



UNAP



**FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
EN GESTIÓN AMBIENTAL**

TESIS

**“ESTIMACIÓN DEL RECURSO ARENA BLANCA
PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LA OFERTA
EN EL CRECIMIENTO URBANO DE LA CIUDAD DE IQUITOS, LORETO,
PERÚ-2018”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

JULINHO EDILBERTO BENAVIDES RIOS

ASESOR:

Ing. JOSE FRANCISCO RAMIREZ CHUNG, Dr.

IQUITOS, PERÚ

2021



UNAP

FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA
EN GESTIÓN AMBIENTAL



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 026-CGYT-FA-UNAP-2021

En Iquitos, mediante la plataforma virtual de Google Meet, a los 06 días del mes de setiembre del 2021, a horas 09:45 a.m., se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: **"ESTIMACIÓN DEL RECURSO ARENA BLANCA PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LA OFERTA EN EL CRECIMIENTO URBANO DE LA CIUDAD DE IQUITOS, LORETO, PERÚ-2018"**, aprobado con Resolución Directoral N° 008-EFPIGA-FA-UNAP-2018, presentado por el Bachiller **JULINHO EDILBERTO BENAVIDES RIOS**, para optar el Título Profesional **DE INGENIERO (A) EN GESTIÓN AMBIENTAL** que otorga la Universidad de acuerdo a la Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal **N° 021-CGYT-FA-UNAP-2021**, está integrado por:

- Ing. **OCTAVIO DELGADO VASQUEZ, M.Sc.**
- Ing. **JORGE AQUILES VARGAS FASABI, M.Sc.**
- Ing. **RONALD TELLO FERNANDEZ, Dr.**

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: **SATISFACTORIAMENTE.**

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La Sustentación pública y la Tesis han sido: **APROBADO** con la calificación **MUY BUENA.**

Estando el Bachiller **APTO** para obtener el Título Profesional de **INGENIERO (A) EN GESTIÓN AMBIENTAL.**

Siendo las **11:50 am**, se dio por terminado el acto **ACADÉMICO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS.**

Ing. **OCTAVIO DELGADO VASQUEZ, M.Sc.**
Presidente (a)

Ing. **JORGE AQUILES VARGAS FASABI, M.Sc.**
Miembro

Ing. **RONALD TELLO FERNANDEZ, Dr.**
Miembro

Ing. **JOSE FRANCISCO RAMIREZ CHUNG, Dr.**
Asesor

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Tesis aprobada en sustentación pública el 06 de setiembre del 2021, mediante la plataforma de Google Meet, en la ciudad de Iquitos – Perú, para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL



Ing. OCTAVIO DELGADO VASQUEZ, M.Sc.

Presidente (a)

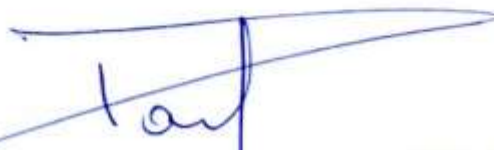


Ing. JORGE AQUILES VARGAS FASABI, M.Sc.

Miembro

Ing. RONALD TELLO FERNANDEZ, Dr.

Miembro



Ing. JOSE FRANCISCO RAMIREZ CHUNG, Dr.

Asesor



Ing. FIDEL ASPAÑO VARELA, M.Sc.

Decano



DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado en primer lugar al padre celestial Dios por derramar sus bendiciones sobre mí, llenarme de voluntad y amor.

A mis padres Silvia y Edilberto, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y perseverancia, por el apoyo incondicional en mi formación académica para salir adelante.

A mis hermanos (Carolina, Allisson, Jaime) por su apoyo constante y haber fomentado en mí el deseo de superación y lucha para alcanzar mis metas.

Gracias a la confianza de mi familia he logrado culminar este tema de investigación el cual marca una etapa más de vida personal y profesional.

A mis tíos, que siempre estuvieron motivándome con sus buenos consejos en momentos dificultosos de mi vida.

Julinho Benavides Rios

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), Alma Mater por la sólida formación profesional.

Al Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) por ofrecerme y brindarme la información, datos y un espacio para la ejecución de mi investigación.

Al Ing. José Francisco Ramírez Chung asesor de la investigación por su profesionalismo y amistad para guiarme en cada uno los procesos de elaboración del proyecto de investigación; por su tiempo, paciencia y virtud de enseñanza.

Al Ing. Juan José Palacios Vega co-asesor de la investigación en el IIAP, agradecerle sincera y especialmente por aceptarme, por su dirección, apoyo y confianza en mí persona; su capacidad para guiar mis ideas han sido aportes invaluable en el desarrollo de esta tesis, así como, en mi formación como investigador y profesional.

A mis colegas María Marín, Sol Sánchez, Elmer Méndez, Jhon Tello y Ander Díaz por su amistad, apoyo moral, emocional, aportes científicos y colaboración.

A los investigadores del IIAP Blgos. Ricardo Zárate Gómez y Pedro Pérez Peña e ingeniera Ximena Tagle Casapia por su enseñanza brindada durante el desarrollo de la presente tesis.

Muchas gracias

ÍNDICE

	Páginas
PORTADA.....	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	ii
JURADO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Bases teóricas.....	14
1.3 Definición de términos básicos.....	19
CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	22
2.1 Formulación de la hipótesis.....	22
2.2 Variables y su operacionalización.....	24
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	26
3.1 Área de estudio.....	26
3.2 Tipo y diseño.....	29
3.3 Diseño muestral.....	29
3.4 Procesamiento de recolección de datos.....	30
3.5 Procesamiento y análisis de los datos.....	35
3.6 Aspectos éticos.....	38
CAPITULO IV: RESULTADOS.....	40
4.1 Estimación del recurso arena blanca y su disponibilidad.....	40
4.2 Influencia de la disponibilidad de la arena en el aumento de las áreas construidas en la ciudad de Iquitos.....	44
CAPITULO V: DISCUSIÓN.....	46
5.1 Estimación del recurso arena blanca y su disponibilidad.....	45
5.2 Influencia de la disponibilidad de la arena en el aumento de las	

Áreas construidas en la ciudad de Iquitos.....	48
CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....	51
CAPITULO VII: RECOMENDACIONES.....	52
CAPITULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN.....	53
ANEXOS.....	59
Anexo 1. Imágenes de satélite Landsat recopiladas de la plataforma Google Earth Engine.....	60
Anexo 2. Panel fotográfico de trabajo de campo.....	70
Anexo 3. Ubicación de las canteras en coordenadas UTM, Zona 18 Sur.....	76
Anexo 4. Productos finales del procesamiento de las imágenes UAV, Ortomosaicos y Modelos digitales de elevación.....	74
Anexo 5. Modelos para el cálculo de altura de potencia promedio (Máximos y mínimos).....	84
Anexo 6. Tabla de resumen de potencias de las canteras de arena blanca generados a partir de modelos máximos y mínimos.....	88
Anexo 7. Ubicación de las canteras de extracción de arena blanca en el área de estudio, programa QGIS.....	89
Anexo 8. Superficie de extracción de arena blanca por año, periodo 1999-2018 a partir del índice NDTI.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de variables, indicadores e índices.....	25
Tabla 2. Superficie acumulada de la clase construido según Palacios et al (2019).....	34
Tabla 3. Datos técnicos de imágenes de satélites utilizadas.....	36
Tabla 4. Superficies de extracción del recurso arena blanca por año...	40
Tabla 5. Volúmenes de áreas explotadas de arena blanca por año.....	41
Tabla 6. Superficie acumulada de la clase construido según Palacios et al (2019) y simuladas.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	28
Figura 2. Capas de información a) Geología y b) Fisiografía del área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta.....	31
Figura 3. Mapa de distribución de arena blanca, modelo de Distancia Inversa Ponderada (IDW) Tello (2019).....	33
Figura 4. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la ciudad de Iquitos; a), b) y c) datos clasificados a partir de umbrales de NDVI años 1999, 2009 y 2019 respectivamente (imágenes de satélite Landsat).....	34
Figura 5. Flujo de procesamiento y análisis de datos.....	35
Figura 6. Mapa de distribución probable del recurso arena blanca generado en Maxent.....	42
Figura 7. Modelo ajustado de regresión lineal y predicción del año horizonte de agotamiento del recurso arena blanca.....	45

RESUMEN

Los depósitos de arena blanca de las afueras de la ciudad de Iquitos son un recurso que contribuye al sector construcción en esta parte de la Amazonía Peruana. La explotación de este recurso es muy lucrativa y se realiza con un fuerte impacto sobre los bosques de varillales. En los últimos 20 años las áreas de extracción y el volumen comercializado de arena blanca han ido en aumento. Ante esto se carece de información relevante y específica sobre el límite de agotamiento del recurso arena blanca, esta información sería muy importante para planificar el desarrollo territorial de la ciudad de Iquitos. La presente investigación tiene por objetivo, estimar el recurso arena blanca y su disponibilidad mediante datos de sensores remotos, así como la influencia en el aumento de las áreas construidas en la ciudad de Iquitos, en el periodo 1999-2018. Para lo cual se generaron modelos de altura de potencia promedio, de volumen extraído y de recurso probable, con los que se pronosticó el límite de agotamiento del recurso arena blanca y se midió la relación con las áreas acumuladas construidas de la ciudad de Iquitos. La relación entre el volumen extraído del recurso arena blanca y las áreas construidas acumuladas en la ciudad de Iquitos es positiva y muy fuerte ($r=0.9757$ y $p<0.0001$), el límite de agotamiento del recurso arena blanca se calculó al año 2043. El aumento del área construida influencia fuertemente a la pérdida del recurso arena blanca.

Palabras clave: *modelos espaciales, recurso arena blanca, teledetección, disponibilidad de la reserva de arena blanca, crecimiento urbano, gestión ambiental.*

ABSTRACT

The white sand deposits on the outskirts of the city of Iquitos are a resource that contributes to the construction sector in this part of the Peruvian Amazon. The exploitation of this resource is very lucrative and is carried out with a strong impact on the varillales forests. In the last 20 years the extraction areas and the volume of white sand sold have been increasing. Given this, there is a lack of relevant and specific information on the limit of depletion of the white sand resource, this information would be very important to plan the territorial development of the city of Iquitos. The objective of this research is to estimate the white sand resource and its availability through remote sensing data, as well as the influence on the increase in built areas in the city of Iquitos, in the period 1999-2018. For which, models of average power height, extracted volume and probable resource were generated, with which the limit of depletion of the white sand resource was predicted and the relationship with the accumulated built areas of the city of Iquitos was measured. The relationship between the volume extracted from the white sand resource and the accumulated built areas in the city of Iquitos is positive and very strong ($r=0.9757$ and $p<0.0001$), the limit of depletion of the white sand resource was calculated in 2043. The increase of the built area strongly influences the loss of the white sand resource.

Keywords: *spatial models, white sand resource, remote sensing, availability of the white sand reserve, urban growth, environmental management.*

INTRODUCCIÓN

La presente investigación trata sobre el recurso arena blanca de las afueras de la ciudad de Iquitos. Esta se da en forma natural en depósitos originados por la dinámica de los ríos a través del tiempo. La extracción de este recurso influye directamente en la industria de la construcción. Actualmente la oferta y demanda de este recurso implica en el crecimiento económico de la ciudad de Iquitos. Sin embargo, debido al ritmo actual de extracción de la arena blanca, no se cuenta con información precisa sobre el horizonte de agotamiento y como el aumento de las áreas construidas en la ciudad de Iquitos influyen en la extracción de la arena blanca.

La extracción de arena blanca se caracteriza por ser una actividad importante realizada a cielo abierto. Su formalización data desde 20 años atrás; así mismo, los depósitos de arena blanca son el soporte de los bosques de varillales; haciendo que su explotación afecte también sobre los bosques mencionados, generando conflictos socioambientales.

La presente investigación es de interés debido a la importancia del objeto de estudio como recurso no renovable; de gran oferta y demanda en el mercado local, siendo el principal insumo en el sector constructivo en la ciudad de Iquitos. Así mismo, en lo académico el interés recae en la aplicación y uso de técnicas, instrumentos, tecnología y equipos en los procesos de captura, procesamiento y generación de información de calidad sobre la estimación y predicción del agotamiento del recurso. En lo profesional la principal motivación fue contribuir a la planificación y control del recurso arena blanca, así como, de la actividad derivada de este, para lograr un desarrollo

ambiental sostenible y económico local, así como, la competitividad territorial del área de estudio.

En la actualidad se puede pronosticar con alta probabilidad un determinado recurso mineral **Liu et al** ⁽¹⁾, **Zhang et al** ⁽²⁾, **Tello et al** ⁽³⁾, para esto, las técnicas de modelamiento espacial integradas en programas de Sistemas de Información Geográfica, permiten generar cartografía digital en base a datos generados a partir de un conocimiento previo de la ubicación espacial de la presencia o ausencia del recurso y en datos generados a partir de un conocimiento experto **Díaz et al** ⁽⁴⁾. Modelos como los geoestadísticos o de máxima entropía se han aplicado con mucho éxito en otros lugares, sin embargo, solo en un estudio se aplica modelos como Kriging e IDW para pronosticar tipos de suelo en las afueras de la ciudad de Iquitos **Tello et al** ⁽³⁾.

Las imágenes de satélite Landsat proveen de datos con valores espectrales que permiten diferenciar objetos en un determinado territorio, así como diferenciar por tipos de componentes del suelo **Liu et al** ⁽¹⁾, esto debido a la cantidad de bandas espectrales que poseen. En la actualidad los datos satelitales pueden ser procesados *online* en plataformas como Google Earth Engine (GEE) en donde mediante códigos de programación se procesan grandes volúmenes de datos satelitales y utilizando series históricas de 40 años atrás, lo cual permite generar mapas digitales temáticos; como los de suelos de manera mucho más rápida que la forma tradicional **Padarian et al** ⁽⁵⁾.

Las imágenes producidas por equipos aéreos no tripulados (UAV) permiten obtener datos tridimensionales muy precisos, como los modelos de

elevación digital del terreno (DEM), insumos importantes para la cuantificación del volumen extraído de minerales en canteras, debido a que se basan en principios fundamentales de la fotogrametría y la topografía automatizada **Florentino et al** ⁽⁶⁾, **Fernández et al** ⁽⁷⁾. Esta tecnología integrada con herramientas en SIG permite cartografiar horizontal y verticalmente un territorio; en la Amazonía peruana es muy poco utilizada siendo una tecnología recientemente introducida y utilizada en la estudios sobre la identificación y cuantificación de comunidades de especies vegetales, lo cual se pudiera replicar en otros campos de investigación, como en la identificación de los tipos de suelos, siguiendo flujos de trabajo de captura de datos en campo y procesamiento **Tagle et al** ⁽⁸⁾, **Tagle et al** ⁽⁹⁾ Por lo anteriormente mencionado la presente investigación tiene por objetivo estimar el recurso arena blanca y su disponibilidad mediante datos de extracción y sensores remotos, así como la influencia en el aumento de las áreas construidas en la ciudad de Iquitos, en el periodo 1999-2018. Así mismo, se definen dos objetivos específicos: 1) Estimar la disponibilidad del recurso arena blanca a partir de datos de extracción e imágenes de sensores remotos en el periodo 1999-2018 y 2) Medir el grado de influencia de la extracción del recurso arena blanca debido al aumento de áreas construidas en la ciudad de Iquitos en el periodo 1999-2018. Para lo cual se generaron modelos de altura de potencia promedio, de volumen extraído y de recurso probable, con los que se pronosticó el límite de agotamiento debido a la extracción del recurso arena blanca y se midió la relación con las áreas acumuladas construidas de la ciudad de Iquitos.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Según **Taype et al** ⁽¹⁰⁾, en su proyecto de tesis de grado, de la Universidad Nacional del Centro del Perú, escuela de Ingeniería de Minas, denominado “Diseño de explotación de cantera para agregados, distrito de Huayucachi” menciona que las reservas de la cantera son conocidas como el volumen del material extraíble de una determinada área que cumple con las características para su explotación para la industria de la construcción civil. Su cálculo se basa en estudios preliminares como exploraciones geológicas, topográficas, estudio de suelos, caracterización del material, etc.

Según **Castro et al** ⁽¹¹⁾, la vida útil de explotación de la cantera, depende del ritmo de extracción, por ello debe fijarse mediante un análisis técnico y económico que justifique la oferta y la demanda del sector construcción, así como las instalaciones de cantera (extracción, carga y transporte) tengan suficiente capacidad de extracción por tonelaje que se prevé.

Según **Guerrero et al** ⁽¹²⁾, es muy importante utilizar técnicas fotogramétricas para la recopilación y modelamiento en 3D de datos de campo de geología y minería a partir de imágenes de alta resolución. Además, los autores indican que los dispositivos aéreos operados a distancia (drones) y herramientas informáticas para el procesamiento de las imágenes georreferenciadas adquiridas por estos equipos en la actualidad vienen teniendo mucho éxito, debido a su constante desarrollo y son muy utilizados para los cálculos

volumétricos, la obtención de ortomosaicos, modelos digitales de elevación (DEM) y modelos digitales de Superficie (MDS).

Según **Gavriletea et al** ⁽¹³⁾, en su estudio sobre los impactos ambientales de la explotación de arena, define a este recurso como indispensable para cualquier sociedad, comparable en la misma medida con el agua dulce y que no requiere de conocimientos, habilidades o tecnología compleja para su producción. Los autores concluyen en base a tendencias, quienes son los actores de la producción e impactos asociados en el proceso de explotación, recomiendan como debe realizarse la extracción de arena con el menor daño ambiental y restauración al finalizar la actividad.

En **Dirección Regional de Energía y Minas de Loreto et al** ⁽¹⁴⁾ un diagnóstico sobre la minería no metálica, se menciona que ya se cuenta con un administrado formal, lo que evidencia un avance en la formalización de la actividad de extracción en la zona de la carretera Iquitos Nauta, trabajando articuladamente con las entidades de supervisión y fiscalización, lo cual permite tener una información base de ubicación de canteras de arena blanca. Teniendo como resultados el aumento de petitorios para explotación minera no metálica, que en el 2008 fueron un total de 4 y en el año 2015 un total de 31 petitorios mineros no metálicos, de los cuales 8 ya poseen derecho minero y que en la actualidad ya se cuenta con 55 petitorios mineros y un aproximado de 20 poseen el derecho minero.

En **Timoteo et al** ⁽¹⁵⁾ y su proyecto de tesis de grado, de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, escuela de Ingeniería

en Gestión Ambiental, denominado “Propuesta de contingencia para mitigar los riesgos por efecto de extracción de la actividad minera no metálica (arena blanca) en la carretera Iquitos - Nauta”, propone medidas correctivas para tratar de eliminar, mitigar y evaluar los riesgos socio ambientales identificados en la extracción por actividades mineras metálicas y no metálicas. Concluyendo que los propietarios de las canteras incumplen las normas y leyes vigentes, debido a su estado de informalidad a lo largo de la carretera, evadiendo los tributos que por obligación deben pagar, además de afectar el equilibrio del ecosistema.

En **Álvarez et al** ⁽¹⁶⁾ se indica que en el Marco del Proyecto de la Micro Zonificación Ecológica Económica, para el desarrollo sostenible del área de influencia de la Carretera Iquitos-Nauta, los bosques sobre arena son ecosistemas sumamente especiales, poseen una alta diversidad de suelos y diferentes condiciones de drenaje, así mismo, por poseer una gran diversidad biológica y procesos de evolución neo tropical es un lugar ideal para desarrollar investigación, actividades de conservación, educación ambiental y turismo de naturaleza. Actualmente estos ecosistemas están sufriendo un fuerte impacto en la Amazonía Peruana, están en grave peligro de desaparecer a corto plazo, por causa de la gran presión sobre los recursos naturales. El autor concluye que se debe conocer las tendencias a la deforestación, extracción para comercialización, degradación y desertificación dada su cercanía a la ciudad de Iquitos.

En **Demattê et al** ⁽¹⁷⁾ los autores indican que es muy importante utilizar técnicas de teledetección para cuantificar el recurso suelo en zonas tropicales según sus atributos físicos y químicos (arena, limo, arcilla, pH), partiendo de esta premisa el método utilizado consistió en evaluar datos espectrales de imágenes de satélite Landsat 7 ETM+, obteniendo resultados óptimos en la diferenciación espectral de arena, limo y arcillas, concluyendo que los resultados se pudieran extrapolar a otros lugares de condición remota.

En **Godoy et al** ⁽¹⁸⁾ los autores mencionan la importancia de establecer estándares mínimos a partir de parámetros y estrategias de estimaciones de recursos y reservas mineras. Así mismo, explica cómo obtener una estimación sin sesgo en volúmenes, tonelajes y cantidad del mineral a partir de la categorización de los recursos medido, indicado e inferido; de acuerdo al nivel de confianza. La metodología para la estimación del recurso está basada en información estadística convencional (kriging y sus variantes) procesados en plataformas SIG.

