



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES PARA LA INSTALACIÓN DE
INFRAESTRUCTURA DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA
PROVINCIA DE TUMBES

Línea de investigación:
Biodiversidad, ecología y conservación

Modalidad de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

Autor:

Aragon Gayoso, Jaison Enrique

Asesor:

Alva Velasquez, Miguel
(ORCID: 0000-0002-0750-1701)

Jurado:

Maximo Zevallos, León
Sonia Isabel Espinoza, Faria
Pedro Pablo Arteaga, Llacza

Lima – Perú

2023

Dedicatoria

El presente informe está dedicado a mis padres Silvia Gayoso y Edinson Martinez, por el apoyo incondicional y las oportunidades que me han brindado en el transcurso de mi vida. A mis hermanos y a mi familia en general. A la ing. Antonella Gonzáles, mi compañera de vida, por el apoyo y motivación en mi etapa universitaria y profesional.

Agradecimiento

Agradecer en primer lugar a Dios, por todo lo que me ha brindado hasta el momento.

A la Universidad Nacional Federico Villarreal, mi alma máter, por la formación académica y los conocimientos proporcionados.

Índice

Dedicatoria.....	II
Agradecimiento.....	III
Resumen.....	VIII
Abstract.....	IX
I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Trayectoria del autor	11
1.2. Descripción de la Empresa.....	13
1.3. Organigrama de la Empresa	13
1.4. Áreas y funciones desempeñadas.....	14
1.4.1. Recopilación de información	15
1.4.2. Control de calidad de la información	15
1.4.3. Creación de la Base de datos geográfica.....	16
1.4.4. Elaboración de plantillas de Mapas.....	16
1.4.5. Generación de Mapas Temáticos	16
1.4.6. Asignación de Metadatos	16
II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA.....	17
2.1. Área de estudio.....	18
2.1.1. Ubicación geográfica	18
2.2. Metodología	20
2.2.1. Fase de Recopilación y Sistematización	20
2.2.2. Fase de Análisis Espacial	23

2.2.3. Fase de Discusión y Conclusiones	27
2.2.4. Propuesta	28
III. APORTES MÁS DESTACABLES EN LA EMPRESA	30
IV. CONCLUSIONES	32
V. RECOMENDACIONES	33
VI. REFERENCIAS	34

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Tabla de exclusiones y Restricciones</i>	21
Tabla 2 <i>Tabla de límites permisibles</i>	23
Tabla 3 <i>Áreas óptimas para un relleno sanitario</i>	29

Índice de figuras

Figura 1 <i>Organigrama de la Empresa</i>	13
Figura 2 <i>Flujo lógico de trabajo</i>	14
Figura 3 <i>Botaderos informales - Distrito de Corrales</i>	17
Figura 4 <i>Botaderos informales - Distrito de Cabuyal</i>	17
Figura 5 <i>Ubicación de la Provincia de Tumbes</i>	18
Figura 6 <i>Diagrama de Flujo metodológico</i>	20
Figura 7 <i>Mapas de variables encontradas</i>	21
Figura 8 <i>Esquema del modelamiento espacial</i>	24
Figura 9 <i>Mapas de Exclusiones</i>	25
Figura 10 <i>Mapas de Restricciones</i>	26
Figura 11 <i>Mapa preliminar las alternativas de ubicación de un relleno sanitario</i>	27
Figura 12 <i>Mapa de la Propuesta de ubicación óptima de un relleno sanitario</i>	28
Figura 13 <i>Modelo para la sistematización de cuantificación de elementos expuestos</i>	30
Figura 14 <i>Modelo de ficha automatizada</i>	31

Resumen

El presente informe propone la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación de zonas potenciales para la instalación de infraestructura de disposición final de residuos sólidos en la provincia de Tumbes, teniendo como base metodológica la “Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales” elaborada por el Ministerio del Ambiente en el año 2021. A partir de esta metodología se elaboró un modelamiento espacial utilizando la herramienta “Model Builder” del software ArcGIS en su versión 10.8, obteniendo como resultado 3 áreas óptimas para la instalación de infraestructura de disposición final de residuos sólidos, contando con una superficie de 49.76 ha, 77.48 ha y 53.16 ha., las cuales cumplen con las restricciones espaciales mínimas requeridas según el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, Decreto Supremo N° 029-2007-AG, Resolución Directoral N° 375-2013-MTC/12.

Palabras clave: sistema de información geográfica, ubicación óptima, residuos sólidos.

Abstract

This report proposes the application of Geographic Information Systems (GIS) for the identification of potential areas for the installation of infrastructure for the final disposal of solid waste in the province of Tumbes, having as a methodological basis the "Guide for the identification of potential areas for municipal solid waste final disposal infrastructure" prepared by the Ministry of the Environment in 2021. Based on this methodology, a spatial modeling was developed using the "Model Builder" tool of the ArcGIS software in its version 10.8, obtaining as a result 3 optimal areas for the installation of infrastructure for the final disposal of solid waste, with an area of 49.76 ha, 77.48 ha and 53.16 ha., which comply with the minimum spatial restrictions required according to Supreme Decree N°. 014-2017-MINAM, Supreme Decree N°. 029-2007-AG, Directorial Resolution N°. 375-2013-MTC/12.

Keywords: geographic information system, optimal location, solid waste.

I. INTRODUCCIÓN

El presente informe consiste en la identificación de áreas óptimas para la instalación de una infraestructura de disposición final de residuos sólidos en la provincia de Tumbes, mediante la utilización de las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), que podría ayudar al proyecto “Defensas Ribereñas del Río Tumbes – Paquete 2”, a cargo del Consorcio Besalco – Stracon.

Esto debido a que unos de los problemas observados en la provincia es la mala disposición final de residuos sólidos, que afecta en cierta medida al proyecto, puesto que la acumulación de material de residuos sólidos genera la colmatación del cauce tanto del río Tumbes como también de sus quebradas aportantes. Asimismo, en las temporadas de lluvias al aumentar el cauce y la esorrentía, el material colmatado es acarreado pudiendo llegar a erosionar y debilitar las defensas del río. Por otro lado, una inadecuada disposición final de los residuos sólidos (próximas a zonas urbanas) conllevaría por ejemplo a daños en la salud de la población, siendo una fuente de infección para la población por la incubación y reproducción de mosquitos, moscas y roedores, que, a su vez, producen infecciones contagiosas gastrointestinales, dermatológicas, pulmonares y cardiovasculares, genéticas, asma, parto prematuro y otros tipos de enfermedades. Además, las personas que están expuestas a los residuos sólidos presentan tasas crecientes de cánceres de estómago y de cuello uterino en mujeres y, del mismo modo, cánceres de estómago, hígado, pulmón y próstata en hombres (Akmal y Jamil, 2021; Raza et. al, 2021). Por último, la mala disposición de residuos sólidos además de ser una causa de deterioro ambiental, a menudo produce alteraciones del paisaje y depresión en las relaciones culturales, económicas y sociales dentro de las comunidades (Nicolini, 2022).

Debido a los impactos antes mencionados, es necesario contar con una infraestructura de disposición final de residuos sólidos. La correcta ubicación de esta infraestructura requiere la consideración y evaluación de muchos criterios para identificar el sitio más adecuado (Nguyen et. al, 2022). Sin embargo, para ubicar nuevas infraestructuras de disposición final son cada vez más escasas debido a diversas limitaciones geológicas, de ingeniería, legales y sociales. Ante esto, una de las herramientas tecnológicas que nos ayudaría a conocer la óptima ubicación de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Othman et. al, 2021). El software SIG desempeña un papel importante al contribuir al análisis de superposición de información y tiene una gran capacidad para administrar grandes volúmenes de datos espaciales y considerar muchos factores de una variedad de fuentes. Los SIG tienen una gran capacidad para hacer frente a las limitaciones de carácter social, medioambiental, económico, etc. (Chabuk et. al, 2017).

