9 se encuentra entre la longitud de banda $945\text{nm} (S2A) / 943.2\text{nm} (S2B)$, lo que significa que existe la concentración de vapor de agua dentro de esos parámetros, sin embargo, según la correlación de R-pearson en su diagrama de dispersión, nos indica que existe una correlación positiva o alta, lo que quiere decir que si existe la concentración de la tetraciclina pero en vapor de agua, entonces se podría predecir que el suelo así como la vegetación ocasiona la evaporación o evapotranspiración de este elemento en la atmosfera, y eso es la que estaría detectando el sensor del satélite sentinel 2.

- ✓ Hansen y Dirección General De Geografía (2020) Señala que un mapa es un documento que incluyen información seleccionada que ha sido generalizada y distribuida simbólicamente en relación con una determinada distribución geográfica en una enorme región, se utiliza un sistema de coordenadas universal para mostrar la información, sin embargo en la actualidad existen softwares especializados para generar mapas digitales de una manera muy rápida y preciso, en este caso para los análisis de los elementos el software Arc. GIS tiene la ventaja de desarrollar mapas por el método de model builder, que permite desarrollar, actualizar y gestionar modelos que están vinculados a una serie de herramientas de geoprocasamiento y que utilizan el resultado de una herramienta como entrada para otra.

CONCLUSIONES

- La aplicación de la técnica de teledetección, a través del análisis multiespectral de las imágenes de satélite, nos permitió identificar la influencia de la contaminación de los antibióticos en la sedimentación de los suelos irrigables del valle Moquegua, en los laterales Izquierdo y derecha del Rio a partir de la confluencia del canal de evacuación de las aguas Servidas de la PTAR aguas abajo, donde resulta, que la tetraciclina influye con un nivel muy alto tal como señala (Vinuesa (2016) con un valor de 0.60 nm, Seguido por sulfadimethoxicine con un valor de 0.40 nm, y sulfametoxicine con un valor de 0.36 nm, valores que indican que si existe la concentración de antibióticos.
- El uso de la plataforma de Google Earth Engine a través de su lenguaje de programación java script, fue posible realizar el enmascaramiento de nubes, y el DEM, de la imagen satelital, sobre ello la de 76 puntos de entrenamiento como muestreo con cultivo, sin cultivo, y pastos Naturales, se generó el NDVI bajo la metodología de la clasificación supervisada de Random Forest, con ello se **concluye** que se generó una multitud de polígonos de zonas de cultivo, reagrupando ello, resulta un área total =3157.74 Has, Perímetro = 95.41km. de los cuales se identificó como área de estudio a partir de la confluencia del canal de evacuación de las aguas servidas, un A = 1624.6197 Has. Perímetro = 72.78 Km.
- Al realizar la correlación de Pearson, considerando como variable X las 13 bandas espectrales de la imagen satelital Sentinel 2-1C, y el desarrollo de los índices espectrales como es el de minerales arcillosos (CM), minerales ferrosos ((FM), óxido de hierro (IO), e Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), con las variables Y cuyos datos normalizados de los resultados de los análisis de las muestras de suelo en laboratorio, resulta que las diagramas de dispersión muestra que si existe una correlación positiva del antibiotico Tetraciclina con un valor de 0.60 en la banda 9 con una longitud de onda de 943.2 nm, sulfadimethoxicine con un valor de 0.40 en la banda 9 con una longitud de onda de 943.2 nm, sulfametoxicine con un valor de 0.36, en la banda 8 con una longitud de onda de 835.1 nm consideradas como nivel alto y bajo, mientras los antibióticos del grupo fluoroquinolonas sarafloxacino resulta



con un valor de 0.35 en la banda 8, y 8A con una longitud de onda de 835.1, y 864.8 nm, como nivel bajo, en **conclusión** los resultados nos indica que si existe la probabilidad de la existencia de los antibióticos en los suelos irrigados del valle Moquegua, aledaños a las plantas de tratamiento de laPTAR.

- Se concluye que el diagrama de model builder, es una metodología que nos facilitó la generación de mapas de un determinado elemento, la que nos permitió interactuar de una manera dinámica todo el proceso de la generación de un mapa de tetraciclina.

RECOMENDACIONES

Se **recomienda** a los Estudiantes y al usuario en general en el área de Ingeniería, estar al tanto con el avance de la ciencia y la tecnología como es, el caso del sistema Google Earth Engine, plataforma digital de análisis geoespacial basada en la nube de datos que permite a los usuarios usar la infraestructura de datos en Google a través de las diversas fuentes de teledetección, y es importante también entender y manejar los diversos lenguajes de programación como es el caso de Java Python, Javascript, C, C++, PHP y otros.

En caso de utilizar los vehículos aéreos no tripulados para el análisis de los elementos químicos en los suelos y plantas, se utilice un UAS/RPAS con cámaras multiespectrales, a fin de generar con mayor aproximación el análisis de los diferentes índices espectrales.

Como se ha visto los resultados de la correlación de los datos del análisis del suelo y el análisis de las bandas espectrales, se **recomienda** a las autoridades de la Región de Salud, que los tratamientos de los insumos hospitalarios se realicen de manera independiente, si es posible realizar un tratamiento especial, a fin de evitar la contaminación de estos elementos en los suelos Agrícolas.

Se recomienda a la población Estudiantil de las Universidades, a seguir investigando sobre los efectos químicos que interactúan en la superficie terrestre así como en las biomasa de la vegetación, a través de la aplicación de las técnicas y herramientas de teledetección, técnica que nos permite adquirir una diversidad de datos de la superficie terrestre a través de los sensores instalados en plataformas espaciales, donde la interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, permite identificar con certeza el tipo de elemento que cubre un determinado área, datos que se pueden considerar en la elaboración de los proyectos de desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- AEMPS. (2018). *Quinolonas y fluoroquinolonas de administración sistémica. Quinolonas y Fluoroquinolonas de Administración Sistémica: Nuevas Restricciones de Uso*.
https://www.aemps.gob.es/informa/notasinformativas/medicamentosusohumano-3/seguridad-1/2018/ni_muh_fv-14-2018-quinolonas-fluoroquinolonas/
- Aguilar, G., Enrique, A., Cruz, P., Ricardo, N., Uvin, I., & Cruz, E. Z. (2016). *Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados*. [Tesis]. Universidad de el Salvador.
- Andrés, Garcia. Sergio., & Martinez, L. J. (2010). Método para identificación de cultivos de Arroz (*Oryza sativa* L.) con base en imágenes de satélite. *Artículo*, 28.
- Ariza, A. (2013). *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM*.
- Axess, N. (2020, February 19). *Las imágenes satelitales y sus aplicaciones en la vida cotidiana*. *Imágenes Satelitales y Sus Aplicaciones En La Vida Cotidiana*.
<https://axessnet.com/las-imagenes-satelitales-y-sus-aplicaciones-en-la-vida-cotidiana/>
- Blog de Maria. (2011). *Erosión, transporte y sedimentación*. Erosión, Transporte, y Sedimentación. <https://mariacvg.wordpress.com/2011/05/20/erosion-transporte-y-sedimentacion/>
- Cesar Augusto, S. Z., Martinez Rincon, R. O., & Morales Zarate, M. V. (2017). Tendencia en el siglo XXI del índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) en la parte sur de la Península de Baja California. *Investigaciones Geográficas*, 94(94), 82–90. <https://doi.org/10.14350/rig.57214>
- Chuvieco Salinero, E. (2008). *Teledetección Ambiental La observación de la Tierra desde el Espacio* (3ra Edición, Vol. 3).
- Cuevas, O. L., Félix, J. L., Jiménez Edeza, M., & Chaidez Quiroz, C. (2009). Detección y resistencia a antibióticos de *Escherichia coli* Y *Salmonella* En Aguay Suelo Agrícola. In *Artículo Científico Rev. Fitotec. Mex* (Vol. 32, Issue 2).
- de Ravetta, L. S. (1998). *Geografía y Medio Ambiente*. Dossier.
<https://www.unrc.edu.ar/publicar/19/dossier4.htm>
- Díaz, G., & Cervigón, J. J. (2015). Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. *Tesis*, 1, 10–18.
- Díaz, G., & Servigón, J. J. (2015). *Estudio de Índice de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. Universidad Computenses Madrid España.
- Dogan, H. M. (2009). Mineral composite assessment of Kelkit River Basin in Turkey by means of remote sensing. *Academia de Ciencias de La India*.
- eesa. (2015). *Sentinel-2 User Handbook*. Agencia Espacial Europea.
https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/document-library/-/asset_publisher/xlslt4309D5h/content/sentinel-2-user-handbook