En **Liu et al** ⁽¹⁾ se hace mención a la importancia de contar con mapeos de exploración o prospectiva de recursos minerales para distinguir áreas de alto potencial de depósitos minerales y minimizar riesgos dentro de la industria minera, los autores aplican un modelo de máxima entropía (Maxent), teniendo como premisa que la distribución de los recursos minerales utilizando un conjunto de datos geoespaciales (geológicos, geofísicos y geoquímicos) siguen patrones tan similares como en la predicción de la distribución

geográfica de la biodiversidad. El modelo incluye variables ambientales y de control de mineral disponibles y resulta más probable y con menos sesgo la estimación de áreas de depósitos minerales similares en otros lugares.

En **Demattê et al** ⁽¹⁷⁾ los autores mencionan la importancia de utilizar técnicas de teledetección para mapear y correlacionar datos del suelo a partir de las imágenes de satélite Landsat 5 TM, mediante datos de reflectancia determinan los atributos del suelo, para comprender de forma óptima la superficie del suelo. Los autores concluyen que el procedimiento de minería de datos multitemporales contribuye con información para la recuperación del suelo, a través del mapeo digital del suelo. Esto ayuda a abordar temas de conservación del suelo, el monitoreo ambiental, asignación de muestras de suelo, entre otras temáticas.

En **Zhang et al** ⁽¹²⁾ los autores mencionan que los modelos predictivos de Máxima Entropía son importantes y dan buenos resultados en el mapeo del potencial mineral. Indican además que estos modelos necesitan de datos de ubicación, distribución y ocurrencia de los recursos minerales, así mismo se pueden utilizar de manera efectiva para un mapeo potencial de áreas de ocurrencias minerales.

En **Palacios et al** ⁽¹⁹⁾ un estudio de pérdida de cobertura por el aumento de áreas urbanas en la ciudad de Iquitos, los autores indican que los modelos predictivos integrando imágenes de satélite y SIG permiten obtener escenarios a futuro moderados y sustanciales sobre el cambio de cobertura y uso de la tierra, concluyendo que esta

información es importante para la planificación y gestión de los territorios aledaños a la ciudad de Iquitos.

En **Dai et al** ⁽²⁰⁾ los autores indican que existe fuerte diferenciación de la respuesta del conjunto de índice espectral utilizando bandas de ondas de las imágenes de satélite Landsat y Sentinel 2. La reflectancia de las bandas individuales es similar entre categorías, y los índices de vegetación como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Vegetación Ajustado del Suelo (SAVI) son incapaces de tal diferenciación. Sin embargo para estimación del espectro de referencia como el de imagen, el índice de labranza diferencial normalizado (NDTI) basado en las dos bandas infrarrojas de onda corta de los instrumentos Landsat y Sentinel se desempeñó mejor entre todas las mediciones espectrales del suelo de tipo limo y arcilla con los lugares de espectros de campo húmedo y secado al aire utilizando las bandas SWIR.

En **Dai et al** ⁽²¹⁾ los autores investigaron las concentraciones de metales pesados (Cr, Cu, Cd, Pb y Zn) en la superficie y los sedimentos del núcleo del lago de agua dulce más grande de China, el lago Poyang y fue conveniente realizar un análisis geoestadístico multivariable e identificación de fuentes de metales pesados en los sedimentos del lago Poyang en China, el primer paso fue elaborar un mapa de predicción geoestadística de metales pesados y una mayor extracción de datos, luego se hizo una relación interna de los metales pesados usando un mapa y finalmente se agrupó K-means de SOM para completar y poder encontrar la distancia euclidiana.

Según **Chira et al** ⁽²²⁾ la determinación del potencial minero del Perú según ensayos realizados, productos de trabajos de exploración y estudios técnicos cartográficos y métodos de geología estructural, hace referencia a la riqueza minera metálica y no metálica, estos potenciales fueron desarrollado por el INGEMMET con más información geológica en el 2014, donde efectivamente se destaca el potencial minero, a partir de un procedimiento que sirva como herramienta para realizar una zonificación económica ecológica que pondere adecuadamente nuestra riqueza mineral.

Según **Meza et al** ⁽²³⁾ las estimaciones de reservas en la industria minera (metálica o no), son muy importantes debido a que ayudan a tener una explotación eficiente y productiva. Tales estimaciones deben realizarse durante las evaluaciones de los depósitos del recurso mineral y en todas sus etapas de desarrollo de la actividad.

Según **Vásquez et al** ⁽²⁴⁾, en su investigación realizada tuvo como objetivo determinar la influencia del cálculo de reservas de las areniscas cuarzosas de la Cantera Cachachi. Así mismo, se realizó cálculos de reservas, cubicación e influencia de la ley de media en el diseño de los parámetros operativos. Se realizaron 4 estaciones geomecánicas utilizando el método de Bienawski, 5 calicatas y 9 perfiles geológicos, donde se cubicaron en cada uno de ellos un total de 44 6952 275 TM de arena en la Cantera.

Según **Barbosa et al** ⁽²⁵⁾ en su estudio de cambio de cobertura y uso del suelo en la Mina Leao II, estado de Rio Grande do Sul, utilizando mapas de pendientes a partir de modelos digitales del terreno,

imágenes LANDSAT 5 TM y datos topográficos. Los autores obtuvieron como resultados mapas temáticos que ubican y clasifican sitios para la extracción de recurso minero. Se aplicaron métodos geoestadísticos para la elaboración del mapa de cobertura y uso del suelo, donde se reclasificaron imágenes mencionadas, luego se realizó un análisis de continuidad espacial y estimaciones del área de estudio mediante utilizando el modelo kriging ordinario, concluyendo que esta información es importante para estudios de teledetección utilizado para la planificación de los recursos mineros.

En **Alvarado et al** ⁽²⁶⁾ los autores aplican métodos de estimación de reservas y recursos mineros basados en parámetros geológicos, económicos y técnicas mineras mediante métodos convencionales (seccional poligonal e inversa de la distancia), con el fin de calcular el tamaño, la forma y distribución de las reservas. Así mismo presentan características espaciales de los datos capturados in-situ (kriging y sus variantes). Para el cálculo de reserva primero se digitalizará el cuerpo del mineral y subdividirlos en diversos métodos en segmentos o bloque diferentes; luego se calcula el volumen utilizando formulas geométricas del cuerpo del mineral.

Según **Barahona et al** ⁽²⁷⁾, el investigador elabora un diseño de explotación y cierre de mina de la cantera “José”, para el diseño de explotación se inició con la estimación de reservas mineras por el método de los perfiles utilizando topografía y límites de la concesión. Asimismo se tomó muestras del agregado grueso y fino para determinar las propiedades físico-mecánicas. Se utilizó un modelo

tecnológico más productivo, eficiente y precisa; modelado 3D del cierre de mina, con el software Slide se hizo perfiles pseudoestáticos y pseudodinámicos para determinar el factor de seguridad de los bancos en receso, además de indicar un plan de cierre final de la mina.

En **Glacken et al** ⁽²⁸⁾ los autores explican el proceso de estimación de recursos que implica la definición de restricciones de mineralización o dominios geológicos, el análisis estadístico y/o geoestadístico de los datos de la muestra y la aplicación de una técnica de interpolación de leyes adecuada. Los modelos de recursos del futuro incorporarán diversos tipos de datos, recopilados y procesados en tiempo real, asimismo mencionan la tecnología y la introducción de algoritmos, influenciarán en la estimación de recursos, por lo cual se afirma que le poder computacional, en el procesamiento de datos y generación de gráficos, contribuirán en la generación de modelos de desarrollo en tiempo real y los “sobrevuelos” aéreos y subterráneos aumentarán la velocidad de las funciones del modelado.

Según **IIAP et al** ⁽²⁹⁾ los estudios de e Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) a nivel micro, obtuvieron un documento técnico que contribuirá en la planificación y ordenamiento del territorio con una visión de desarrollo sostenible, identificando las áreas con potencial en biodiversidad, biofísico, turísticos, actividades productivas y/o extractivas, cultivos temporales, piscicultura, etc. Es importante mencionar la vegetación en el área de estudio, predominan los bosques de varillal, con árboles rectos y delgados que alcanzan los

25 m de altura acentuados sobre suelos de arena blanca, pobres en nutrientes.

Según **Luna et al** ⁽³⁰⁾ la legislación minera vigente, la solicitud de concesiones mineras en función del tipo de sustancia se limita a dos modalidades: metálicas y no metálicas. El Perú tiene un gran potencial minero no metálico que no viene siendo aprovechado, así como también que solo se explotan a gran escala los yacimientos de fosfatos y otros minerales no metálicos en distintas regiones del País.

Según **Häberer et al** ⁽³¹⁾ las empresas dedicadas a la explotación de minerales no metálicos; en su mayoría pequeñas empresas artesanales, las cuales abastecen al mercado local con arena y agregados para la construcción. Con la excepción de unas cuantas empresas grandes, que por años no han fomentado la conciencia ambiental acerca de los problemas y consecuencias que ocasiona la actividad minería no metálica.

Según **Álvarez et al** ⁽³²⁾ en las guías mineras del Ministerio de Energía y Minas del año 2005 a través de la Dirección General de Minería, debido al aumento del ritmo de explotación de los minerales no metálicos, fundamentalmente en las cercanías a zonas urbanas y periurbanas. Asimismo, le corresponde al Estado calificar como una actividad minera no metálica, y se requiere de su autorización mediante la concesión minera, donde se otorga en extensiones de 100 a 1,000 hectáreas en cuadrículas. Partiendo de esta premisa esta norma contribuye en la planificación en el desarrollo urbano, con el fin de ejecutar planes y programas elaborados para tal fin.

1.2 Bases teóricas

Planimetría y altimetría

Según **Meza et al** ⁽²³⁾ la altimetría es la parte de la topografía que se encarga de la medición de altura (Z), los métodos y técnicas para representar el relieve del terreno, así como para determinar la altura de un punto, también conocida como cota. Mientras que la planimetría (X, Y) es la representación a escala del terreno sobre una superficie plana. Con la combinación de estas dos ramas, se logran obtener las curvas de nivel que ayudan a interpretar la configuración del terreno, para posteriormente obtener secciones.

Fotogrametría

La palabra fotogrametría se deriva de tres raíces griegas: FOTO - Que significa luz. GRAMA - Que significa dibujar. METRO - Que significa medir. "Mediciones graficas por medio de luz".

Según **Meza et al** ⁽²³⁾ se encarga de la obtención de medidas sobre la forma, dimensión y posición de los objetos a partir de imágenes fotográficas aéreas de arena blanca. Así también se obtiene la configuración del terreno, que se traduce a las curvas de nivel.

Una vez que se tienen las curvas de nivel, para obtener los volúmenes correspondientes el cálculo se realiza con un método que se conoce como Método de la sección media del cual se hablará más adelante; pero consiste en obtener las diferentes elevaciones en el terreno y así proyectar un perfil.

Estación total o Levantamiento Topográfico

Según **Meza et al** ⁽²³⁾ es un sistema eléctrico-óptico que sirve para la medición de ángulos y distancias que se calculan mediante una onda electromagnética proveniente del propio sistema. La onda rebota en un prisma de cristal ubicado en el punto a medir o en un objeto sólido; el instrumento calcula el tiempo de viaje de la onda y así obtiene las coordenadas del punto con respecto a un sistema local o arbitrario.

Este sistema tiene una gran ventaja sobre los sistemas satelitales, la cual consiste en que pueden ser utilizados en trabajos de minería.

En el campo al momento del posicionamiento GPS es necesario marcar los puntos de control de una manera que sean identificables a la hora de visualizar las fotografías, es recomendable utilizar tela o pintura, de un color diferente al que existe en el suelo, formando una cruz en el punto de control. Debe ser identificable debido a que, la coordenada de precisión milimétrica que se registró en campo será asignada al pixel que representa el punto de control en la imagen.

Otros factores que se deben tener en cuenta a la hora de ubicar nuestros puntos de control son: no deben existir obstáculos que me interfieran la señal entre el satélite y el GPS (vegetación alta, montañas muy grades, edificios etc.), no debe estar cerca de transformadores de energía ni antenas de señales de celular, **Leica Geosystems et al** ⁽³³⁾.

Concesión Mineras No Metálicas.

En el 2002, a través de la Ley N° 27651 “Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y la Minería Artesanal”, el Estado Peruano, establece que los pequeños productores mineros y mineros artesanales deben presentar ante el MINEM, el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o el Programa de Adecuación de Manejo Ambiental (PAMA), además, concesiones mineras no metálicas (destinadas a la exploración y explotación de materiales de construcción y otros agregados) transfieren las funciones de evaluación y aprobación de dichos estudios a las Direcciones Regionales de minería. Esta Ley marca el inicio de la formalización minera en el Perú, la misma que se reglamenta con el DS 013-2002-EM, **Álvarez et al** ⁽³²⁾, a través de la cual el Estado Peruano reconoce la existencia de la MAPE, e inicia un registro para pequeños productores mineros y mineros artesanales.

En el año 2010, la Comisión Técnica Multisectorial, creada por Decreto Supremo N° 045-2010-PCM, realizó un Plan Nacional para la Formalización de la minería artesanal, basado en dos componentes: el primero, haciendo partícipes de este proceso a los actores vinculados a dicha actividad y el segundo, logrando que los mineros artesanales formalizados desarrollen sus actividades de manera sostenible, este plan tenía una vigencia de 05 años y fue aprobado mediante,

http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=4&idPublicacion=50 (34).

Para el inicio de las actividades de Exploración el titular minero deberá obtener una *Certificación Ambiental, Certificado de Operación Minera y presentar Monitoreos Ambientales*. Asimismo, esta certificación para su aprobación, se clasifican en categorías, las mismas que se definen por la intensidad de la actividad que es afectada por su ejecución.

La Exploración de Categoría A; comprende actividades de exploración minera, que causan ligera o ninguna alteración a la superficie, tales como estudios geológicos, geofísicos, levantamientos topográficos y la recolección de pequeñas cantidades de muestras de rocas y minerales de superficie, utilizando instrumentos o aparatos que pueden ser transportados a mano o sobre la superficie sin causar mayor alteración a la tierra que la causada por el uso ordinario de personas ajenas a la exploración.

Actividades de Explotación/Beneficio

Para iniciar la actividad de explotación los titulares mineros deberán solicitar:

Certificación Ambiental

Estudio de Impacto Ambiental (EIA): estudios que deben efectuarse en proyectos para la realización de actividades en concesiones mineras, de beneficio y de transporte minero, que deben evaluar y describir los aspectos físico naturales, biológicos, socio-económicos y culturales en el área de influencia del proyecto, con la finalidad de

determinar las condiciones existentes y capacidades del medio, analizar la naturaleza, prever los efectos y consecuencias de la realización del proyecto, indicando medidas de previsión y control a aplicar para lograr un desarrollo armónico entre las operaciones de la industria minera no metálica y el medio ambiente.

Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA): Tienen como objetivo que los titulares de la actividad minera que ya venían operando, lograrán reducir sus niveles de contaminación ambiental hasta estar por debajo de los niveles máximos permisibles.

Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIASd): Incluye los proyectos cuya ejecución puede originar impactos ambientales moderados y cuyos efectos negativos pueden ser eliminados o minimizados mediante la adopción de medidas fácilmente aplicables. Los titulares mineros Calificados como Pequeño Productor Minero (PPM) presentan este tipo de estudio.

Declaración de Impacto Ambiental (DIA): Incluye aquellos proyectos cuya ejecución no origina impactos ambientales negativos de carácter significativo. Los titulares mineros calificados como Productor Minero Artesanal (PMA) presentan este tipo de estudio.

Explotación de canteras de materiales de construcción

El titular del derecho deberá cumplir con los requisitos que señala la normativa, para la explotación de canteras para materiales de construcción.

Plan de Cierre

El Plan de Cierre considera actividades para restaurar las áreas degradadas, dejar libre el área de influencia directa de las actividades mineras luego de finalizadas las actividades con el objeto de garantizar la estabilidad física y química de las áreas en operación. Al finalizar las obras las diferentes instalaciones temporales (campamento, patio de maquinarias, canteras, accesos temporales, etc.) utilizadas serán retiradas y las áreas que fueron ocupadas serán reconvertidas y devueltas a su estado inicial

De forma complementaria, es importante que, una vez concluida la utilización de las diferentes instalaciones temporales, el titular deba proceder a efectuar un acondicionamiento y desmantelamiento final de todas sus instalaciones.

1.3 Definición de términos básicos

Arena: Sedimento compuesto por granos minerales de tamaño entre 0.062 y 2 mm, que se origina por la meteorización de las rocas y que ha sido seleccionado por los agentes de transporte. Puede tener cualquier composición mineralógica, **MEM et al** ⁽³⁵⁾.

Cantera: Lugar de donde se extrae materiales como piedra, grava, arena u otros análogos para obras de distinta naturaleza, **Acosta et al** ⁽³⁶⁾.

Concesión Minera: Es el acto administrativo por el cual el estado confiere a una persona un derecho real para la exploración y la explotación de recursos minerales dentro de un área de terreno superficial y subsuelo, que se extraigan conforme a lo establecido en la resolución que concede el título de concesión, **Acosta et al** ⁽³⁶⁾.

Material de Construcción: Son materiales pétreos naturales seleccionados; materiales sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, o materiales producidos por la expansión, calcinación o fusión excipiente, que se mezclan con cemento y agua, para formar concreto, **MME et al** ⁽³⁷⁾.

Recurso Mineral: Son todos los materiales provenientes de la naturaleza que sirven al hombre para desarrollar su bienestar. Los recursos minerales se clasifican en metálicos y no metálicos. Entre los no metálicos se tienen los siguientes: caolín, arenas, rocas en general, etc. **Acosta et al** ⁽³⁶⁾.

Reserva Minera: Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido o Indicado. Incluye los factores de dilución y tolerancias por pérdidas que pueden ocurrir cuando se explota el

mineral. Considera que se han llevado a cabo evaluaciones apropiadas que podrían incluir estudios de factibilidad e incluyen tomar en cuenta factores mineros, metalúrgicos, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. En el momento de la presentación del informe estos cálculos.

Reserva Probable: Volumen de mineral que se calcula en base a la información menos exhaustiva que el caso de las reservas probadas. Tanto la geometría como el volumen del mineral han sido inferidos a partir de estudios preliminares.

Nube de puntos: Archivos binarios con formato .LAS, contienen millones de registros con información tridimensional (x, y, z), se generan a través de una fotografía tomada con un dron, no se generan los retornos, **Vasquez et al** ⁽³⁸⁾.

Modelo digital de elevación o MDE: Es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve, pendiente y los elementos u objetos presentes en el mismo, **Vasquez et al** ⁽³⁸⁾.

Modelo digital de superficie o MDS: Contienen todos los detalles además de los elementos existentes en el terreno, como la vegetación, edificios u obras artificiales, **Vasquez et al** ⁽³⁸⁾.

Modelo digital del terreno o MDT, “describe cualquier representación digital de la superficie justo en el nivel del suelo”. Representan la forma del terreno al filtrar un MDS, **Vasquez et al** ⁽³⁸⁾.

Textura del suelo: “Es la proporción de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. Esta propiedad explica las diferencias en el comportamiento de cada suelo” **Vistoso et al** ⁽³⁹⁾.

Textura: Es la combinación de magnitud y frecuencia de la variación tonal en una imagen, se produce por el efecto conjunto de todas las pequeñas fracciones de un área, **Vistoso et al** ⁽³⁹⁾.

Radiancia: Total de energía radiada en una determinada dirección por unidad de área y por ángulo sólido de medida, **Vistoso et al** ⁽³⁹⁾.

Reflectividad: Es la relación entre el flujo incidente y el reflejado por una cubierta existente en la superficie terrestre, **Vistoso et al** ⁽³⁹⁾.

CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Formulación de la hipótesis

Hipótesis nula

Los datos de volumen de extracción en el periodo 1999-2018 e imágenes de sensores remotos no permitirán estimar la disponibilidad e influencia en el aumento de las áreas construidas acumuladas en la ciudad de Iquitos.

Hipótesis de investigación

Los datos de volumen de extracción en el periodo 1999-2018 e imágenes de sensores remotos permitirán estimar la disponibilidad e influencia en el aumento de las áreas construidas acumuladas en la ciudad de Iquitos.

Hipótesis operacional

- Los datos de volumen de extracción en el periodo 1999-2018 e imágenes de sensores remotos no permitirán estimar la disponibilidad del recurso arena blanca.
- La extracción del recurso arena blanca no está siendo influenciada por el aumento de áreas construidas en la ciudad de Iquitos.

2.2 Variables y su operacionalización

Variable independiente

Volumen del recurso arena blanca

Se denomina recurso, al material proveniente de la naturaleza caracterizado con un eventual potencial para su extracción con fines económicos. El recurso es cuantificable en unidades de volumen y cumple con las características para su extracción y ser distribuido en las construcciones públicas y privadas.

Variable dependiente

Disponibilidad del recurso de arena blanca

La disponibilidad también denominada horizonte de agotamiento viene a ser la cantidad probable medida en unidades de volumen y el tiempo en el que este recurso probable se agotaría. Se calcula en base a la información menos exhaustiva que el caso de las reservas probadas e inferidos a partir de estudios preliminares.

A continuación, se presenta la matriz de operacionalización de las variables de la presente investigación (Tabla 1).

Tabla 1. Matriz de variables, indicadores e índices.