1.1. Trayectoria del autor

Bachiller en Ingeniería Geográfica, egresado de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo (FIGAE) de la Universidad Nacional Federico Villarreal, con más de 3 años de experiencia tanto en el sector público como en el privado. En los siguientes puntos se detalla la experiencia profesional en algunas instituciones:

- Los inicios de mi carrera profesional comenzaron desde setiembre del año 2015 a diciembre del 2015, realizando Prácticas Pre Profesionales en la Municipalidad distrital de Los Olivos, para la Subgerencia de Catastro y Planeamiento Urbano. Mis prácticas se trataron principalmente de dar apoyo en la edición y actualización del catastro urbano de los sectores del distrito de Los Olivos; también en el apoyo de las inspecciones oculares realizadas por los especialistas; por último, la codificación del CUC y digitación de las fichas catastrales traídas de campo.

- De febrero a abril del año 2017 empecé mis Prácticas Pre Profesionales en la empresa HORIZONS SOUTH AMERICA S.A.C., ocupando el cargo de Operador de equipos geodésicos, donde realicé el levantamiento de puntos geodésicos de orden “C” con GPS diferencial en los departamentos de Cusco y Puno. Asimismo, la nivelación geométrica y trigonométrica con nivel digital y estación total en los departamentos mencionados.
- De noviembre del 2017 a enero del 2019 trabajé en la empresa XYGO S.A., desempeñando el cargo de Dibujante CAD, donde la función principal realizada fue la actualización cartográfica de los predios urbanos de Lima Metropolitana.
- De mayo del 2019 a febrero del 2020, me desempeñé como Especialista en Sistemas de Información Geográfica en la empresa Análisis Geográficos S.A., donde participé en el proyecto denominado “Servicio de Consultoría para la elaboración de los Planes de Acondicionamiento Territorial (PAT), Planes de Desarrollo Metropolitano (PDM) y Planes de Desarrollo Urbano (PDU) de la Región Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima e Ica, bajo los alcances de la Reconstrucción con Cambios - Ítem N°2 (Región Tumbes)”.
- De marzo a junio del 2021, trabajé como Analista de Sistemas de Información Geográfica en el Instituto Metropolitano de Planificación (IMP), siendo este un organismo descentralizado de la Municipalidad Metropolitana de Lima. Principalmente desarrollé la edición geométrica de los equipamientos urbanos Lima Centro (Rímac, Cercado de Lima, Breña, Pueblo Libre, San Miguel, Magdalena Del Mar, La Victoria Jesús María, Lince, San Isidro, San Luis, San Borja, Miraflores, Surquillo, Santiago De Surco, Barranco), con fuente actualizada del Ministerio de Educación y data del IMP, en base al mosaico de imágenes satelitales IMP del sector Lima Centro.

- De octubre del 2021 a diciembre del 2022, me desempeñé como Asistente en Sistemas de Información geográfica en la empresa Besalco – Stracon, donde participé en el Proyecto de Defensas Ribereñas del Río Tumbes – Paquete 2.

1.2. Descripción de la Empresa

El Consorcio BESALCO – STRACON (CBS), es la unión de dos grandes empresas internacionales líderes en minería y construcción, las cuales han unido esfuerzos para ofrecer el mayor valor a la Autoridad para Reconstrucción con Cambios en la gestión y la ejecución de los proyectos con soluciones integrales.

BESALCO está presente en Sudamérica y a lo largo de Chile, cuenta con experiencia en la gestión de servicios de explotación minera, movimientos de tierra y en la ejecución de obras civiles y de montaje en general. Por otro lado, STRACON cuenta con 20 años de experiencia ofreciendo servicios integrales de clase mundial para la minería y construcción, en la gestión del movimiento de tierras masivo, desarrollo, y operación de minas tajo abierto y subterráneas (CBS, s.f.).

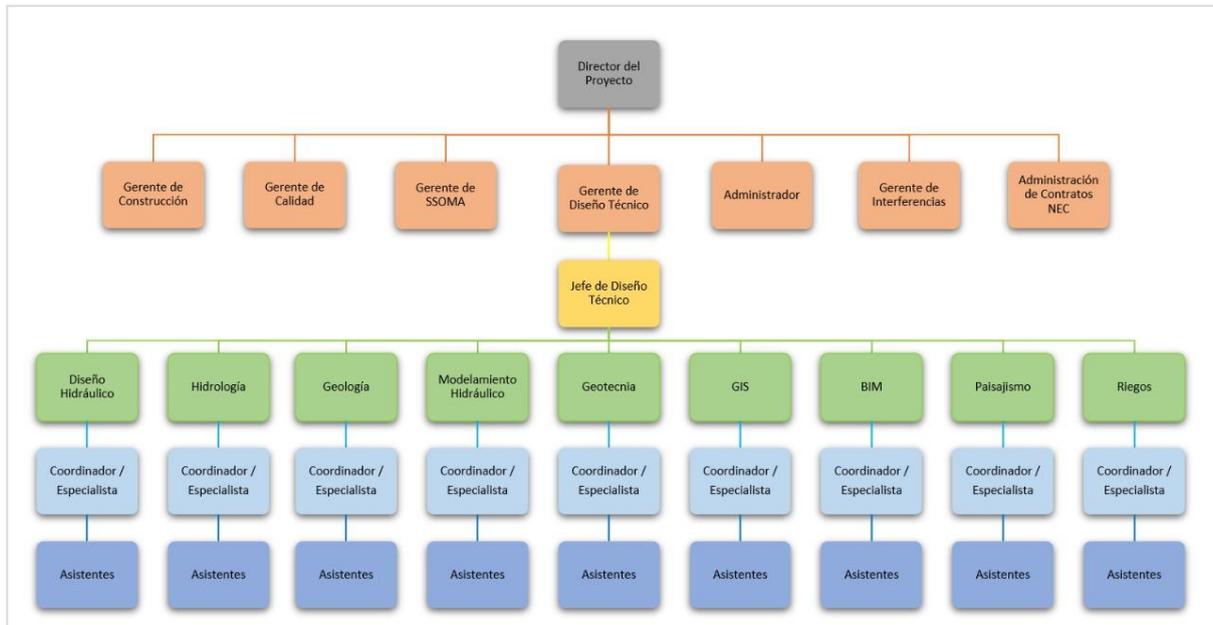
El consorcio está a cargo del proyecto “Defensas ribereñas del Río Tumbes – Paquete 2” el cual consiste en el diseño y construcción de 112.8 km de defensas ribereñas y 4.1 km de caminos vecinales. También considera trabajos de descolmatación, implementación de diques y malecón.

1.3. Organigrama de la Empresa

En la Figura 1 se muestra el organigrama del Consorcio Besalco – Stracon.

Figura 1

Organigrama de la Empresa



Nota. Estructura organizacional del Consorcio Besalco – Stracon, 2022.

