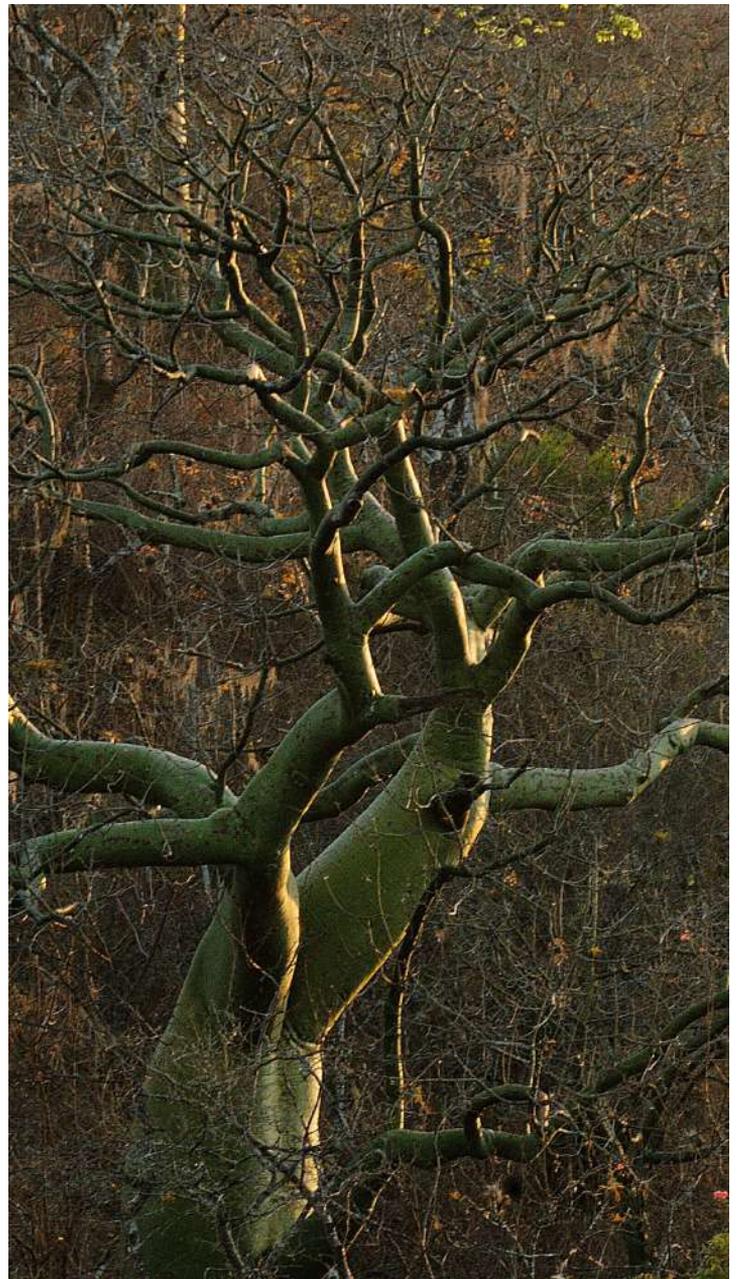


Mapeo de los bosques estacionalmente secos y no bosque estacionalmente secos de la costa norte del Perú

Tumbes • Piura • Lambayeque





MEMORIA DESCRIPTIVA

Mapeo de los bosques estacionalmente secos y no bosque estacionalmente secos de la costa norte del Perú

Tumbes • Piura • Lambayeque





MEMORIA DESCRIPTIVA

Mapeo de los bosques estacionalmente secos y no bosque estacionalmente secos de la costa norte del Perú Tumbes · Piura · Lambayeque
Versión digital

Editado por:

© Ministerio del Ambiente (MINAM). Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC)
Av. República de Panamá n.º 3030, piso 14, San Isidro. Lima, Perú

Primera edición: enero de 2021

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 2021-XXXXX

Todos los derechos reservados de acuerdo con el Decreto Legislativo n.º 822 (Ley sobre el Derecho de Autor)

Diseño:

Gabriel Herrera

Fotografías:

© Christian Quispe



PRESENTACIÓN

Los bosques secos del Pacífico constituyen uno de los espacios naturales más asombrosos del Perú. Debido a su particular configuración geográfica y a un clima riguroso, de prolongadas sequías, sus habitantes silvestres han debido adaptarse durante milenios para sobrevivir en un ambiente hostil como pocos. La historia natural de especies como el algarrobo, que desarrolla raíces muy profundas para captar agua a más de cien metros dentro del suelo; o del ceibo, capaz de almacenar agua en sus gruesos troncos, son solo algunos de los mecanismos de estos campeones de la evolución.

Los bosques secos han brindado también durante milenios grandes servicios a los habitantes de la costa norte: alimento, materiales de construcción, forraje y medicinas. Grandes culturas prehispánicas como Mochica y Sicán, tuvieron una fuerte relación con ellos, y hasta levantaron sus asombrosas pirámides de barro en medio de ellos.

Hoy en día, sin embargo, la tala indiscriminada está amenazando a los bosques secos del Perú. Se estima que 7 000 hectáreas se pierden cada año, amenazando a cientos de especies de flora y fauna, muchas de ellas endémicas, es decir, que solo se desarrollan en esta región. Es por esta razón que con el apoyo técnico de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), a través del Proyecto de Desarrollo de Capacidades para la Conservación de Bosques y Mecanismos REDD+ en la República del Perú (ProBosque JICA), el Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (Programa Bosques), en colaboración con el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), ha desarrollado técnicas para el mapeo de los bosques secos del Perú.

La presente memoria descriptiva, resume el proceso de elaboración del primer mapa de bosques secos y no bosques secos en el departamento de Lambayeque. Sin duda, un paso de gran importancia para la conservación de los bosques del Perú y su invaluable vida silvestre.

Aumentar el conocimiento de estos bosques que se extienden por cuatro departamentos del país, es un paso de gran importancia, y permitirá tomar mejores decisiones respecto de su conservación.

Teresa Velásquez Bracamonte

Coordinadora Ejecutiva 

Programa Nacional de Conservación de Bosques
para la Mitigación del Cambio Climático







ÍNDICE

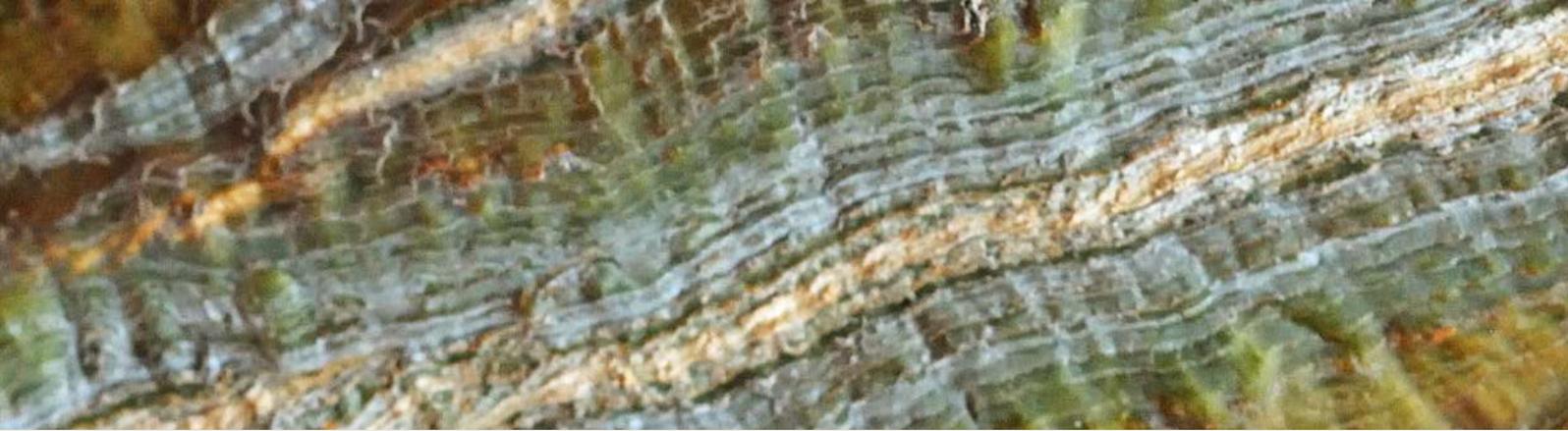
1. INTRODUCCIÓN	10
2. CONSIDERACIONES PREVIAS	12
3. OBJETIVO PRINCIPAL	12
4. ÁREA DE ESTUDIO	13
5. MATERIALES	14
6. METODOLOGÍA	14
6.1. Consulta de trabajos y propuestas metodológicas anteriores	14
6.2. Consulta con especialistas	14
6.3. Identificación de imágenes sentinel	18
6.4. Descarga de la imagen satelital	19
6.5. Abrir imagen satelital	19
6.6. Despliegue de la imagen satelital	20
6.7. Tratamientos	22
6.7.1. Corrección atmosférica	22
6.8. Resampling de bandas	23
6.9. Verificación de la geo-referenciación	24
6.9.1. Geo-referenciación	26
6.10. Exportación al formato geotiff-tiff	26
6.11. Despliegue de la imagen	26
6.12. Máscara de actividades antrópicas	27
6.13. Conversión a reflectancia toa y boa	28
6.14. Obtención de índices de vegetación	29
6.14.1. Índice: normalized difference vegetation index (ndvi)	29
6.14.2. Índice: adjusted vegetation index (savi)	30
6.15. Identificación de las formaciones vegetales	30
6.16. Definición operativa de bosque seco	30
6.17. Identificación de muestras del bosque seco	32



6.18. Determinación de umbrales	33
6.19. Clasificación preliminar	34
6.19.1. Sintáxis de la escritura del decision tree: calculadora raster del qgis	35
6.19.2. Sintáxis de la escritura del decision tree: calculadora raster de saga	35
6.20. Verificación de la clasificación	38
6.21. Trabajo de campo	38
6.21.1. Objetivo	38
6.21.2. Periodo de ejecución	38
6.21.3. Equipos	38
6.21.4. Metodología	39
Identificación de los puntos de muestreo	40
Elaboración del material de campo	42
Distribución del material de campo	43
Capacitación del personal de campo	43
Trabajo de campo	44
6.22. Sistematización de la información de campo	44
6.22.1. Sistematización de la información de campo: ficha de campo	44
6.22.2. Sistematización de la información de campo: material fotográfico	45
6.23. Verificación de los resultados	45
6.23. Edición y actualización del mapa de bosque seco y no bosque seco	46
6.24. Mapa preliminar de bosque seco y no bosque seco	48

7. VALIDACIÓN DEL MAPA DE BOSQUE SECO Y NO BOSQUE SECO **49**

7.1. Metodología	49
7.1.1. Diseño de muestreo	49
7.1.2. Determinación de estratos a muestrear	49
7.1.3. Determinación del tamaño de muestra total	50
7.1.4. Determinación del tamaño de muestra por estrato	50
7.1.5. Ubicación de los puntos de validación	50
7.1.6. Validación de puntos en base a imágenes de alta resolución	55
7.1.7. Matriz de confusión	55
7.1.8. Índice Kappa	56



1. INTRODUCCIÓN

El Perú es un país de bosques. Cerca del 60% de su territorio está cubierto de árboles, y está considerado como el noveno país con mayor cobertura boscosa en todo el planeta, así como el segundo país con mayor extensión de bosque amazónico en Sudamérica. Además de sus extensos y megadiversos bosques tropicales, ubicado en la vertiente oriental andina, el Perú posee bosques andinos de altura, y los bosques ecuatoriales del Pacífico, también conocidos como Bosques Estacionalmente Secos. Esta enorme diversidad biológica se ha visto amenzada en las últimas décadas por la deforestación. Solo entre los años 2000 y 2014 se han perdido 1,6 millones de hectáreas, el equivalente al 1,3 % del total.

El área de distribución de los Bosques Estacionalmente Secos está expuesta a severas condiciones climáticas como altas temperaturas, sequedad extrema, ocurrencia irregular de fuertes lluvias y la presencia del fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), entre otras. Estas condiciones establecen un ecosistema único, con alta biodiversidad, poseedor de varias especies endémicas dentro de un área relativamente pequeña.

Se estima que 7 000 hectáreas¹ de bosque seco desaparecen cada año en el Perú, debido principalmente a que los habitantes de esta región han utilizado ampliamente las especies nativas de esta ecorregión como materiales de construcción, combustible, comida y medicina desde la época preíncica. A esto se suma que el bosque seco es fácil de deforestar, en comparación con el bosque húmedo tropical, favoreciendo el avance de los campos de cultivo.

El Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBCC) y el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), consideran al bosque seco como una de las áreas priorizadas para la conservación en el Perú. Sin embargo, su ciclo de vida es poco conocido, así como el desarrollo de técnicas para el entendimiento de su fenología. La recopilación de información base no está muy desarrollada, lo que dificulta la implementación y monitoreo de un sistema apropiado de manejo.

La elaboración del mapa de bosque seco y no bosque seco, ha presentado varios retos tecnológicos, debido a que algunas especies presentes son caducifolias, es decir, pierden sus hojas de forma estacional. A esto se suma la dispersión de los individuos, que dificulta la

¹ Cuba-Salermo, A. 1999. *Desarrollo rural sostenible en los bosques secos de la Costa Norte del Perú: El Proyecto Algarrobo*.



aplicación de técnicas convencionales que utilizan imágenes satelitales de mediana resolución, como LANDSAT.

Dicho esto, la metodología desarrollada para el mapeo de bosque seco y no bosque seco, ha considerado lo siguiente:

- Uso de imágenes Sentinel 2x (de mayor resolución espacial que las imágenes LANDSAT) para detectar las formaciones vegetales y su distribución.
- Uso de imágenes tomadas después de la estación lluviosa (cuando los árboles tienen hojas), para aumentar las probabilidades de detectar árboles vivos.
- Uso de **de l** Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI, por sus siglas en inglés), que indica la existencia de vegetación reduciendo los efectos del resplandor del suelo junto con el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) que es usado convencionalmente para entender la distribución de la vegetación. 