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala de medición	Índice	Instrumento
Independiente Volumen del recurso arena blanca	Se denomina recurso, al material proveniente de la naturaleza caracterizado con un eventual potencial para su extracción con fines económicos. El recurso es cuantificable en unidades de volumen y cumple con las características para su extracción y ser distribuido en las construcciones públicas y privadas.	Base de datos de Volúmenes de arena consumida por obra pública de la Gerencia General de Infraestructura.	Volumen	Discreto	m ³	Expedientes Técnicos de Obras Públicas del 2010-2018.
Dependiente Disponibilidad del recurso de arena blanca	La disponibilidad también denominada horizonte de agotamiento viene a ser la cantidad probable medida en unidades de volumen y el tiempo en el que este recurso probable se agotaría. Se calcula en base a la información menos exhaustiva que el caso de las reservas probadas e inferidos a partir de estudios preliminares.	Datos del satélite Landsat, clasificadores, estimadores, evaluación de cambio y uso de áreas extraídas.	Volumen Año	Discreto Nominal	m ³ Año	Imágenes de satélite Landsat 5 y 8. Argis 10.4. Pix4Dmapper Agisoft Metashape.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

El estudio comprende un área delimitada mediante criterios espaciales, hidrográficos, de protección, de distribución urbana y periurbana, la cual se describe siguiendo el curso del río Nanay desde la proyección del centro poblado San Martín hasta la altura del centro poblado Rumococha, el siguiente tramo vapor el límite de Iquitos metropolitano hasta el río Itaya a la altura del centro poblado Puerto Alegría I Zona siguiendo hasta la altura del centro poblado 28 de Julio y continuando hasta el límite de la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana.

El área de estudio se encuentra ubicada en la jurisdicción del distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto, Perú, cuyas coordenadas en el Sistema Geográfico son (-73.428635, -3.769137; -73.298737, -3.976964) ver Figura 1. Tiene una superficie aproximada de 18 052 ha, comprende 31 centros poblados y según el Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2017 del INEI le corresponde una población total de 19 087 habitantes y 6 231 viviendas, de los cuales los más poblados son Santa Clara, Los Delfines, Quistococha y Santo Tomás.

Desde la ciudad de Iquitos, el principal acceso es por la carretera Iquitos a Nauta desde el kilómetro 10 hasta el 33 aproximadamente.

La fisiografía predominante del área de estudio está determinada por relieves de tipo terrazas medias planas (arcillosas), terrazas bajas de

drenaje imperfecto, lomadas y terrazas altas ligeramente disectadas (arenosas).

En cuanto a los tipos de vegetación, en el área de estudio predominan los bosques inundables de terrazas bajas, comunidades de *Mauritia flexuosa* (aguajales densos) y varillales altos húmedos sobre arena blanca.

Los usos predominantes van desde zonas para el aprovechamiento informal de productos del bosque, zonas de expansión urbana informal, zonas de uso de carácter industrial y zonas con predominio de cultivos de subsistencia.

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.



3.2. Tipo y diseño

Según el objetivo de la presente investigación, el tipo de estudio es aplicado, debido a que se han utilizado teorías y técnicas científicas previamente validadas.

Según los datos empleados, la presente investigación es de tipo cuantitativa, debido a que a partir de las técnicas aplicadas posibilitará inferir en poblaciones más grandes.

Así mismo, el presente estudio es no experimental debido a que no se ha realizado ningún tipo de control de las variables.

Debido a que en la presente investigación se estimarán eventos generalmente adversos el nivel de investigación será predictivo.

3.3. Diseño muestral

Población

En el presente estudio la población se refiere al recurso probable actual de arena blanca en unidades de volumen del área de estudio.

Muestra

La muestra es la cantidad de volumen extraído de las canteras ubicadas en el área de estudio en el periodo 1999-2018, determinada a partir de dos formas 1) clasificación de valores espectrales de los píxeles que conforman las imágenes de satélite Landsat y 2) mediante vuelos de UAV en canteras elegidas al azar.

3.4. Procedimiento de recolección de datos

Modelo de volumen extraído

Para la generación del modelo de volumen extraído se recolectó datos de los satélites Landsat 5 y 8 sensores TM y OLI respectivamente (Anexo 1), así mismo, se recolecto imágenes tomadas por vuelos de UAV y coordenadas de puntos de control horizontal y vertical.

Los datos satelitales se recopilaron desde el módulo *Explorer* de la plataforma web Google Earth Engine (GEE), para lo cual se contó con un registro mediante una cuenta en Gmail.

Las imágenes UAV para el cálculo de la altura de potencia promedio, se recolectaron in situ mediante levantamiento aerofotogramétrico apoyado por puntos de control tomados con un equipo GPS submétrico y utilizando los programas Mission Planner, DJI GO 4 y GeoExplore 6000 series (Anexo 2).

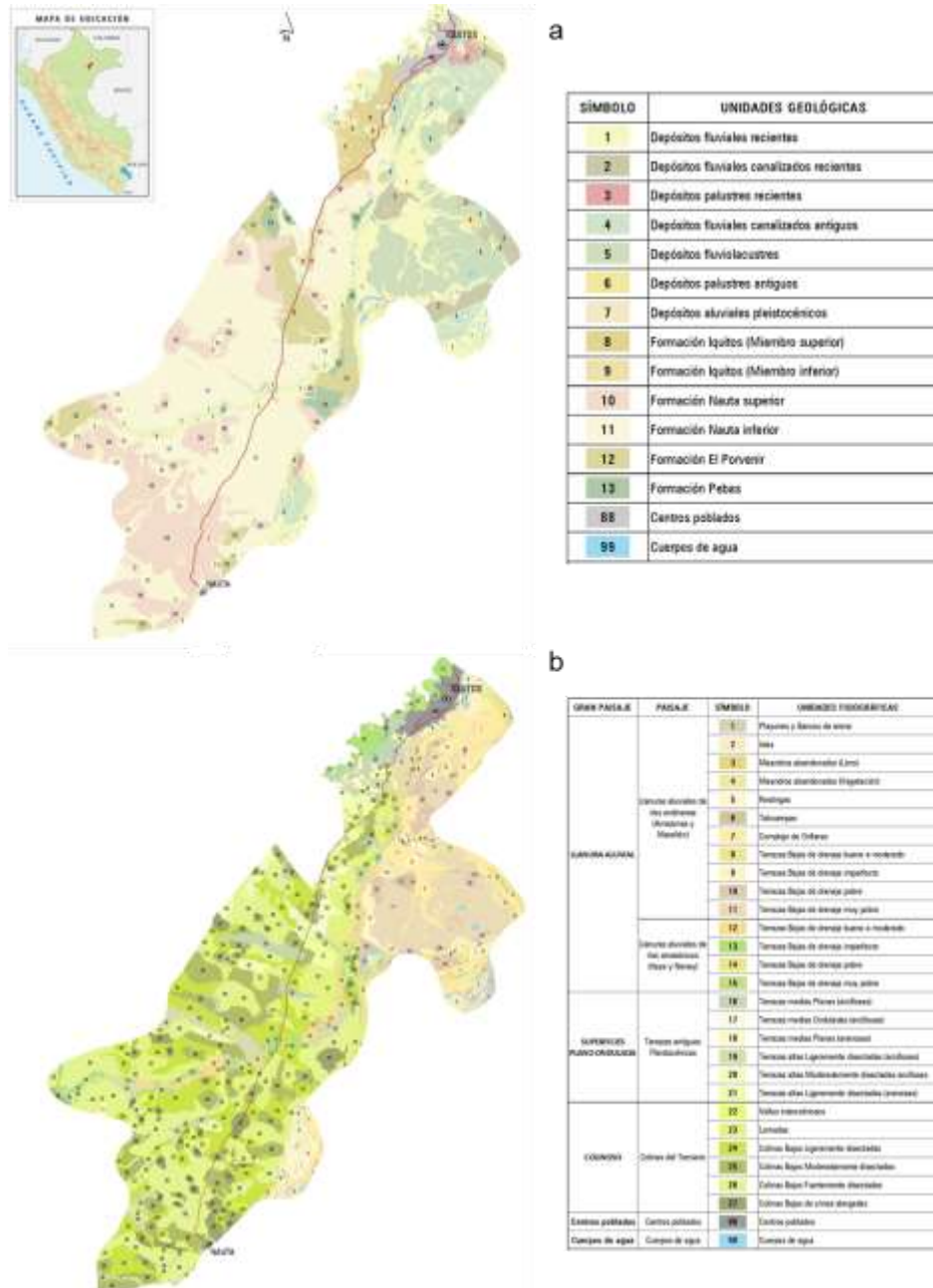
Modelo de recurso probable

Para el modelo de recurso probable se recolectaron datos de ubicación de presencia del recurso arena blanca (canteras), así como, datos vectoriales de unidades geológicas y fisiográficas, y una capa de información raster de la distribución de arena blanca en el área de estudio.

Los datos vectoriales de unidades geológicas y fisiográficas, se recopilaron desde www.terra.iiap.gob.pe y corresponden al estudio de micro ZEE del área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta,

generadas y validadas por el IIAP, estas se visualizaron y recortaron al área de estudio utilizando técnicas de análisis espacial en el programa QGIS (Figura 2).

Figura 2. Capas de información a) Geología y b) Fisiografía del área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta.

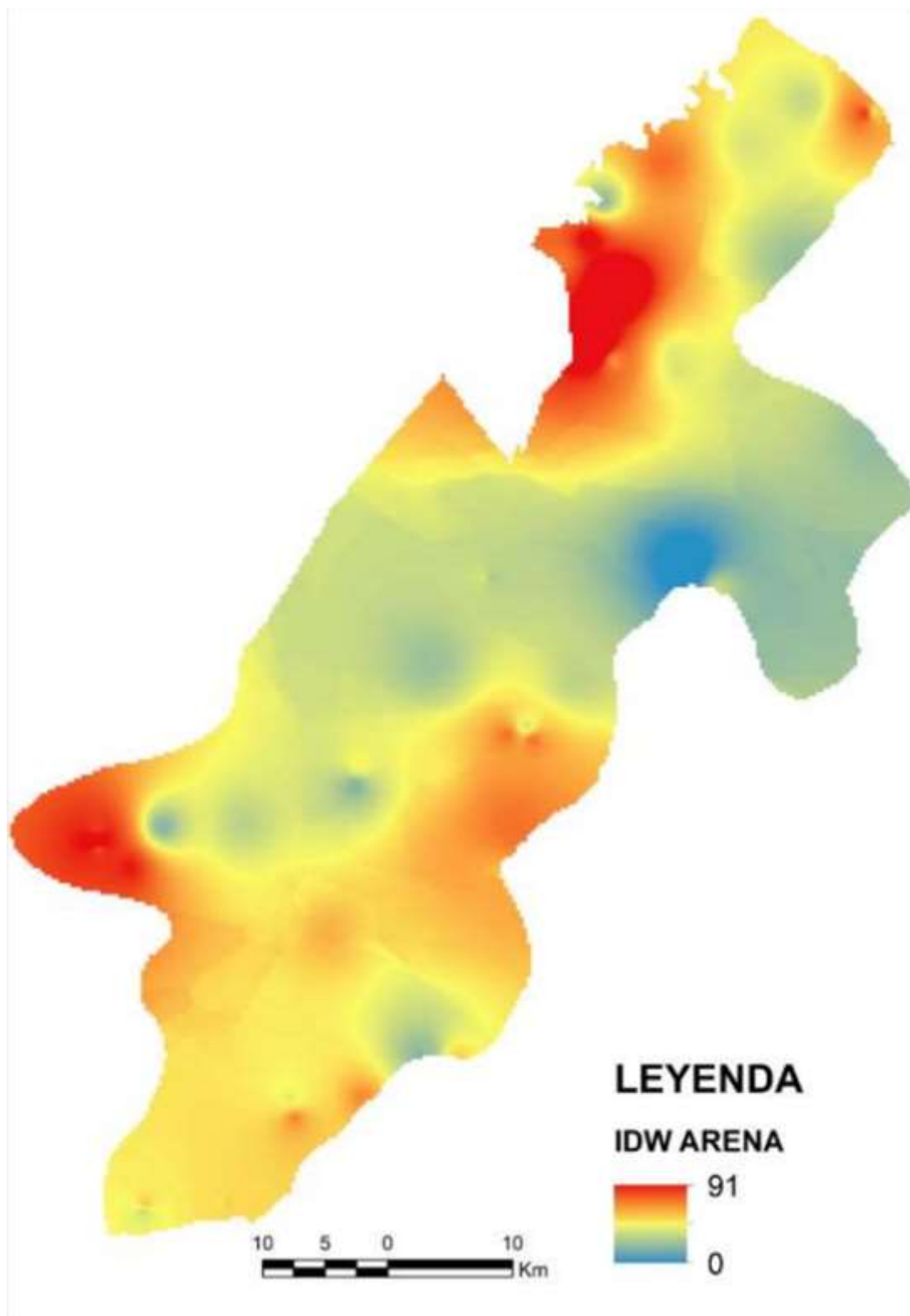


Fuente: IIAP, 2012.

Los datos de ubicación en coordenadas UTM de las canteras se solicitaron a la Dirección Regional de Energía y Minas de Loreto y fueron sistematizados y visualizados en los programas Microsoft Excel y convertidos a formato shapefile en el programa QGIS (Anexos 3 y 7).

La capa de información raster de distribución de arena blanca se obtuvo a partir de la revisión bibliográfica libre en la *web* y correspondiente al resultado de una tesis de grado publicada referente a la generación de un modelo espacial de los parámetros del suelo en el ámbito de la carretera Iquitos-Nauta, Loreto, Perú, Tello (3); este dato se recortó al área de estudio en el programa QGIS (Figura 3).

Figura 3. Mapa de distribución de arena blanca, modelo de Distancia Inversa Ponderada (IDW).



Fuente: Tello (3).

Área construida en la ciudad de Iquitos

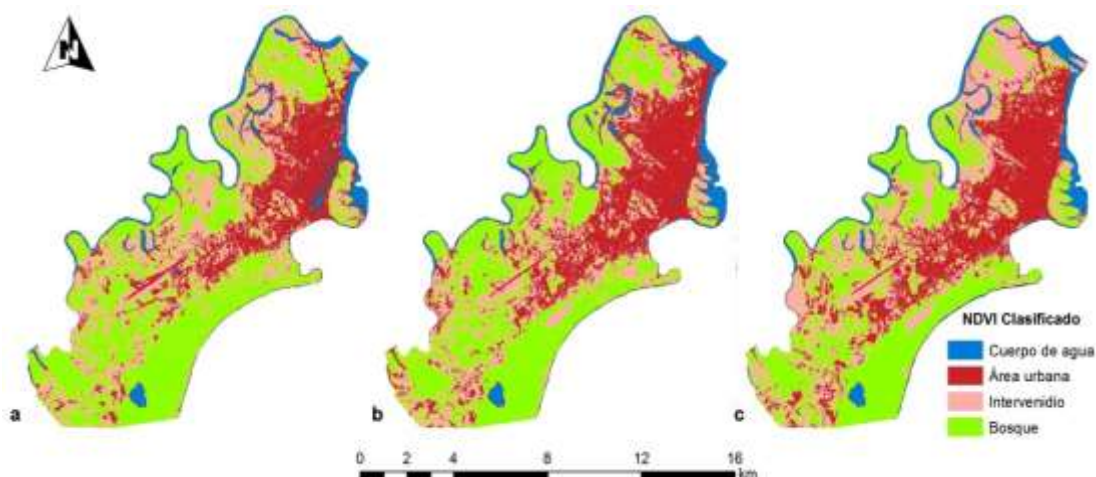
Se recopiló datos de superficie correspondiente a una clasificación de área construida acumulada por año (Tabla 2) de acuerdo a los resultados de un trabajo de investigación de **Palacios et al** ⁽¹⁹⁾ sobre pérdida de cobertura del bosque por aumento de áreas urbanas en la ciudad de Iquitos desde el año 1999 hasta el 2019 (Figura 4).

Tabla 2. Superficie acumulada de la clase construido según Palacios et al. (2019).

ORDEN	AÑOS	SUERFICIE CONSTRUIDA (m2)
1	1999	2274.48
2	2009	2819.79
3	2018	3448.08

Fuente: Palacios (19)

Figura 4. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la ciudad de Iquitos; a), b) y c) datos clasificados a partir de umbrales de NDVI años 1999, 2009 y 2019 respectivamente (imágenes de satélite Landsat).

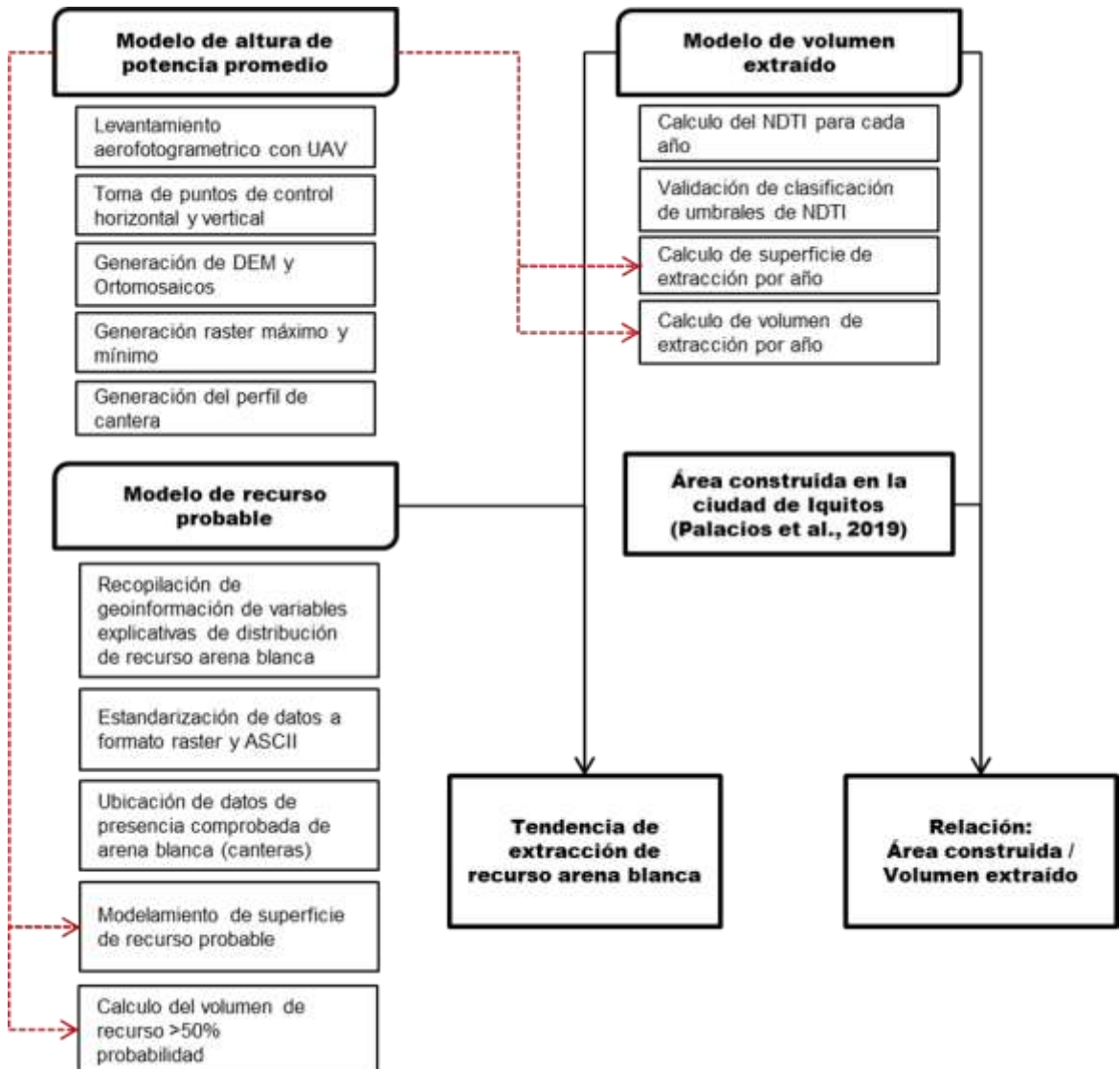


Fuente: Palacios (19).

3.5. Procesamiento y análisis de los datos

Para el procesamiento y análisis de los datos en la presente investigación se siguió el proceso técnico de acuerdo al flujo de procesos de la figura 5.

Figura 5. Flujo de procesamiento y análisis de datos.



Modelo de volumen extraído

Se calculó la superficie de arena explotada utilizando las capas de información raster binarias desde el año 1999 al 2018 aplicando el umbral (0-0.25) para el NDTI de Landsat 5 y (0-0.36) para el NDTI del Landsat 8, el cual diferencia de mejor forma los suelos descubiertos

con limo y arcilla de las áreas con vegetación no fotosintética, **Dai et al** ⁽²¹⁾.

Para el cálculo del índice de tierra arable (NDTI) se utilizaron las imágenes de satélite Landsat 5 y 8 aplicando la siguiente fórmula $NDTI = (\rho_{SWIR1} - \rho_{SWIR2}) / (\rho_{SWIR1} + \rho_{SWIR2})$; en donde ρ_{SWIR1} y ρ_{SWIR2} se refieren a la reflectancia TOA de las banda del infrarrojo de onda corta (Tabla 3). Seguidamente se procedió a realizar una validación de la clasificación del NDTI utilizando los datos de ubicación de las canteras recopiladas de la Dirección Regional de Energía y Minas de Loreto e imágenes de Google Earth Pro.