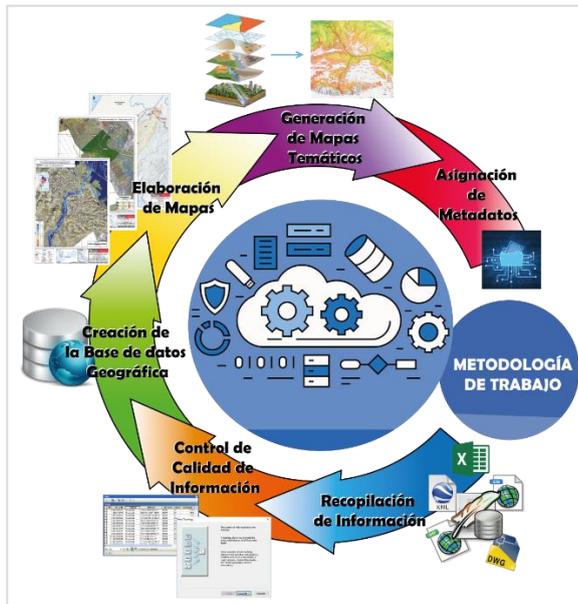
1.4. Áreas y funciones desempeñadas

El área donde desempeñé mis labores es el “Área GIS” donde ejercí el puesto de Asistente GIS. Esta área es transversal a todas las especialidades que contiene el proyecto debido a que brindamos el soporte cartográfico y geoespacial para el desarrollo de consultas, análisis espaciales y elaboración de mapas temáticos. El Área GIS también es la encargada de la sistematización de toda la base de datos del proyecto.

En este sentido las funciones desempeñadas siguen un flujo lógico (Figura 2) que se detalla a continuación:

Figura 2

Flujo lógico de trabajo



Nota. Elaboración del área GIS.

1.4.1. Recopilación de información

Inicialmente se revisó, verificó y organizó la información inicial, de carácter geoespacial, que se utilizó como insumo base o temático para la producción cartográfica, y que de acuerdo a su origen, escala, precisión y detalle se seleccionaron los datos más relevantes para conservar en la Base de Datos Geográfica (GDB). Estos datos pueden venir de fuentes de información primaria (obtenidas en campo) o secundarias (obtenidas de fuentes oficiales).

1.4.2. Control de calidad de la información

Una vez recopilada la información se evaluó la data recibida de las distintas fuentes, este control se realiza a nivel gráfico y tabular para el caso de información vectorial y de umbrales máximos y mínimos con respecto a información cuantificable de tipo ráster. Dicha verificación nos permite percibir la fidelidad de los datos geoespaciales y alertar posibles incompatibilidades previos al desarrollo de mapas.

1.4.3. Creación de la Base de datos geográfica

Posterior al control de calidad, se procedió a crear la base de datos geoespacial, en formato de ESRI (*.gdb), la cual contiene información vectorial de tipo punto línea o polígono; todas ellas georreferenciadas en el sistema WGS84.

1.4.4. Elaboración de plantillas de Mapas

Este proceso es el más destacable dentro de todo el componente GIS, ya que su finalidad es de complementar, ilustrar y ubicar los datos y resultados facilitando la comprensión y lectura de las conclusiones obtenidas de cada área temática especializada que contribuye al proyecto; asimismo, el almacenamiento de información en un sistema geográfico permite la colaboración entre áreas y el análisis por capas o multicriterio, lo que facilitó la obtención de resultados y mejoramiento del diseño bajo el análisis espacial.

1.4.5. Generación de Mapas Temáticos

Con la data nativa organizada en una estructura de datos geográfico y con las plantillas ya diseñadas se procedió con la generación de los diversos mapas solicitados por las especialidades para acompañar informes, análisis y presentaciones, adecuando las escalas y los índices de mapas para una mejor visualización de los elementos. Estos fueron entregados a cada especialidad en los formatos solicitados como (.pdf) y/o (.jpg.) o en formato nativos de Esri, tales como (.aprx) y/o (.mxd).

1.4.6. Asignación de Metadatos

Esta actividad correspondió al llenado descriptivo de los datos geoespaciales que componen la base de datos geográfica. Su aplicación permitió un mejor detalle y calidad de los elementos generados, ya que mantiene registrado la trazabilidad del feature class o shapefile que al ser distribuido a otras áreas o entidades podrán conocer los rasgos de su identidad.

II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA

La actividad específica que detallaré a continuación es la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación de zonas potenciales para la instalación de infraestructura de disposición final de residuos sólidos en la provincia de Tumbes. Esta actividad fue realizada con la finalidad de dar una solución a la problemática de la mala disposición de residuos sólidos como se ven evidenciados en las siguientes Figuras 3 y 4, tomadas en campo.

Figura 3

Botaderos informales - Distrito de Corrales



Nota. Fotografía tomada en salida de campo.

Figura 4

Botaderos informales - Distrito de Cabuyal



Nota. Fotografía tomada en salida de campo.

2.1. Área de estudio

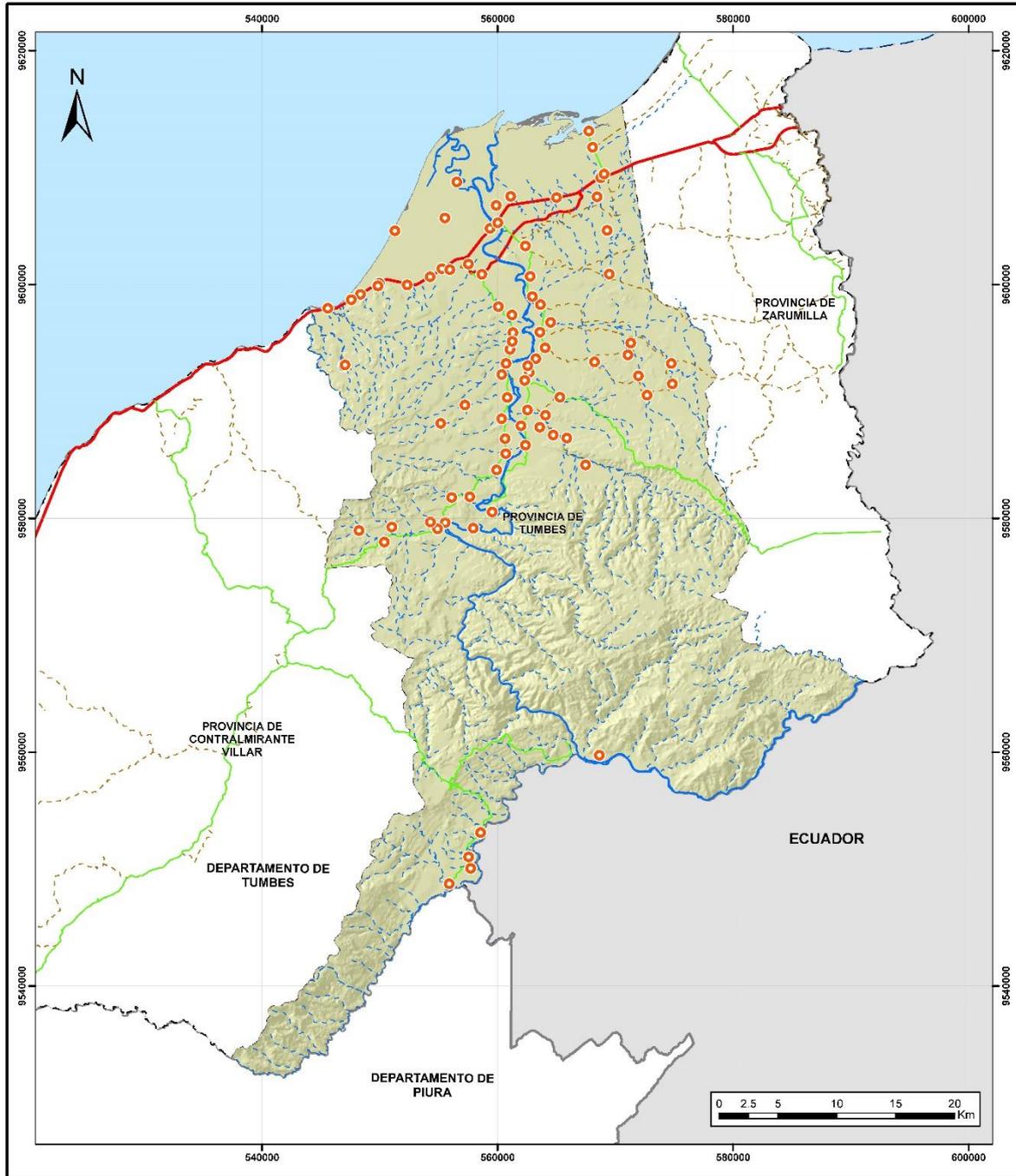
2.1.1. Ubicación geográfica

La provincia de Tumbes se encuentra situado en la costa septentrional en el extremo noroccidente del territorio del Perú. Es una de las tres provincias que conforman el departamento de Tumbes, presentando una superficie de 1800.15 km² (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2000). Limita por el Norte con el océano Pacífico, por el Este con la provincia de Zarumilla, por el Sur con el departamento de Piura y el país de Ecuador, y por el Oeste con la provincia de Contralmirante Villar.