Aunque la metodología fue desarrollada y validada en el departamento de Lambayeque, utilizando imágenes Sentinel 2x después de la estación lluviosa para el año 2016, puede ser aplicada para los Bosques Estacionalmente Secos de cualquier departamento ubicado en la región de la costa norte del Perú. Esperamos que este notable esfuerzo pionero por mapear los bosques secos de Lambayeque, sea un primer paso en la conservación de esta fascinante ecorregión, dueña de una gran diversidad biológica pero también de una larga relación con los habitantes de la costa norte.



2. CONSIDERACIONES PREVIAS

Para la elaboración del mapa de los Bosques Estacionalmente Secos y No Bosques Estacionalmente Secos de la costa norte del Perú, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones previas:

- ▶ La secuencia metodológica está diseñada para contener las siguientes características:
 - Fácil de entender y ser aplicable a los departamentos de la costa norte del Perú (Tumbes, Piura y Lambayeque).
 - Ser replicable en el tiempo por cualquier persona² y/o institución³.
 - Empleo de **IMÁGENES Y SOFTWARE LIBRE**.
- ▶ **olo** se ha usado un periodo de tiempo (después de época de lluvias, donde las formaciones vegetales caducifolias aún mantienen su follaje), para la obtención de los umbrales y el posterior mapeo de la distribución de los Bosques Estacionalmente Secos.

3. OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo principal del presente estudio es diseñar **de** una propuesta metodológica para la identificación **y mapeo** de los Bosques Estacionalmente Secos y No Bosques Estacionalmente Secos de la costa norte del Perú (Tumbes, Piura y Lambayeque).

² Conocimientos básicos de SIG y Teledetección.

³ Que cuente con personal con conocimientos de SIG y Teledetección.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio, corresponde a los departamentos de Tumbes, Piura y Lambayeque (figura 1).

Figura 1: Área de estudio



5. MATERIALES

Los materiales utilizados en el presente estudio fueron:

- ▶ Imágenes satelitales SENTINEL 2A-2B del año 2018, con una cobertura de nubes no mayor al 10 %.
- ▶ Límites políticos nacionales y departamentales.
- ▶ Modelo Digital de Elevación con una resolución de 12.5 m x 12.5 m.
- ▶ Mapas temáticos.
- ▶ Información relevante al área de estudio que pudiera proporcionar información valiosa.
- ▶ Programas:
 - Qgis versión: 3.10.x
 - SNAP: 7.0
 - SAGA-GIS
 - GRASS-GIS
- ▶ Equipo:
 - WorkStation con las siguientes características:
 - RAM: 32 GB
 - DD: 4 TB

6. METODOLOGÍA

La secuencia metodológica para la identificación y mapeo de los Bosques Estacionalmente Secos y No Bosques Estacionalmente Secos de la costa norte del Perú se puede ver en la figura 2.

6.1. CONSULTA DE TRABAJOS Y PROPUESTAS METODOLÓGICAS ANTERIORES

Se realizaron búsquedas de los trabajos anteriores referente a las metodologías para la identificación, mapeo y monitoreo de los Bosques Estacionalmente Secos del departamento de Lambayeque (piloto). Esta información recopilada, sirvió como base para el presente estudio.

6.2. CONSULTA CON ESPECIALISTAS

Para aprovechar el conocimiento y experiencia de diversos especialistas (botánicos, forestales, cartógrafos, geógrafos, etc.), se realizaron reuniones de consulta y coordinación que se detallan a continuación.

Reunión y consulta de coordinación con el personal de PNCE

En las reuniones de coordinación con el personal de PNCBCC se trataron los requerimientos y expectativas que se esperaban del mapeo de los Bosques Estacionalmente Secos y No Bosques Estacionalmente Secos del departamento de Lambayeque, llegando a las siguientes recomendaciones:

- ▶ Tomar solo como referencia los trabajos anteriores de identificación y mapeo de los Bosques Estacionalmente Secos en el departamento de Lambayeque.
- ▶ La secuencia metodológica para la obtención del mapa de los Bosques Estacionalmente Secos y No Bosques Estacionalmente Secos del departamento de Lambayeque, debe ser replicable por cualquier persona y/o institución.
- ▶ Seguir con las reuniones y consultas de coordinación hasta la entrega del mapa provisional.

Consulta con especialistas

Se realizaron consultas con diversos especialistas (botánicos, forestales, cartógrafos, geógrafos, etc.), con los cuales se discutieron temas relacionados con:

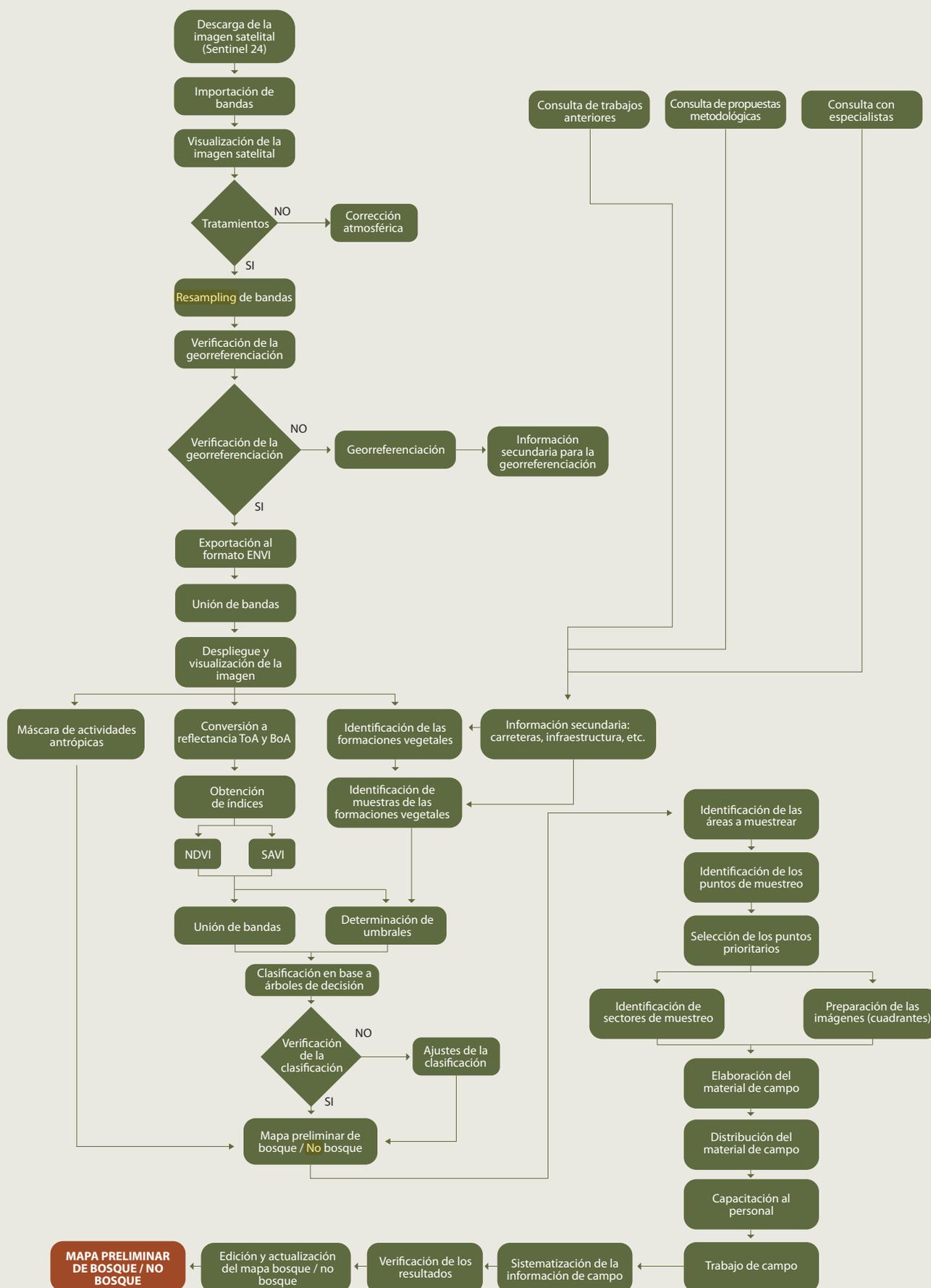
- ▶ Concepto de **Bosque Estacionalmente Seco**.
- ▶ Identificación y uso de variables que influyen en la identificación de los **Bosques Estacionalmente Secos**.
- ▶ Definición de la distribución geográfica de los **Bosques Estacionalmente Secos**.
- ▶ Metodologías para la identificación y mapeo de los **Bosques Estacionalmente Secos**.
- ▶ Niveles de coordinación para la verificación y validación del mapeo de los **Bosques Estacionalmente Secos**.

En la siguiente tabla, se puede apreciar la relación de especialistas **consultados**

Tabla 1: Relación de especialistas en mapeo de **Bosques Estacionalmente Secos**

PERSONA	INSTITUCIÓN
Personal del GORE Lambayeque	Gobierno Regional de Lambayeque. Dirección de Recursos Naturales.
Personal de DGOTA	Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental. Ministerio del Ambiente.
Personal de AIDER	Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral.
Dr. Carlos Reynel	Profesor principal de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales. Encargado del herbario de la Facultad de Ciencias Forestales.
Dr. José Luis Marcelo Peña	Profesor de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales.
Dr. Reynaldo Linares Palomino	Center for Conservation and Sustainability-Smithsonian Institution.
Msg. Pedro Vásquez	Director del Centro de Datos para la Conservación (CDC-UNALM)
Ing. Carlos Garnica	CANDES. Consultora responsable de la actualización del mapa de cobertura vegetal del MINAM.
Sr. Pedro Tipula	Responsable del área SIG del Instituto del Bien Común (IBC).
Ing. Elvira Gómez	Directora de la Dirección de Inventario y Valoración del (SERFOR) .
Ing. Beatriz Da Pozzo	Directora de la Dirección de Catastro, Zonificación y Ordenamiento del (SERFOR) .

Diagrama de flujo para la elaboración del mapa bosque / no bosque de los bosques secos de Lambayeque





6.3. IDENTIFICACIÓN DE IMÁGENES SENTINEL

Debido a su extensión, el área de estudio (ver figura 1), está cubierta por varias imágenes satelitales, por lo que se procedió a identificar cuál de estas cubría la totalidad de dicha área.

Se empleó la grilla de imágenes SENTINEL 2A, en la cual se identificó que el área de estudio abarcaba 12 imágenes (figura 3).

Figura 3: Cuadrícula de imágenes satelitales SENTINEL 2A



6.4. DESCARGA DE LA IMAGEN SATELITAL (Sentinel 2A - 2B)

Una vez identificadas las imágenes satelitales que cubrían el área de estudio, se procedió a su descarga utilizando el portal web Copernicus Open Access Hub⁴, de la ESA⁵ (figura 4), en el cual se puede adquirir dichas imágenes de forma gratuita.

Figura 4: Pagina WEB de Copernicus Open Access Hub

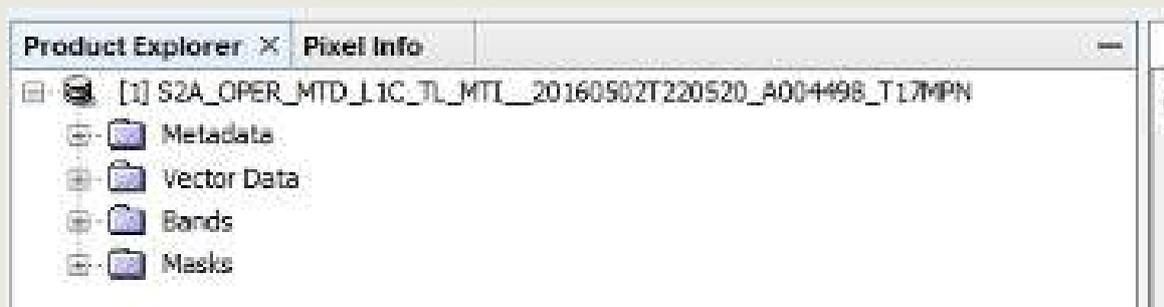


6.5. ABRIR IMAGEN SATELITAL

Para abrir las imágenes satelitales SENTINEL 2A, se empleó el programa SNAP, seleccionando el archivo con extensión *.XML.

Una vez abierto el archivo (*.XML), el programa mostró varias carpetas (ver figura 5), donde la carpeta llamada BANDS, es la que contiene todas las bandas.

Figura 5: Vista de carpetas de la imagen SENTINEL 2A



⁴ <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

⁵ ESA = Agencia Espacial Europea, por sus siglas en inglés.

6.6. DESPLIEGUE DE LA IMAGEN SATELITAL

El despliegue de una imagen en formato digital es la visualización de dicha imagen bajo ciertos parámetros específicos, los cuales pueden ser: combinación de bandas, características cartográficas, etc.

Para visualizar las imágenes satelitales SENTINEL 2A, se empleó el programa SNAP, utilizando la opción OPEN RGB IMAGE WINDOW, que permite visualizar la imagen en combinaciones preestablecidas, combinación de bandas en particular y operaciones entre bandas (ver figuras 6 a 8).