- Eos Data, & Analytics. (2021, April 19). *Imágenes de satélite y combinaciones de bandas espectrales*. Imágenes de Satélite. <https://eos.com/es/make-an-analysis/>
- Escobar Ocampo, D., & Corra Estrada, J. D. (2014). *Sistema de Información Geográfica*. <http://eoimages.gsfc.nasa.gov/image>
- Esri. (2021, October 28). *ModelBuilder*. Manual de Arcgis Pro. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/what-is-modelbuilder-.htm>
- Esri. (2022, May 7). *Minerales de Arilla*. Manual de Arcgis Pro. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/arcpy/spatial-analyst/clayminerals.htm>
- Fernández, R., & Suayter, L. (2003). *GLOSARIO GEOAMBIENTAL*.
- Franklin, A. M., Williams, C., Andrews, D. M., & Watson, J. E. (2022). Comportamiento de sorción y desorción de cuatro antibióticos a concentraciones que simulan la reutilización de aguas residuales en suelos agrícolas y forestales. *Chemosphere*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133038>
- Fuentelsaz, G. C. (2004). Cálculo del tamaño de la muestra para estimar proporción. In *Matronas Profesión* (Vol. 5, Issue 18).
- González, A., Amarillo, G., Amarillo, M., & Sarmiento, F. (2015). *Drones Aplicados a la Agricultura de precisión*.
- Hansen, F., & Dirección General De Geografía, A. (2020). *Cartografía Básica*.
- Ibañes Asencio, S., Gisbert Blanquer, J. M., & Moreno Ramón, H. (2006). Coordenadas UTM. *El Sistema de Coordenadas UTM*.
- Iberdrola. (2020). *Contaminación del agua, Causas y Consecuencias*. Contaminación Del Agua. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-agua>
- IGN, & G. de España. (2017). Conceptos Cartograficos. *Artículo*.
- Infraestructura de datos espaciales del Perú. (2007). *Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (IDEP)*. Resolución Ministerial 325-2007-PCM. <https://www.geoidep.gob.pe/que-es-la-idep>
- Instituto Nacional de Cancer. (2021). *Elementos Químicos*. Definición. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/elemento>
- Jimenez Ballesta, R. (2017). Introducción a la contaminación de Suelos. In Isabel Hernandez Úbeda (Ed.), *Libro* (01 ed., Vol. 01). https://books.google.com.pe/books/about/Introducci%C3%B3n_a_la_contaminaci%C3%B3n_de_sue.html?id=iZg6DwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp_read_button&hl=es-419&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Labrador García, M., Évora Brondo, J. A., & Arbelo Pérez, M. (2012). Satelites de teledeteccion Para la gestion del Territorio. In G. Consejería de Agricultura & Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias. (Eds.), *Libro* (Litografía Romero, Vol. 1).
- Manrique, J. de D., & Soto Romero, M. (2017). *EPS Moquegua, Memoria Anual 2017*.

- Manual MSD. (2016, February 5). *Fluoroquinolonas*. Versión Para Profesionales. <https://www.msmanuals.com/es-pe/professional/enfermedades-infecciosas/bacterias-y-f%C3%A1rmacos-antibacterianos/fluoroquinolonas>
- Martínez Alcalá, Soto, J., & Lahora, A. (2020). Antibióticos como contaminantes emergentes. Riesgo ecotoxicológico y control en aguas residuales y depuradas. *Ecosistemas*, 29(3). <https://doi.org/10.7818/ECOS.2070>
- Mas Monsonis, M. (2017). *Uso de la teledetección y los SIG en la vigilancia de la calidad del agua: aplicación al Mar Menor*. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/6353>
- NASA. (2017, May). *Breve Introducción a la Teledetección*. Artículo. https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/es/latest/remote_sensing.html#spectral-signature
- OMS. (2018). *Antibióticos*. Antibioticos. <https://www.hospitalaustral.edu.ar/medicaciones-tratamientos/antibioticos/>
- Pantaleone, L., & Tosini, M. (2012). Clasificación de cultivos a partir de imágenes satelitales LANDSAT EM. *Clasificación de Cultivos a Partir de Imágenes Satelitales*.
- Pu Miao, Ailijiang, N., Mamat, A., Chang, J., Zhang, Q., Liu, Y., & Li, N. (2022). Occurrence of antibiotics in the different biological treatment processes, reclaimed wastewater treatment plants and effluent-irrigated soils. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107715. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2022.107715>
- Pucha C., F. (2012). *Uso de la aplicación Model Builder en ArcGIS*. Blog de Franz. <https://acolita.com/manual-uso-de-la-aplicacion-herramienta-modelbuilder-en-arcgis/>
- Rodríguez, P. H. (2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. *Revista Digital*. <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Rudke, A. P., Sikora de Souza, V. A., Santos, A. M. dos, Freitas Xavier, A. C., Rotunno Filho, O. C., & Martins, J. A. (2020). Impacto de las actividades mineras en áreas de protección ambiental en el suroeste de la Amazonia: Una evaluación basada en SIG y teledetección. *Journal of Environmental Management*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110392>
- Sánchez, P., & Novo, C. (2020, September 8). *Tipos de riego*. Tipos de Riego. <https://www.iagua.es/respuestas/cuantos-tipos-riego-hay>
- Sánchez, A. A., & Escamilla, G. A. (2020, October 17). *Correlación R de Pearson*. Revista Científica. <https://sites.google.com/site/sociologiayestadisticas/repaso-de-los-conceptos-de-estadistica/correlacion-r-de-pearson>
- Significados.com. (2014, October 23). *Qué es un Plano*. Plano. <https://www.significados.com/plano/>

- slideshare, a S. company. (2016, February 5). *Guia sentinel-2 Español*. Descripción, Descarga y Manipulación de Productos Sentinel-2.
<https://es.slideshare.net/AlejandroLeon31/guia-sentinel2-espaol>
- slvf-associés.com. (2020). *Zona Agrícola*. Economía, Zona Agrícola. <https://it.slvf-associés.com/zona-agricola>
- Spena Group. (2016, December 10). *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR*. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR.
<https://spenagroup.com/planta-tratamiento-aguas-residuales-ptar/>
- Tibaduiza Rodríguez, O. (2007). Espacio geográfico y oferta Ambiental del Municipio de cota, cundinamarca, Colombia. Una perspectiva pedagógica. *Geoenseñanza*, 12(2). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36014578002>
- Tomás Marte, M. P. I. (2020). *El espectro electromagnético*. Burburaca, Tecnología Gestión de Proyectos. <https://www.tomasmarte.com/2020/07/03/el-espectro-electromagnetico/>
- UCH. (2018, May 6). *¿Qué son las imágenes satelitales?* Universidad de Ciencias y Humanidades. <https://blog.uch.edu.pe/ingenieria-electronica-con-mencion-en-telecomunicaciones/que-son-las-imagenes-satelitales/>
- Urrutia Martínez, J. (2005). *Curso de Cartografía y Orientación*.
- Vázquez, R., Vargas Pérez, R. ;, Terrazas Domínguez, E. ;, & Reyes, G. (2002). Utilización de imágenes de satélite para determinar áreas con problemas de lixiviación de nitratos. *Artículo*, 8.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62980103>
- Vinuesa, P. (2016). *Tema 8-Correlación*. <http://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/>
- Zamora, F., Rodríguez, N., & Torres, D. y Y. Héctor. (2008). Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón. *Scielo.Org*, 20.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612008000300006

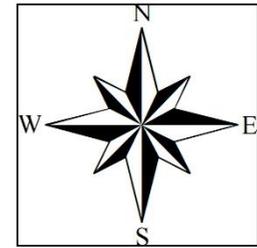


ANEXO

MAPA POLÍTICO DEL DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA



MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



LEYENDA:

- Polígono Area de Cultivo
- PTR-01
- PTR-02
- MANZANEO01_Project
- Rio Moquegua
- Carretera Panamericana
- Canal de Evacuación