Respecto a la división política administrativa, la provincia de Tumbes comprende 06 distritos: Corrales, Tumbes, La Cruz, San Jacinto, San Juan de La Virgen y Pampas de Hospital. En la Figura 5, se aprecia la ubicación geográfica y política del área de estudio.

Figura 5

Ubicación de la Provincia de Tumbes



Simbología	
Centros poblados	○
Hidrografía	— Río
	- - - Quebrada
Red Vial	— Nacional
	— Departamental
	- - - Vecinal
Ambito de Estudio	■
Limites	
	- - - Limite Provincial
	■ Limite Departamental
	■ Limite Internacional
	■ Oceano



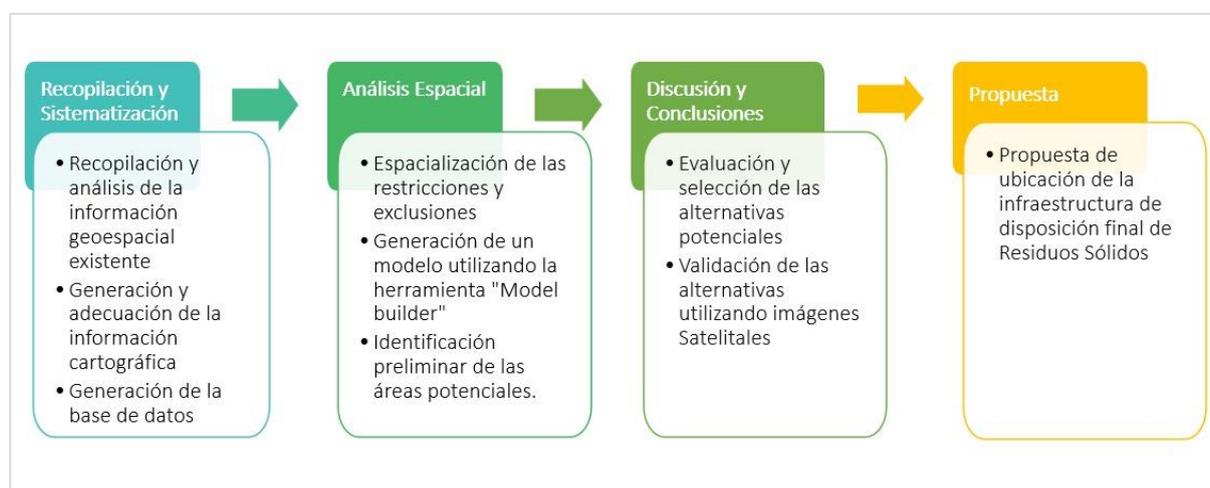
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA		
Artículo: APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES PARA LA INSTALACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA PROVINCIA DE TUMBES		
Mapa: MAPA DE UBICACION DE LA PROVINCIA DE TUMBES		
Elaborado por:	Escala:	Mapa N°:
Jaison Enrique Aragon Gayoso	1:300,000	01
Proyección:	Fuente:	
WGS84 - UTM Zona 18S	Consorcio Besalco - Stracon	

2.2. Metodología

La metodología usada en este informe se basa en la “Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales” generada por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2021), la cual comprende pasos, fases y criterios técnicos y normativos (ver Figura 5) para la identificación de zonas potenciales para la implementación de las infraestructuras de disposición final de residuos sólidos municipales.

Figura 6

Diagrama de Flujo metodológico



Nota. Elaboración propia. Información tomada de MINAM, 2021.

2.2.1. Fase de Recopilación y Sistematización

En esta fase se recopiló y sistematizó la información geoespacial obtenida de la provincia de Tumbes, para poder tener un mejor manejo de la base de datos, puesto que esta información proviene de distintas fuentes y pueden llegar a tener errores ya sean topológicos y/o geométricos.

Una vez recopilada la base de datos, se procedió con la sistematización, en la que se definen las variables temáticas, la cuales consisten en la espacialización de las restricciones y

las exclusiones. Las variables temáticas obtenidas para la generación del modelo se detallarán en la Tabla 1.

Tabla 1

Tabla de exclusiones y Restricciones

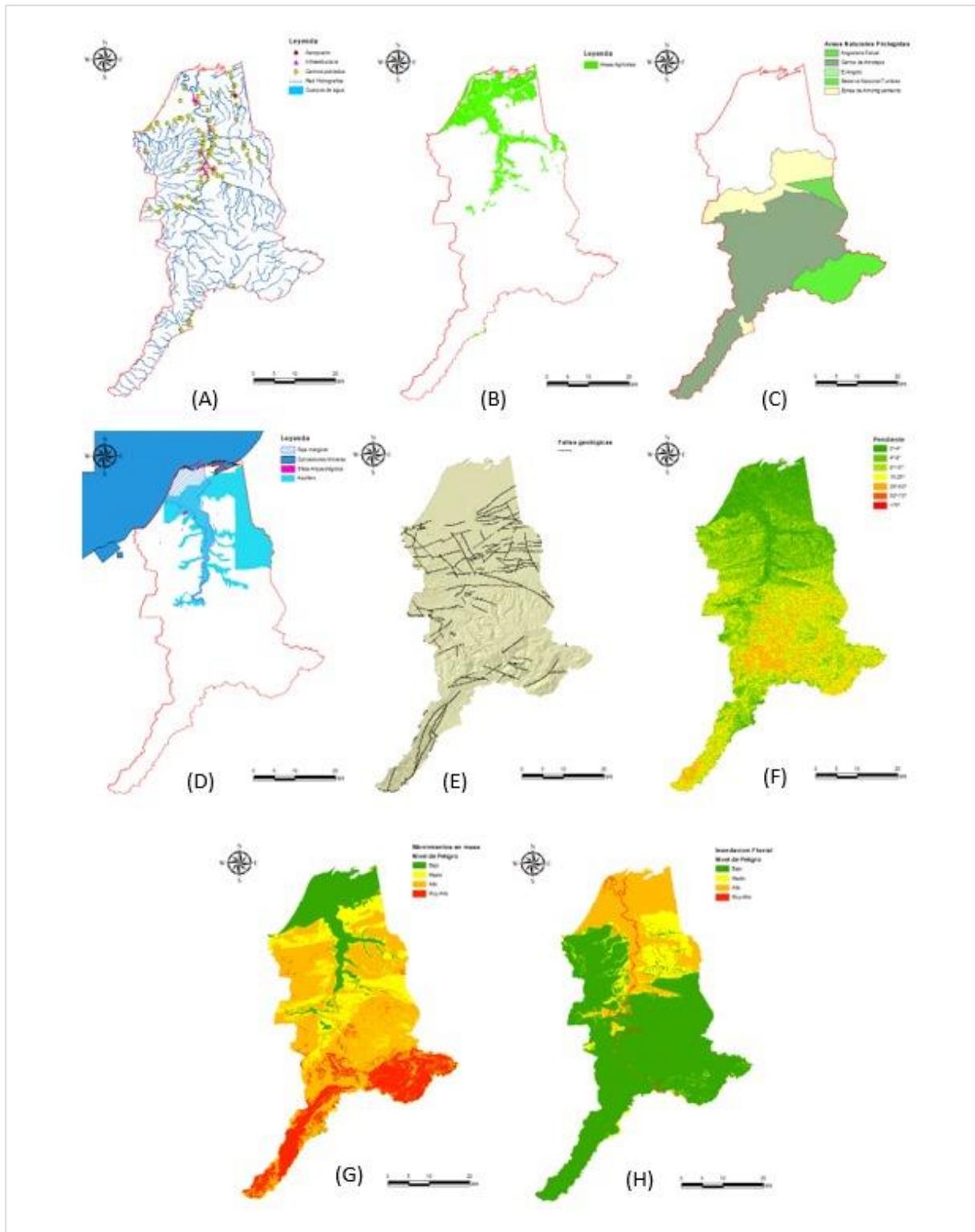
Requisito de localización	Variables
Restricciones	<ul style="list-style-type: none"> - Centros poblados - Infraestructura existente - Aeropuertos - Fuentes de aguas superficiales (cauce de ríos, lagos y lagunas) - Actividades económicas (áreas agrícolas) - Fallas geológicas - Pendientes
Exclusiones	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas Naturales Protegidas - Peligros por inundación y remoción en masa - Zonas de acuíferos - Faja marginal - Preservación de patrimonio cultural - Concesiones mineras, petroleras (en explotación)