Figura 6. Despliegue de la imagen SENTINEL 2A-2B en una combinación de bandas preestablecida

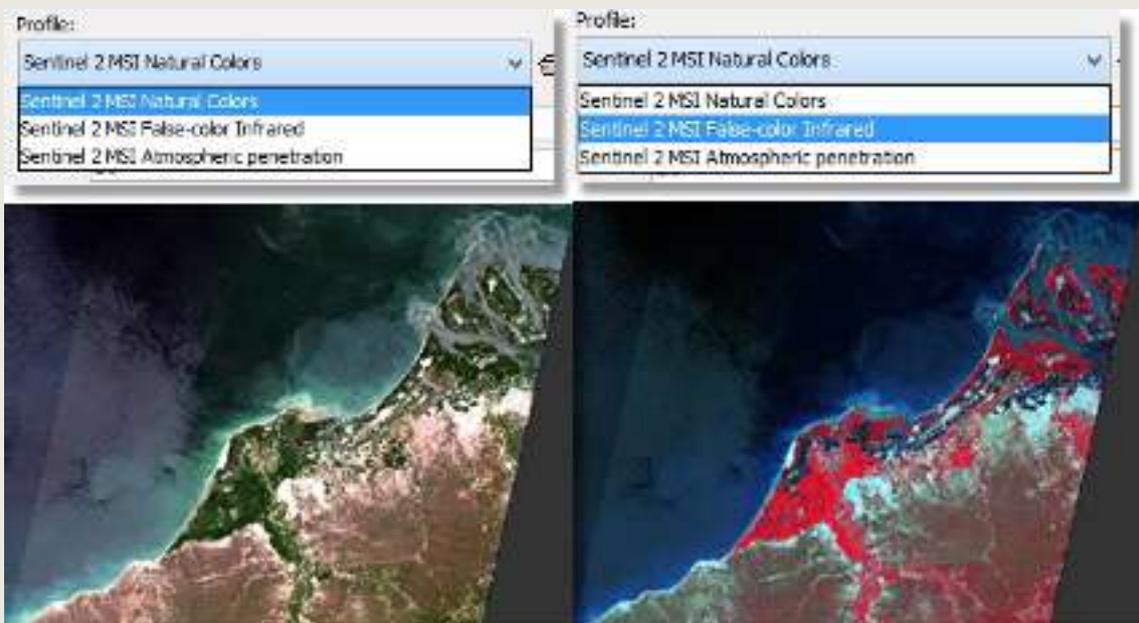


Figura 7. Despliegue de la imagen SENTINEL 2A-2B en una combinación de bandas en particular

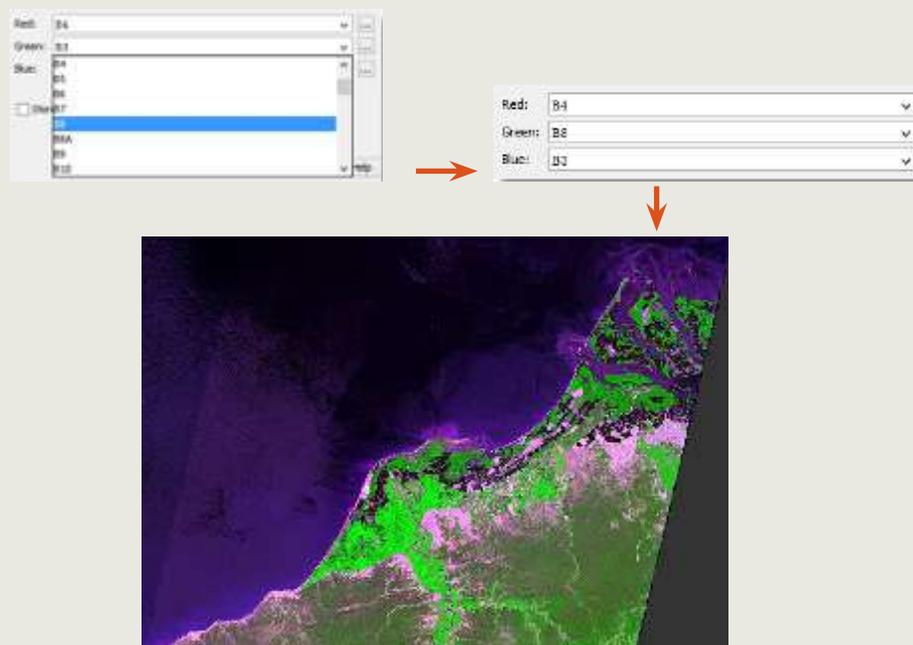
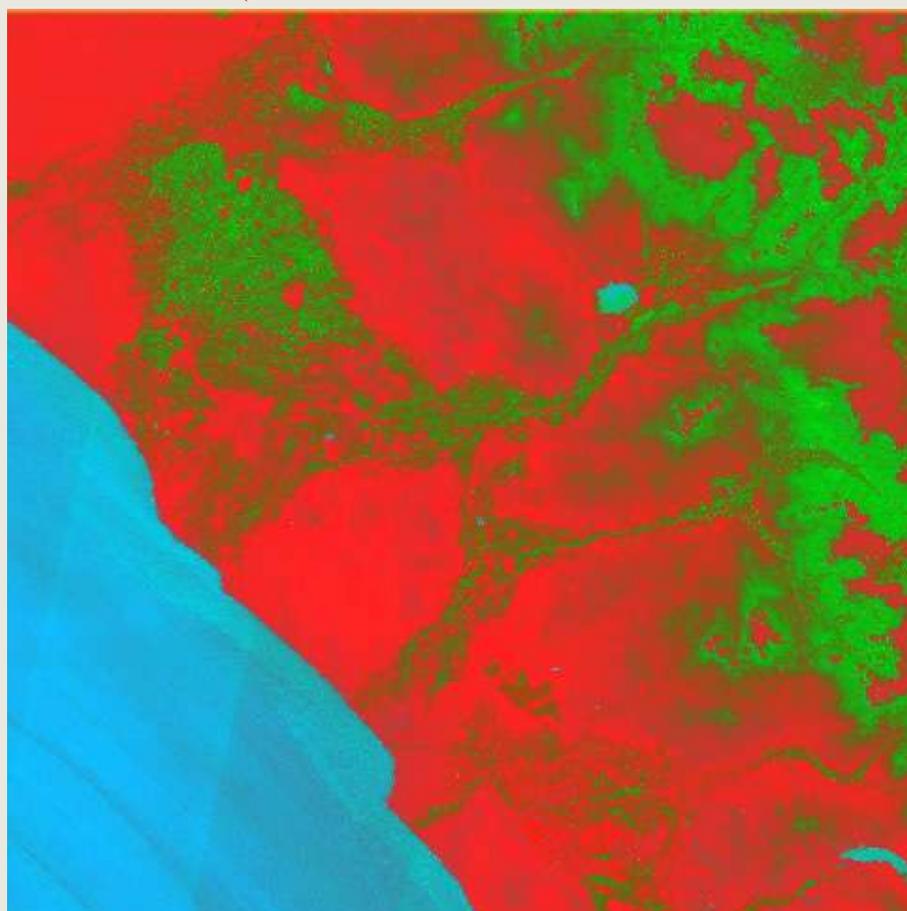
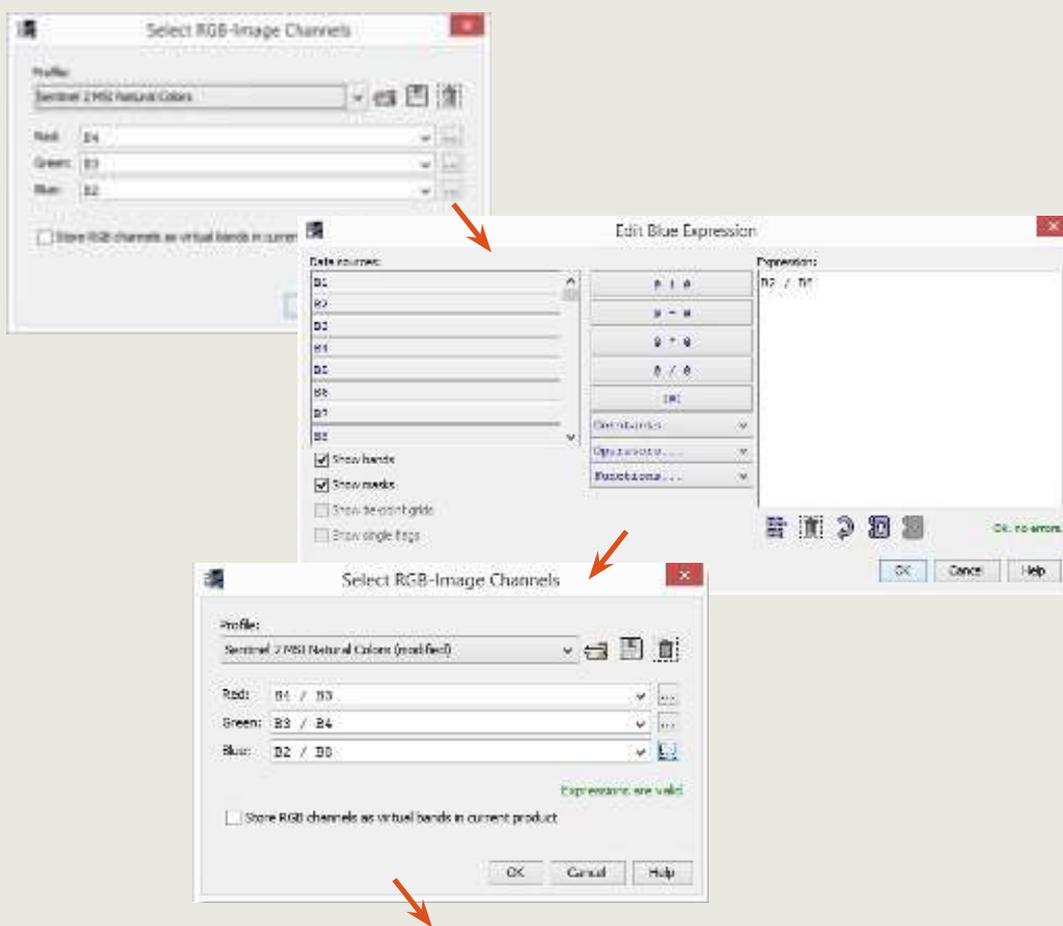


Figura 8. Despliegue de la imagen SENTINEL 2A-2B en operaciones entre bandas



La visualización de las imágenes permitió determinar si alguna de estas requería algún tratamiento previo para mejorar su radiometría (modificación del histograma, contrastes, realce etc.), que facilitara la mejor comprensión y análisis de los componentes del paisaje.

6.7. TRATAMIENTOS

Los tratamientos son todas aquellas modificaciones en las cuales se puede alterar o no los valores numéricos de la imagen, con el fin de mejorar su **interpretación** para una aplicación en particular.

Debido a las diferentes condiciones bio-climáticas que puede presentar el área de estudio, no se puede generalizar los diversos tratamientos a todas las imágenes satelitales, aplicándolos en función a los requerimientos **específicos** de cada imagen.

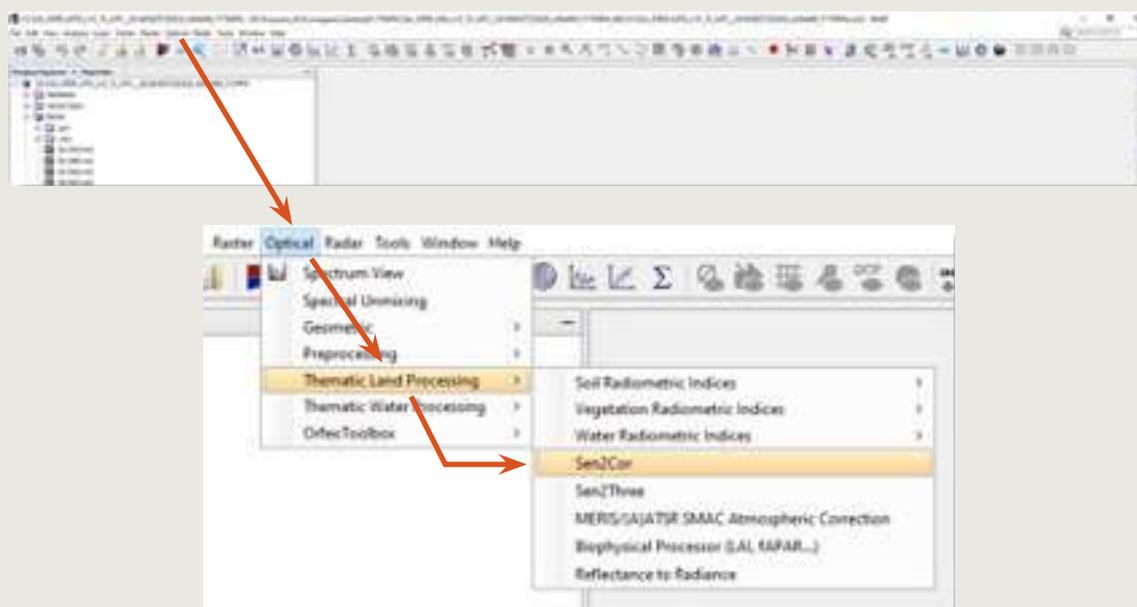
Para mejorar la visualización de los diversos componentes del paisaje, se recomienda el empleo de una corrección atmosférica.

6.7.1. Corrección atmosférica⁶

La radiación electromagnética se ve notablemente afectada por los distintos componentes de la atmósfera. La presencia de aerosoles, así como de vapor de agua, dispersa de una forma selectiva la radiación transmitida entre la superficie terrestre y el sensor. Es por ello que la radiación detectada por el sensor no corresponde exactamente a la que parte de la superficie terrestre, sino que cuenta con un porcentaje añadido a consecuencia del efecto dispersor de la atmósfera (Chuvieco, 1990).

Para eliminar la perturbación ocasionada por el vapor de agua, se utilizó el módulo Sen2Cor del programa SNAP (figura 9).

Figura 9. Ubicación del módulo Sen2Cor del programa SNAP



⁶ Para más detalles, consultar la Guía **Metodológica** para el mapeo de los **Bosques Secos y No Bosques Secos** del departamento de Lambayeque.

Sen2Cor es un procesador para la generación de productos S2 Nivel 2A, el cual tiene el potencial para realizar la corrección atmosférica, del terreno y cirrus de los datos de entrada Nivel 1C en el ToA⁷ creando imágenes corregidas en reflectancia BoA⁸ y adicionalmente indicadores de calidad para nubes y nieve.

En el presente estudio, no se realizó la corrección atmosférica (usando el módulo Sen2cor del programa SNAP), ya que las imágenes Sentinel 2A antes del 2017, presentan un formato tipo S2A_OPER_MSI_* y deberían tener el formato tipo S2A_MSIL1C*.SAFE. Las imágenes a partir del 2017 pueden ser corregidas atmosféricamente sin ningún problema usando el módulo Sen2cor.

6.8. RESAMPLING DE BANDAS

La resolución espacial de Sentinel 2A depende de las características espectrales de cada banda en particular, siendo las bandas 2, 3, 4 y 8 de 10 m de resolución espacial, mientras que las bandas 5, 6, 7, 8a, 11 y 12 son de 20 m de resolución espacial; y las bandas 1, 9 y 10 de 60 m de resolución espacial (ver figura 10).

El RESAMPLING, o también llamado remuestreo, es el cambio en el número de píxeles de una imagen en particular y se aplica por **upsample** (aumentar el número de píxeles) o **downsample** (reducir el número de píxeles). Es importante entender que no es lo mismo cambiar el número de píxeles (**resampling**) que modificar la resolución de una imagen.