MAPA POLÍTICO DEL PERÚ



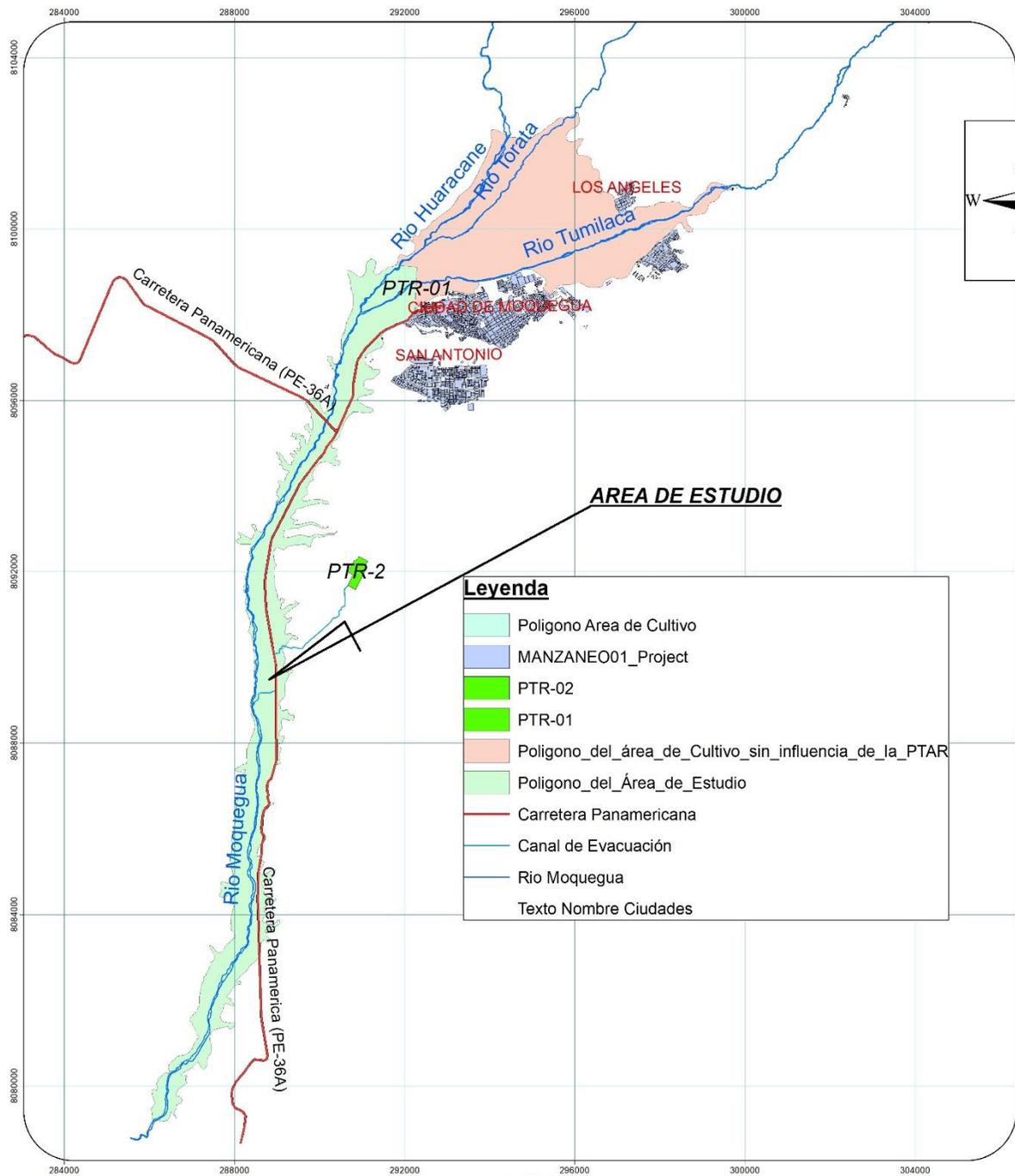
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
 ESCUELA DE POST GRADO: PROGRAMA DE DOCTORADO
 DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

TÍTULO: "ZONIFICACIÓN DE ÁREAS CONTAMINADAS POR EFECTOS DEL USO DE AGUAS RESIDUALES CON CONTENIDOS DE FLUORQUINOLONAS Y TETRACICLINAS, MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN EL VALLE DEL RIO MOQUEGUA 2020"

UBICACIÓN:
 Valle de Moquegua
 Distrito: MOQUEGUA
 Provincia: MARISCAL NIETO
 Región: MOQUEGUA

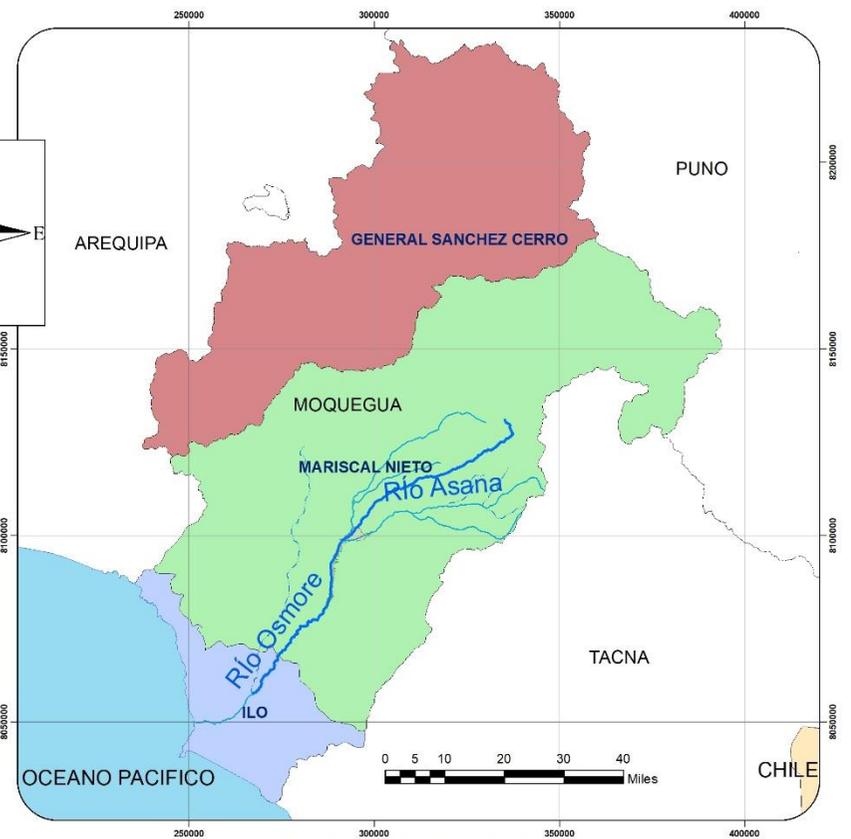
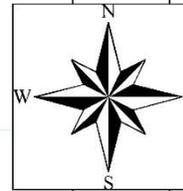
MAPA: DE UBICACIÓN DEL VALLE DEL RIO MOQUEGUA 2020		
ÁREA: INDICADA	PERMISO: INDICADA	FECHA: Agosto del 2022
ELABORADO POR: Ing. Juan L. CCAMAPAZA AGUILAR PLANTEO CARTOGRAFICO B22 000079 369UNAP/IN/DC	ESCALA: INDICADA	APROBADO: POR JURADO REVISOR

LÁMINA:
MU-01
BASE CARTOGRAFICA: Sistema de Referencia Geográfica: UTM, Datum: WGS 84, Escala: 1:50,000, Fuente: Instituto Geográfico Nacional del Perú



Leyenda

	Poligono Area de Cultivo
	MANZANEO01_Project
	PTR-02
	PTR-01
	Poligono del área de Cultivo sin influencia de la PTAR
	Poligono del Área de Estudio
	Carretera Panamericana
	Canal de Evacuación
	Rio Moquegua
	Texto Nombre Ciudades



MAPA DE DPTO. MOQUEGUA

CUADRO DE ÁREAS

Nº	DESCRIPCIÓN	ÁREA (Has)	PERIMETRO (Km)	DETALLES
1	Áreas con posibles riegos de aguas residuales	1624.62	72.78	Son zonas, donde los cultivos posiblemente fueron irrigados con las aguas residuales de la PTR 1, y 2
2	Área de estudio con riego de canal de Pasto Grande	1533.12	25.67	Son áreas que están ubicadas fuera del área de influencia de la PTAR 1, y 2

Área total = 3157.74 Has.