Tabla 3. Datos técnicos de imágenes de satélites utilizadas.

SATELITE	SENSOR	BANDA	LONGITUD DE ONDA (μm)	RESOLUCION ESPACIAL (m)
Landsat 5	Thematic Mapper TM	SWIR (5)	1.55-1.75	30
Landsat 5	Thematic Mapper TM	SWIR (7)	2.08-2.35	30
Landsat 8	Operation Land Imager OLI	SWIR 1 (6)	1.57-1.65	30
Landsat 8	Operation Land Imager OLI	SWIR 2 (7)	2.11-2.29	30

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de superficie extraída de arena, se procedió a calcular la altura de potencia, para esto se generaron modelos de elevación digital del terreno para cada una de las canteras, apoyado en vuelos aerofotogramétricos, se hicieron las tomas de imágenes utilizando equipos UAV y sensor RGB, se procesaron las imágenes recolectadas, se generaron los modelos de elevación digital y los ortomosaicos de imágenes RGB de las canteras (Anexo 4),

empleando el algoritmo de “Structure from Motion” (SfM), para la georeferenciación vertical de los modelos de elevación digital se utilizó GPS submétrico y datos corregidos de altura ortométrica. Se generaron capas de información raster de máximos y mínimos a partir del DEM de cada cantera aplicando análisis de estadísticas focales en el programa ArcGIS 10.1 (Anexos 5 y 6).

Modelo de recurso probable

Este modelo se generó a partir del procesamiento de datos vectoriales de geología y fisiografía, los cuales se migraron a datos de tipo raster, seguidamente fueron integrados con datos de ubicación de presencia comprobada de arena blanca y con la capa de información de la distribución de arena blanca resultado del estudio realizado por **Tello et al** ⁽³⁾. Para el modelamiento del recurso probable se utilizó el programa MaxEnt definiendo el 25% de datos de presencia de arena para la validación del modelo.

Análisis del área construida acumulada en la ciudad de Iquitos

Para el presente análisis se utilizaron los datos de superficie acumulada de la clase “Construido” de la metrópoli de la ciudad de Iquitos de los años 1999, 2009 y 2018; estos datos fueron extraídos del estudio realizado por Palacios (19) a partir de la definición de umbrales de NDVI de imágenes de satélite Landsat.

Con los datos de superficie se procedió a calcular la tasa de superficie dividiendo los valores de superficie de un año sobre el año anterior,

luego se pasó a interpolar con la finalidad de completar los datos de superficie para la serie de tiempo de datos de volúmenes extraído.

Modelo estadístico

Se aplicó un análisis de regresión lineal simple para modelar la relación entre los valores de volúmenes extraídos acumulados por año en el periodo 1999-2018 para pronosticar el tiempo de agotamiento del recurso arena blanca, utilizando el programa BioStat 5.3.

Con los datos de superficie construida en la ciudad de Iquitos y los volúmenes extraídos acumulados ambos del periodo 1999-2018 se realizó un análisis de correlación entre estas dos variables. Los resultados se mostrarán en cuadros, tablas y figuras además de diagramas, etc. Posteriormente se realizó un análisis e interpretación de los mismos, expresando los resultados más sobresalientes del estudio.

3.6. Aspectos éticos

La presente investigación se realizó con ética y respetando las normas de responsabilidad del investigador, el uso de instrumentos adecuados, la veracidad de los datos recolectados y generados en el estudio, así como, el respeto al medio ambiente y la vida.

El objeto de la presente investigación no implicó la experimentación y/o manipulación de seres vivos, por lo que no existió vulnerabilidad ni riesgo.

Los datos recopilados para la investigación se obtuvieron de forma libre de la web sin costo alguno para ser adquiridos, las fuentes de obtención han sido debidamente referenciadas de acuerdo a las normas estándar.

Con respecto a las imágenes tomadas con los UAV en las canteras de arena, se realizó con los permisos y consentimientos de los dueños y responsables de las canteras.

Para el tratamiento y análisis de los datos se tramitó ante el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) el permiso y compromiso respectivo para el uso de equipos, mobiliarios y ambientes de la Institución.

Finalmente, el presente estudio no generó conflicto de intereses

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 Estimación del recurso arena blanca y su disponibilidad

Modelo de volumen extraído

Los resultados del cálculo de la superficie acumulada generada por la extracción de arena blanca para cada año del periodo 1999-2018 a partir del índice NDTI (Anexo 8), indican que el año que más superficie se explotó fue el 2013 con 489.15 ha (4 891 500 de m²) y el año en que se explotó en menor superficie fue el 2005 con 59.49 ha (594 900 m²) (Tabla 4).

Tabla 4. Superficies de extracción del recurso arena blanca por año.

ORDEN	AÑOS	ÁREA DE EXPLOTACIÓN (m ²)
1	1999	1 708 200
2	2001	1 255 500
3	2002	1 394 100
4	2005	594 900
5	2006	698 400
6	2009	1 221 300
7	2011	2 676 600
8	2013	4 891 500
9	2015	1 692 000
10	2018	3 438 900

Fuente: Elaboración propia

Para calcular la altura de potencia se generaron 14 modelos de elevación digital para cada una de las canteras analizadas. Las potencias calculadas por cantera indican una variación entre 6.5 y 9.5 metros de altura, definiéndose una altura promedio de potencia de extracción de 8 metros.

Para calcular el volumen parcial por año se multiplicó las superficies de explotación por la altura de potencia promedio la cual fue de 8

metros. Los volúmenes acumulados obtenidos inician en el año 1999 con 13 665 600 m³ y para el año 2018 el volumen acumulado extraído es de 156 571 200 m³ (Tabla 5).

Tabla 5. Volúmenes de áreas explotadas de arena blanca por año.

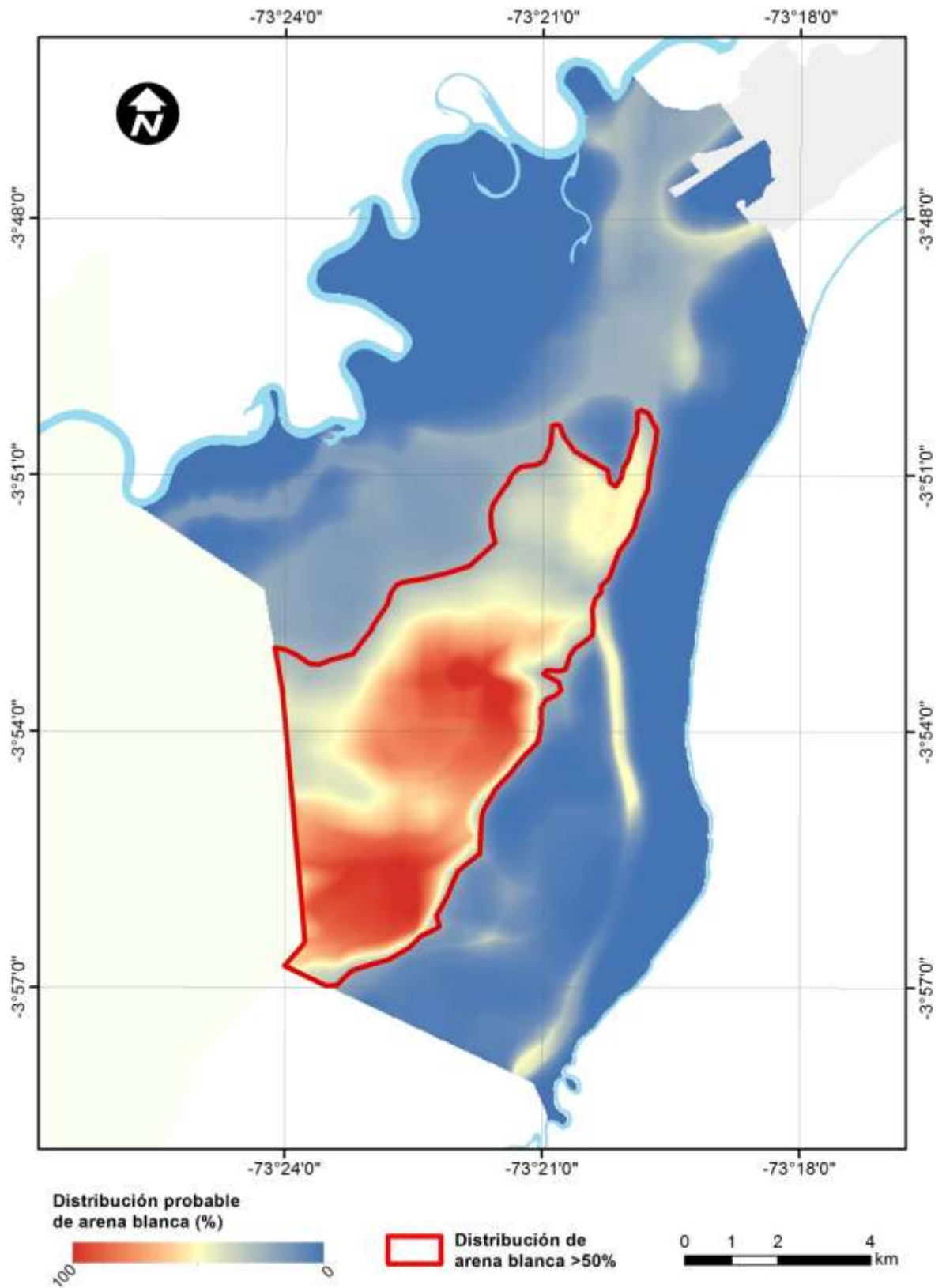
ORDEN	AÑOS	VOLÚMEN (m ³)	VOLÚMEN ACUMULADO (m ³)
1	1999	13 665 600	13 665 600
2	2001	10 044 000	23 709 600
3	2002	11 152 800	34 862 400
4	2005	4 759 200	39 621 600
5	2006	5 587 200	45 208 800
6	2009	9 770 400	54 979 200
7	2011	21 412 800	76 392 000
8	2013	39 132 000	115 524 000
9	2015	13 536 000	129 060 000
10	2018	27 511 200	156 571 200

Fuente: Elaboración propia

Modelo de recurso probable

Se delimitó el área de recurso arena blanca desde una probabilidad del 50% al 100% la que se ubica principalmente al suroeste del área de estudio colindante con el área de amortiguamiento de la Reserva Alpuhuayo Mishana, Distrito de San Juan Bautista y a lo largo del eje carretero tal como se puede apreciar en la figura 6, así mismo, se puede observar que para una probabilidad mayor a 50% de distribución de arena blanca, la superficie es de 4 488.7367 ha (44 887 367 m²). Luego de hacer el cálculo multiplicando la superficie obtenida por la altura promedio de potencia de extracción se obtiene un volumen de recurso probable de aproximadamente 326 343 217.01 m³.

Figura 6. Mapa de distribución probable del recurso arena blanca generado en Maxent.



Análisis del área construida acumulada en la ciudad de Iquitos

De acuerdo a lo recopilado en **Palacios et al** ⁽¹⁹⁾, se observan las superficies acumuladas de áreas construidas, para el año 1999 inicia con 0.227448 ha (2 274.48 m²) y al año 2018 con una superficie acumulada de 0.344808 ha (3 448.08 m²).

Relacionando los valores de superficies se obtiene una tasa de cambio de 1.24 para el periodo 1999-2009 y de 1.22 para el periodo 2009-2018, comparando ambas tasas se puede observar que son constantes para ambos periodos, por lo que se optó por completar para los otros años y correlacionar con los valores de volúmenes extraídos (Tabla 6).

Tabla 6. Superficie acumulada de la clase construido según Palacios et al. (2019) y simuladas.

ORDEN	AÑOS	SUERFICIE CONSTRUIDA (m2)	SUERFICIE CONSTRUIDA INTERPOLADA (m2)
1	1999	2 274.48	
2	2001		2 386.40
3	2002		2 430.14
4	2005		2 606.55
5	2006		2 679.93
6	2009	2 819.79	
7	2011		2 988.99
8	2013		3 120.24
9	2015		3 238.78
10	2018	3 448.08	

Fuente: elaboración propia.

4.2 Influencia de la disponibilidad de la arena en el aumento de las áreas construidas en la ciudad de Iquitos

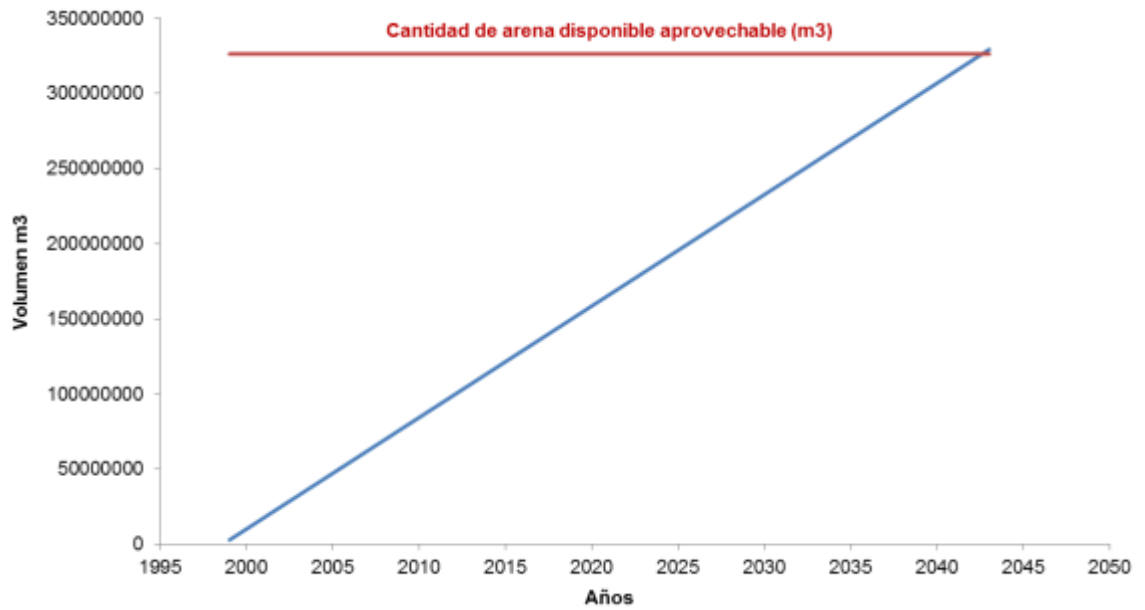
De la prueba de correlación de Pearson para los valores de las áreas construidas acumuladas de la ciudad de Iquitos y los valores anuales de volúmenes extraídos acumulados de las afuera de la ciudad de Iquitos durante el periodo 1999-2018, se obtuvo un coeficiente de correlación $r=0.9757$ y una significancia $p<0.0001$. Esto indica una relación positiva grande, casi toda la extracción que se realiza de arena blanca de las afueras de la ciudad de Iquitos contribuye al aumento de las áreas construidas de la ciudad de Iquitos.

Con respecto al análisis de regresión aplicado para los valores anuales de volúmenes extraídos acumulados de las afuera de la ciudad de Iquitos en el periodo 1999-2018, se observa una significancia de $p<0.00001$ y los años como predictor explican en 93.35% el volumen acumulado extraído; específicamente por cada año que pase, se espera que el volumen extraído aumente en $7\,419\,267.677\text{ m}^3$.

Para predecir el límite o año en que se agotará el recurso, reemplazamos el valor de recurso arena blanca probable estimado en el ítem anterior, en unidades de metros cúbicos, en la ecuación del modelo lineal que viene dada por la expresión: $Y'=-1\,482.82 \times 10^{-7} + 7\,419\,267.677(326\,343\,217.01\text{m}^3)$ que determina que el recurso arena

blanca tiene un horizonte de agotamiento de acuerdo a como se viene extrayendo, hasta el año 2043 aproximadamente (Figura 7).

Figura 7. Modelo ajustado de regresión lineal y predicción del año horizonte de agotamiento del recurso arena blanca.



CAPITULO V: DISCUSIÓN

5.1 Estimación del recurso arena blanca y su disponibilidad

En la presente investigación al estimar la disponibilidad del recurso arena blanca a partir de datos de extracción e imágenes de sensores remotos en el periodo 1999-2018, se logró obtener el volumen de recurso probable que asciende a aproximadamente 326 343 217.01 m³, así mismo, de la regresión lineal aplicada se obtuvo una significancia $p < 0.00001$ y un $R^2 = 93.35\%$. Esto indica que la variable “años” como predictor explica en 93.35% el volumen acumulado extraído, para la presente investigación, se espera que el volumen extraído aumente en 7 419 267.677 m³ por año, a este ritmo de extracción el modelo lineal predice que el año 2043 se agotará el recurso arena blanca. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis de investigación, en donde refiere que mediante los datos de volumen de extracción en el periodo 1999-2018 e imágenes de sensores remotos permitirán estimar la disponibilidad del recurso arena blanca. Estos resultados se basaron en obtener el volumen extraído mediante las áreas de extracción del recurso arena blanca, a partir del índice espectral de tierra arable (NDTI) con imágenes satelitales Landsat 5 y 8, corroborando el buen desempeño del NDTI tal como concluye **Dai et al** ⁽²⁰⁾. Así mismo, los resultados obtenidos que complementan al modelo anterior son los de altura promedio de la potencia utilizando los vuelos de UAV o drones, con esta tecnología, muy poco utilizada en este tipo de áreas de estudio, se logró buenos resultados aplicando las metodologías desarrolladas

para campo, análisis y procesamiento de datos por **Tagle et al** ⁽⁸⁾, en áreas de estudio similares pero aplicadas a la cuantificación de biomasa **Tagle et al** ⁽⁹⁾, así también, para cuantificar el recurso arena blanca probable se aplicó el modelo de Máxima Entropía en el programa MaxEnt obteniendo resultados muy precisos, corroborados por estudios como los de **Liu et al** ⁽¹⁾, **Zhang et al** ⁽²⁾, **Díaz et al** ⁽⁴⁾ y **Liu et al** ⁽⁴⁰⁾ quienes aplican con éxito y determinan potenciales yacimientos mineros, concluyendo que MaxEnt ofrece mapas resultantes con buen predictor, que pueden ser utilizados eficaz y eficientemente para integrar información geoespacial de varias fuentes. En general podemos indicar que los resultados obtenidos al estimar la disponibilidad del recurso arena blanca se pueden corroborar por los estudios de **Castro et al** ⁽⁴¹⁾ donde se indica que existe alto potencial de arena y arcilla en el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta Álvarez ⁽⁴²⁾, en donde concluye que en el área de estudio existe un alto potencial de arena blanca y que viene sufriendo una explotación indiscriminada, además que prevé el peligro de desaparición a corto plazo, por otro lado, los resultados difieren de los obtenidos por **Álvarez et al** ⁽⁴²⁾, estos autores indican que el año 2027 se estaría agotando el recurso arena blanca. En tal sentido, de acuerdo a lo referido anteriormente y al análisis de los resultados se puede confirmar que el NDTI de imágenes Landsat, la tecnología UAV y los modelos predictivos de Máxima Entropía, son buenos generadores de información del potencial del recurso arena blanca,

permitiendo también confirmar la extensión del recurso explotable de arena blanca en el área de estudio el cual será dentro de 21 años.