Figura 10. Características de la resolución espacial de la imagen SENTINEL 2A

Resolución espacial	Características de las bandas en S2
10	<p>Spectral plot for 10m resolution. The x-axis represents wavelength in nanometers (nm) from 400 to 2500. The y-axis represents reflectance. Four bands are highlighted with colored bars: Band 2 (410 nm, blue), Band 3 (443 nm, green), Band 4 (665 nm, red), and Band 8 (842 nm, near-infrared). A rainbow spectrum is shown at the top for reference.</p>
20	<p>Spectral plot for 20m resolution. The x-axis represents wavelength in nanometers (nm) from 400 to 2500. The y-axis represents reflectance. Six bands are highlighted with colored bars: Band 5 (675 nm, blue), Band 6 (720 nm, green), Band 7 (785 nm, red), Band 8a (865 nm, near-infrared), Band 11 (1640 nm, shortwave infrared), and Band 12 (2130 nm, longwave infrared). A rainbow spectrum is shown at the top for reference.</p>
60	<p>Spectral plot for 60m resolution. The x-axis represents wavelength in nanometers (nm) from 400 to 2500. The y-axis represents reflectance. Three bands are highlighted with colored bars: Band 1 (665 nm, red), Band 9 (940 nm, near-infrared), and Band 10 (1375 nm, shortwave infrared). A rainbow spectrum is shown at the top for reference.</p>

⁷ ToA = Reflectancia al Tópe de la Atmósfera (ToA por sus siglas en inglés). La reflectancia ToA combina la reflectancia de la superficie y la reflectancia atmosférica para reducir la variabilidad inter-imagen a través de una normalización de la irradiación solar.

⁸ BoA = Reflectancia Bajo la Atmósfera (BoA por sus siglas en inglés).

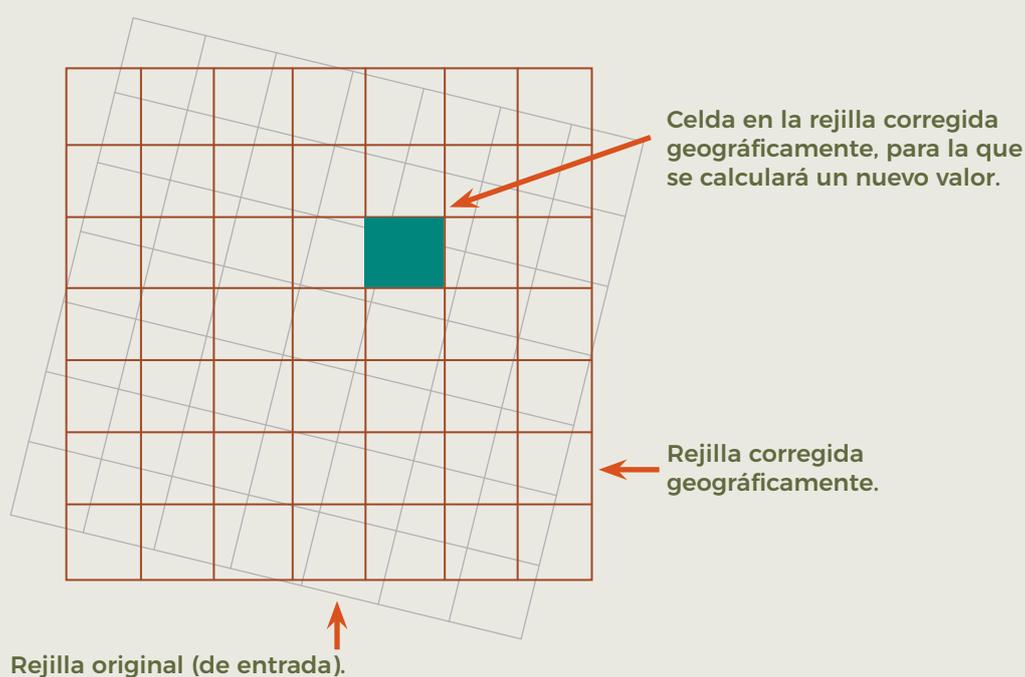
Dependiendo el nivel del estudio, se puede realizar un RESAMPLING a 10, 20 o 60 m de resolución. En el presente estudio, se realizó un RESAMPLING a 10 m de resolución a todas las bandas.

6.9. VERIFICACIÓN DE LA GEO-REFERENCIACIÓN

Para muchas aplicaciones con imágenes digitales, se requiere de una gran precisión geométrica, para lo cual las imágenes deben ser corregidas geométricamente (geocodificación o georeferenciación).

La geo-referenciación comprende una transformación geométrica (ver figura 11) que relaciona coordenadas de una imagen (línea, columna), con coordenadas de un sistema de referencia, asignando coordenadas cartográficas a los datos de una imagen.

Figura 11. Corrección geométrica

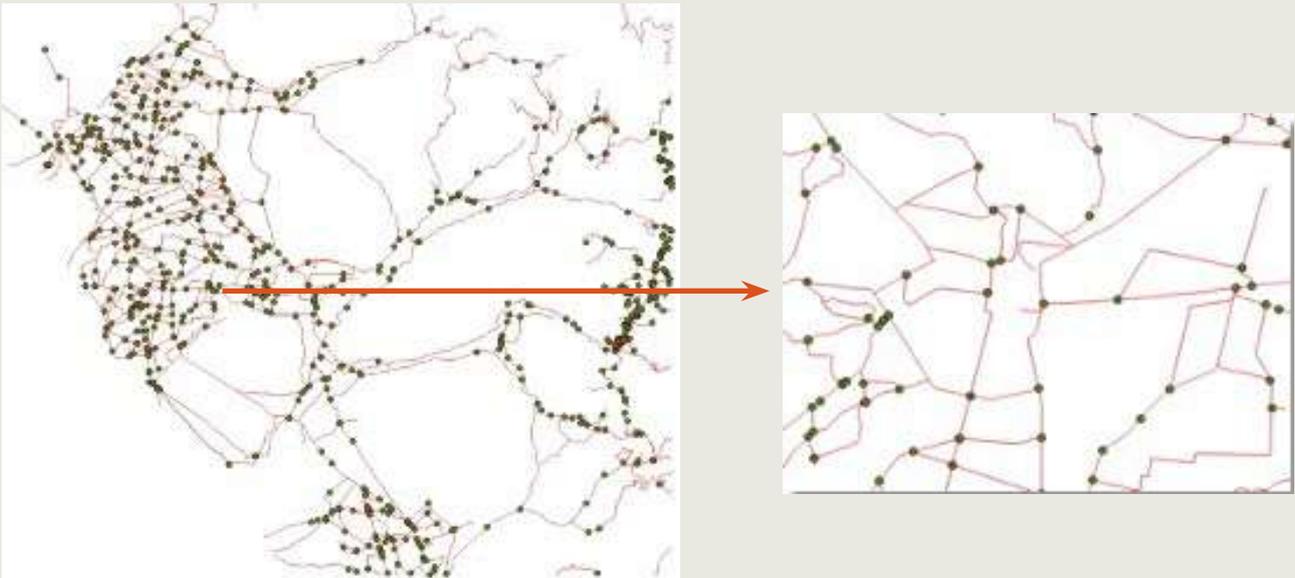


Las imágenes SENTINEL 2A-2B obtenidas del portal web Copernicus Open Access Hub, se encuentran georeferenciadas, por lo que se procedió a un control de la calidad de la referenciación. Para realizar el control de la calidad de la geo-referenciación, se debe buscar GCP⁹ que se encuentren bien referenciados, tomando como base un sistema de coordenadas previamente establecido.

Debido a las características del área de estudio y a las condiciones que deben presentar los GCP, se empleó la red vial nacional, departamental y vecinal (proporcionada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones), por ser la mejor fuente de información para la verificación de la georeferenciación así como la información proporcionada por los distintos GORE. Para identificar los puntos de control (intersección de vías terrestres ver figura 12), se usó el programa QGIS.

⁹ GCP = Ground Control Points.

Figura 12. Puntos de intersección de las vías



Para la verificación de la **georeferenciación**, se ejecutó los siguientes pasos (ver figura 13):

- Localización de los puntos de control en la imagen SENTINEL 2A-2B.
- Identificar visualmente la intersección de las vías en la imagen SENTINEL 2A-2B.
- Verificar que la intersección de las vías identificada visualmente en la imagen SENTINEL 2A-2B coincida con la intersección de las vías terrestres.

Figura 13. Verificación de la **georeferenciación**



6.9.1. Geo-referenciación

Si se comprueba que la imagen SENTINEL 2A-2B está mal geo-, se debe realizar una georeferenciación utilizando cualquier programa de teledetección que presente la opción de corrección geométrica o georeferenciación.

6.10. EXPORTACIÓN AL FORMATO GEOTIFF-TIFF⁸

La exportación de una imagen o las bandas de una imagen satelital, consiste en la transformación de los datos binarios que se encuentran en un formato (A) a otro formato (B). Para la exportación de la imagen SENTINEL 2A-2B al formato GEOTIFF, se utilizó el programa SNAP, ya que el proceso de clasificación y edición, se realizó en el programa QGIS.

6.11. DESPLIEGUE DE LA IMAGEN⁸

El despliegue de una imagen en formato digital es la visualización de dicha imagen bajo ciertos parámetros específicos, los cuales pueden ser: combinación de bandas, características cartográficas, etc.

El despliegue de la imagen nos permitió verificar que la exportación y posterior unión de las bandas haya sido satisfactoria y que la imagen multiespectral no presentara ningún problema en la georeferenciación, proyección y tamaño de píxel.

Para la visualización de la imagen, se recomienda una combinación de 4,3,2 o 4,8,3 en los canales RGB. Una vez seleccionada la combinación de bandas con que se quiere visualizar la imagen, el programa mostró la imagen en la combinación respectiva (ver figura 14).

Figura 14. Imagen desplegada en el programa QGIS



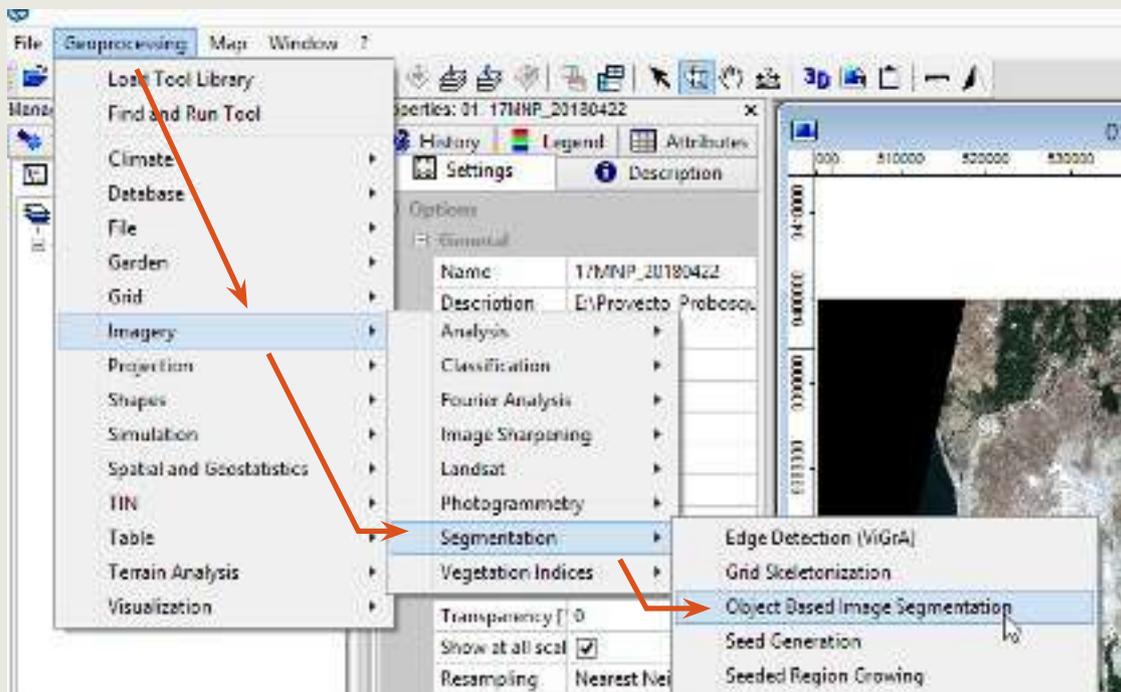
6.12. MÁSCARA DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS⁸

Las actividades antrópicas son todas aquellas actividades que alteran o cambian la cobertura del suelo o su uso.

La máscara de actividades antrópicas sirvió para separar todas las formaciones vegetales naturales de las actividades antrópicas.

Para obtener la máscara de las diversas actividades antrópicas, se utilizó una segmentación basada en objetos, usando la opción **GEOPROCESSING ► IMAGEY ► SEGMENTATION ► OBJECT BASED IMAGE SEGMENTATION** del programa SAGA-GIS (ver figura 15).

Figura 15. Segmentación basada en objetos



Una vez realizada la segmentación y vectorización de la imagen, se procedió a su análisis para observar si existía un sobredimensionamiento u omisión de áreas que correspondieran a las actividades antrópicas.

Si existiera un sobredimensionamiento u omisión de áreas, se deberá editar el **shapefile** para adicionar o eliminar áreas. Una vez editado se generó la máscara de actividades antrópicas (ver figura 16).

Figura 16. Máscara de actividades antrópicas



6.13. CONVERSIÓN A REFLECTANCIA ToA y BoA

Las **Imágenes** satelitales SENTINEL 2A-2B (Nivel 1C) se encuentran en valores de reflectancia ToA escaladas y pueden ser convertidas en reflectancia ToA con un cálculo simple, utilizando el valor de cuantificación provisto en el metadato. El mismo proceso se debe realizar para las imágenes resultantes de la corrección atmosférica que se encuentran con valores de reflectancia BoA.

Para convertir los valores ToA (escalada)¹⁰ o BoA (escalada)¹¹, se usó la fórmula provista en la documentación de la ESA (2015): Sentinel-2 User Handbook, que se obtuvo en: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook.

¹⁰ ToA Escalada = valor de ToA multiplicado por un factor numérico. Esta multiplicación facilita los cálculos operacionales y reduce el tamaño de almacenamiento de la imagen.