UBICACIÓN:
 Depto: VALLE DE MOQUEGUA
 Distrito: MOQUEGUA
 Provincia: MARISCAL NIETO
 Región: MOQUEGUA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
 ESCUELA DE POST GRADO; PROGRAMA DE DOCTORADO
 DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

TESIS TITULADO: "ZONIFICACIÓN DE ÁREAS CONTAMINADAS POR EFECTOS DEL USO DE AGUAS RESIDUALES CON CONTENEDORES DE FLUOROQUINOLONAS Y TETRACICLINAS, MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN EL VALLE DEL RIO MOQUEGUA 2020"

DE DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE CULTIVO VALLE MOQUEGUA 2020

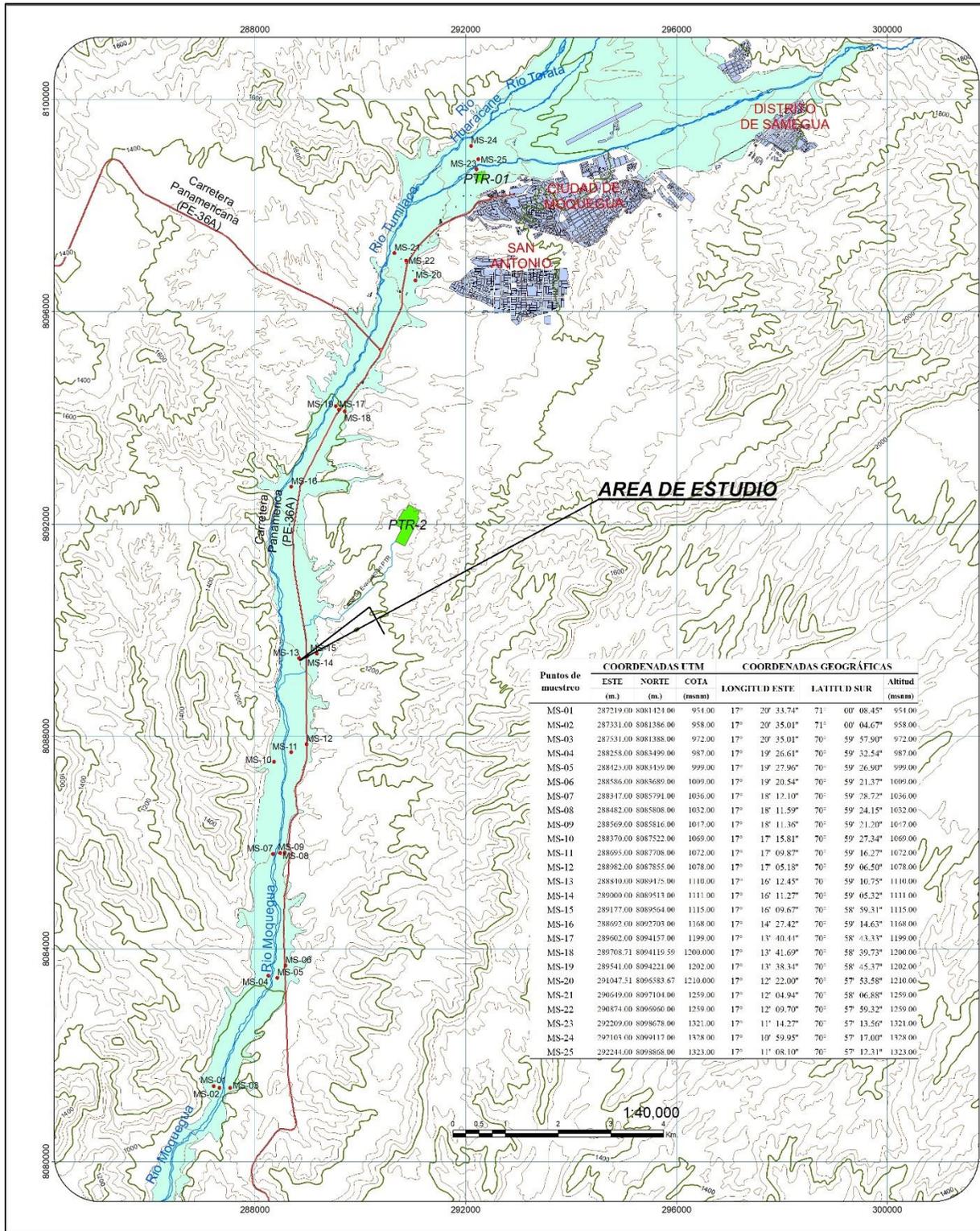
ÁREA: INDICADA	PERIMETRO: INDICADA	FECHA: Agosto del 2022
ELABORADO POR: Ing. Juan L. CCAMAPAZA AGUILAR	ESCALA: INDICADA	APROBADO POR JURADO REVISOR

LABORAL Nº

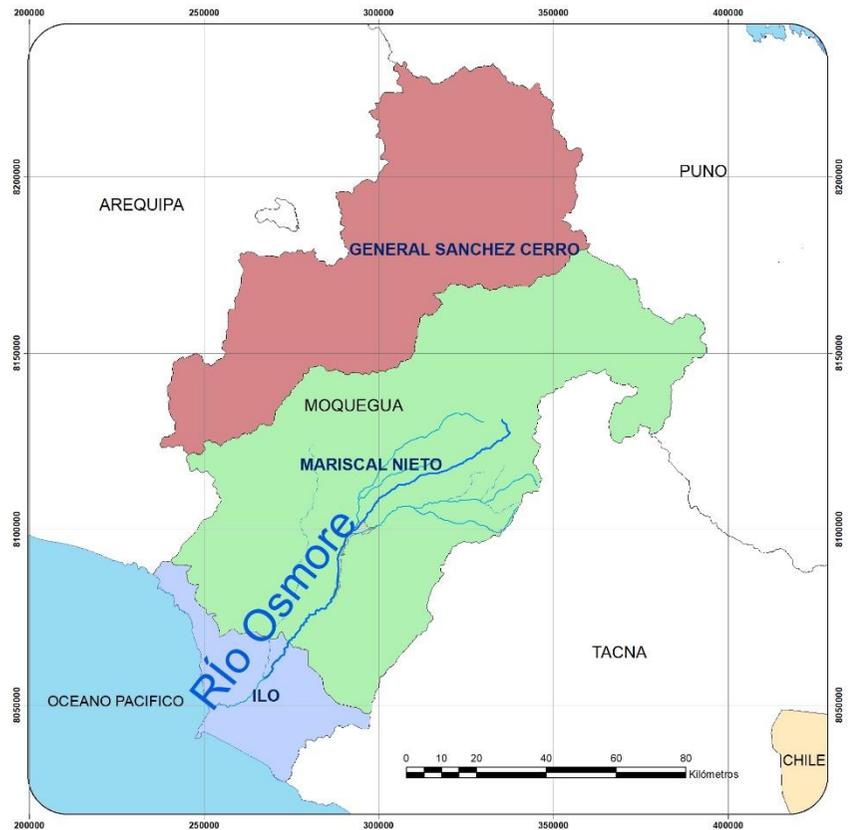
AC-02

BASE CARTOGRAFICA
 Fuente: Instituto de Geografía y Estadística (IGE)
 Proyecto: Sistema de Información Geográfica (SIG) del INIA