Nota. Información tomada de “*Definición de variables temáticas que forman parte de las restricciones y exclusiones del modelo*”, por MINAM, 2021.

A continuación, en las Figuras 7 se mostrarán los mapas generados a través de la información obtenida de las variables mencionadas.

Figura 7

Mapas de variables encontradas



Nota. Mapas de (A) Centros Poblados, Infraestructuras, Aeropuerto, Red Hidrográfica, Cuerpos de agua, (B) Áreas Agrícolas, (C) Áreas Naturales Protegidas, (D) Faja Marginal, Concesiones Mineras, Sitios Arqueológicos, Acuíferos, (E) Fallas Geológicas, (F) Pendientes, (G) Movimientos en Masa, (H) Inundación Fluvial.

2.2.2. Fase de Análisis Espacial

Establecidas las variables que se utilizarán en el modelo cartográfico se tomaron en cuenta los límites permisibles (ver Tabla 2), las cuales detallan las restricciones espaciales mínimas requeridas según el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, Decreto Supremo N° 029-2007-AG, Resolución Directoral N° 375-2013-MTC/12.

Tabla 2

Tabla de límites permisibles

	Requisitos de localización	Límites permisibles
Restricciones	- Distancia a Centros poblados	≥ 500 m
	- Distancia a infraestructura existente (bocatomas)	≥ 500 m
	- Distancia a aeropuertos	≥ 13 km
	- Distancia a fuentes de aguas superficiales (cauce de ríos, lagos y lagunas)	≥ 500 m
	- Distancia a áreas donde se desarrollan actividades económicas (áreas agrícolas)	≥ 500 m
	- Fallas geológicas	≥ 1 km
	- Pendientes	> 25 %
Exclusiones	- Áreas Naturales Protegidas	-
	- Peligros por inundación y remoción en masa	-
	- Zonas de acuíferos	-
	- Faja marginal	-
	- Preservación de patrimonio cultural	-
	- Concesiones mineras, petroleras (en explotación)	-

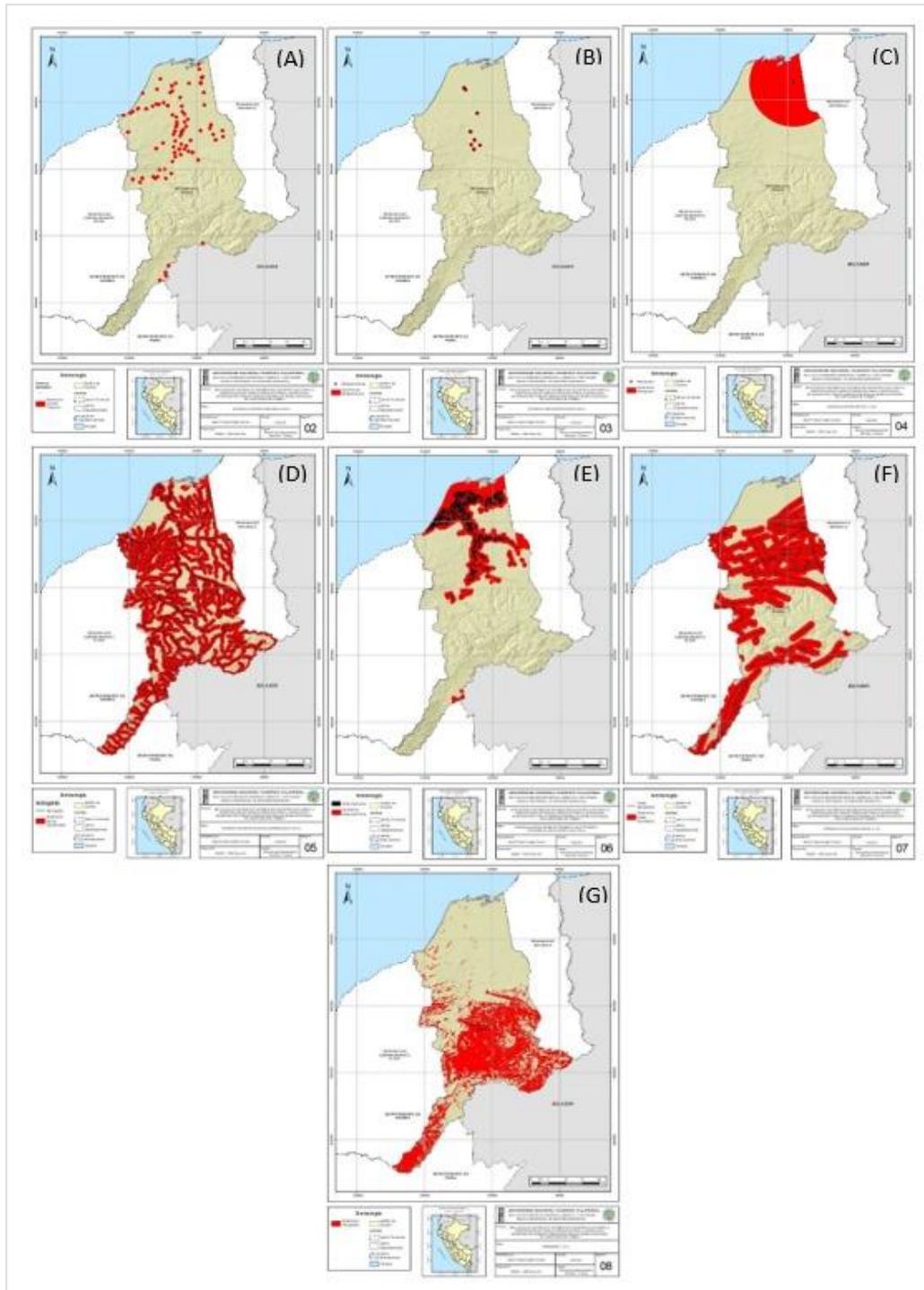
Nota. Información tomada de “Consolidación de la información temática requerida para el modelamiento cartográfico”, por MINAM, 2021.

En esta etapa del proceso se generó y aplicó el esquema del modelamiento espacial (Figura 8), el cual consistió en utilizar la herramienta “Model Builder” del software ArcGis en

El modelo contempla las restricciones y exclusiones que se debe tomar en cuenta en las distintas etapas del geoprocésamiento; obteniendo como resultado las Figuras 9 y 10.