¹¹ BoA Escalada = valor de BoA multiplicado por un factor numérico. Esta multiplicación facilita los cálculos operacionales y reduce el tamaño de almacenamiento de la imagen.

$$\text{Reflectance (float)} = \frac{\text{DN (16-bit integer)}}{\text{Quantification Value}}$$

Donde: QUANTIFICATION VALUE = 10 000.

6.14. OBTENCIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN⁸

El análisis de la vegetación y la detección de cambios en los patrones de la vegetación, son claves para la evaluación y el monitoreo de recursos naturales, es por ello que la evaluación cuantitativa de la vegetación, a través de la obtención de índices de vegetación, es una de las aplicaciones de la teledetección para la toma de decisiones.

Los índices de vegetación son combinaciones de bandas espectrales que tienen como función realzar la contribución de la vegetación en la respuesta espectral de una superficie y atenuar la de otros factores como el suelo, las condiciones de iluminación y la atmósfera, que pueden producir interferencias en la señal radiométrica.

El uso de cocientes e índices para discriminar masas vegetales se deriva del peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación. La ventaja que tiene respecto al uso de bandas espectrales individuales es que muestra una mayor correlación con parámetros ecológicos y agronómicos como biomasa, índice de área foliar (LAI), etc.

En el presente estudio se trabajó con los siguientes índices de vegetación:

6.14.1. ÍNDICE: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

El NDVI es un índice del "verdor" de las plantas o de su actividad fotosintética y es uno de los más usados. Se basa en que las diferentes superficies reflejan diferentes tipos de luz. La vegetación fotosintéticamente activa absorbe la mayor parte de la luz roja mientras que refleja gran parte de la luz en el infrarrojo cercano. La vegetación muerta, senescente o estresada refleja más luz roja y menos infrarrojo cercano. Asimismo, superficies sin vegetación tienen una reflectancia mucho más uniforme en todo el espectro de luz.

El NDVI tiene la ventaja de ser muy sencillo de calcular e interpretar, además permite comparar datos obtenidos por diferentes investigadores y sensores. Sin embargo, tiene el inconveniente de que posee poca capacidad de minimizar la influencia del suelo.

Para obtener el índice NDVI, se utilizó la fórmula (obtenida en <https://www.indexdatabase.de/>):

$$\text{NDVI} = \frac{B_8 - B_4}{B_8 + B_4}$$

6.14.2. ÍNDICE: Adjusted Vegetation Index (SAVI)

En áreas donde la cobertura de vegetación es baja (ej. <40%) y la superficie del suelo está expuesta, la reflectancia de la luz en el espectro del rojo e infrarrojo cercano pueden influenciar los valores del índice de vegetación. Esto es especialmente problemático cuando las comparaciones son hechas a través de diferentes tipos de suelo que pueden reflejar diferentes cantidades de luz en las longitudes de onda del rojo e infrarrojo cercano (ej. suelos con diferentes valores de brillo).

El uso del índice NDVI, en área con baja densidad de vegetación, presenta un problema debido a la alta sensibilidad a la reflectividad del suelo, dando como resultado que, en zonas con una densidad baja de vegetación, el valor de NDVI es muy similar a las zonas de suelo desnudo.

El índice SAVI es menos susceptible a la reflectividad del suelo y, por lo tanto, sus valores para una cobertura vegetal dada son más bien independientes a la reflectividad del suelo.

Para obtener el índice SAVI, se utilizó la fórmula (obtenida de <https://www.indexdatabase.de/>):

$$\text{SAVI} = 1 + 0.5 \frac{B_8 - B_4}{B_8 + B_4 + 0.5}$$

6.15. IDENTIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES VEGETALES

A excepción de la propuesta de Nature Serve, que junta las características bioclimáticas con variables físicas para determinar la distribución de especies de los **Bosques Estacionalmente Secos**, los mapas elaborados por estudios anteriores no presentan una composición florística, más bien, están basados en características fisiográficas.

Bajo esta limitante, la identificación de los posibles tipos de formaciones vegetales que conforman los **Bosques Estacionalmente Secos** se basó en los siguientes criterios:

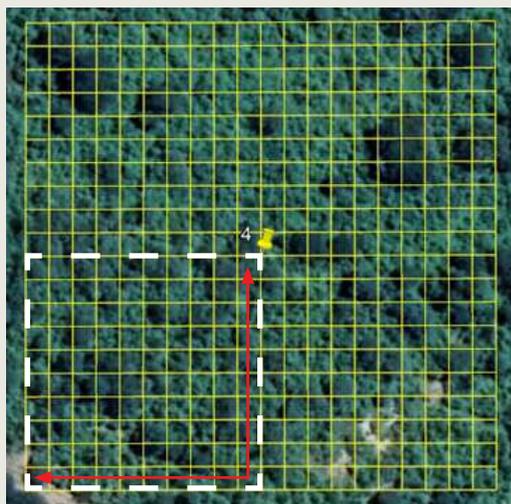
- Definición de **Bosques Estacionalmente Secos**.
- Las características intrínsecas de los **Bosques Estacionalmente Secos**.
- El conocimiento de la fenología del bosque seco (donde se dan las Spp. caducifolias donde se dan las especies perennes).
- Respuesta radiométrica de las imágenes Sentinel 2A-2B

Los posibles tipos de formaciones vegetales FUERON IDENTIFICADOS por diversos especialistas (botánicos, forestales, etc.), ver tabla 1.

6.16. DEFINICIÓN OPERATIVA DE BOSQUE SECO

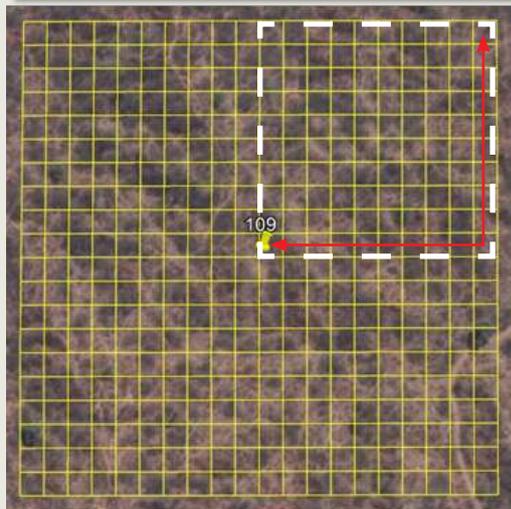
Después de la reunión de coordinación con las diversas instituciones, así como con los diversos especialistas, se llegó a una definición operativa consensuada de bosque seco.

“Ecosistema conformado por árboles en asociación con arbustos, matorrales, cactáceas y herbazales efímeros, donde en 1 hectárea los árboles presentan una cobertura de copa igual o mayor al 10 %, y una altura igual o superior a 2 m”.



BOSQUE SECO DENSO

En 1ha que representa 10 x 10 cuadrados de 10 x 10 metros cada cuadrado. Las copas de los árboles deben cubrir como mínimo 10 cuadrados para que sea considerado un Bosque Seco.



BOSQUE SECO RALO

En 1ha que representa 10 x 10 cuadrados de 10 x 10 metros cada cuadrado. Las copas de los árboles deben cubrir como mínimo 10 cuadrados para que sea considerado un Bosque Seco.



BOSQUE SECO MUY RALO

En 1ha que representa 10 x 10 cuadrados de 10 x 10 metros cada cuadrado. Las copas de los árboles deben cubrir como mínimo 10 cuadrados para que sea considerado un Bosque Seco.

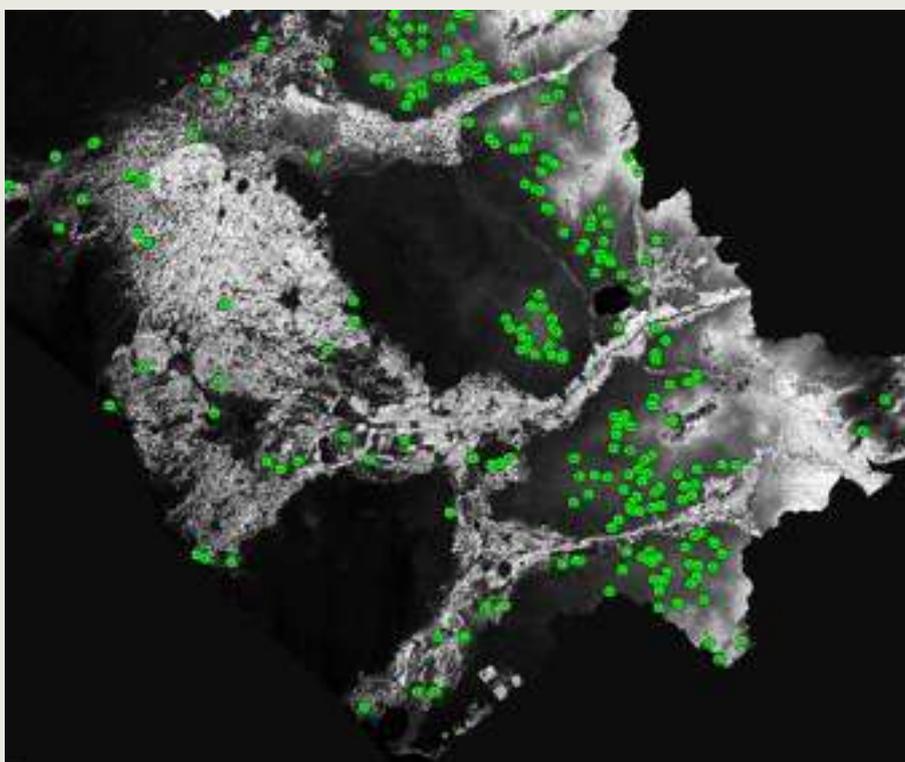
6.17. IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS DEL BOSQUE SECO

La identificación de los puntos de muestreo o también llamados puntos de control (ROIs)¹², se seleccionaron en base a la identificación de la posible distribución del bosque seco. Una vez identificados, se tomaron puntos sobre dichas ubicaciones, las cuales presentaron las siguientes características:

- El área donde se ubica el punto debe tener como mínimo 50 m x 50 m, es decir, 25 píxeles como mínimo, que representan 0.25 ha.
- El polígono identificado debe ser lo más representativo posible.
- El punto seleccionado debe estar (en lo posible) al centro del polígono identificado.
- Se debe tomar, como mínimo, 50 puntos por tipo de fisiografía (montañas, colinas, lomadas, llanuras) o formación vegetal.

Estos puntos de control fueron seleccionados en forma aleatoria (ver figura 17).

Figura 16. Máscara de actividades antrópicas



¹² ROI = Regions of interest

6.18. DETERMINACIÓN DE UMBRALES⁸

Para determinar los umbrales o los rangos de los valores de la imagen multispectral de los índices obtenidos, se interceptaron dichas imágenes con los puntos de muestreo, empleando los complementos TERRAIN PROFILE y POINT SAMPLING TOOL, del programa QGIS (ver figuras 18 y 19).

Figura 18. Complemento para determinar umbrales del bosque seco

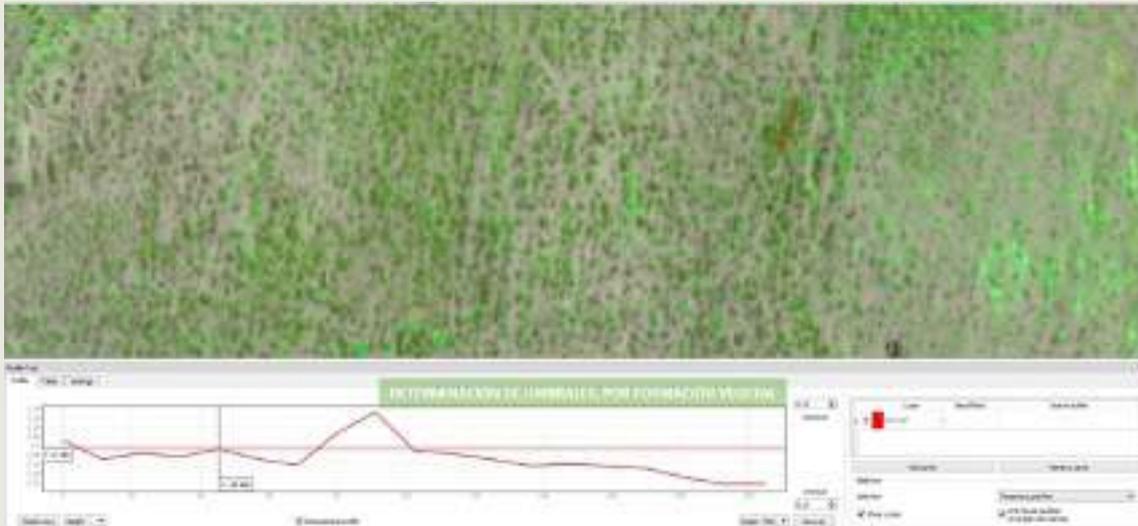
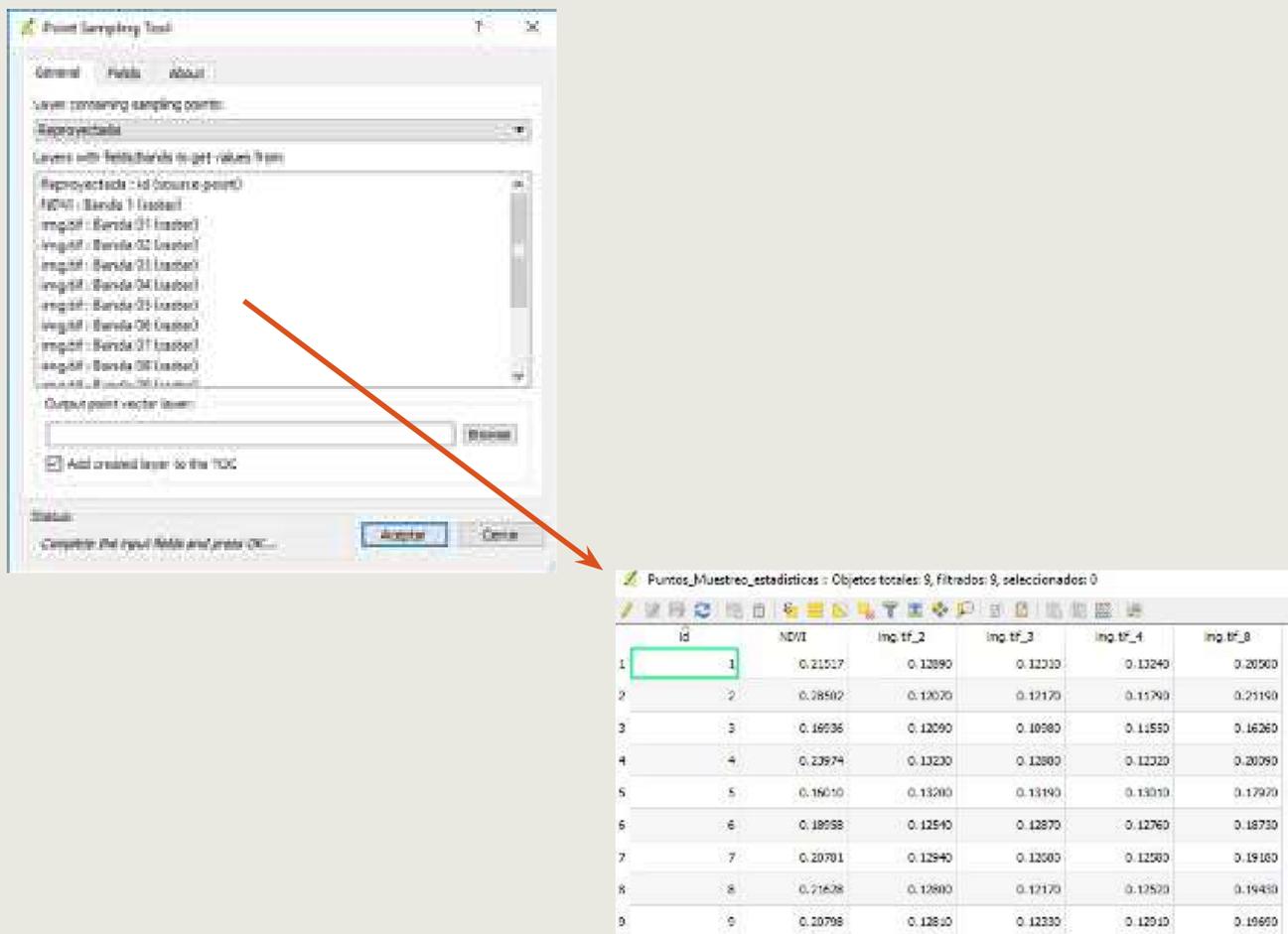