Puntos de muestreo	COORDENADAS UTM			COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm)	LONGITUD ESTE	LATITUD SUR	Altitud (msnm)
MS-01	287219.00	8081224.00	951.00	17° 20' 33.74"	71° 00' 08.45"	951.00
MS-02	287331.00	8081386.00	958.00	17° 20' 35.01"	71° 00' 04.67"	958.00
MS-03	287531.00	8081388.00	972.00	17° 20' 35.01"	70° 59' 57.90"	972.00
MS-04	288258.00	8083499.00	987.00	17° 19' 26.61"	70° 59' 32.54"	987.00
MS-05	288423.00	8083439.00	999.00	17° 19' 27.96"	70° 59' 26.90"	999.00
MS-06	288586.00	8083689.00	1009.00	17° 19' 20.54"	70° 59' 21.37"	1009.00
MS-07	288317.00	8085791.00	1036.00	17° 18' 12.10"	70° 59' 28.72"	1036.00
MS-08	288482.00	8085808.00	1032.00	17° 18' 11.59"	70° 59' 24.15"	1032.00
MS-09	288569.00	8085816.00	1017.00	17° 18' 11.36"	70° 59' 21.70"	1017.00
MS-10	288370.00	8087522.00	1069.00	17° 17' 15.81"	70° 59' 27.34"	1069.00
MS-11	288695.00	8087708.00	1072.00	17° 17' 09.87"	70° 59' 16.27"	1072.00
MS-12	288982.00	8087855.00	1078.00	17° 17' 05.18"	70° 59' 06.50"	1078.00
MS-13	288810.00	8089175.00	1110.00	17° 16' 12.45"	70° 59' 10.75"	1110.00
MS-14	289000.00	8089513.00	1111.00	17° 16' 11.27"	70° 59' 05.32"	1111.00
MS-15	289177.00	8089564.00	1115.00	17° 16' 09.67"	70° 58' 59.31"	1115.00
MS-16	288692.00	8092703.00	1168.00	17° 14' 27.42"	70° 59' 14.63"	1168.00
MS-17	288602.00	8094157.00	1199.00	17° 13' 40.41"	70° 58' 43.33"	1199.00
MS-18	289708.71	8094119.59	1200.00	17° 13' 41.69"	70° 58' 39.73"	1200.00
MS-19	289541.00	8094221.00	1202.00	17° 13' 38.34"	70° 58' 45.37"	1202.00
MS-20	291047.51	8095583.67	1210.00	17° 12' 22.00"	70° 57' 53.58"	1210.00
MS-21	290649.00	8097104.00	1259.00	17° 12' 04.94"	70° 58' 06.88"	1259.00
MS-22	290874.00	8096960.00	1259.00	17° 12' 09.70"	70° 57' 59.32"	1259.00
MS-23	292209.00	8098678.00	1321.00	17° 11' 14.27"	70° 57' 13.56"	1321.00
MS-24	292103.00	8099117.00	1328.00	17° 10' 59.95"	70° 57' 17.00"	1328.00
MS-25	292241.00	8098868.00	1323.00	17° 11' 08.10"	70° 57' 12.31"	1323.00



- LEYENDA**
- Polígono Área de Cultivo
 - MANZANEO01_Project
 - PTR-01
 - PTR-02
 - <all other values>
- CLASIFI**
- INTERMEDIAS
 - MAESTRAS
 - Puntos de muestreo
 - Río Moquegua
 - Carretera Panamericana
 - Canal de Evacuación



UBICACION:
Lugar: VALLE DE MOQUEGUA
Distrito: MOQUEGUA
Provincia: MARISCAL NIETO
Región: MOQUEGUA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
ESCUELA DE POST GRADO; PROGRAMA DE DOCTORADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

TESIS TITULADA: "ZONIFICACIÓN DE ÁREAS CONTAMINADAS POR EFECTOS DEL USO DE AGUAS RESIDUALES CON CONTENEDORES DE FLUORURO INJUNOLINAS Y TETRAACILINAS, MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN EL VALLE DEL RÍO MOQUEGUA 2020"

MAPA:

DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO, VALLE MOQUEGUA 2020

ÁREA: INDICADA PERÍMETRO: INDICADA FECHA: Agosto del 2022

ELABORADO POR: Ing. Juan L. CCMAPAZA AGUILAR ESCALA: INDICADA APROBADO: POR JURADO REVISOR

LABORAR

PM-03

BASIS CARTOGRAFICA:
Escala: 1:40,000
Proy. UTM
Datum: WGS 84

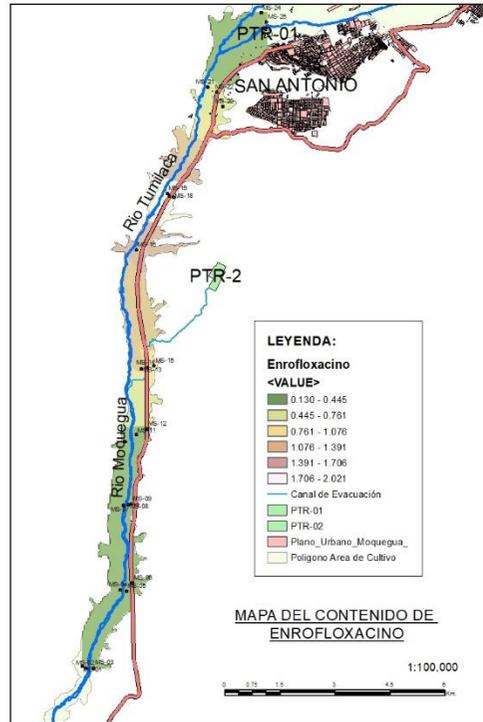
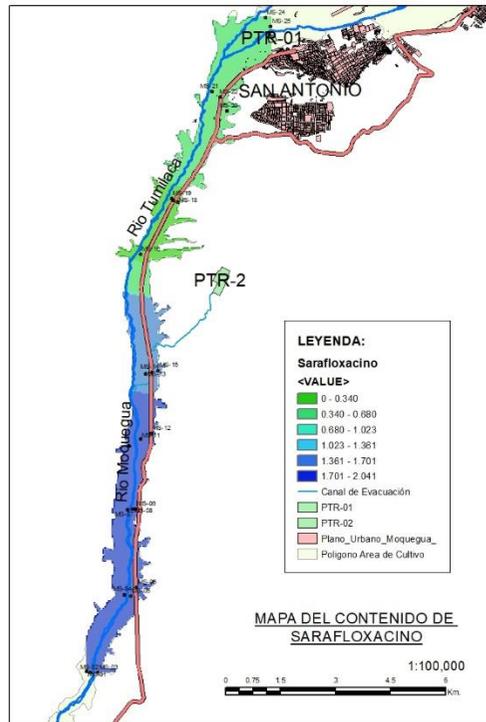
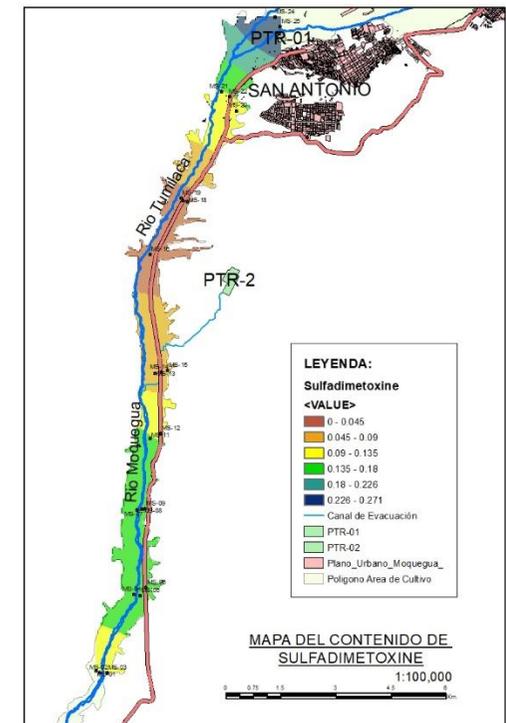
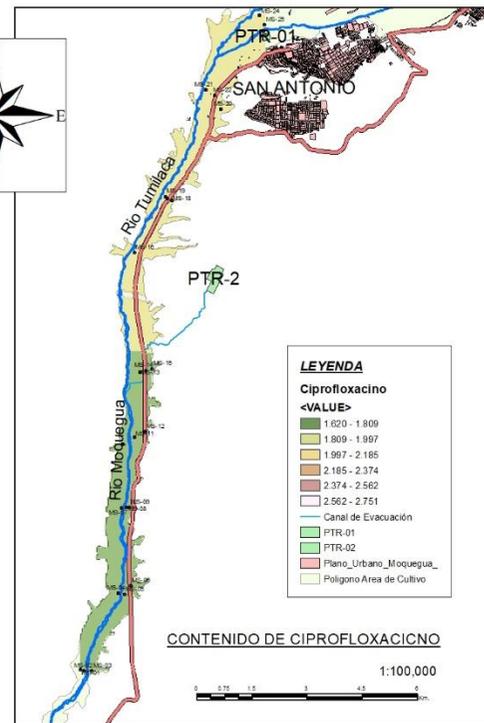
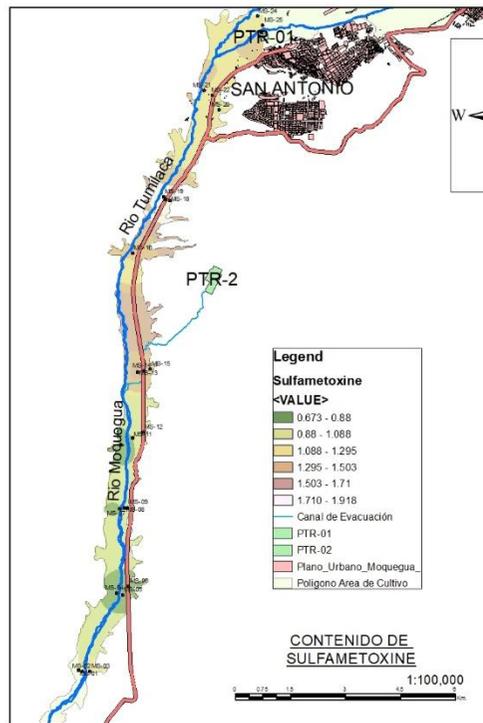
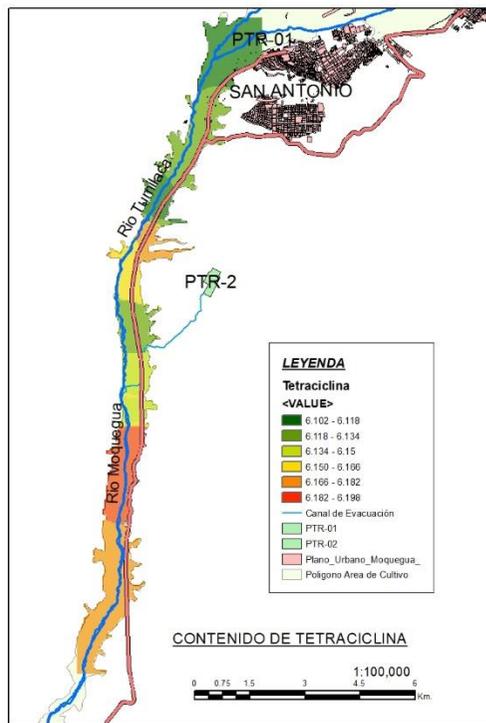