5.2 Influencia de la disponibilidad de la arena en el aumento de las áreas construidas en la ciudad de Iquitos

En esta investigación al determinar la influencia de la extracción de arena blanca en el aumento de las áreas construidas en la ciudad de Iquitos se pudo encontrar el valor $p < 0,0001$ y un coeficiente de correlación de Pearson $r = 0.9757$ lo que da a entender una fuerte relación positiva. Lo cual indica que casi toda la extracción que se realiza de arena blanca de las afueras de la ciudad de Iquitos contribuye al aumento de las áreas construidas de la ciudad de Iquitos. Por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis de investigación, en donde refiere que la extracción del recurso arena blanca está siendo influenciada por el aumento de áreas construidas en la ciudad de Iquitos. Los registros del aumento de áreas construidas en la ciudad de Iquitos tal como indica Palacios (19) va en aumento progresivo, Rodríguez (43) concluye que la construcción de carreteras y viviendas son los usos principales del recurso, así mismo, los resultados se corroboran con el estudio de Soto (44) quien concluye que la arena blanca extraída del área de estudio es destinada principalmente a las construcciones en la ciudad de Iquitos, así también, Álvarez (42) manifiestan que el uso de la arena blanca extraída del área de estudio es en 15% utilizado en

obras públicas y 75% en obras privadas; mientras que **Moschella et al** ⁽⁴⁵⁾ concluye que el crecimiento urbano de la ciudad de Iquitos hacia su periferia y colindante con la Reserva Alpahuayo Mishana, implica un desafío para la sostenibilidad principalmente por la destrucción de ecosistemas como los bosques de varillales de arena blanca, esto es sostenido por **Mejía et al** ⁽⁴⁶⁾ quien menciona un impacto directo sobre las áreas urbanas provocadas por la extracción de materiales en la industria de la construcción; **Soto et al** ⁽⁴⁴⁾ concluye que la extracción de arena blanca en el área de estudio, es la actividad que más daño causa al medio ambiente, mientras que **Gavriletea et al** ⁽¹³⁾ indica que en los casos de extracción de arena los ecosistemas dañados suelen ser muy costosos y generalmente no se pueden restaurar del todo a su estado original. En tal sentido, de acuerdo a lo referido anteriormente y de acuerdo al análisis de los resultados se puede confirmar que el aumento de las áreas construidas en la ciudad de Iquitos es fuertemente influenciada por la arena blanca extraída de las afueras de Iquitos, así mismo, deja entrever que esta dinámica contribuye en desmedro de los ecosistemas que se encuentran en la superficie del recurso, con esta investigación se espera dar paso a otras investigaciones y análisis en lo que respecta, la aplicación de modelos predictivos más sensibles que permitan la ubicación de otras fuentes de recursos que contribuyan al sector de la construcción, ante la necesidad de materiales constructivos en la ciudad de Iquitos; así también, que en el sector ambiente, estas alternativas se enfoquen en minimizar los impactos y restauración de los ecosistemas, causados

por la actividad extractiva, así mismo, que las técnicas presentadas permitan un monitoreo eficaz por parte de las autoridades para el cumplimiento de la normativa y finalmente la concientización de los empresarios con respecto al impacto ambiental, social y formalización de los extractores informales.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

1. El volumen de recurso probable asciende a aproximadamente 326343217,01 m³, la regresión lineal obtuvo una significancia $p < 0,00001$ y un $R^2 = 93,35\%$, esto indica que la variable “años” predice en 93,35% el volumen acumulado extraído, así mismo, se espera que el volumen extraído aumente en 7 419 267,6771 m³ por año y la tendencia de la extracción predice que el año 2043 se agotará el recurso arena blanca.
2. Existe una fuerte relación positiva ($p < 0,0001$ y $r = 0,9757$) lo cual implica que casi toda la extracción de arena blanca de las afueras de la ciudad de Iquitos contribuye al aumento de las áreas construidas de la ciudad de Iquitos.

CAPITULO VII: RECOMENDACIONES

1. En base a la tendencia de la extracción, la cual se predice que al año 2043 se agotaría el recurso arena blanca, se recomienda investigar sobre otras alternativas que contribuyan al sector construcción y que permitan no solo depender del recurso arena blanca de las afueras de la ciudad de Iquitos y por ende afectando a los bosques de estas áreas.
2. Cómo casi toda la extracción de arena blanca de las afueras de la ciudad de Iquitos contribuye al aumento de las áreas construidas de la ciudad de Iquitos, se recomienda investigar que otras variables contribuyen al aumento de las áreas construidas, así como incorporar el presente estudio en los planes sobre el monitoreo y formalización de la actividad extractiva, para dar mayor precisión a los datos obtenidos.

CAPITULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

1. **Liu, Y., Zhou, K., Xia, Q.** (2018) A MaxEnt model for mineral prospectivity mapping. *Natural Resources Research*, 27(3): 299-313.
2. **Zhang, S., Xiao, K., Carranza, E. J. M., Yang, F.** (2019) Maximum entropy and random forest modeling of mineral potential: Analysis of gold prospectivity in the Hezuo–Meiwu district, west Qinling Orogen, China. *Natural Resources Research*, 28(3), 645-664.
3. **Tello, J.** (2019). Modelo espacial de unidades de suelo en el ámbito de la carretera Iquitos-Nauta, Loreto (Perú). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
4. **Díaz, R., González, L., Batista, J., Hernández, J., Blanco, J., Batista, R., Almager, Y., Rodríguez, A., López, F., Vila, A.** (2020) Cartografía digital predictiva del potencial mineral mediante SIG de depósitos de fluorita en el noreste de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 72(3), A090520.
5. **Padarian, J., Minasny, B., McBratney, A.** (2015) Using Google's cloud-based platform for digital soil mapping. *Computers & geosciences*, 83, 80-88.
6. **Florentino, R.** (2017) Aplicación de fotogrametría con RPAS para mejorar la efectividad en cuantificación de la explotación en la Cantera Santa Genoveva-2016.
7. **Fernández, J., Gutiérrez, G.** (2016) Aplicaciones Geológicas de los Drones. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29(1), 89–105.
8. **Tagle, X., Falen, L., Bartholomeus, H., Cárdenas, R., Flores, G.,**

- Herold, M., Honorio, E., Baker, T.** (2020) Identifying and quantifying the abundance of economically important palms in tropical moist forest using UAV imagery. *Remote Sensing*, 12(1): 9.
9. **Tagle, X., Zabala, S.** (2017) Workflow Agisoft Photoscan for Micasense Rededge images. *Lund University, Lund Sweden*.
10. **Taype, E.** (2016) Diseño de explotación de cantera para agregados, distrito de Huayucachi. Universidad Nacional del Centro del Perú.
11. **Castro, C.** (2018) Cubicación de reservas de agregados para determinar la vida útil de la Cantera La Viña Cayaltí-Chiclayo. Universidad Cesar Vallejo.
12. **Guerrero, S., Faraone, M., Carrión, R.** (2018) APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA Y MODELACIÓN 3D EN GEOLOGÍA Y MINERÍA; EL GRANITO DE CUFRE. *Revista Investigaciones DINAMIGE-MIEM*, (1).
13. **Gavriletea, M.** (2017) Environmental impacts of sand exploitation. Analysis of sand market. *Sustainability*, 9(7), 1118.
14. **Dirección Regional de Energía y Minas de Loreto [Internet]**. Iquitos, Perú: Gobierno Regional de Loreto [citado el 10 set. de 2021]. Disponible desde: <http://aplicaciones02.regionloreto.gob.pe/sisdoc/unidad-organica/direccion-regional-de-energia-y-minas>
15. **Timoteo, R.** (2012). *PROPUESTA DE CONTINGENCIA PARA MITIGAR LOS RIESGOS POR EFECTO DE EXTRACCIÓN DE LA ACTIVIDAD MINERA NO METÁLICA (ARENITAS) EN LA CARRETERA IQUITOS-NAUTA*. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. (Vol. 1). p. 18-25.
16. **Álvarez, L.** Proyecto Microzonificación Ecológica y Económica del Área

de Influencia de la Carretera Iquitos-Nauta [Internet] Iquitos, Perú; 2012 [citado 10 de Set. 2021.] Disponible desde:

http://terra.iiap.gob.pe/assets/files/micro/zee_iquitos_nauta

17. **Demattê, J., Fongaro, C., Rizzo, R., Safanelli, J.** (2018) Geospatial Soil Sensing System (GEOS3): A powerful data mining procedure to retrieve soil spectral reflectance from satellite images. *Remote Sensing of Environment*, 212, 161-175.
18. **Godoy, M.** (2009). Estimación de Recursos. Golder Associates. 3-45.
19. **Palacios, J., Zárate, R., Minaya, R., Martín, M. y Benavides, J.** (2019) Predicción de la pérdida de la cobertura vegetal por aumento de áreas urbanas en Iquitos, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 7(1): 37–50. <https://doi.org/10.22386/ca.v7i1.263>
20. **Dai, J., Roberts, D., Dennison, P., Stow, D.** (2018) Spectral-radiometric differentiation of non-photosynthetic vegetation and soil within Landsat and Sentinel 2 wavebands. *Remote Sensing Letters*, 9(8): 733-742.
21. **Dai, L., Wang, L., Li, L., Liang, T., Zhang, Y., Ma, C., Xing, B.** (2018) Multivariate geostatistical analysis and source identification of heavy metals in the sediment of Poyang Lake in China. *Science of the total environment*, 621, 1433-1444.
22. **Chira, J., Ríos, C., Trelles, G., Villareal, E.** (2018) Estimación del Potencial Minero Metálico del Perú y su contribución Económica al Estado, acumulado al 2050. *Ingenmet*, 1–92.
23. **Meza, D.** (2017) *Metodología para el cálculo de reservas en minas a cielo abierto utilizando drones*. 39.

24. **Vásquez, M., Ramos, C.** (2018) Cálculo de Reservas para la Explotación de la Cantera de arena Cachachi, Provincia Cajabamba, Cajamarca, 2018. Universidad Privada del Norte.
25. **Barbosa, A., Real, R., Márquez, A., Rendón, M.** (2001) Spatial environmental and human influences on the distribution of otter (*Lutra lutra*) in the Spanish provinces. *Diversity and Distributions*. 7: 137-144.
26. **Alvarado, Y., Ayarquispe, D., Capcha, S., Ramirez, S.** (2017). Estimación de Recursos Minerales por el Método de Secciones. Geología Minera: 6-52. Universidad Nacional de Ingeniería.
27. **Barahona, D.** (2020) Diseño de explotación y cierre de mina de la cantera “José”, ubicada en la parroquia Tocachi, cantón Pedro Moncayo, provincia de Pichincha. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero en Minas. Carrera de Ingeniería en Minas. Quito: UCE. 227 p.
28. **Glacken, I., Snowden, D., Edwards, A.** (2001) Mineral resource estimation. *Mineral resource and ore reserve estimation—the AusIMM guide to good practice. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne*, 189-198.
29. **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA-IIAP.** (2011) Proyecto “Microzonificación Ecológica y Económica de la carretera Iquitos-Nauta”. Iquitos-Perú.
30. **Luna, H.,** (2018) Perú posee enorme Potencial Minero Metálico y no Metálico. Balance Catastral Minero: Nacional y Regional. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, 2-4 p.
31. **Häberer, H.** (2012) Guía de manejo ambiental para minería no

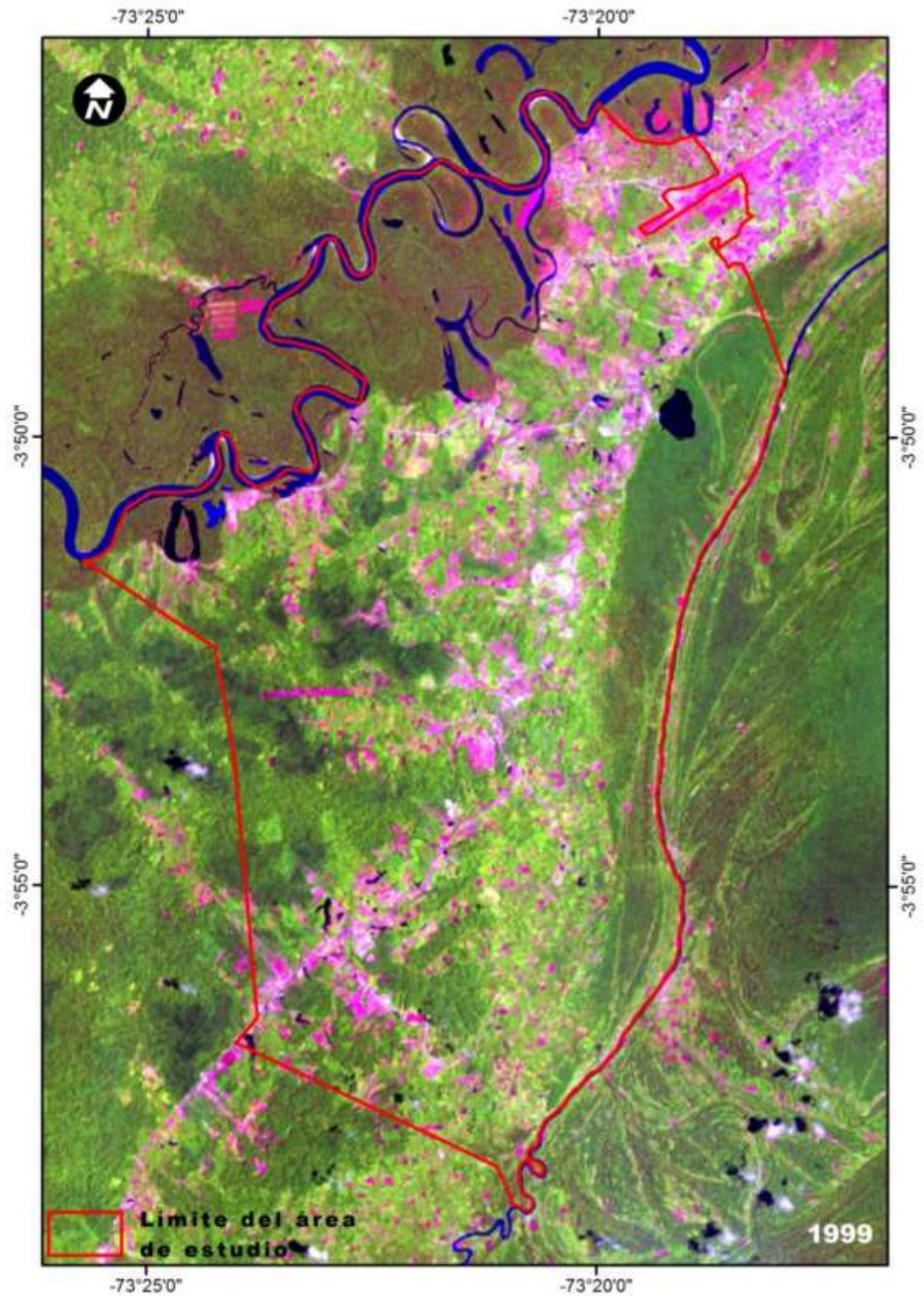
- metálica. *Ministerio de Energía y Minas (MEM)*. Lima, Perú. 5-7 p.
32. **Álvarez, C.** (2005) Guías Mineras: Minería No Metálica. *Ministerio de Energía y Minas (MEM)*. Sub Sector Minería. Dirección General de Minería.
33. **Leica Geosystems, A. G.** (2002). Leica DNA Digital Levels: Advantages that move you ahead. Leica Geosystems AG, Heerbrug.
34. <http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=4&idPublicacion=50>
35. **Ministerio de Energía y Minas (MEM), República del Perú.** (2016) Guías de manejos Ambientales. Dirección General de Asuntos Ambientales, Lima, Perú, 6-23 p.
36. **Acosta, J., Huabacuni, D., Manrique, M.** (2016) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Base de datos de Recursos y Reservas de Operaciones y Proyectos Mineros del Perú, Lima, Perú, 2-6 p.
37. **Ministerio de Minas y Energía (MME), Republica de Colombia.** (2013) Explotación de Material de Construcción. Canteras y Material de Arrastres. 5-54 p.
38. **Vasquez, J., Backhoff, M.** (2017) Procesamiento geo-informático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte. Instituto Mexicano Del Transporte, 490, 92. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt490.pdf>.
39. **Vistoso, E., Martínez, J.** (2019) Propiedades físicas del suelo. *Ficha Técnica INIA Remehue*.
40. **Liu, Y., Zhou, K., Xia, Q.** (2018) A MaxEnt model for mineral prospectivity mapping. *Natural Resources Research*, 27(3), 299-313.
41. **Castro, W.** (2012) Informe del mapa intermedio de Peligros Múltiples.

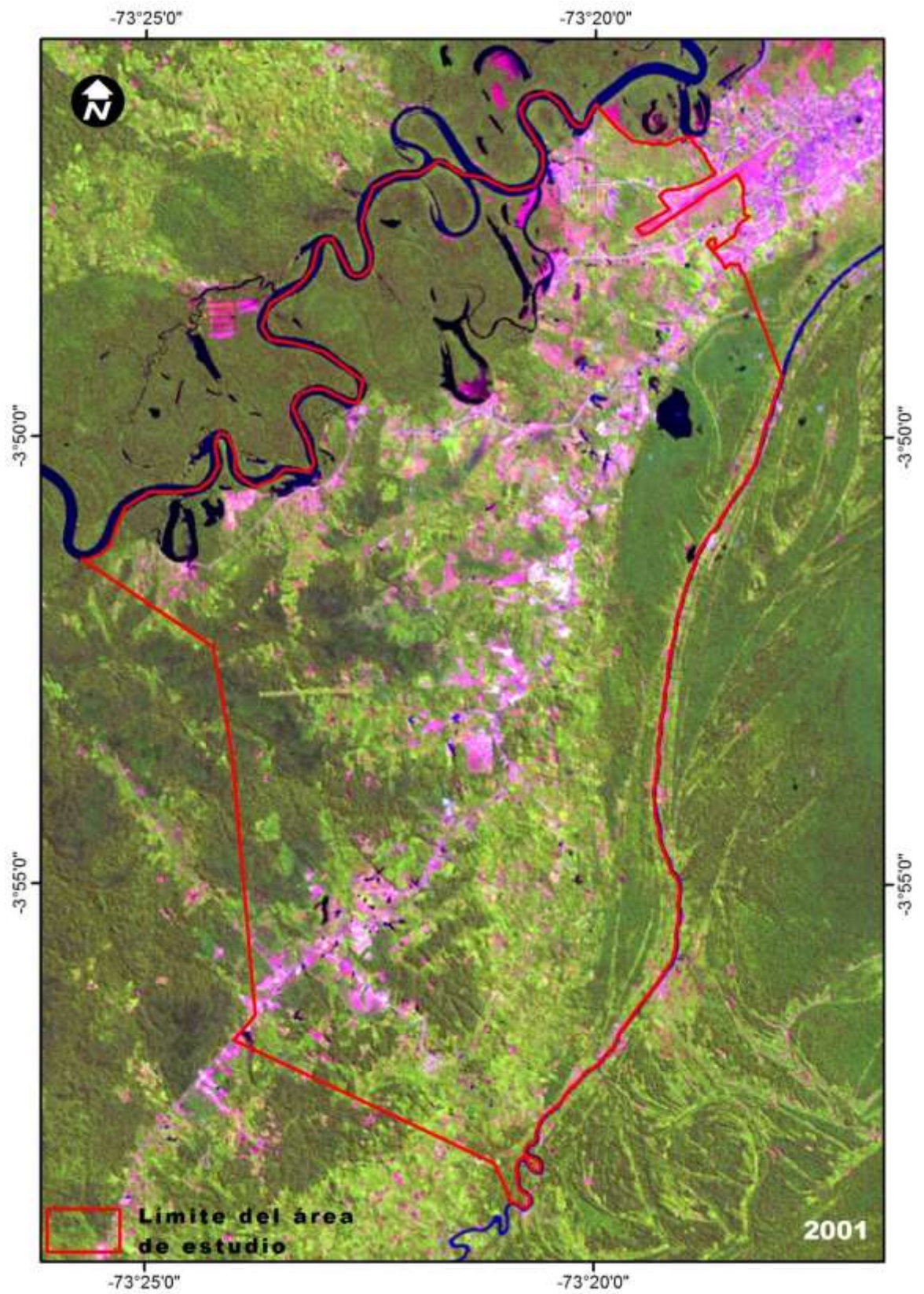
Recursos Naturales No Renovables Proyecto Microzonificación Ecológica y Económica para el Desarrollo Sostenible del área de influencia de la carretera Iquitos Nauta.