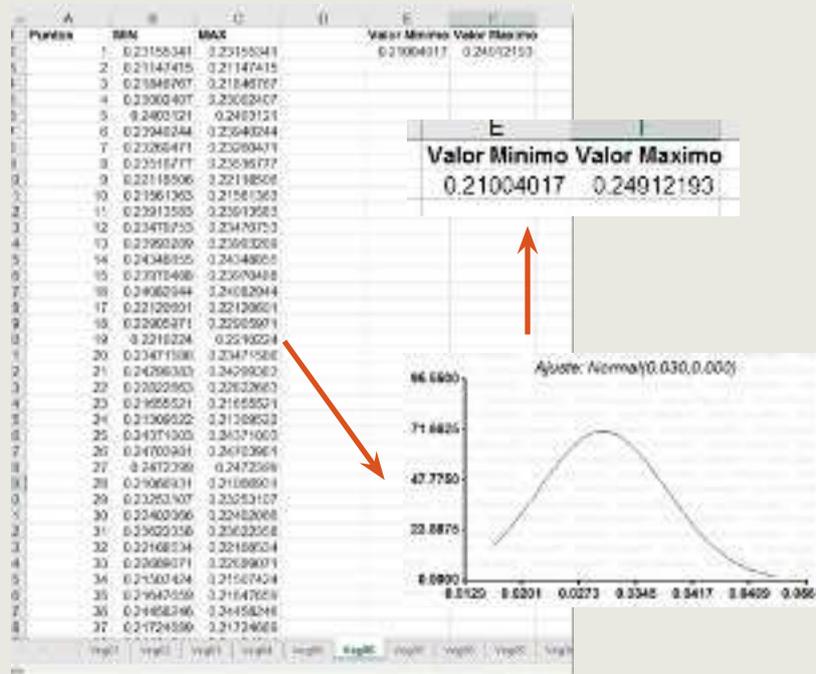
Figura 19. Módulo de para la obtención de estadísticas de los puntos de muestreo





Con estos complementos se obtuvieron los valores de **reflectancia** ToA o BoA de las bandas seleccionadas, así como los valores de los diversos índices, los cuales sirvieron para obtener las estadísticas de todos los puntos de muestreo (ver figura 20).

Figura 20. Cálculo de valores mínimos y máximos (umbrales)



6.19. CLASIFICACIÓN PRELIMINAR⁸

La clasificación multispectral de imágenes satelitales es el proceso de separar u ordenar los píxeles basándose en el valor de **reflectancia** (Melh, 1997).

Existe la clasificación digital, que se basa exclusivamente en la intensidad radiométrica de cada píxel, y la clasificación visual, que incorpora a la interpretación criterios complejos como textura, estructura, emplazamientos o disposición (Chuvieco, 1990).

El proceso de clasificación digital de una imagen, consiste en la agrupación automática de píxeles en distintas categorías, ya sean predefinidas por el usuario (clasificación supervisada) o por un sistema autónomo de clasificación (clasificación no supervisada). De este proceso resulta un archivo de una sola banda raster temático, con diferentes categorías, cuyos valores representan categorías temáticas conocidas o por definir (Melh, 1997).

Los patrones de aglutinamiento (clúster), son definidos con un algoritmo de aglomeración, que usa todos o muchos de los píxeles de un archivo de datos de entrada para su análisis. El algoritmo de conglomerado no considera la contigüidad de los píxeles que definen cada conglomerado.

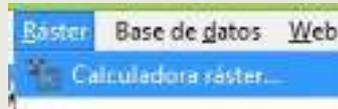
Para el presente estudio se utilizó una clasificación basado en árboles de decisión, empleando el programa QGIS.

El árbol de decisión se construyó para cada una de las escenas del área de estudio, utilizando la variable altura (DEM) en aquellos lugares donde el tipo de vegetación solo se presenta en determinados pisos altitudinales.

Con los valores mínimos y máximos, se elaboró el árbol de decisiones.

6.19.1. SINTÁXIS DE LA ESCRITURA DEL DECISION TREE: Calculadora raster del QGIS

La sintáxis de la fórmula empleada para la escritura del DECISION TREE, empleando la opción RASTER ▶ CALCULADORA RASTER del programa QGIS fue:



(“nombre del raster” >= “valor1” and “nombre del raster” < valor2)* n

Valor1	Valor mínimo del raster
Valor2	Valor máximo del raster
n	Valor numérico que se le asigna al raster resultante de la clasificación

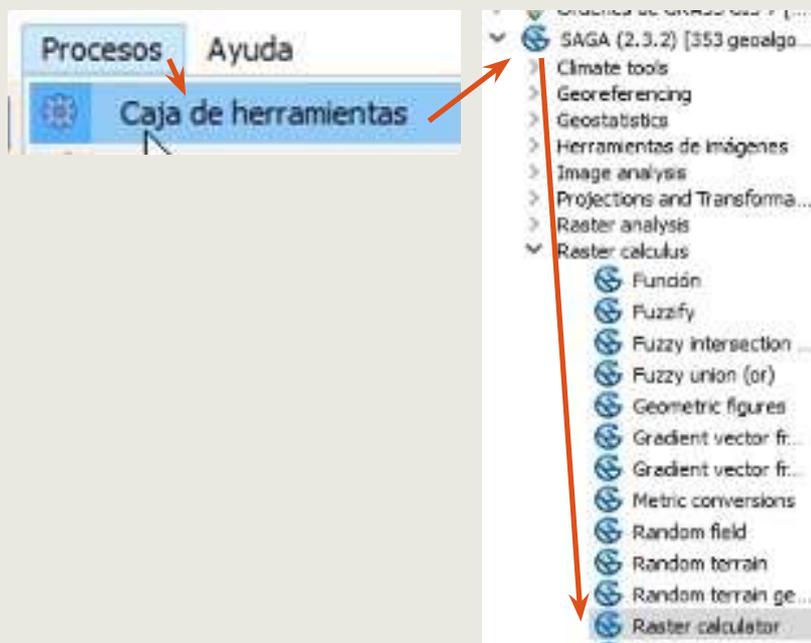
Para obtener varias formaciones en una misma clasificación usando DECISION TREE, se debe adicionar otra secuencia de comandos antecedida por el signo (+)

**(“nombre del raster” >= “valor1” and “nombre del raster” < valor2)*
n + (“nombre del raster” >= ...)**

6.19.2. Sintáxis de la escritura del decision tree: calculadora raster de saga

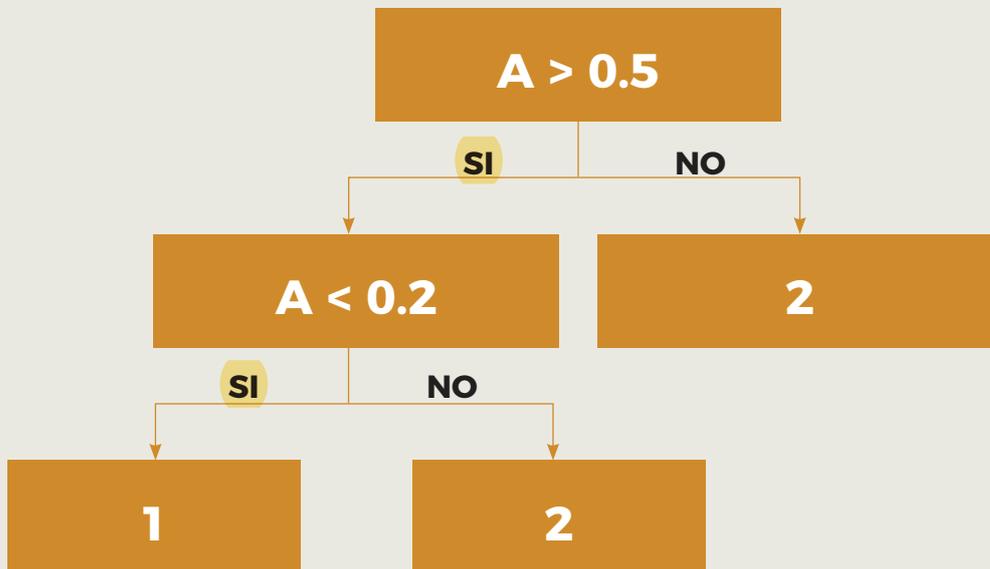
La sintáxis de la fórmula empleada para la escritura del DECISION TREE, empleando la opción PROCESOS ▶ CAJA DE HERRAMIENTAS ▶ SAGA ▶ RASTER CALCULUS ▶ RASTER CALCULATOR del programa QGIS (ver figura 21) fue:

Figura 21. Modulo del Raster Calculator



IFELSE (Condición, Valor Verdadero, Valor Falso)

En el siguiente ejemplo, se puede visualizar una clasificación en base a un árbol de decisión. Por ejemplo, se desea clasificar una imagen cuyos valores de los píxeles están entre 0.5 y 0.6. El resultado de la clasificación tendrá valor 1 y el resto valor 2.



La fórmula sería:

ifelse(a>0.5, ifelse(a<0.6, 1,2), 2)

Para ayudar en la elaboración del árbol de decisión, se puede emplear las siguientes formulas, basadas en la sintáxis de la clasificación de árbol de decisión.

CONSIDERACIONES GENERALES

- Cambiar la palabra “valor”, por el valor numérico de la condición
- Las condiciones tienen que ponerse de mayor a menor
- Para valores negativos, el valor número debe estar entre ()

1 condición

ifelse(a>valor,1,2)

2 condiciones

ifelse(a>valor,1, ifelse(a>valor,2,3))

3 condiciones

ifelse(a>valor,1, ifelse(a>valor,2, ifelse(a>valor,3,4)))

4 condiciones

ifelse(a>valor,1, ifelse(a>valor,2, ifelse(a>valor,3,ifelse(a>valor,4,5))))

5 condiciones

ifelse(a>valor,1, ifelse(a>valor,2, ifelse(a>valor,3, ifelse(a>valor,4, ifelse(a>valor,5,6))))))

6 condiciones

ifelse(a>valor,1, ifelse(a>valor,2, ifelse(a>valor,3, ifelse(a>valor,4, ifelse(a>valor,5, ifelse(a>valor,6,7))))))

7 condiciones

ifelse(a>valor,1, ifelse(a>valor,2, ifelse(a>valor,3, ifelse(a>valor,4, ifelse(a>valor,5, ifelse(a>valor,6, ifelse(a>valor,7,8))))))))

8 condiciones

ifelse(a>valor,1, ifelse(a>valor,2, ifelse(a>valor,3, ifelse(a>valor,4, ifelse(a>valor,5, ifelse(a>valor,6, ifelse(a>valor,7, ifelse(a>valor,8,9))))))))))

9 condiciones

ifelse(a>valor,1, ifelse(a>valor,2, ifelse(a>valor,3, ifelse(a>valor,4, ifelse(a>valor,5, ifelse(a>valor,6, ifelse(a>valor,7, ifelse(a>valor,8, ifelse(a>valor,9,10))))))))))

10 condiciones

ifelse(a>valor,1, ifelse(a>valor,2, ifelse(a>valor,3, ifelse(a>valor,4, ifelse(a>valor,5, ifelse(a>valor,6, ifelse(a>valor,7, ifelse(a>valor,8, ifelse(a>valor,9, ifelse(a>valor,10,11))))))))))

11 condiciones

ifelse(a>valor,1, ifelse(a>valor,2, ifelse(a>valor,3, ifelse(a>valor,4, ifelse(a>valor,5, ifelse(a>valor,6, ifelse(a>valor,7, ifelse(a>valor,8, ifelse(a>valor,9, ifelse(a>valor,10, ifelse(a>valor,11,12))))))))))

12 condiciones

ifelse(a>valor,1, ifelse(a>valor,2, ifelse(a>valor,3, ifelse(a>valor,4, ifelse(a>valor,5, ifelse(a>valor,6, ifelse(a>valor,7, ifelse(a>valor,8, ifelse(a>valor,9, ifelse(a>valor,10, ifelse(a>valor,11, ifelse(a>valor,12,13))))))))))