TABLA DE RESULTADOS DE CONTENIDO DE CONCENTRACION DE ANTIBIOTICOS EN EL SUELO

ESTADO DE SUELO	CODIGO DE LABORATORIO	CODIGO DE MUESTRA	COORDENADAS UTM WGS 84		CONCENTRACION ANTIBIOTICOS µg/g							
			ESTE	NORTE	SULFAMETOXIME	SULFADIMETOXIME	SULFATIAZOLE	TETRACICLINA	CIPROFLOXACINO	ENROFLOXACINO	SARAFLOXACINO	
CONTAMINADA	1	MS-01	287219.30	8381424.30	2.6335	0.6143	0	7.2025	6.6555	0	7.745	
	11	MS-02	287331.30	8381366.30	2.6312	0	0	6.3400	0	0	0	
	17	MS-03	287531.30	8381388.30	2.6386	0	0	6.3204	0	0	0	
	15	MS-04	286258.30	8383469.30	0	0	0	6.2205	0	0	0	
	3	MS-05	288425.30	8383459.30	0	0	0	6.5386	0	0	0	
	23	MS-06	285888.30	8383869.30	0	0.662	0	6.6757	7.2225	0	7.7111	
	19	MS-07	286347.30	8385791.30	0	0	0	6.9875	0	0	0	
	2	MS-08	286482.30	8385808.30	0	0	0	6.6464	0	0	0	
	24	MS-09	286509.30	8386016.30	2.7143	0.3707	0	5.9704	5.8491	0	9.0740	
	6	MS-10	286370.30	8387922.30	0	0.5762	0	6.8112	0	6	7.7111	
	5	MS-11	286895.30	8387709.30	0	0	0	6.4959	0	0	0	
	8	MS-12	285982.30	8387805.30	2.6511	0	0	6.2684	0	0	0	
PARCIALMENTE CONTAMINADA	32	MS-13	286840.30	8386475.30	3.1681	0	0	5.9200	0	4.8271	0	
	21	MS-14	286000.30	8386913.30	0	0	0	6.8360	5.3474	0	0	
	10	MS-15	286177.30	8386561.30	2.6224	0	0	6.2886	0	0	0	
	4	MS-16	286892.30	8382703.30	0	0	0	6.0330	0	0	0	
	18	MS-17	286802.30	8384197.30	2.6001	0	0	5.8727	6.1596	0	4.7505	
	20	MS-18	287701.30	8384119.28	2.5577	0	0	6.313	0	0	0	
AREA LIBRE	9	MS-19	285541.30	8384221.30	2.7355	0	0	6.8514	5.2147	4.9834	0	
	7	MS-20	291047.51	8386563.37	0	0	0	6.8462	7.3255	0	0	
	16	MS-21	290649.30	8387104.30	2.6485	0	0	6.8746	0	0	0	
	14	MS-22	290874.30	8386960.30	0	0	0	6.1677	0	0	0	
	25	MS-23	292209.30	8386878.30	2.5946	0.845	0	6.5293	0	0	0	
	13	MS-24	292103.30	8386117.30	0	0.5133	0	6.5281	0	0	7.832	
		12	MS-25	282244.30	8386888.30	0	0	0	6.9517	0	0	0

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
ESCUELA DE POST GRADO: PROGRAMA DE DOCTORADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE

OBJETIVO: "CONCENTRACION DE AREAS CONTAMINADAS POR EFECTOS DEL DERRAMO DE AGUAS RESIDUALES CON CONTENIDO DE FLUOROQUINOLONAS Y TETRACICLINAS, MEDIANTE TECNICAS DE TELEDETECCION EN EL VALLE DEL RIO MOQUEGUA 2020"