Figura 9

Mapas de Exclusiones

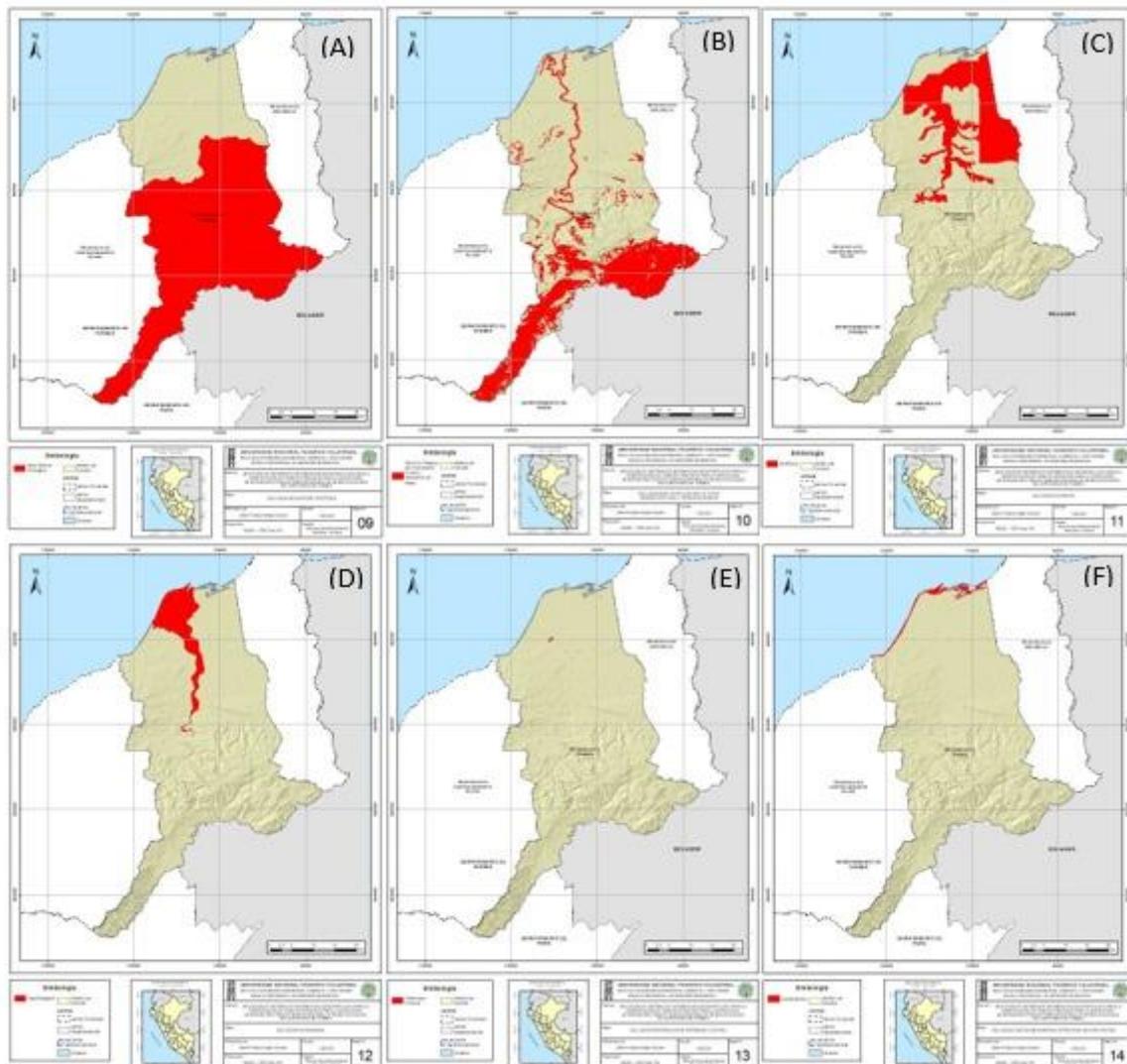


Nota. Mapas de Exclusiones: (A) Distancia a Centros Poblados ≥ 500 m, (B) Distancia a

infraestructura existente ≥ 500 m, (C) Distancia a aeropuertos ≥ 13 km; (D) Distancia a fuentes de aguas superficiales ≥ 500 m, (E) Distancia a áreas agrícolas ≥ 500 m, (F) Distancia Fallas geológicas ≥ 1 km, (G) Pendientes > 25 %.

Figura 10

Mapas de Restricciones



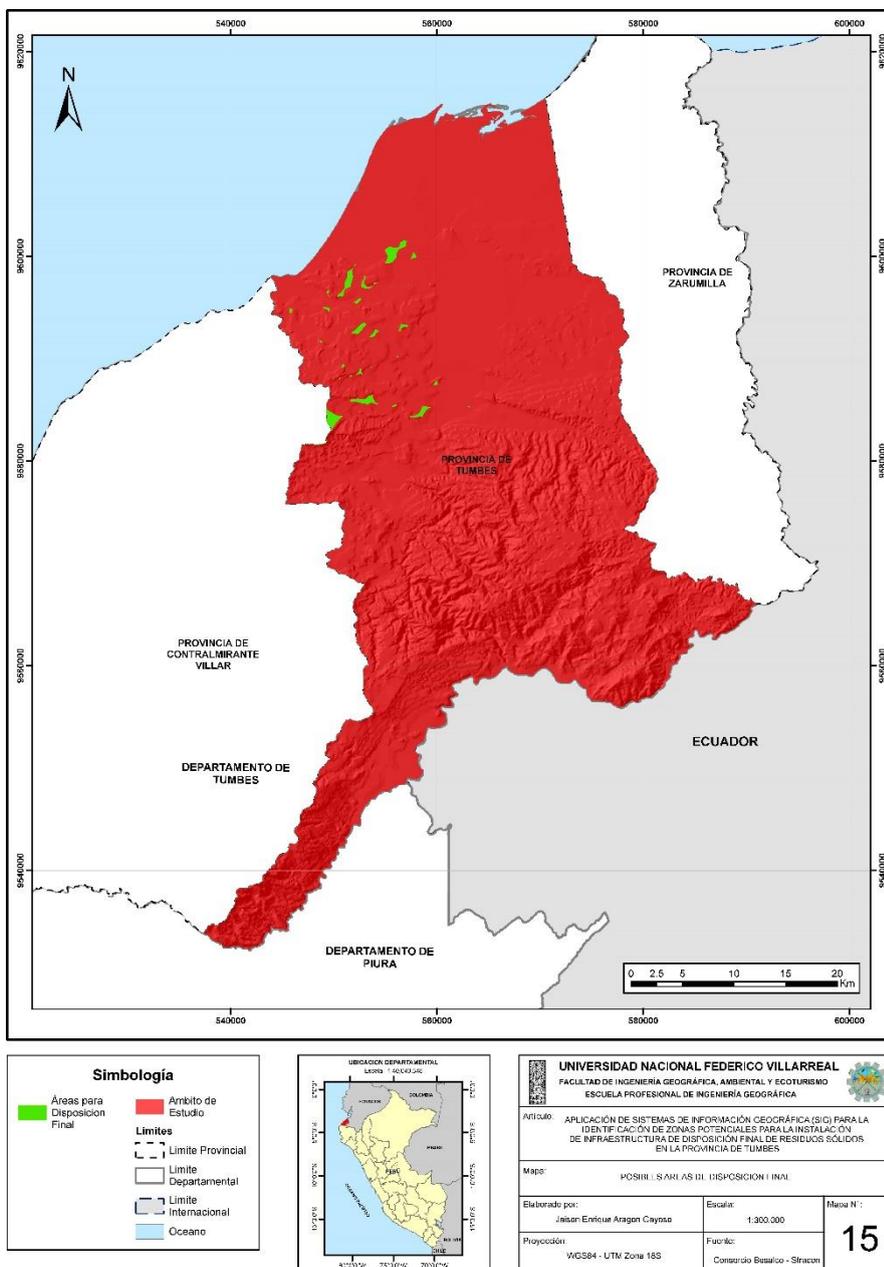
Nota. Mapas de Restricciones: (A) Áreas Naturales Protegidas, (B) Peligros por Inundación y Remoción en Masa, (C) Zonas de acuíferos, (D) Faja marginal, (E) Preservación de patrimonio cultural, (F) Concesiones mineras, petroleras (en explotación).