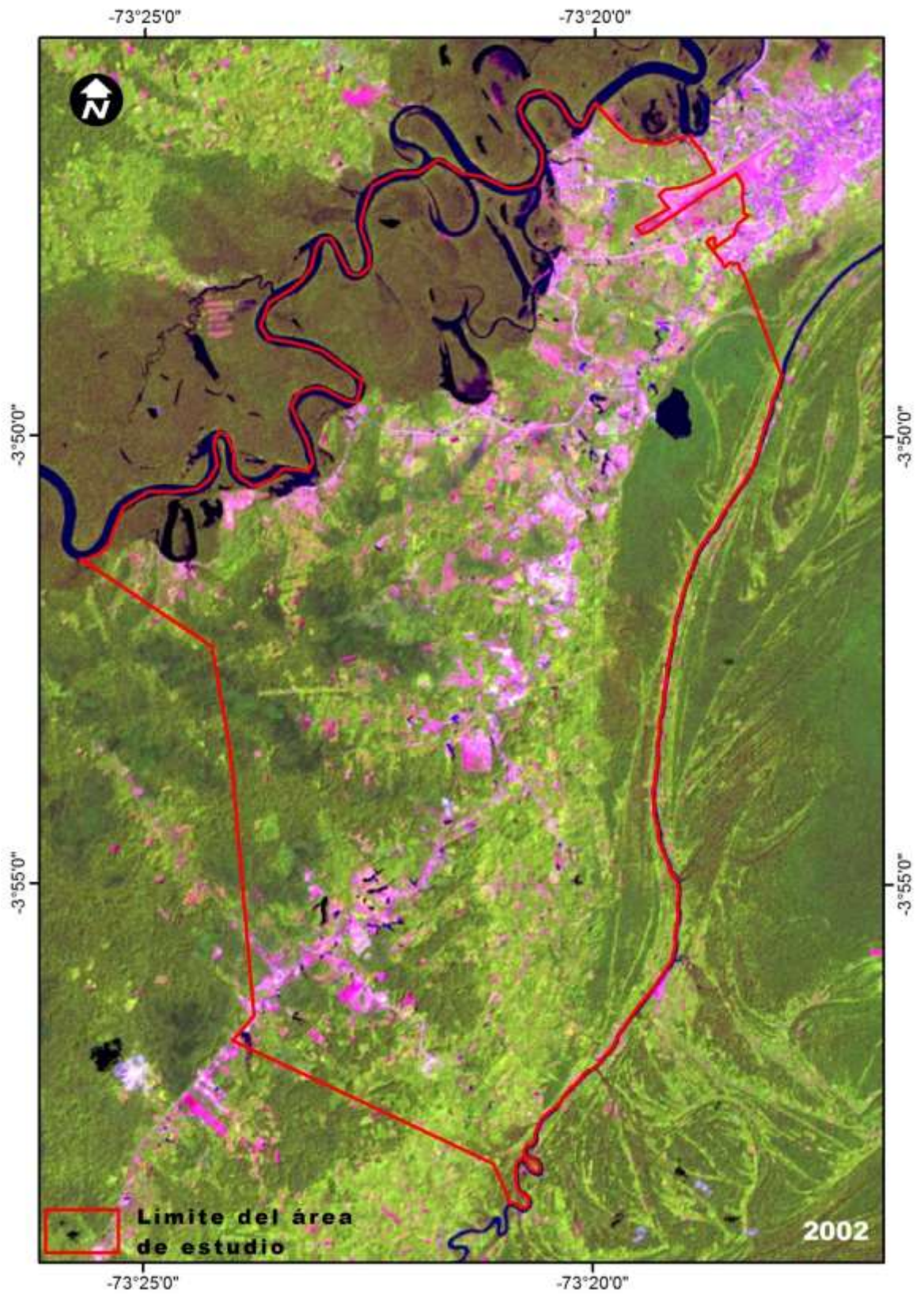
42. **Álvarez, L., Irigoín, U.** (2014) *EFFECTOS DE LA EXTRACCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ARENA CUARZOSA BLANCA DE CANTERAS DEL AREA DE INFLUENCIA DE LA CARRETERA IQUITOS- NAUTA, 2009-2010.* (Vol. 1). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
43. **Rodríguez, F., Maco, J., Limachi, L., Reátegui, F., Castro, W., Escobedo, R., Wahl, E.** (2002). Iquitos-Nauta zonificación ecológica económica para el desarrollo sostenible. Tomo 1: propuesta de ZEE.
44. **Soto, G.** *Caracterización de la actividad minera artesanal no metálica en la zona de la carretera Iquitos-Nauta.* Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
45. **Moschella, P.** (2019) El desafío del crecimiento urbano sostenible en la ciudad amazónica de Iquitos. CASA [Ciudades Auto-Sostenibles Amazónicas] HOME [Self-Sustainable Amazonian Cities], Fondo Editorial PUCP, Lima, 304-317.
46. **Mejía, C.** (2014) *Receptores de impactos: una mirada desde el extractivismo hacia las comunidades cercanas a los lugares donde se extraen agregados pétreos para la confección de concreto.* Escuela de Construcción.

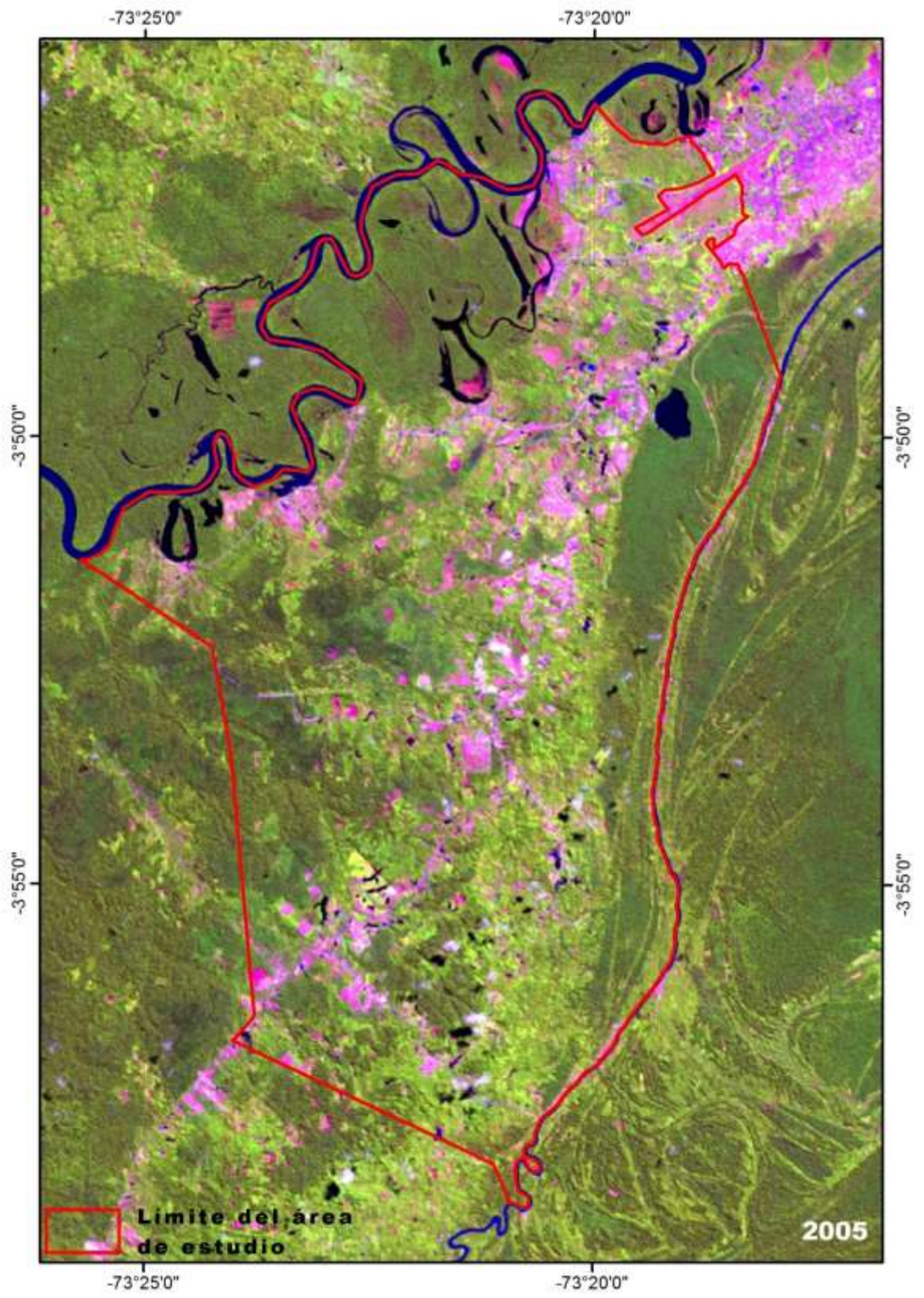
ANEXOS

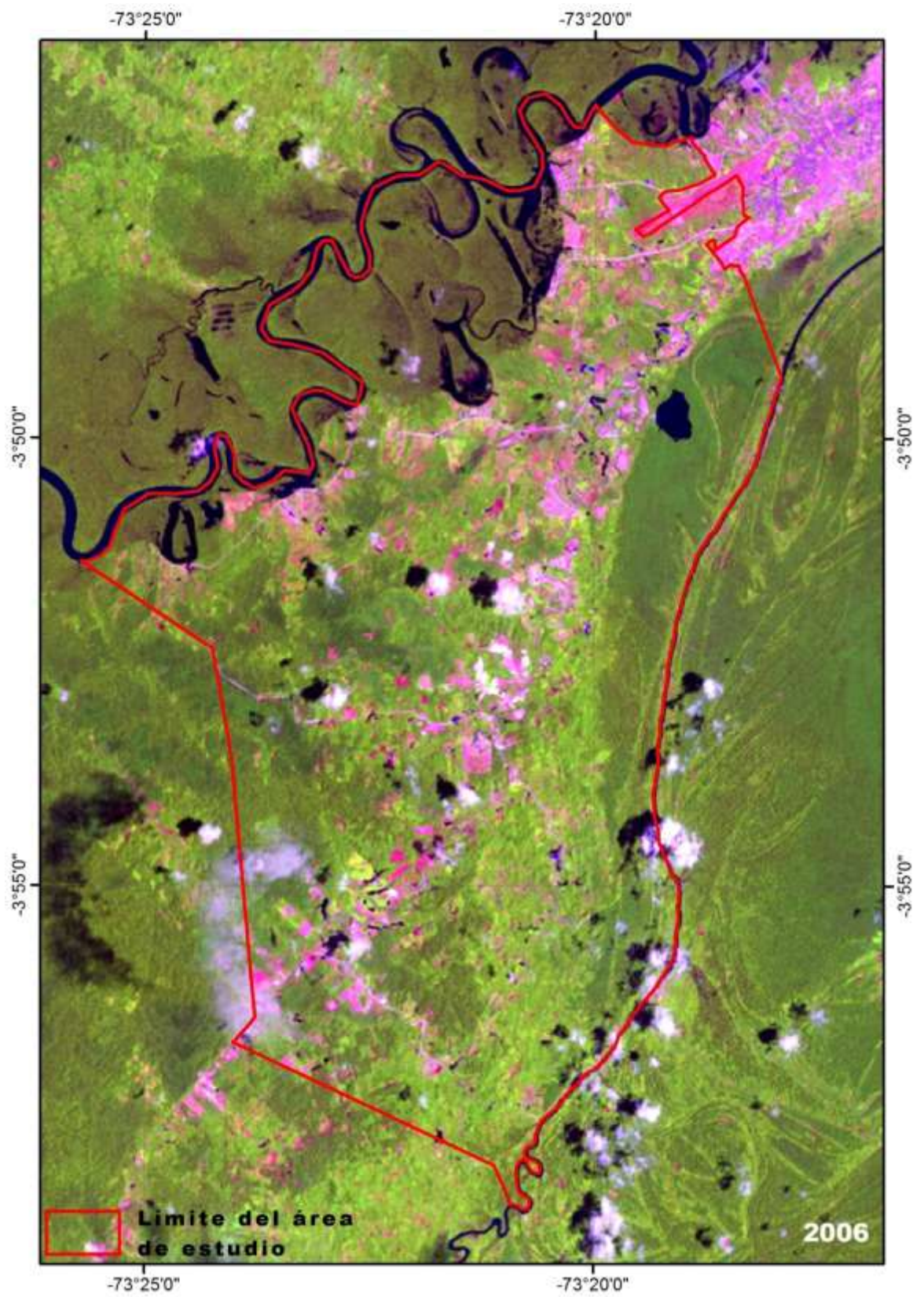
Anexo 1: Imágenes de satélite Landsat recopiladas de la plataforma Google Earth Engine.