DE IDENTIFICACION DEL CONTENIDO DE ANTIBIOTICOS POR MUESTREO DE SUELO EN CAMPO

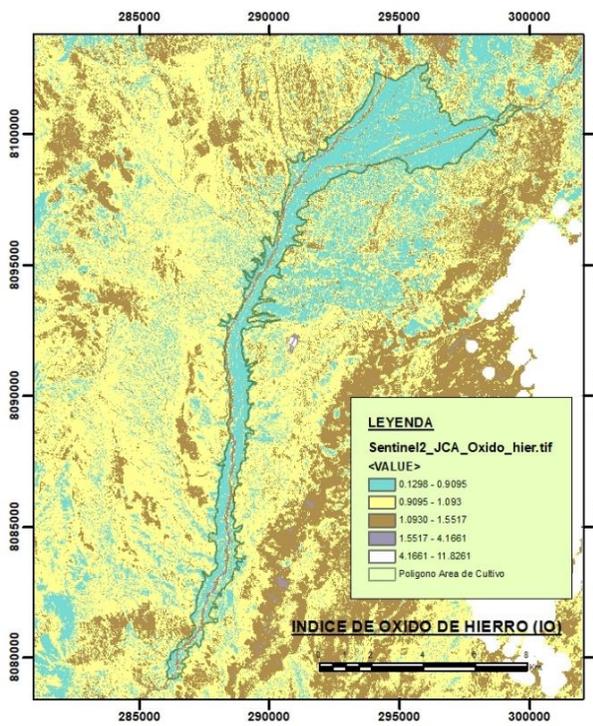
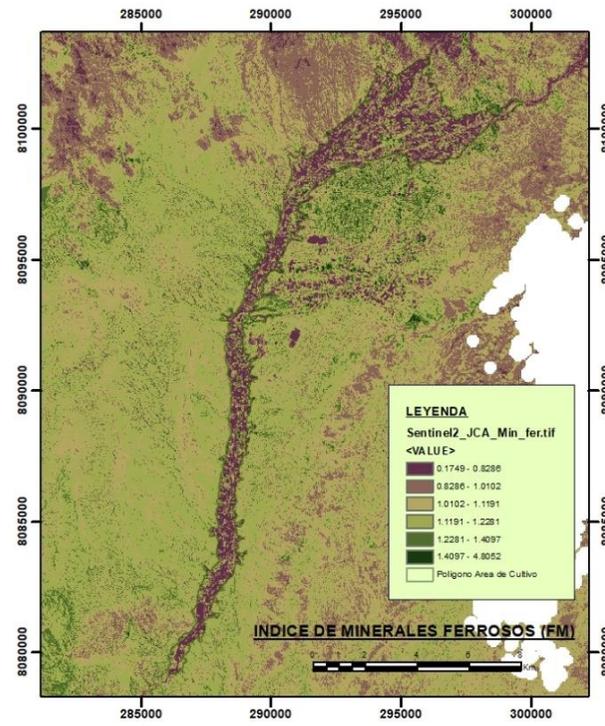
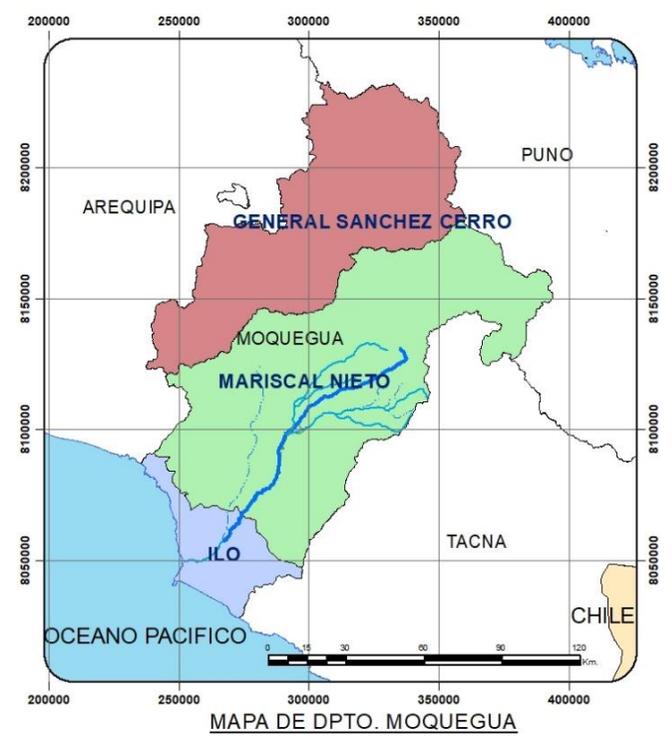
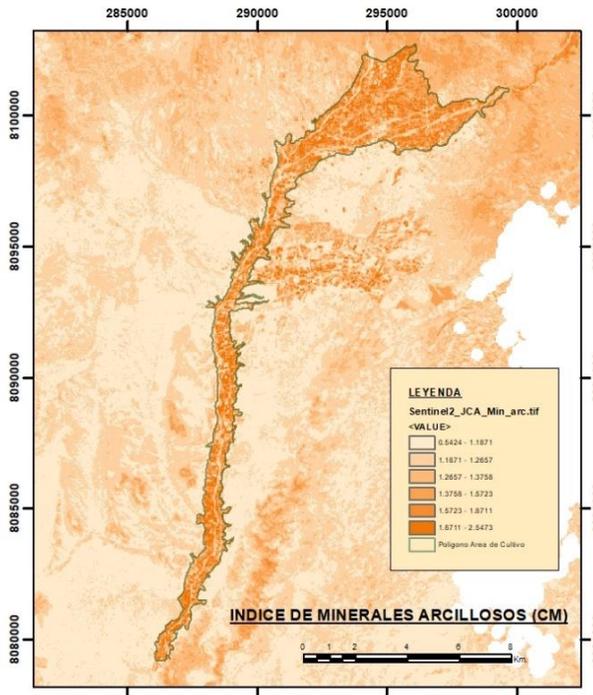
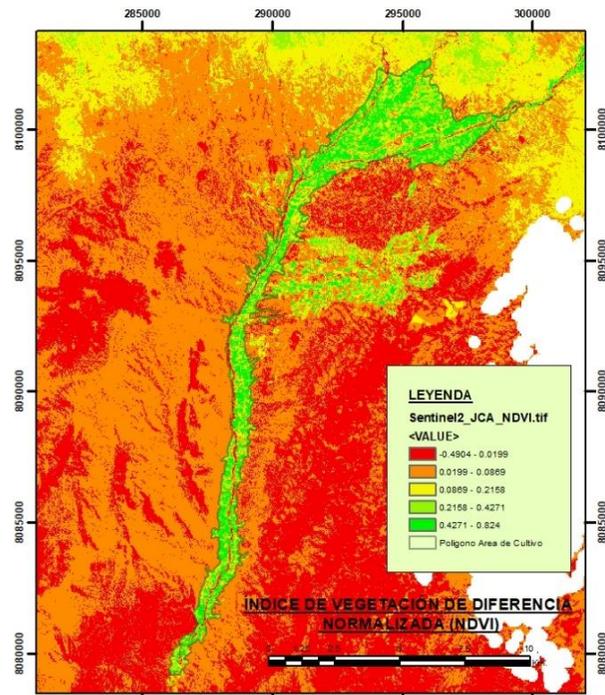
UBICACION: VALLE DE MOQUEGUA
 Distrito: MOQUEGUA
 Provincia: MARISCAL NIETO
 Region: MOQUEGUA

FECHA: Agosto del 2022

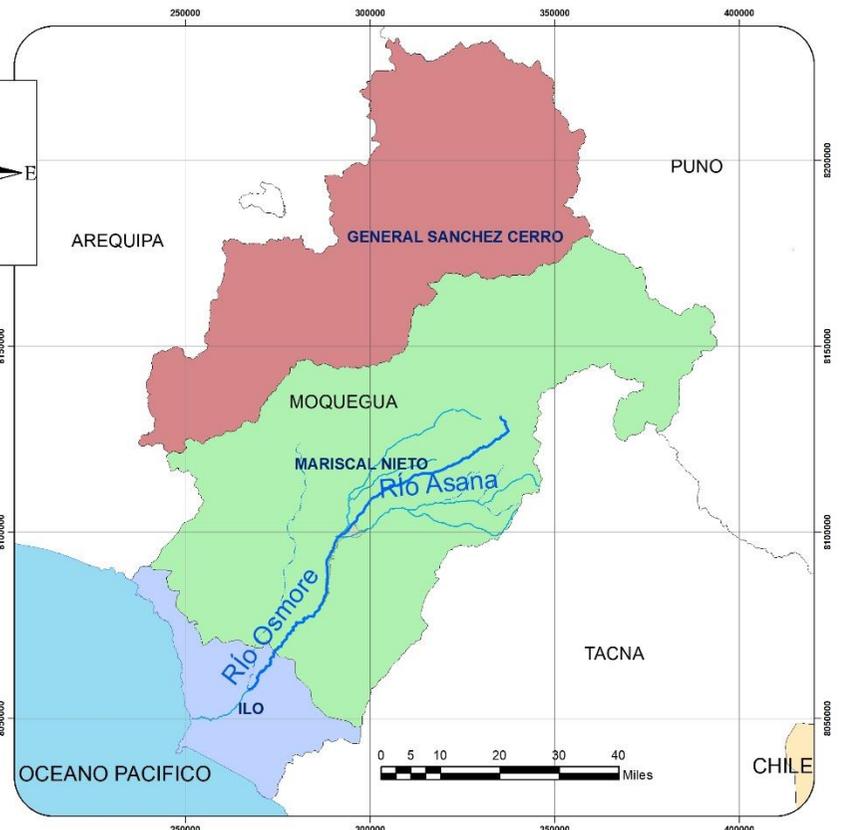
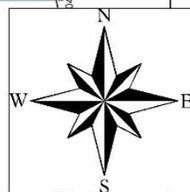
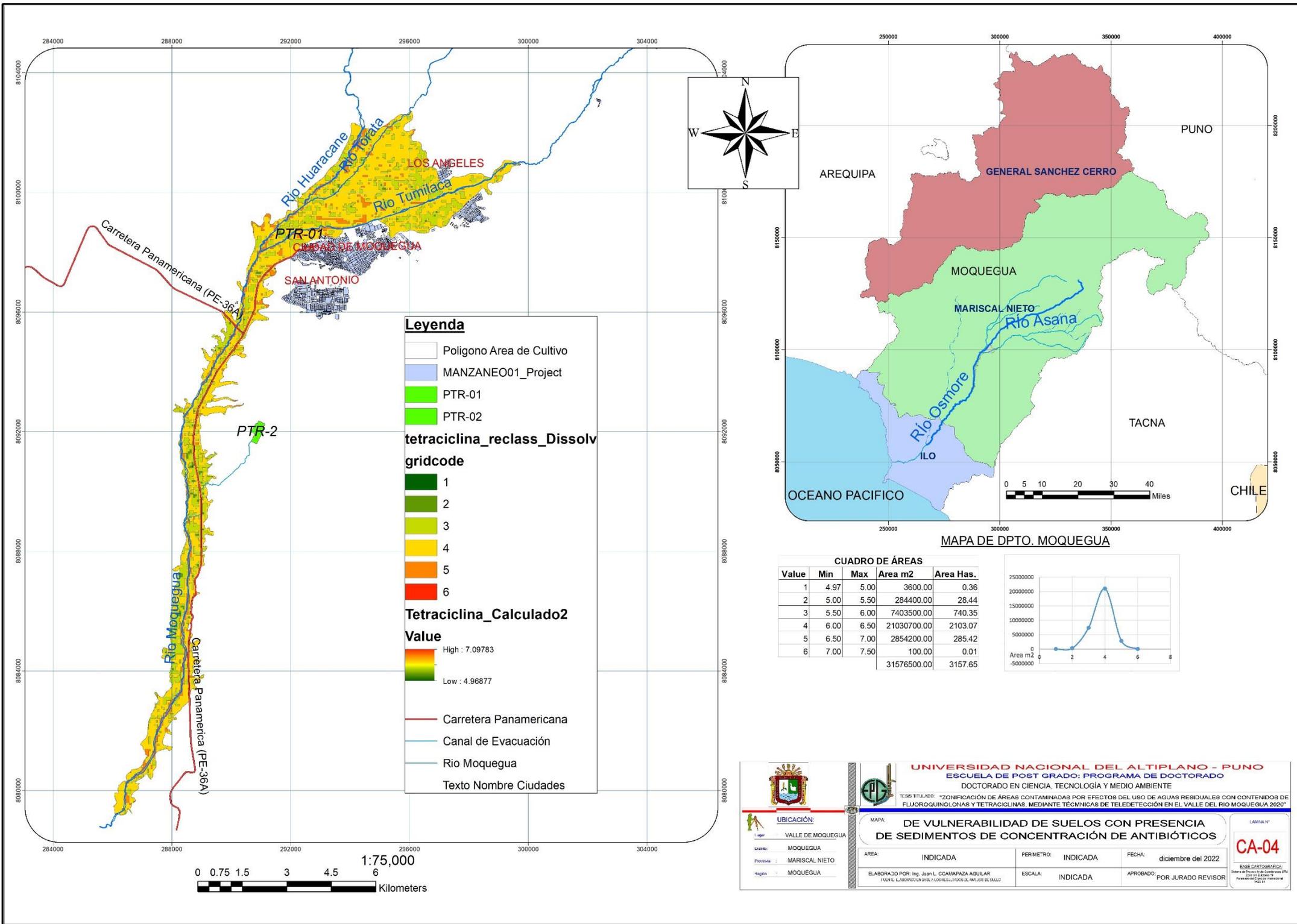
INDICADA: INDICADA
 PERIODO: INDICADA
 APROBADO: POR JURADO REVISOR