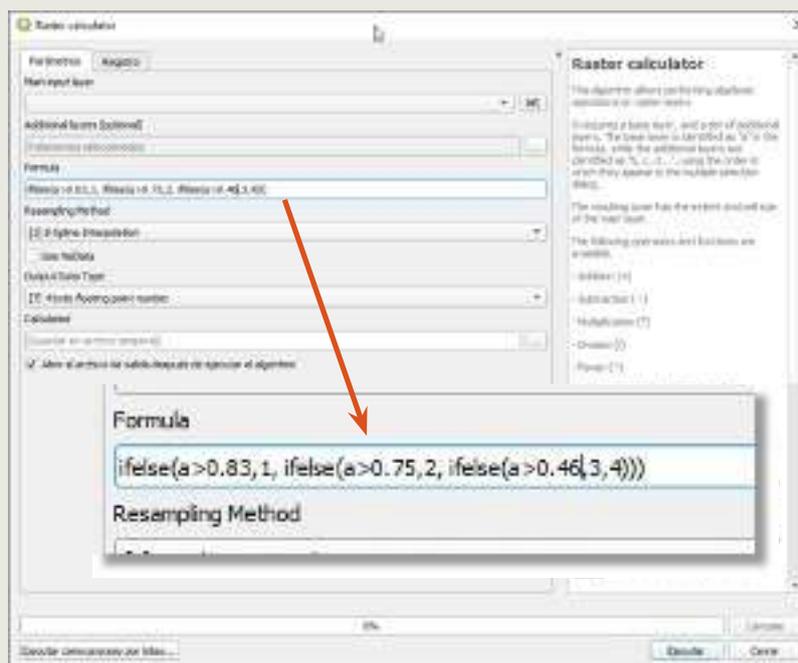
13 condiciones

ifelse(a>valor,1, ifelse(a>valor,2, ifelse(a>valor,3, ifelse(a>valor,4, ifelse(a>valor,5, ifelse(a>valor,6, ifelse(a>valor,7, ifelse(a>valor,8, ifelse(a>valor,9, ifelse(a>valor,10, ifelse(a>valor,11, ifelse(a>valor,12, ifelse(a>valor,13,14))))))))))

Debido al objetivo del trabajo, TODAS las posibles formaciones (en base a la definición de bosques secos) fueron agrupadas en Bosque y No Bosque.

La fórmula debe copiarse a la calculadora raster de SAGA en el programa QGIS, en la cual se cambia la palabra "valor" por el valor numérico (ver figura 22).

Figura 22. Escritura de **formula** en el Módulo del Raster Calculator



6.20. VERIFICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN

Una vez obtenidas las clasificaciones, se contrastaron los resultados con las imágenes Sentinel 2A-2B, para su verificación.

Si existiera alguna duda en la clasificación, se pueden contrastar los resultados con imágenes de mayor resolución, como RapidEye o las imágenes de la plataforma Google Earth.

Si existiera vacíos de información en la clasificación, se recomienda ejecutar una nueva clasificación de aquellas áreas que no están clasificadas.

NOTA: los siguientes temas son tomados del estudio piloto: mapeo de los bosques estacionalmente secos y no bosques estacionalmente secos del departamento de Lambayeque.

6.21. TRABAJO DE CAMPO

6.21.1. Objetivo

El objetivo del trabajo de campo es la verificación de la clasificación de los **Bosques Estacionalmente Secos**, de las actividades antrópicas y de las áreas consideradas como **No Bosque**.

6.21.2. Periodo de ejecución

El trabajo de campo se ejecutó entre el 14 de agosto y el 21 de setiembre del 2017. Cabe señalar que el tiempo efectivo para el trabajo de campo fue de tres (3) semanas: del 14 al 18 de agosto, del 4 al 8 de setiembre y del 19 al 21 de setiembre.

6.21.3. Equipos

Para el trabajo de campo se contó con tres antenas GPS de conexión USB, así como dos receptores GPS Garmin map 64s; estos equipos fueron proporcionados por el proyecto

Probosque-JICA. Además, se empleó una computadora personal (laptop) y una tablet, ambas de propiedad personal de los consultores nacionales.

Se contó además con el alquiler de tres camionetas 4x4 para cada jornada de campo.

6.21.4. Metodología

La secuencia metodológica para el trabajo de campo, se puede ver en la figura 23, que forma parte de la secuencia metodológica general (figura 2).

Identificación de las áreas a muestrear

La selección de las áreas de muestreo se basó en los siguientes criterios:

- Que sean representativas.
- Que sean de fácil acceso.

Para cumplir con el segundo criterio de la selección de las áreas de muestreo, se basó en la distribución de las vías terrestres proporcionadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, y el GORE Lambayeque, a los cuales se le **adiciono** un **Buffer** de **2 000 m** a cada lado de la vía, el cual sería el área potencial de muestreo (figura 24).

Figura 23. Diagrama de flujo del trabajo de campo

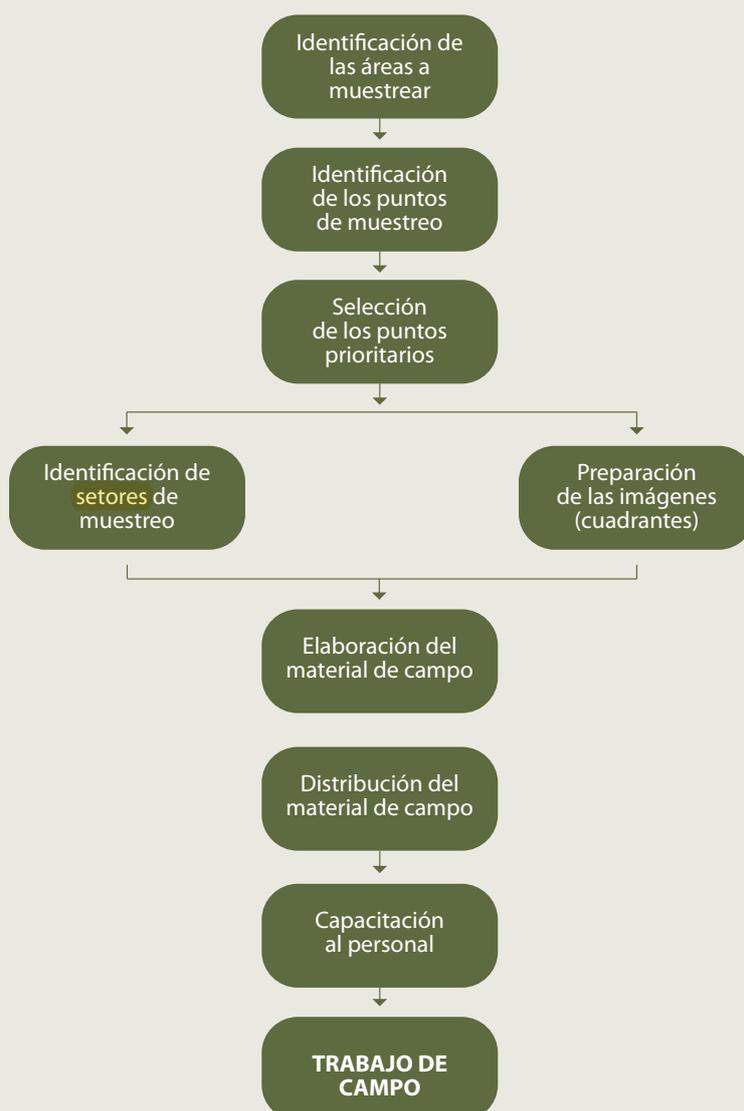
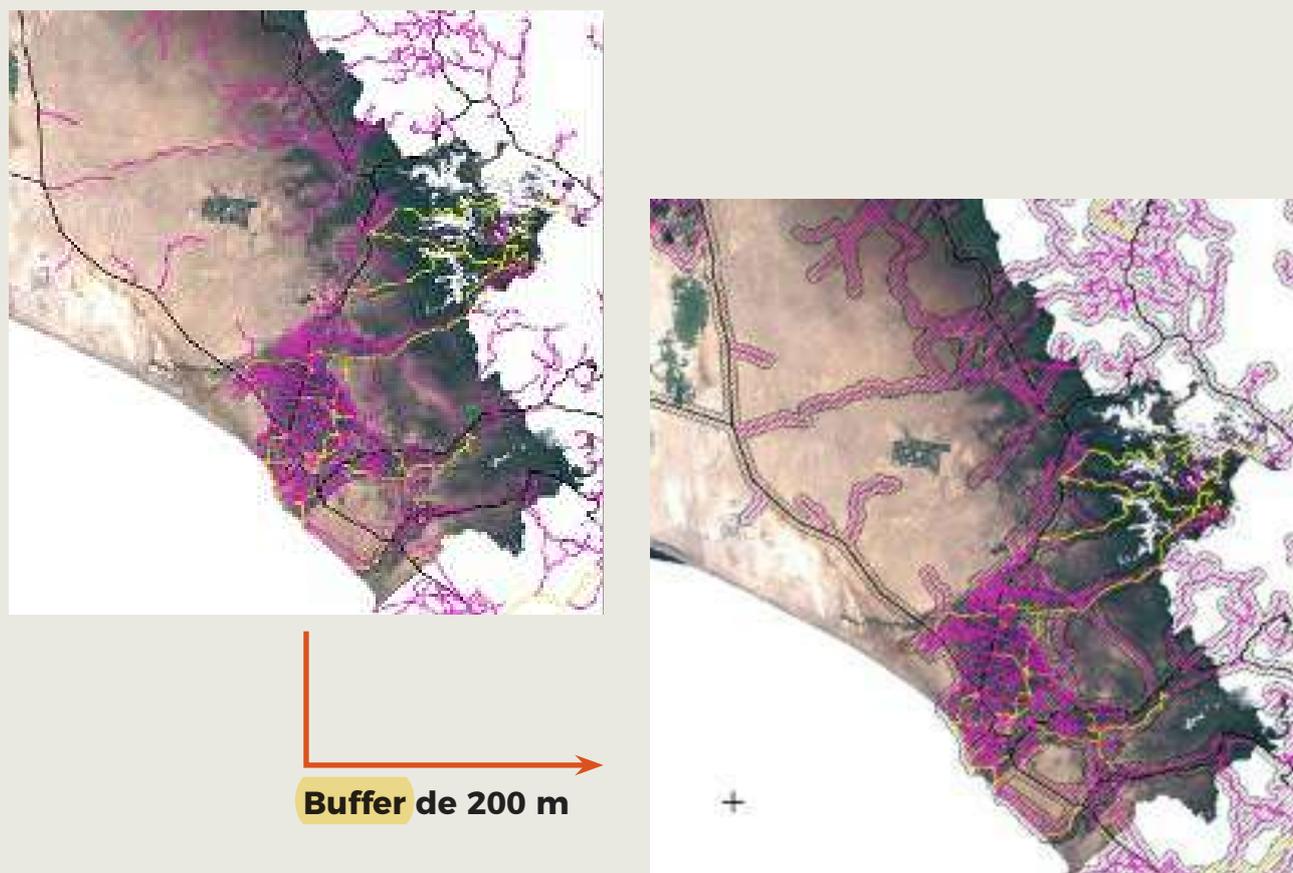


Figura 24. Ejemplo de distribución de vías terrestres y buffer



Identificación de los puntos de muestreo

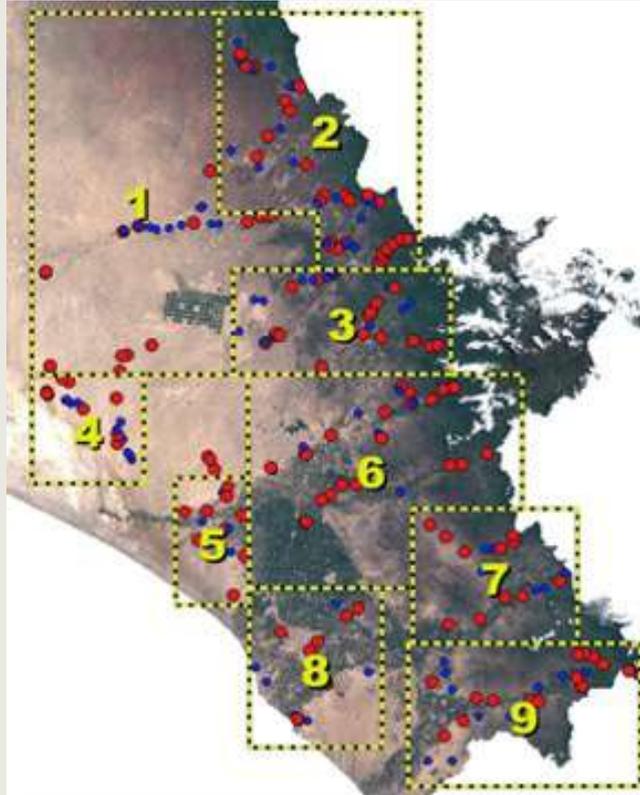
Una vez obtenido el área **potencia** de muestreo, esta fue interceptada con el resultado de la clasificación para determinar los puntos de muestreo. La ubicación de los puntos de muestreo se basó en los siguientes criterios:

- El área donde se ubica el punto **deba** tener como mínimo 50 m x 50 m, o sea, 25 píxeles como mínimo.
- El polígono identificado (donde se ubicará el punto de muestreo), debe ser lo más representativo posible.
- De fácil acceso.
- El punto debe estar (en lo posible) dentro del área potencial de muestreo.
- No debe estar en una propiedad privada.
- Si en el transcurso del trabajo de **campo**, identifican alguna formación vegetal **que** ser muestreada, se tomará dicho punto como un punto alternativo.

Identificación de sectores de muestreo

En base a la distribución y concentración de puntos de muestreo, localización de los principales centros poblados, así como a la logística, se identificó los siguientes sectores de muestreo (ver figura 25).