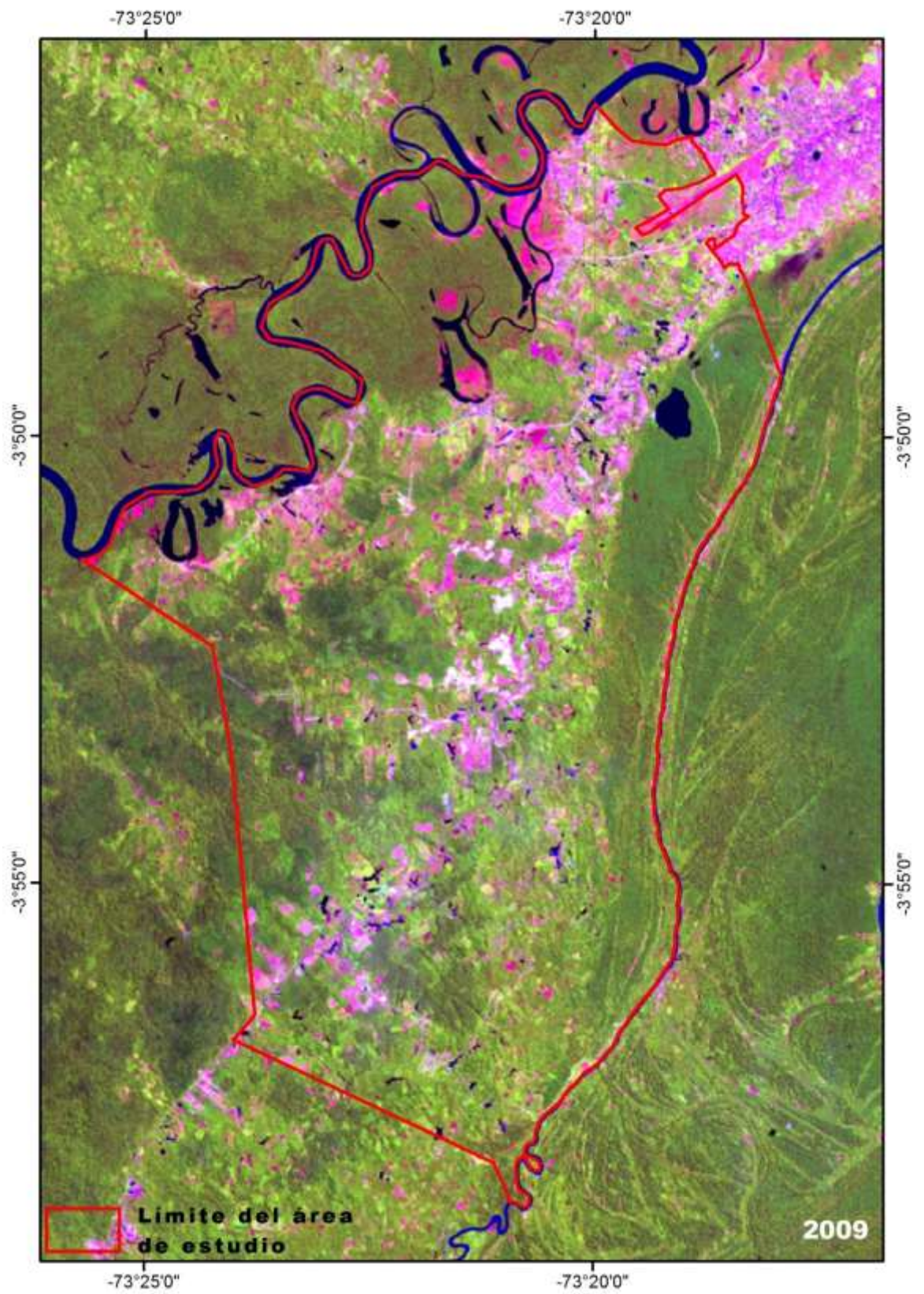


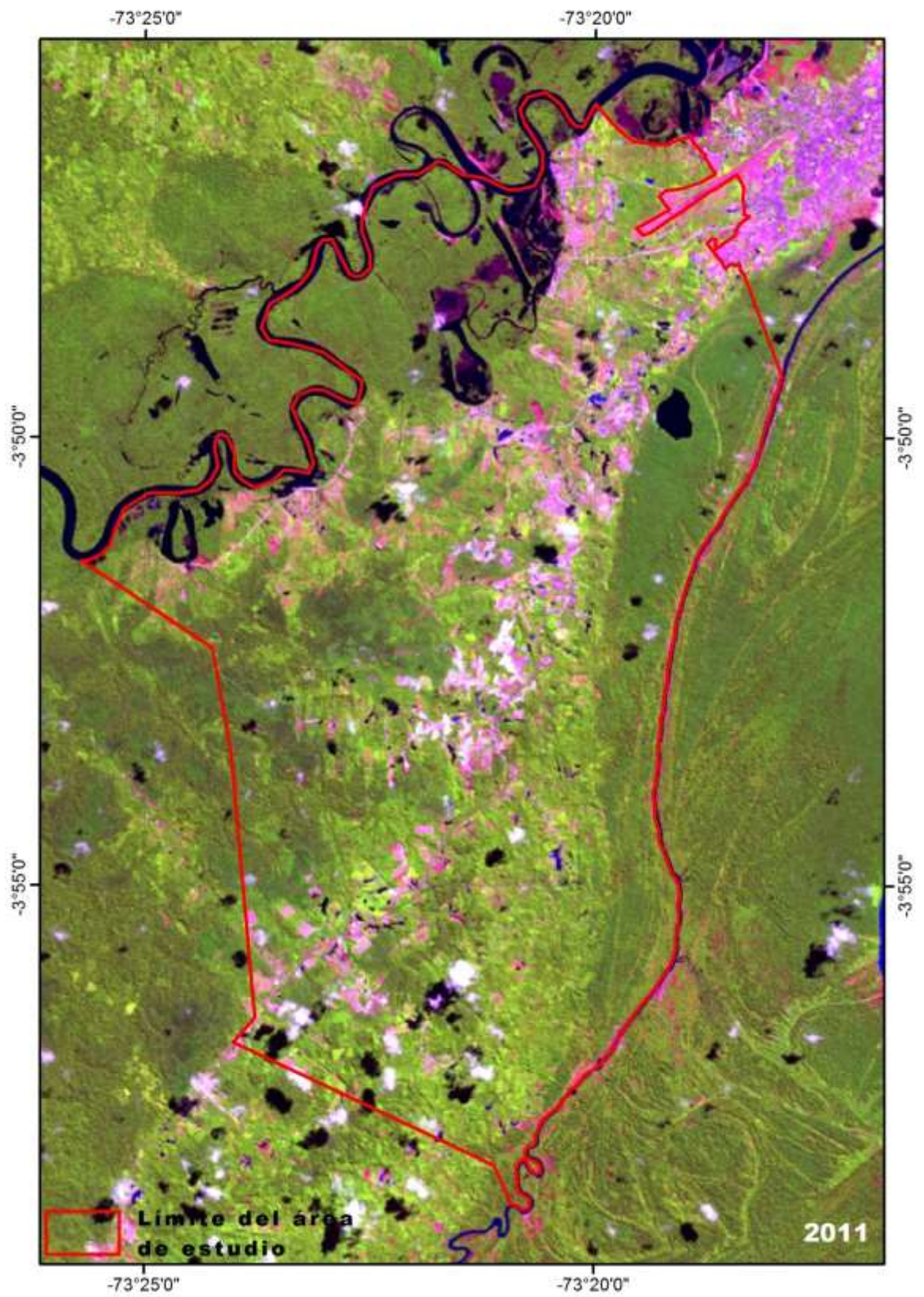


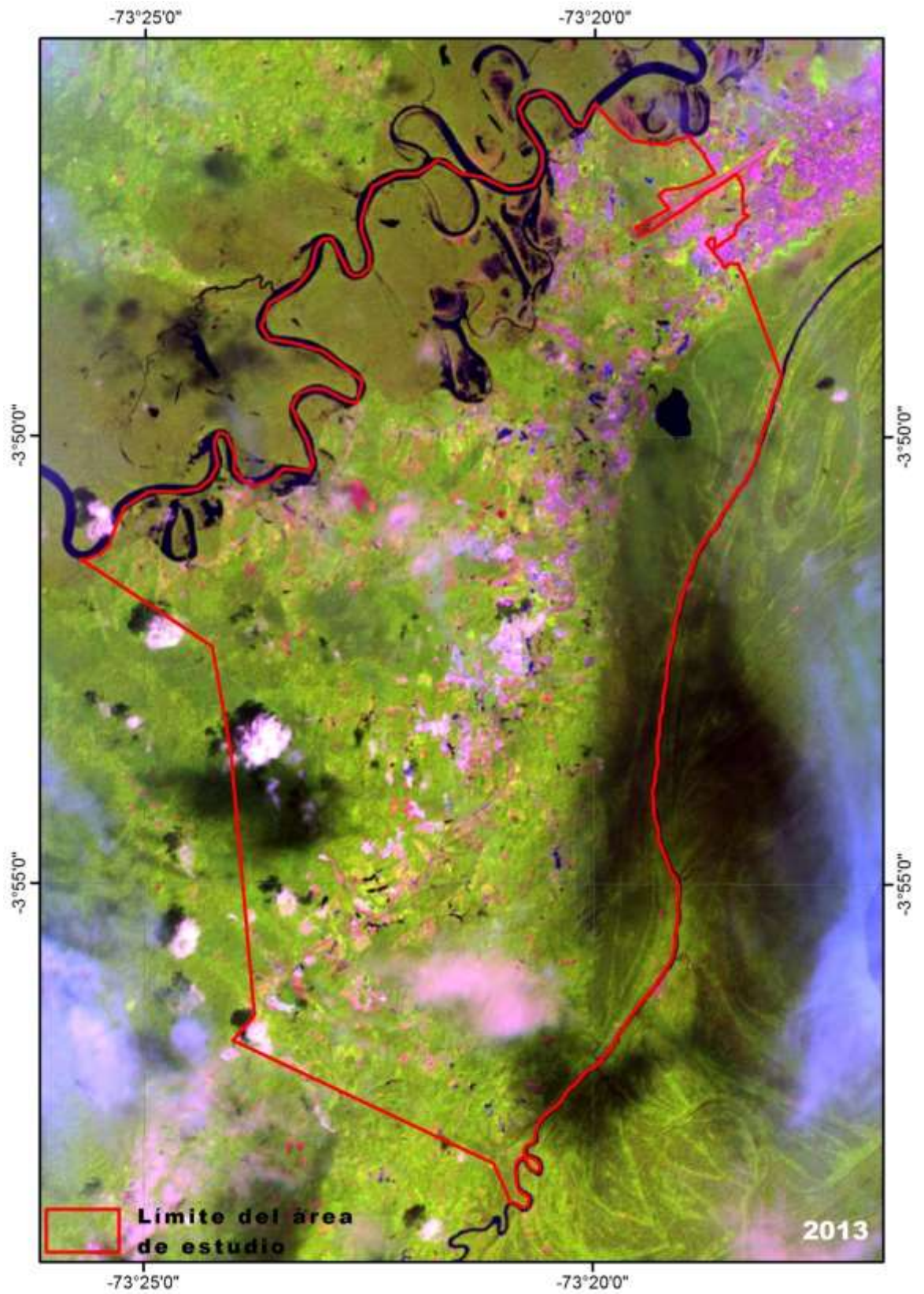


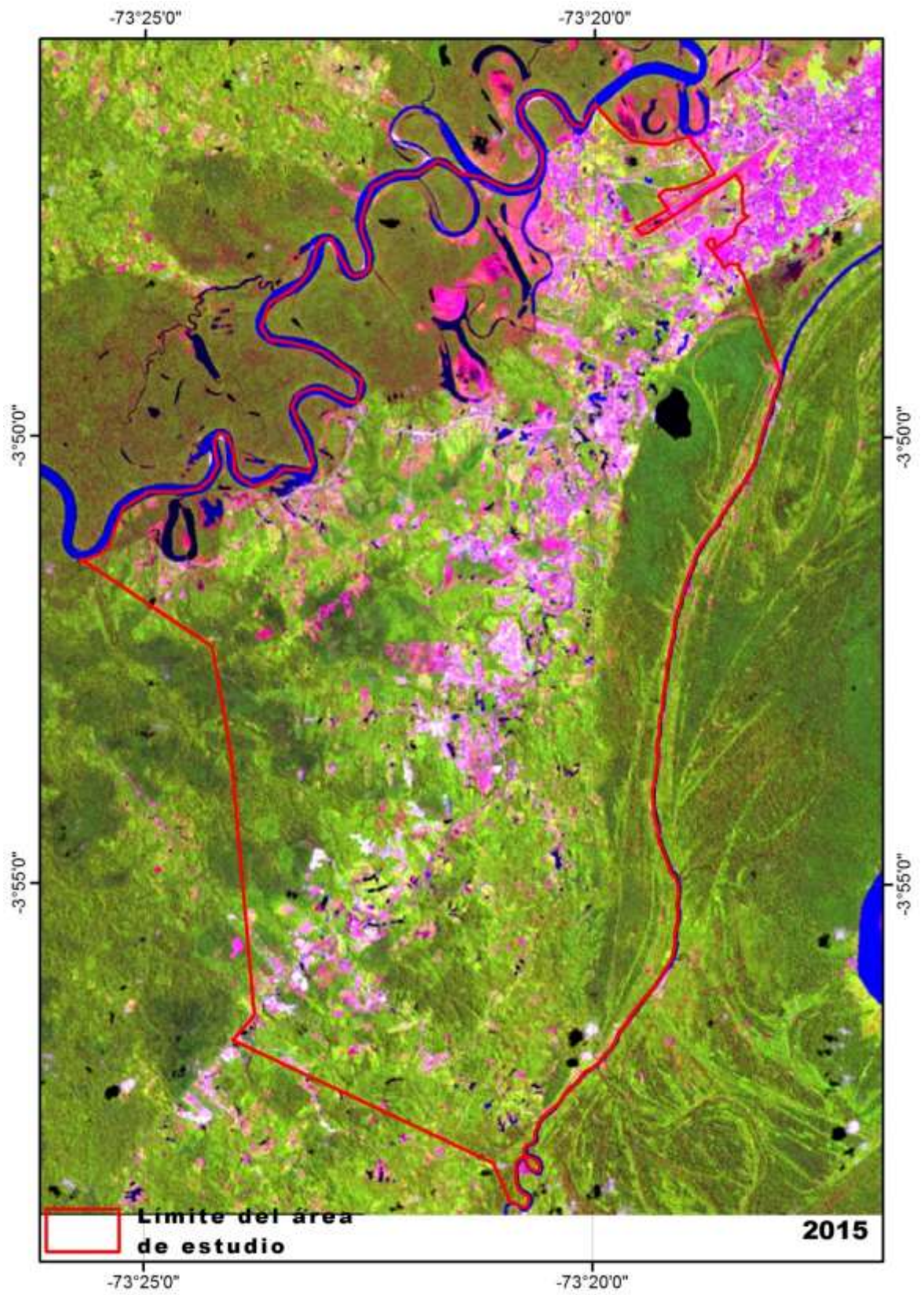


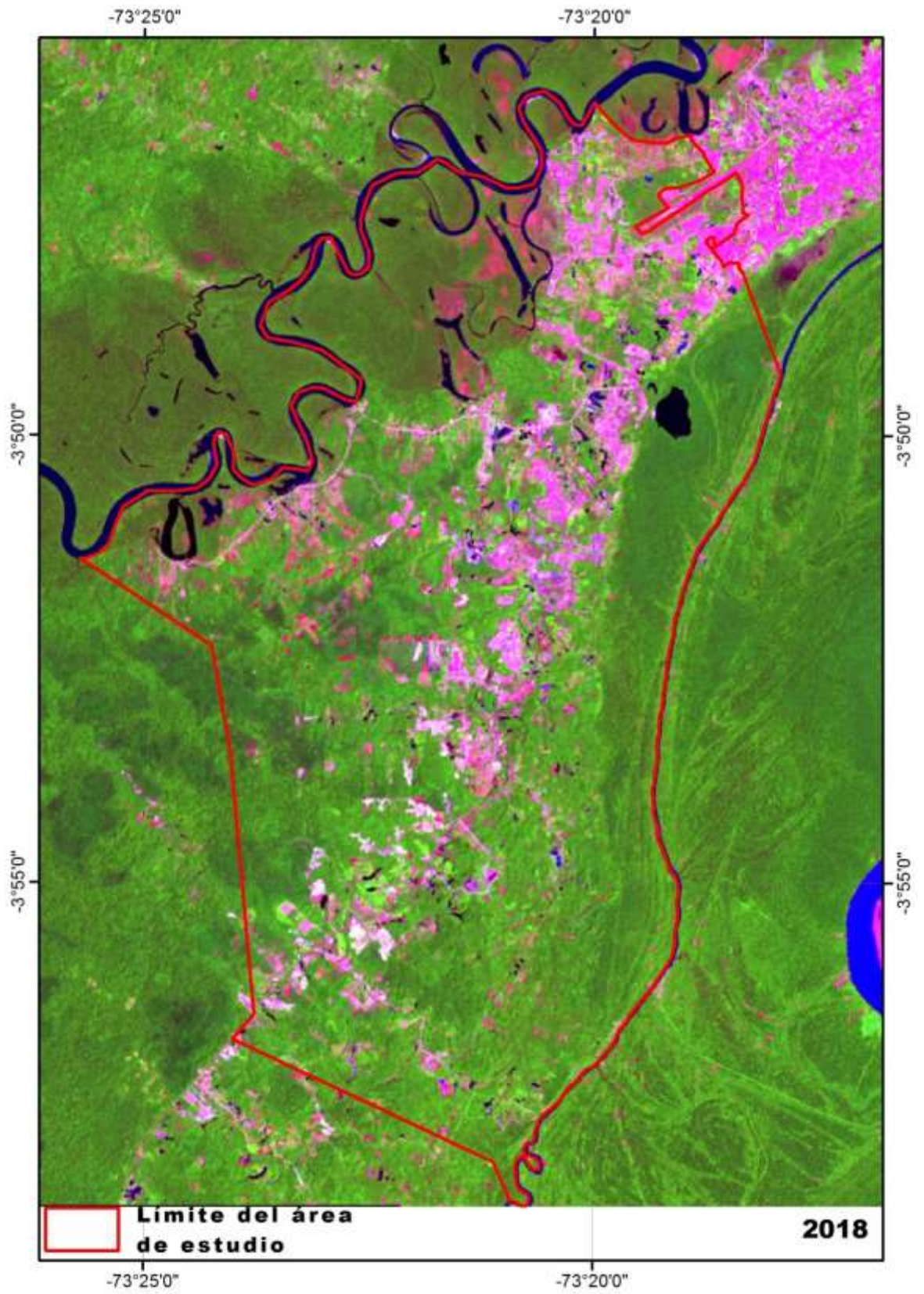












Anexo 2: Panel fotográfico de trabajo de campo.

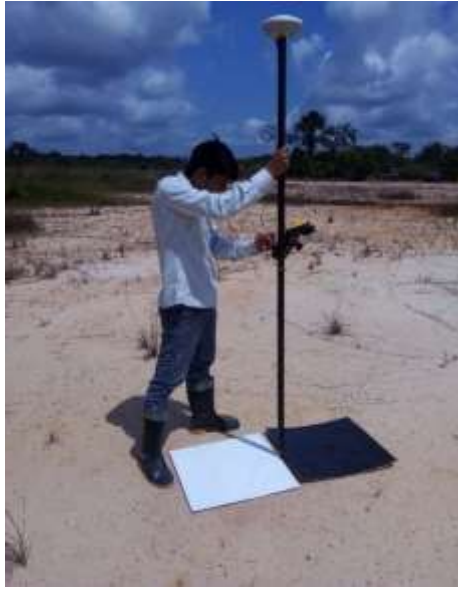


Figura 1. Fotografía de la Cantera "Oscar Alberca".



Figura 2. Fotografía de la Cantera "El Varilla".

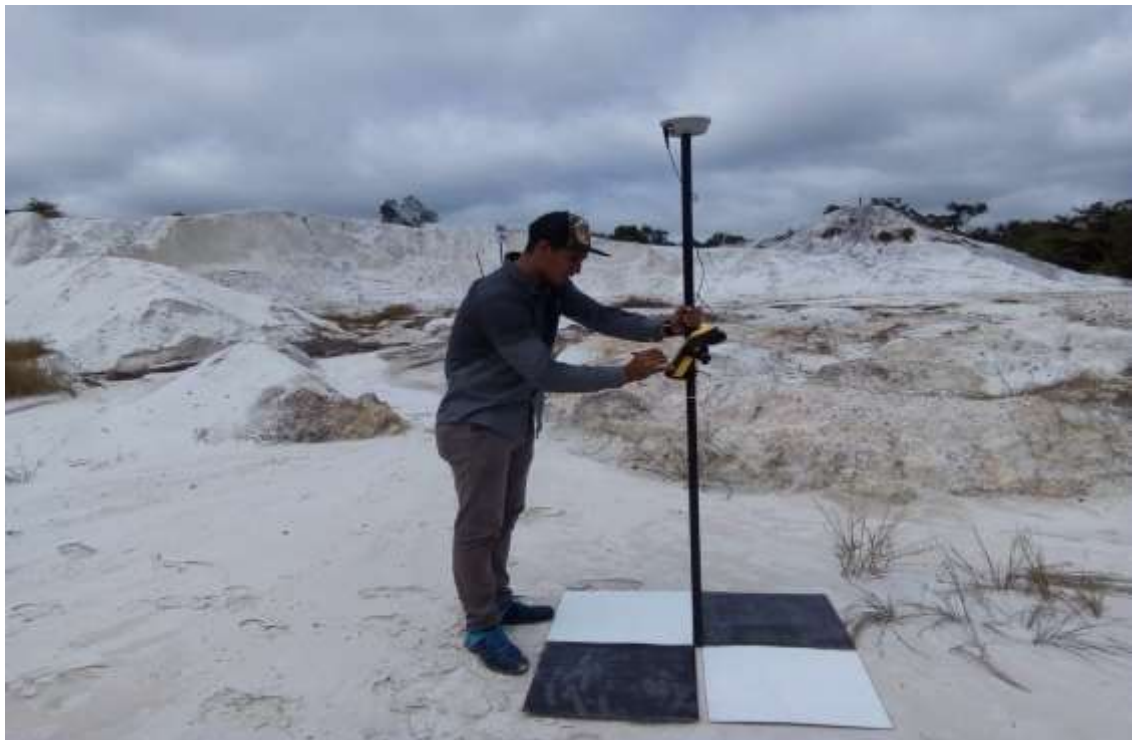


Figura 3. Fotografía de la Cantera "Las Galeras".



Figura 4. Fotografía de la Cantera “San Gerardo (A)”.



Figura 5. Fotografía de la Cantera “San Gerardo (B)”



Figura 6. Fotografía de la Cantera “Las Amazonas (A)”.



Figura 7. Fotografía de la Cantera “Las Amazonas (B)”



Figura 8. Fotografía de la Cantera “Villa Milagritos”

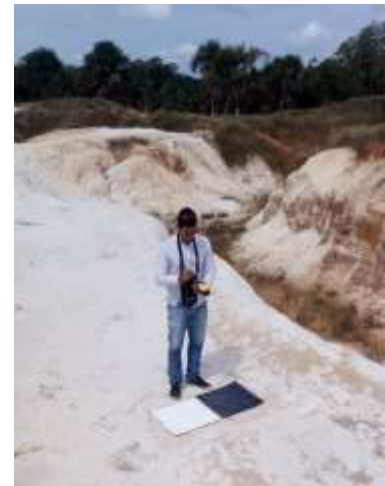


Figura 9. Fotografía de la Cantera “El Brashico”



Figura 10. Fotografía de la Cantera "San José".



Figura 11. Fotografía de la Cantera "Chelita III"



Figura 12. Fotografía Panorámica de la Cantera "Chelita III"



Figura 13. Fotografía de la Cantera "Peña Negra"



Figura 14. Fotografía de la Cantera "Amazonas (B)"



Figura 15. Fotografía de los equipos para el Sobrevuelo



Figura 16. Fotografía colocando y asegurando hélices del Drone



Figura 17. Fotografía realizando la calibración del Drone



Figura 17. Fotografía verificando el tiempo y las condiciones climáticas



Figura 18. Fotografía donde se realiza la vinculación del aplicativo con el Drone a través de conexión inalámbrica.

Figura 19. Fotografía donde se anota la configuración de vuelo, tiempo de duración del vuelo, cantidad de satélites, altura, porcentaje de recarga de la batería y la hora de inicio del despegue del vehículo aéreo no tripulado "Drone"



Figura 20. Fotografía donde se alista el despegue del Vehículo aéreo no tripulado "Drone" con el plan de vuelo insertado.



Figura 21. Fotografía donde se alista el aterrizaje del Vehículo aéreo no tripulado "Drone" a su punto de partida.

Anexo 3: Ubicación de las canteras en coordenadas UTM, Zona 18 Sur.

PUNTOS DE UBICACIÓN DE LA CANTERA					
ITEM	CANTERA	ESTADO	DISTRITO/PROVINCIA	COORDENADAS	
				X	Y
1	LAS AMAZONAS (A)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	678381.138	9564415.357
2	LAS AMAZONAS (B)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	678732.619	9564701.995
3	CHELITA III (A)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	680220.526	9565913.452
4	CHELITA III (B)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	680459.338	9565423.567
5	LAS GALERAS	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	679385.422	9566805.033
6	VILLA MILAGRITOS (A)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	682207.794	9573062.977
7	VILLA MILAGRITOS (B)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	682448.645	9572779.579
8	SAN GERARDO (A)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	681465.639	9568424.12
9	SAN GERARDO (B)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	680483.379	9568609.66
10	SAN GERARDO (C.)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	680738.499	9568556.943
12	VARILLAL CONCICON	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	682016.293	9569716.631
13	VARILLALITO	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	681794.335	9570168.807
14	BETTY PANAIFO	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	683161.957	9573134.645
15	PEÑA NEGRA	PROCESO DE FORMALIZACIÓN	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	683880.896	9573374.577
16	SAN JOSE	INFORMAL	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	677640.533	9566257.734
17	CANTERA SIN NOMBRE	INFORMAL	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	680145.525	9566101.235
18	BRASHICO	PROCESO DE FORMALIZACIÓN	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	680705.088	9573937.263

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Productos finales del procesamiento de las Imágenes UAV, Ortomosaicos y Modelos digitales de elevación.

Ortomosaico



CANERA VARILLALITO - OSCAR ALBERCA

Modelo digital de elevaciones

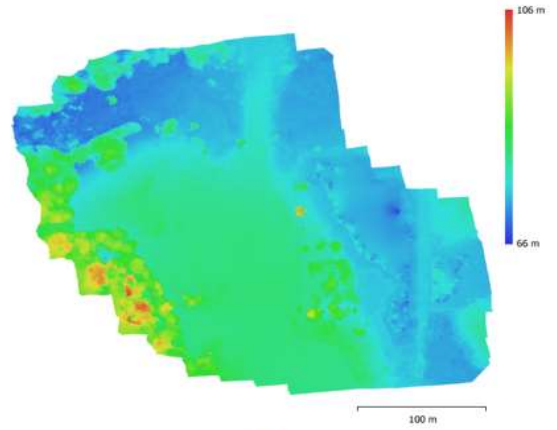


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 6.77 cm/pix
Densidad de puntos: 218 puntos/m²

Figura 23. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera “Varillalito” del Sr. Oscar Alberca.

Ortomosaico



CANERA VARILLAL - OSCAR ALBERCA

Modelo digital de elevaciones

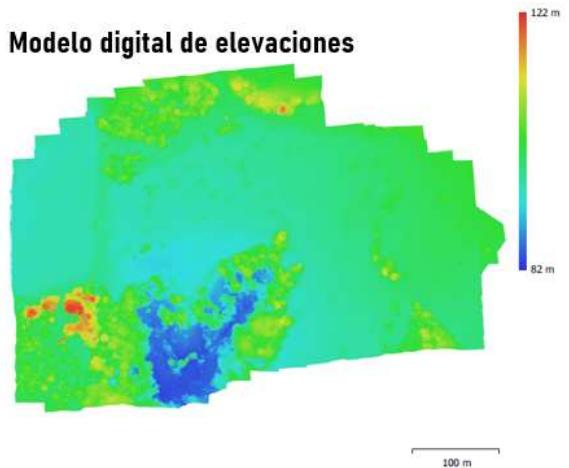


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 6.71 cm/pix
Densidad de puntos: 222 puntos/m²

Figura 24. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera “Varillal” del Sr. Oscar Alberca.

Ortomosaico



CANTERA GALERAS - YOLANDA VIGIL

Modelo digital de elevaciones

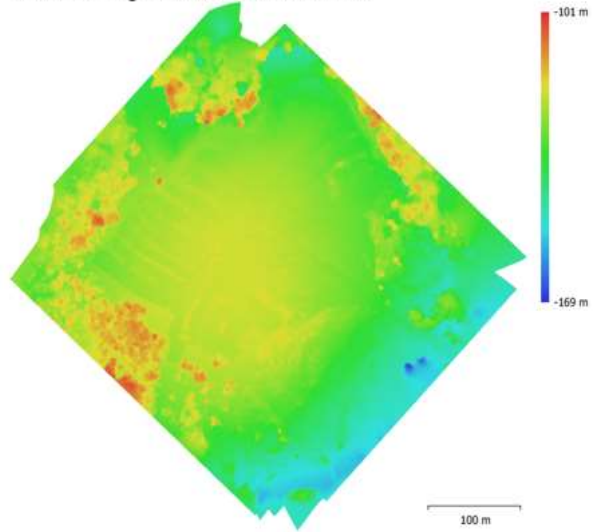


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 7.35 cm/pix
 Densidad de puntos: 185 puntos/m²

Figura 25. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera “Las Galeras” de la Sra. Yolanda Vigil.

Ortomosaico



CANTERA SAN GERARDO (A)

Modelo digital de elevaciones

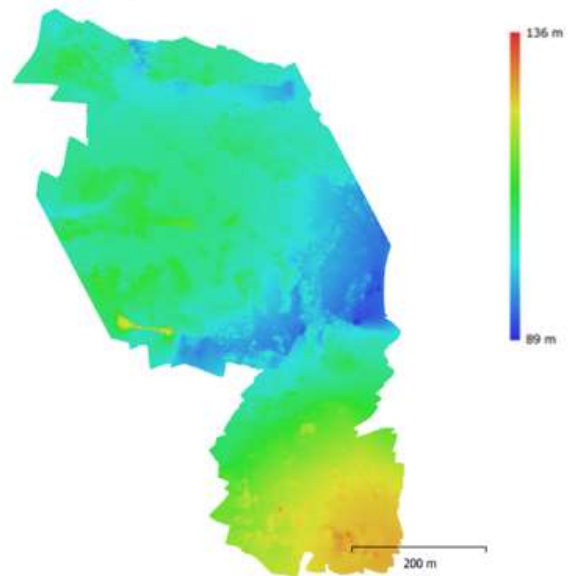


Fig. 6. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 5.66 cm/pix
 Densidad de puntos: 312 puntos/m²

Figura 26. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera “San Gerardo” de la Sra. Irina Gabriela.

Ortomosaico



Modelo digital de elevaciones

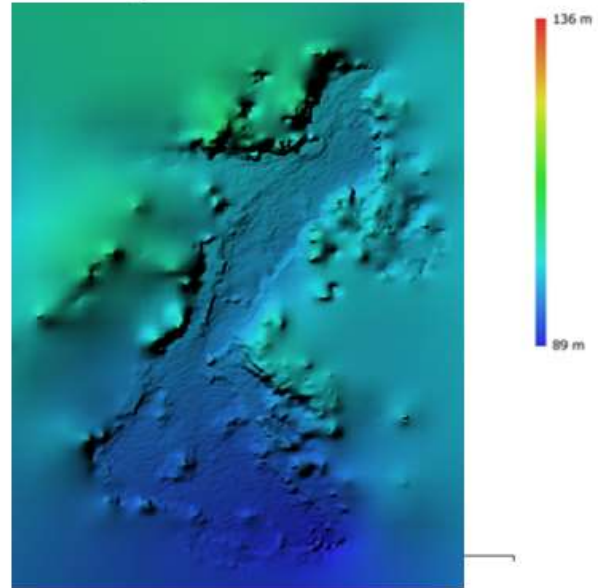


Fig. 6. Modelo digital de elevaciones.