LABORADO POR: ING. ANDY L. CAMPAZOLA AGUIAR
 FONTE: LABORATORIO DE TIEMPOS ANÁLISIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO



		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO ESCUELA DE POST GRADO. PROGRAMA DE DOCTORADO DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE	
TEMA TITULADO: "ZONIFICACIÓN DE ÁREAS CONTAMINADAS POR EFECTOS DEL USO DE AGUAS RESIDUALES CON CONTENIDOS DE FLUOROQUINOLONAS Y TETRACICLINAS, MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN EL VALLE DEL RÍO MOQUEGUA 2020"			
INDICES ESPECTRALES, EN BASE A LA IMAGEN SATELITAL SENTINEL 2 MSI		LÁMINA N° IE-05	
UBICACIÓN: Valle de Moquegua Provincia: Moquegua Distrito: Mariscal Nieto Región: Moquegua	MAPA: INDICADA	PERÍMETRO: INDICADA	FECHA: Agosto del 2022
ELABORADO POR: Mg. Juan L. OCAMPAZA AGUILAR FIRMADO POR: Mg. Juan L. OCAMPAZA AGUILAR	ESCALA: INDICADA	APROBADO: POR JURADO REVISOR	



MAPA DE DPTO. MOQUEGUA

Leyenda

- Polígono Area de Cultivo
- MANZANEO01_Project
- PTR-01
- PTR-02

**tetraciclina_reclass_Dissolv
gridcode**

1
2
3
4
5
6

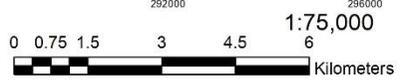
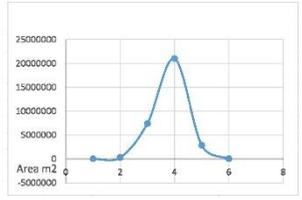
**Tetraciclina_Calculado2
Value**

High : 7.09783
Low : 4.96877

- Carretera Panamericana
- Canal de Evacuación
- Río Moquegua
- Texto Nombre Ciudades

CUADRO DE ÁREAS

Value	Min	Max	Area m2	Area Has.
1	4.97	5.00	3600.00	0.36
2	5.00	5.50	284400.00	28.44
3	5.50	6.00	7403500.00	740.35
4	6.00	6.50	21030700.00	2103.07
5	6.50	7.00	2854200.00	285.42
6	7.00	7.50	100.00	0.01
			31576500.00	3157.65



UBICACIÓN:

Valle de Moquegua

Distrito: MOQUEGUA

Provincia: MARISCAL NIETO

Región: MOQUEGUA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

ESCUELA DE POST GRADO: PROGRAMA DE DOCTORADO

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

TESIS TITULADA: "ZONIFICACIÓN DE ÁREAS CONTAMINADAS POR EFECTOS DEL USO DE AGUAS RESIDUALES CON CONTENIDOS DE FLUOROQUINOLONAS Y TETRACICLINAS, MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN EL VALLE DEL RÍO MOQUEGUA 2022"

MAPA: DE VULNERABILIDAD DE SUELOS CON PRESENCIA DE SEDIMENTOS DE CONCENTRACIÓN DE ANTIBIÓTICOS

AREA: INDICADA PERIMETRO: INDICADA FECHA: diciembre del 2022

ELABORADO POR: Ing. Juan L. Ccanapaza Aguilár ESCALA: INDICADA APROBADO POR JURADO REVISOR

LÁMINA N°

CA-04

BASE CARTOGRAFICA:
Cadastral de Puno y de Moquegua, PUNO
Cadastral de Tacna y de Arequipa, TACNA
Cadastral de Arequipa y de Moquegua, AREQUIPA
2021



Ficha de muestreo de suelo

DATOS GENERALES						
Nombre del sitio en estudio:			Departamento:			
Razón social:			Provincia:			
Uso principal:			Dirección del Predio:			
DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO						
Nombre del punto de muestreo:			Operador: (empresa/persona)			
Coordenadas X: (UTM, WGS 84)		Y:	Descripción de la superficie: (pe. asfalto, cemento, vegetación)			
Temperatura (°C):			Precipitación (si/no, intensidad):			
Técnica de muestreo: (p.e. sondeo manual/sem- Mecánico/mecánico, zanja), etc.			Instrumentos usados:			
Profundidad final: (en metros bajo la superficie)			Napa freática: (si/no, profundidad en m)			
Instalación de un pozo en el agujero: (si/no, descripción)			Relleno del agujero después del muestreo: (si/no, descripción):			
DATOS DE LAS MUESTRAS						
Clave de muestra:						
Fecha:						
Hora:						
Profundidad desde: (en metros bajo la superficie)						
Profundidad hasta: (en metros bajo la superficie)						
Características organolépticas:						
Color:						
Olor:						
Textura:						
Compactación/consistencia:						
Humedad:						



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POST GRADO



Componentes antropogénicos:						
Estimación de la fracción > 2 mm (%):						
Cantidad de la muestra: (volumen o peso)						
Medidas de conservación:						
Tipo de muestra: (simple/compuesta)						
PARA MUESTRAS SUPERFICIALES COMPUESTAS						
Área de muestreo (m ²):						
Numero de sub-muestra						
Comentarios:	Croquis:					

PANEL FOTOGRAFICO:

Fotografía 1

Cultivo de Vid en el Valle de Moquegua.



Fotografía 2

Vertimiento de las Aguas Residuales de la PTAR al río Moquegua.



Fotografía 3

Medición de Potencial de Hidrógeno, Temperatura, Oxígeno disuelto, Conductividad, y



Fotografía 4

Flujo de circulación del Agua contaminada del río Moquegua.



Fotografía 5

Recojo de muestras de suelo en los laterales del río Moquegua.



Fotografía 6

Análisis de Suelos en el laboratorio de ecotoxicología de la Universidad de São Pablo de