2.2.3. Fase de Discusión y Conclusiones

Una vez corrido el modelo espacial, se procedió a identificar preliminarmente las áreas potenciales para las infraestructuras de disposición final de Residuos Sólidos (ver Figura 11). Se evaluaron y validaron las posibles alternativas de ubicación de un relleno sanitario usando imágenes satelitales de Google Earth.

Figura 11

Mapa preliminar las alternativas de ubicación de un relleno sanitario



2.2.4. Propuesta

Finalmente, con ayuda de la validación de imágenes satelitales y la disponibilidad de acceso que debe tener esta infraestructura se obtuvieron 3 ubicaciones óptimas de infraestructura de disposición final de Residuos Sólidos, como se muestra en la Figura 12. Asimismo, se determinaron las áreas en hectáreas y la ubicación de las 3 propuestas (ver Tabla 3).

Figura 12

Mapa de la Propuesta de ubicación óptima de un relleno sanitario

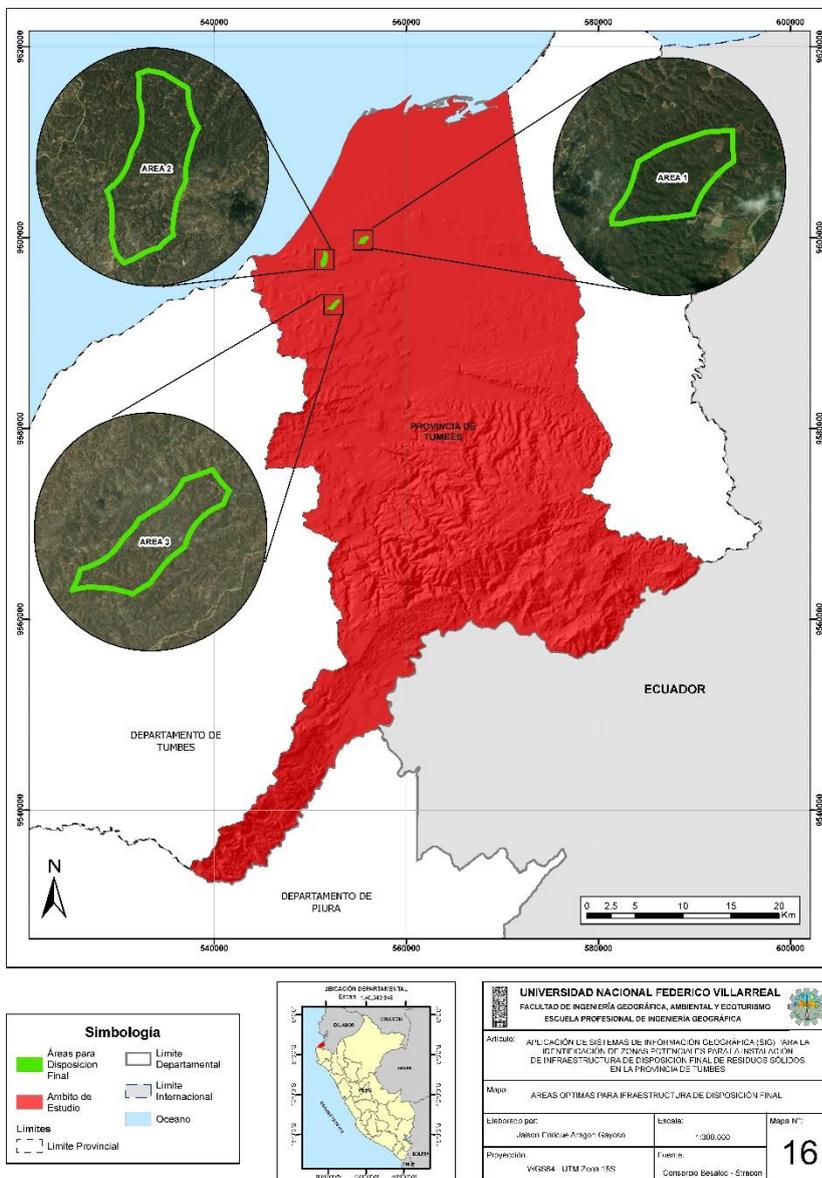


Tabla 3*Áreas óptimas para un relleno sanitario*

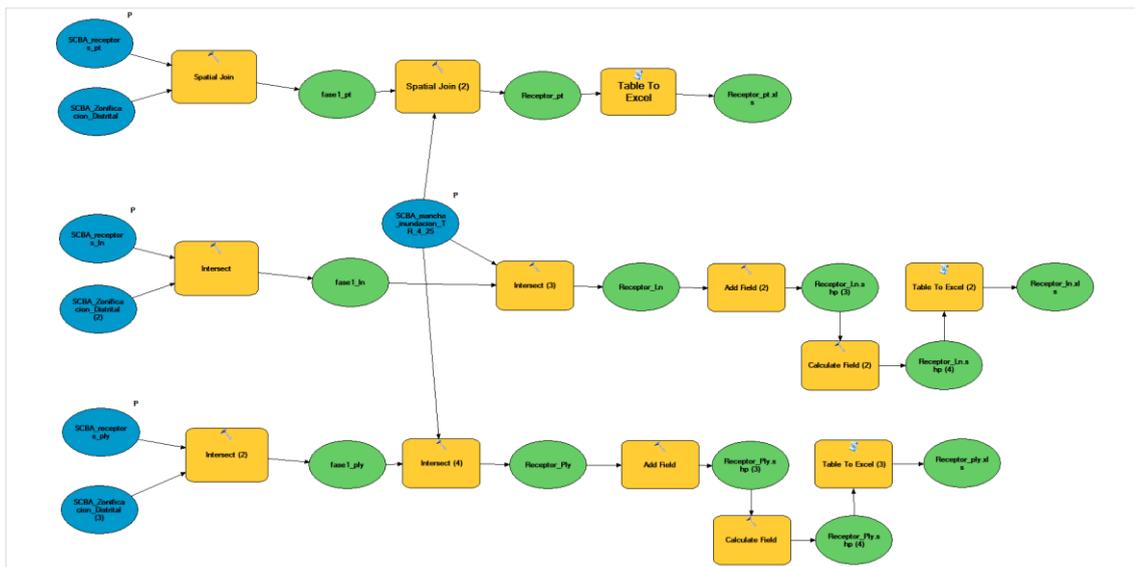
Área	Área (ha)	Este	Norte
Área 1	49.76	555542.05	9599729.03
Área 2	77.48	551472.68	9597691.01
Área 3	53.16	552485.54	9592927.91

III. APORTES MÁS DESTACABLES EN LA EMPRESA

Uno de los aportes más destacables que realicé en la empresa, fue la sistematización para la cuantificación de datos espaciales utilizando la herramienta “Model Builder” del programa ArcMap en su versión 10.8. Este modelo permite identificar a una microescala los elementos expuestos del inventario cartográfico de un área de inundación, puesto que las manchas de inundación que brindaban el Área de Modelamiento Hidráulico variaban, debido a los distintos escenarios de riesgos. Por lo cual, al establecer como parámetros las áreas inundadas, esta sistematización pudo acelerar el proceso de la cuantificación de elementos expuestos.