CANTERA SAN GERARDO (B)

Resolución: 5.66 cm/pix
Densidad de puntos: 312 puntos/m²

Figura 27. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera “San Gerardo (B)” de la Sra. Irina Gabriela.

Ortomosaico



Modelo digital de elevaciones

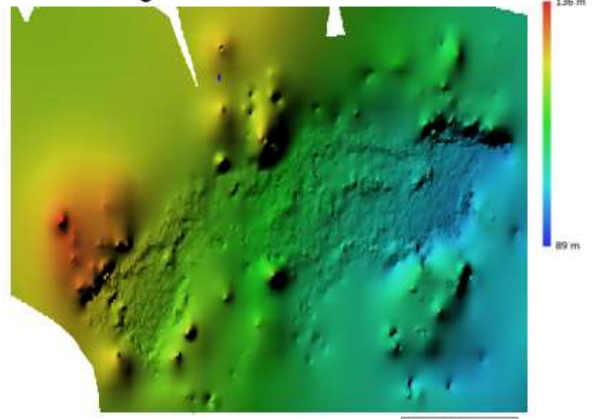


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

CANTERA SAN GERARDO (C)

Resolución: 7.16 cm/pix
Densidad de puntos: 195 puntos/m²

Figura 28. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera “San Gerardo (C)” de la Sra. Irina Gabriela.

Ortomosaico



CANTERA AMAZONAS (A)

Modelo digital de elevaciones

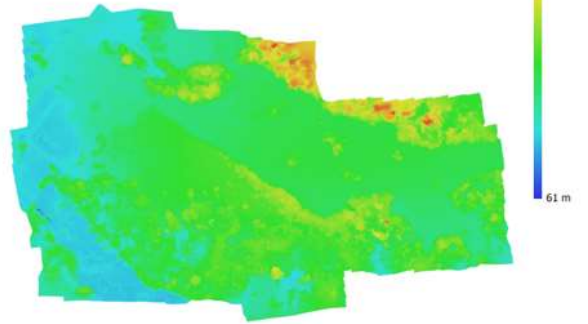


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 5.68 cm/pix
Densidad de puntos: 310 puntos/m²

Figura 29. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera “Las Amazonas (A)” del Ing. Santos Rubiño.

Ortomosaico



CANTERA AMAZONAS (B)

Modelo digital de elevaciones

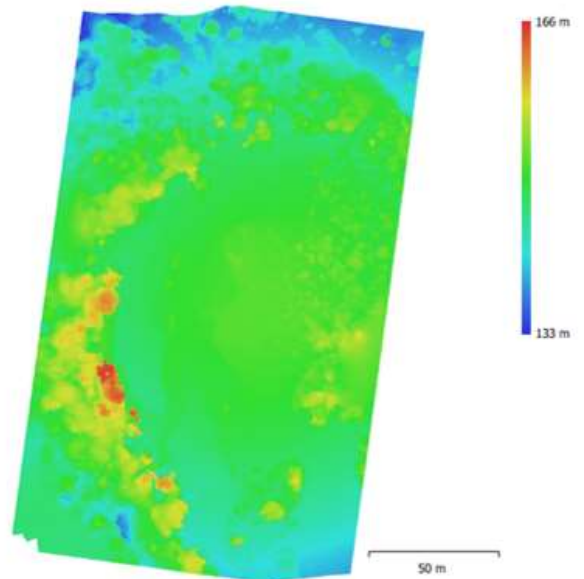


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 4.89 cm/pix
Densidad de puntos: 418 puntos/m²

Figura 30. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera “Las Amazonas (B)” del Ing. Santos Rubiño.

Ortomosaico



CANERA VILLA MILAGRITOS (A)

Modelo digital de elevaciones

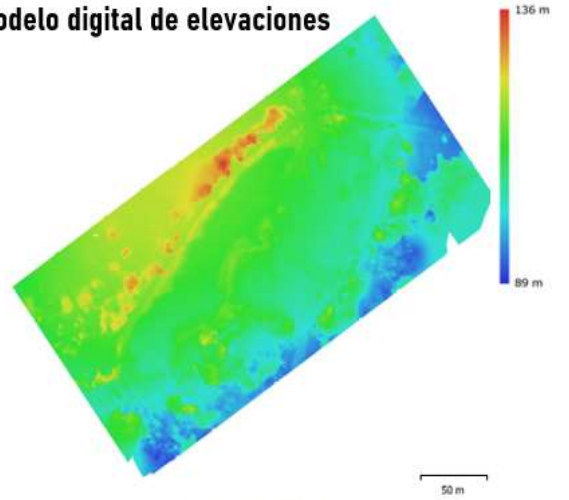


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 3.36 cm/pix
Densidad de puntos: 888 puntos/m²

Figura 31. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera “Villa Milagritos (A)” del Sr. José

Ortomosaico



CANERA VILLA MILAGRITOS (B)

Modelo digital de elevaciones

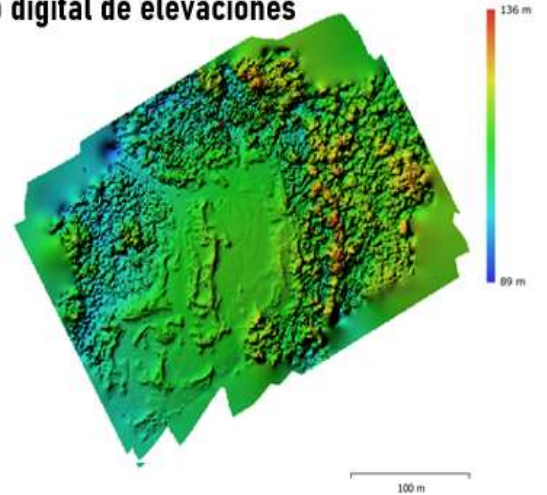


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 7.16 cm/pix
Densidad de puntos: 195 puntos/m²

Figura 32. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera “Villa Milagritos (B)” del Sr. José

Ortomosaico



CANTERA BRASHICO - KING KONG

Modelo digital de elevaciones

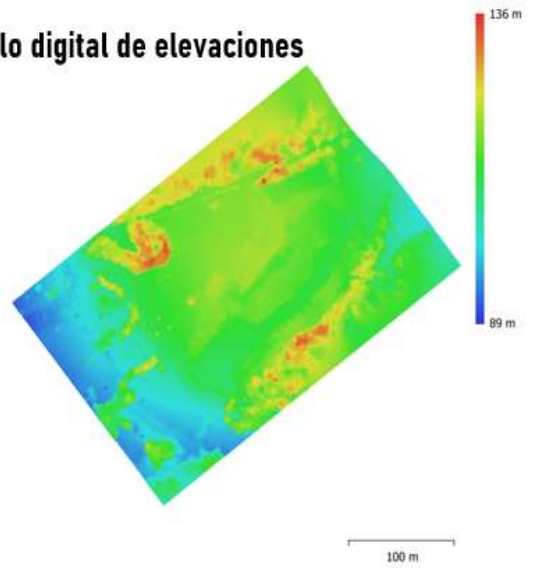


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 7.74 cm/pix
Densidad de puntos: 167 puntos/m²

Figura 33. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera “El Brashico”

Ortomosaico



CANTERA COMUNIDAD SAN JOSÉ

Modelo digital de elevaciones

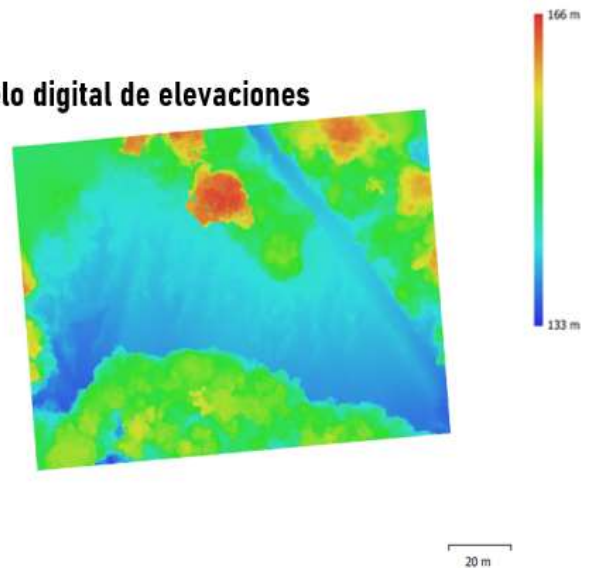


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 7.21 cm/pix
Densidad de puntos: 193 puntos/m²

Figura 34. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera de la Comunidad “San José”.

Ortomosaico



CANTERA CHELITA III - Rosalvina Cheglio (A)

Modelo digital de elevaciones

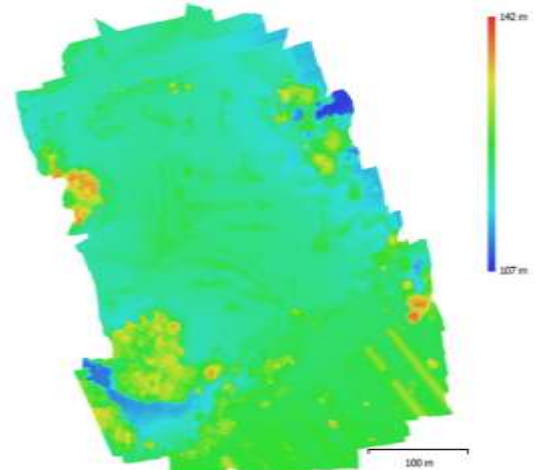


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 5.39 cm/pix
Densidad de puntos: 344 puntos/m²

Figura 35. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera Chelita III (A) de la Sra. Rosalvina Cheglio.

Ortomosaico



CANTERA CHELITA III - Rosalvina Cheglio (B)

Modelo digital de elevaciones

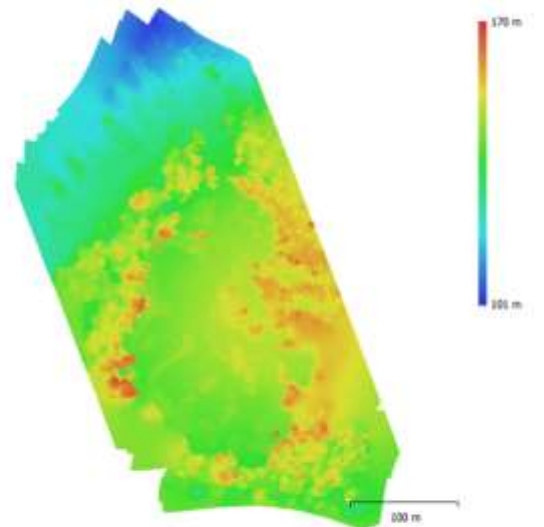


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 6.99 cm/pix
Densidad de puntos: 204 puntos/m²

Figura 36. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera Chelita III (B) de la Sra. Rosalvina Cheglio.

Ortomosaico



CANTERA PEÑA NEGRA

Modelo digital de elevaciones

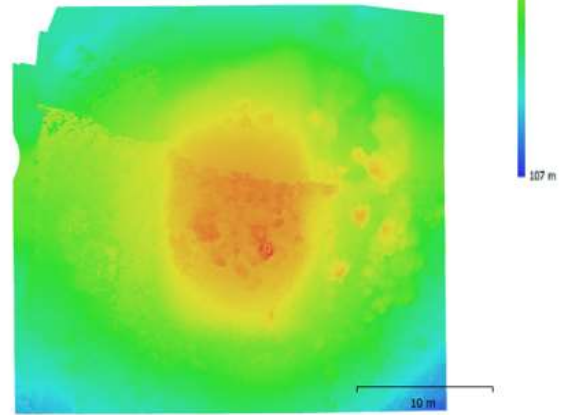


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 1.64 cm/pix
Densidad de puntos: 0.373 puntos/cm²

Figura 37. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera “Peña Negra” de la Sra. Rosalvina Cheglio.

Ortomosaico



CANTERA ILEGAL - SIN NOMBRE

Modelo digital de elevaciones

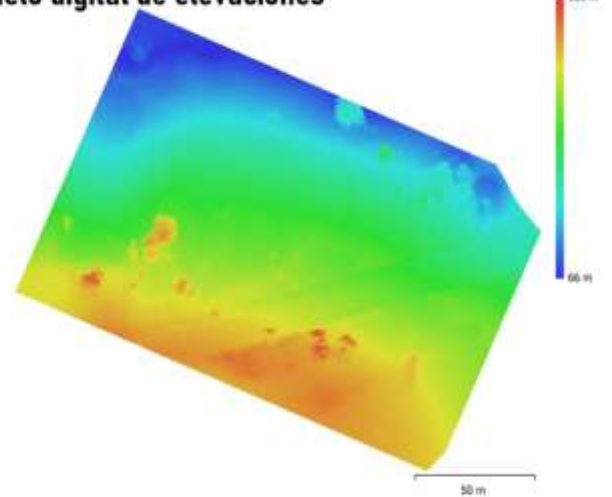


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 2.52 cm/pix
Densidad de puntos: 0.158 puntos/cm²

Figura 38. Generación de Ortomosaico y Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Cantera Informal “Sin Nombre”.

Anexo 5: Modelos para el cálculo de altura de potencia promedio (Máximos y mínimos).



Figura 39. Perfil del Terreno en 3D para la medición de la Altura Potencial de Aprovechamiento de la Cantera “Chelita III”



Figura 40. Perfil del Terreno en 3D para la medición de la Altura Potencial de Aprovechamiento de la Cantera “Las Amazonas (A)”



Figura 41. Perfil del Terreno en 3D para la medición de la Altura Potencial de Aprovechamiento de la Cantera “Quispe”



Figura 42. Perfil del Terreno en 3D para la medición de la Altura Potencial de Aprovechamiento de la Cantera “Las Amazonas (B)”



Figura 43. Perfil del Terreno en 3D para la medición de la Altura Potencial de Aprovechamiento de la Cantera “Betty Pinedo Panaifo”

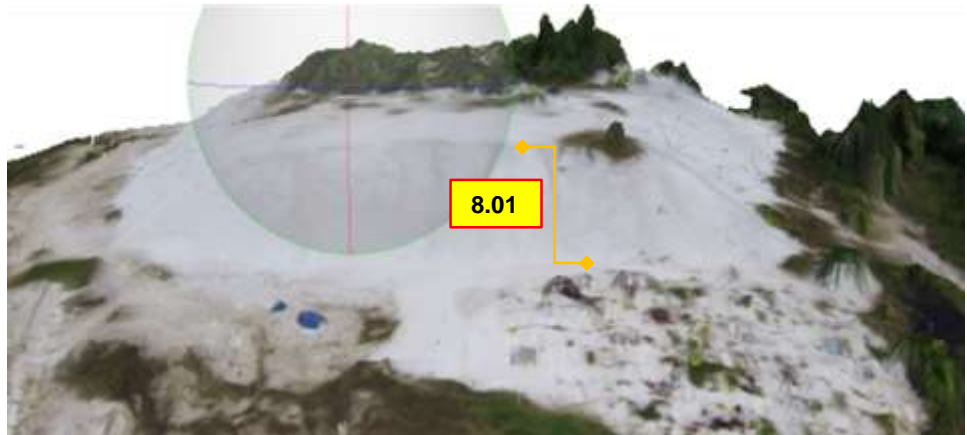


Figura 44. Perfil del Terreno en 3D para la medición de la Altura Potencial de Aprovechamiento de la Cantera “Peña Negra”



Figura 45. Perfil del Terreno en 3D para la medición de la Altura Potencial de Aprovechamiento de la Cantera “Villa Milagrito (A) y (B)”





Figura 46. Perfil del Terreno en 3D para la medición de la Altura Potencial de Aprovechamiento de la Cantera “Las Galeras”



Figura 47. Perfil del Terreno en 3D para la medición de la Altura Potencial de Aprovechamiento de la Cantera “El Brashico”



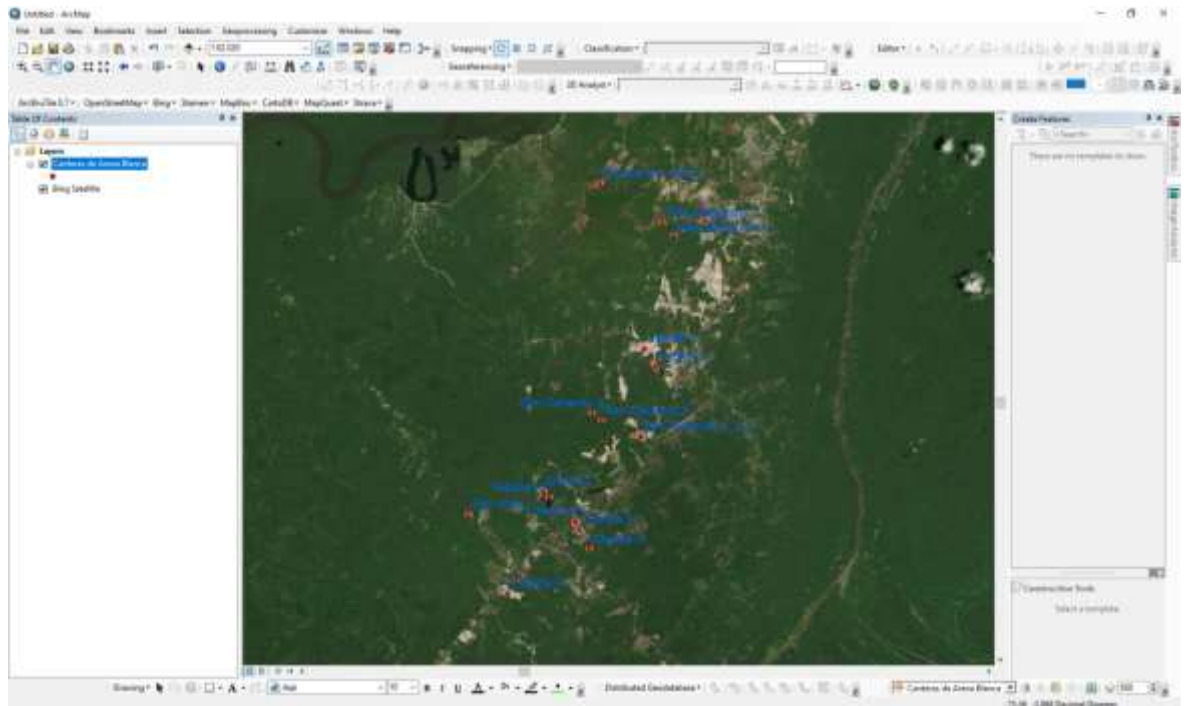
Figura 48. Perfil del Terreno en 3D para la medición de la Altura Potencial de Aprovechamiento de la Cantera “Villa Milagritos”

Anexo 6: Tabla de resumen de potencias de las canteras de arena blanca generados a partir de modelos máximos y mínimos.

POTENCIA DE LAS CANTERAS - RECURSO ARENA BLANCA						
ITEM	CANTERA	ESTADO	DISTRITO/PROVINCIA	POTENCIA	COORDENADAS UTM 18S	
					ESTE	NORTE
1	LAS AMAZONAS (A)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	8.24	678381.138	9564415.357
2	LAS AMAZONAS (B)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	8.93	678732.619	9564701.995
3	CHELITA III (A)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	7.54	680220.526	9565913.452
4	CHELITA III (B)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	6.42	680459.338	9565423.567
5	LAS GALERAS	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	9.19	679385.422	9566805.033
6	VILLA MILAGRITOS (A)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	7.32	682207.794	9573062.977
7	VILLA MILAGRITOS (B)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	9.40	682448.645	9572779.579
8	SAN GERARDO (A)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	7.71	681465.639	9568424.12
9	SAN GERARDO (B)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	8.36	680483.379	9568609.66
10	SAN GERARDO (C.)	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	9.23	680738.499	9568556.943
12	VARILLAL CONCICON	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	7.04	682016.293	9569716.631
13	VARILLALITO	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	7.63	681794.335	9570168.807
14	BETTY PANAIFO	TITULADO	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	7.31	683161.957	9573134.645
15	PEÑA NEGRA	PROCESO DE FORMALIZACIÓN	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	8.00	683880.896	9573374.577
16	SAN JOSE	INFORMAL	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	6.68	677640.533	9566257.734
17	CANTERA SIN NOMBRE	INFORMAL	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	7.31	680145.525	9566101.235
18	BRASHICO	PROCESO DE FORMALIZACIÓN	SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS	8.83	680705.088	9573937.263
PROMEDIO				8		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7: Ubicación de las canteras de extracción de arena blanca en el área de estudio, programa QGIS.



Anexo 8: Superficie de extracción de arena blanca por año, periodo 1999-2018 a partir del índice NDTI.