Figura 13

Modelo para la sistematización de cuantificación de elementos expuestos



Por otro lado, el área de Paisajismo en sus múltiples salidas al campo contaba con una base de datos, las cuales poseían una galería de fotos y datos importantes para la toma de decisiones. Para sistematizar esta información elaboré una ficha automatizada, con la ayuda de herramientas de geoprocetamiento, que permiten manejar la base de datos integrando la

información recopilada junto con la galería de fotos en una ficha a fin de que el área de Paisajismo pueda definir cuáles áreas mantener y conservar tras la construcción de las defensas ribereñas y comprometer su libre acceso. Esta ficha muestra los datos obtenidos, la ubicación y un conjunto de fotos (ver Figura 14).

Figura 14

Modelo de ficha automatizada

The image displays a software interface for a diagnostic form. On the left is a vertical sidebar with five thumbnails labeled 10 through 14. The main area is divided into several sections:

- FICHA DIAGNÓSTICO**: A header with logos for RESAICO and STRACON.
- PROYECTO**: Defensas ribereñas del río Tumbes - Paquete 02
- ELEMENTO**: Playa-balneario
- Geographic Data Table**:

CÓDIGO DE CAMPO	CÓDIGO DE GRUPO	CÓDIGO DE DISEÑO
PY-SJ-16-M2-2-840	PY	PY005
DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
TUMBES	TUMBES	SAN JACINTO
NÚMERO	MARGEN	PROGRESIVA
18	IZQUIERDA	
- ¿Adyacente o muy cerca a zona urbana?**: SI
- Disponibilidad de SICAR**: NO
- Disponibilidad de GEO LLAQTA**: SI
- ¿Hay espigón?**: NO
- ¿Hay desvío de agua?**: NO
- Actividad**: (Empty field)
- Ingresos**: 2 bochas
- Ancho del ingreso principal**: 1512
- Metros cuadrados**: 84471.28
- Promedio de pendiente de la vía de acceso a la playa**: 0%
- Observaciones**: (Empty field)
- Tipología de intervención**: Acceso a playas importantes
- Consulta a otras áreas**: (Empty field)
- Fecha de fotos**: (Empty field)
- FOTO 1**: A landscape photo showing a riverbank with sparse vegetation under a blue sky.
- FOTO 2**: A photo showing a rocky riverbank with a body of water in the foreground.
- Mapa Topográfico**: A detailed topographic map of the area, showing contour lines, the river Tumbes, and the planned beach area. A legend (SIMBOLOGÍA) identifies:
 - Progresiva río Tumbes (triangle symbol)
 - Eje Río Tumbes (dashed line symbol)
 - Playas-balnearios de río (green outline symbol)
 - Curvas de Nivel (dotted line symbol)

IV. CONCLUSIONES

- 4.1. Se aplicaron los sistemas de información geográfica (SIG) para la identificación de zonas potenciales para la instalación de infraestructura de disposición final de residuos sólidos en la provincia de Tumbes, teniendo como resultado 3 lugares óptimos con áreas de 49.76 ha, 77.48 ha y 53.16 ha. Estas áreas darán solución a la problemática de una mala disposición final de residuos sólidos, ya que son áreas óptimas para las posibles construcciones de rellenos sanitarios, lo que conllevaría a la reducción de daños a la salud de la población y mitigaría la contaminación ambiental.

- 4.2. Se aplicó un Esquema de Modelamiento Espacial utilizando la herramienta “Model Builder” del programa ArcMap en su versión 10.8., el cual permite sistematizar la información y elaborar los procesos de una manera rápida y sistemática a fin de tener óptimos resultados.

V. RECOMENDACIONES

- 5.1. Una vez determinados los sitios potenciales, es recomendable que se realicen estudios más detallados en las áreas propuestas, como son los estudios de suelos, geológicos, hidrogeológicos, meteorológicos, ambientales, etc. A fin de validar la calidad de los resultados obtenidos y poder tener una mejor perspectiva y visión más amplia para la toma de decisiones.

- 5.2. Es recomendable que la información con la que se trabaje sea a partir de estudios detallados y que sea de libre acceso al público, puesto que la mayoría de la información que se puede recopilar de las distintas plataformas o geoservidores, están a una escala muy pequeña o desfasadas en el tiempo. Es por esto que es importante que se implemente un geoportal donde se pueda visualizar y descargar este tipo de contenido.

VI. REFERENCIAS

- Akmal, T., y Jamil, F. (2021). Assessing Health Damages from Improper Disposal of Solid Waste in Metropolitan Islamabad–Rawalpindi, Pakistan. *Sustainability*, 13(5), pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/su13052717>
- Chabuk, A., Al-Ansari, N., Hussain, H., Knutsson, S., Pusch, R., & Laue, J. (2017). Combining GIS Applications and Method of Multi-Criteria Decision-Making (AHP) for Landfill Siting in Al-Hashimiyah Qadhaa, Babylon, Iraq. *Sustainability*, 9(11), pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/su9111932>
- Consortio Besalco Stracon (s.f.). *Defensas ribereñas del río Tumbes – Paquete 2*. <https://riotumbes.besalco-stracon.pe/consorcio/>
- Decreto Supremo N.º 014-2017-MINAM. Aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N.º 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (21 de diciembre de 2017). <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3695-014-2017-minam>
- Decreto Supremo N.º 029-2007-AG. Aprueban Reglamento del Sistema Sanitario Avícola (1 de noviembre de 2007). <https://www.gob.pe/institucion/senasa/normas-legales/1050290-029-2007-ag-020-2009-ag>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2000). *Conociendo Tumbes*. Oficina Técnica de Difusión Estadística y Tecnología Informática (OTDETI). https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib0437/Libro.pdf

- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2021). *Guía para la Identificación de Zonas Potenciales para Infraestructura de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales*. MINAM. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2024234-124-2021-minam>
- Nguyen, D.-T., Truong, M.-H., Ngo, T.-P.-U., Le, A.-M., y Yamato, Y. (2022). GIS-Based Simulation for Landfill Site Selection in Mekong Delta: A Specific Application in Ben Tre Province. *Remote Sens*, 14(22), pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/rs14225704>
- Nicolini, E. (2022). The Circularity of MSW in Urban Landscapes: An Evaluation Method for a Sustainable System Implementation. *Sustainability*, 14(12), pp. 1-23. <https://doi.org/10.3390/su14127358>
- Othman, A., Obaid, A., Al-Manmi, D., Pirouei, M., Salar, S., Liesenberg, V., Al-Maamar, A., Shihab, A., Al-Saady, Y., Al-Attar, Z. (2021). Insights for Landfill Site Selection Using GIS: A Case Study in the Tanjero River Basin, Kurdistan Region, Iraq. *Sustainability*, 13(22), pp. 1-29. <https://doi.org/10.3390/su132212602>
- Raza, S., Hafeez, S., Ali, Z., Nasir, Z., Butt, M., Saleem, I., Wu, J., Chen, Z., Xu, Y. (2021). An Assessment of Air Quality within Facilities of Municipal Solid Waste Management (MSWM) Sites in Lahore, Pakistan. *Processes*, 9(9), pp. 1-10. <https://doi.org/10.3390/pr9091604>
- Resolución Directoral N.º 375-2013-MTC/12. Otorgan modificación de permiso de operación de aviación comercial a la compañía Servicios Aéreos de los Andes S.A.C. (16 de mayo de 2013). <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/otorgan-modificacion-de-permiso-de-operacion-de-aviacion-com-resolucion-directoral-n-137-2013-mtc12-926696-1/>