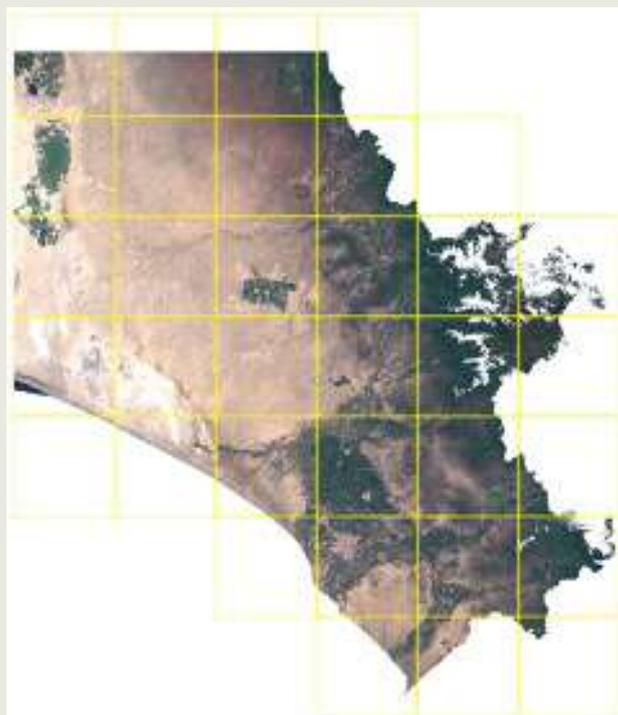
Figura 25. Ejemplo de puntos de muestreo



Una vez identificados los sectores de muestreo, se elaboró el cronograma de salida de campo. **Preparación de las imágenes (cuadrantes)**

Las imágenes satelitales SENTINEL 2A, fueron cortadas en cuadrantes para facilitar el despliegue y visualización de las imágenes en las laptop y tablet (ver figura 26).

Figura 26. Ejemplo de obtención de cuadrantes

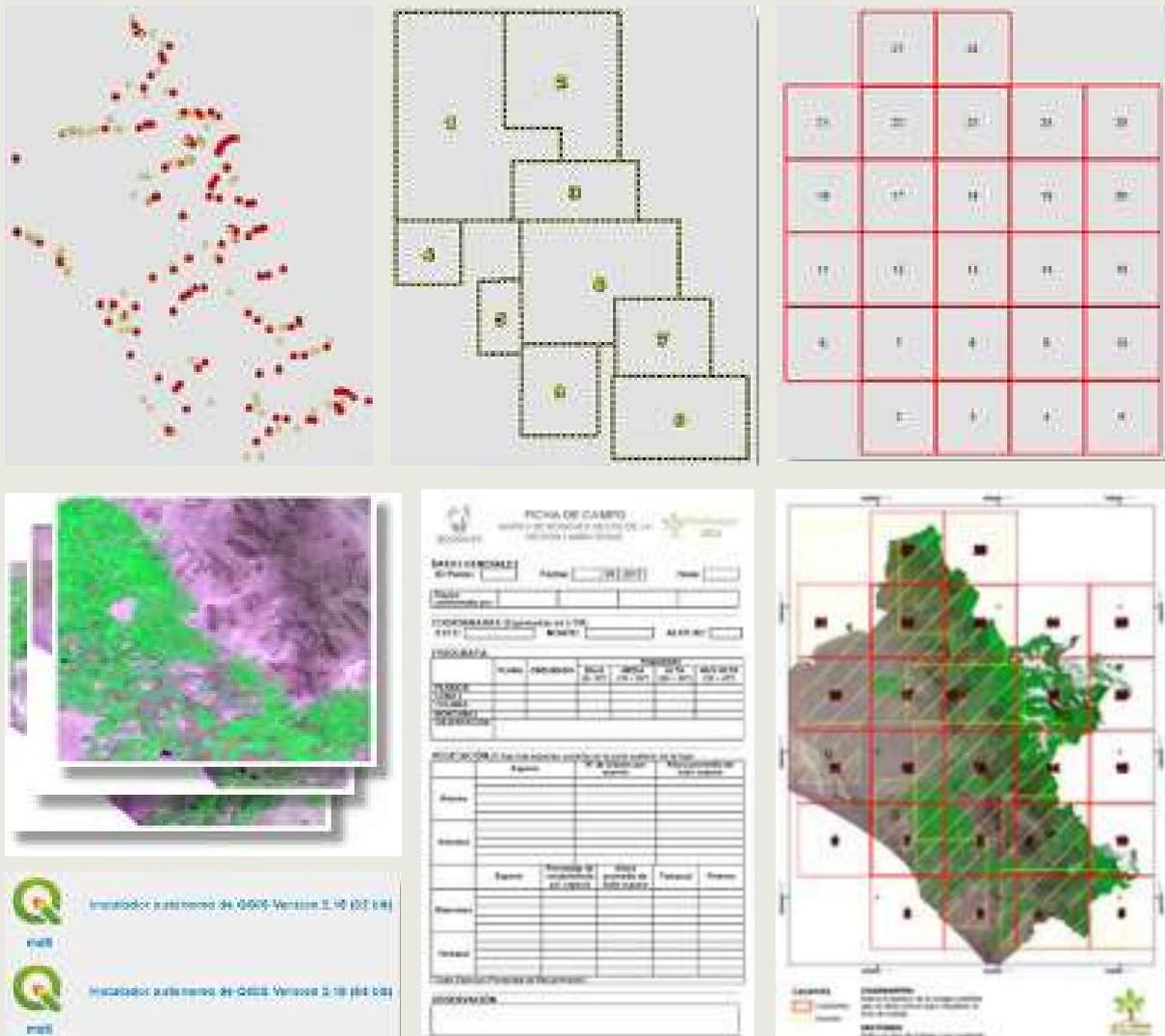


Elaboración del material de campo

Con la información obtenida, se elaboró el siguiente material de campo (ver figura 27):

- Puntos de muestreo: **shapefile** de los puntos a muestrear, indicando **que** puntos son los prioritarios y cuales los secundarios.
- Sectores: **shapefile** de los sectores a muestrear.
- Cuadrantes: **shapefile** de los cuadrantes de las imágenes satelitales
- Imágenes satelitales: 34 imágenes satelitales con un área de 30 x 30 km.
- Ficha de campo: se elaboró una ficha de campo en el cual se recabó información sobre las coordenadas y altitud del punto muestreado, fisiografía y vegetación (ver anexo 1).
- Mapa IMG: que muestra la distribución de los sectores y cuadrantes sobre la imagen satelital.
- Programa QGIS: instalador del programa Qgis.

Figura 27. Ejemplo del material elaborado para el trabajo de campo



Distribución del material de campo

El material de campo fue distribuido a todas las personas que participaron en el trabajo de campo a través de un USB.

Aparte de la entrega del USB con todo el material de campo, se imprimieron las fichas de campo y un mapa en formato A0 con toda la información, el cual sirvió para planificar las salidas.

Capacitación del personal de campo

Se realizó una capacitación al personal de campo (ver figura 28) para uniformizar criterios en:

- Empleo y navegación hacia los puntos seleccionados.
- Criterios a ser tomados para el llenado de la ficha de campo.

Figura 28. Capacitación al personal de campo



Trabajo de campo

Para el levantamiento de la información de los puntos seleccionados, se consideró un polígono imaginario de 50 x 50 m, cuyo centroide sería la coordenada del punto. Una vez ubicado el punto y delimitado imaginariamente el polígono, se procedió al llenado de las fichas de campo y a la toma de fotografías del área evaluada.

Al final del trabajo de campo, se logró recolectar información de 127 puntos, de los cuales 21 puntos no estaban en la lista para ser muestreados, pero fueron tomados debido a su importancia en la identificación de las formaciones de los **Bosques Estacionalmente Secos**.

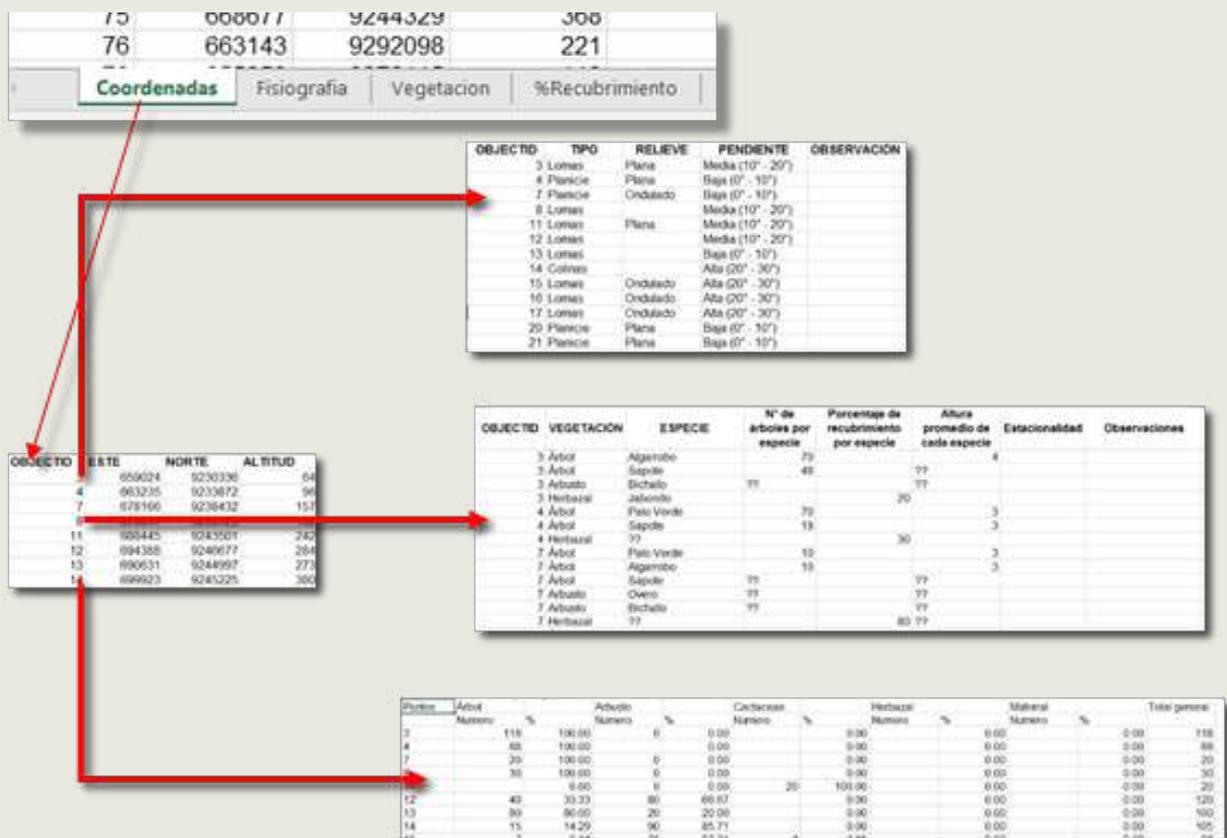
6.22. SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO

Esta etapa del trabajo consiste en ordenar, agrupar o clasificar los datos y conocimientos adquiridos en el trabajo de **campo**. Se sistematizó dos grupos de información:

6.22.1. Sistematización de la información de campo: ficha de campo

La información de **campo** fue sistematizada en un archivo de **EXCEL**, debido a que existe la posibilidad que los **GOREs** no cuenten con un manejador de base de datos. Se elaboraron cuatro (4) hojas relacionadas por el ID del punto de muestreo (ver figura 29).

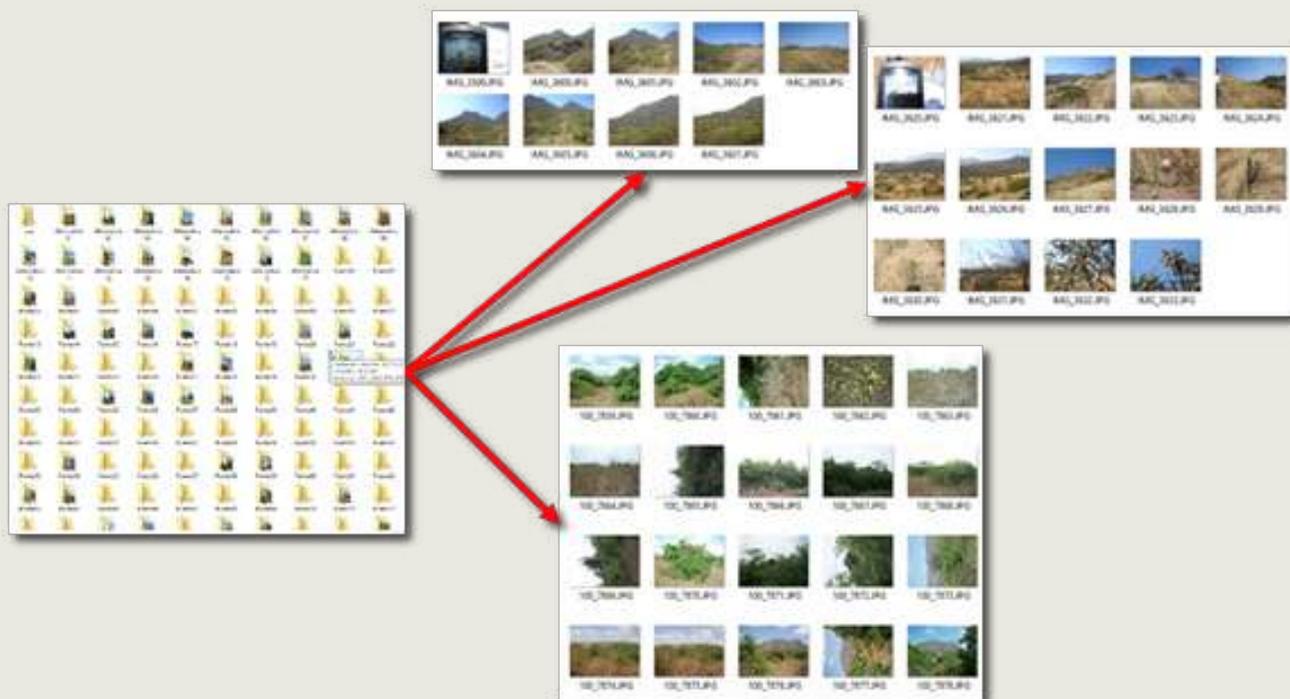
Figura 29. Ejemplo de relación entre hojas de un archivo **EXCEL**



6.22.2. Sistematización de la información de campo: material fotográfico

Para la sistematización del material fotográfico se creó tantas carpetas como puntos de muestreo. En cada una de las carpetas, se ubicó todas las fotografías que fueron tomadas sobre el punto de muestreo en particular (ver figura 30).

Figura 30. Ejemplo de sistematización del material fotográfico

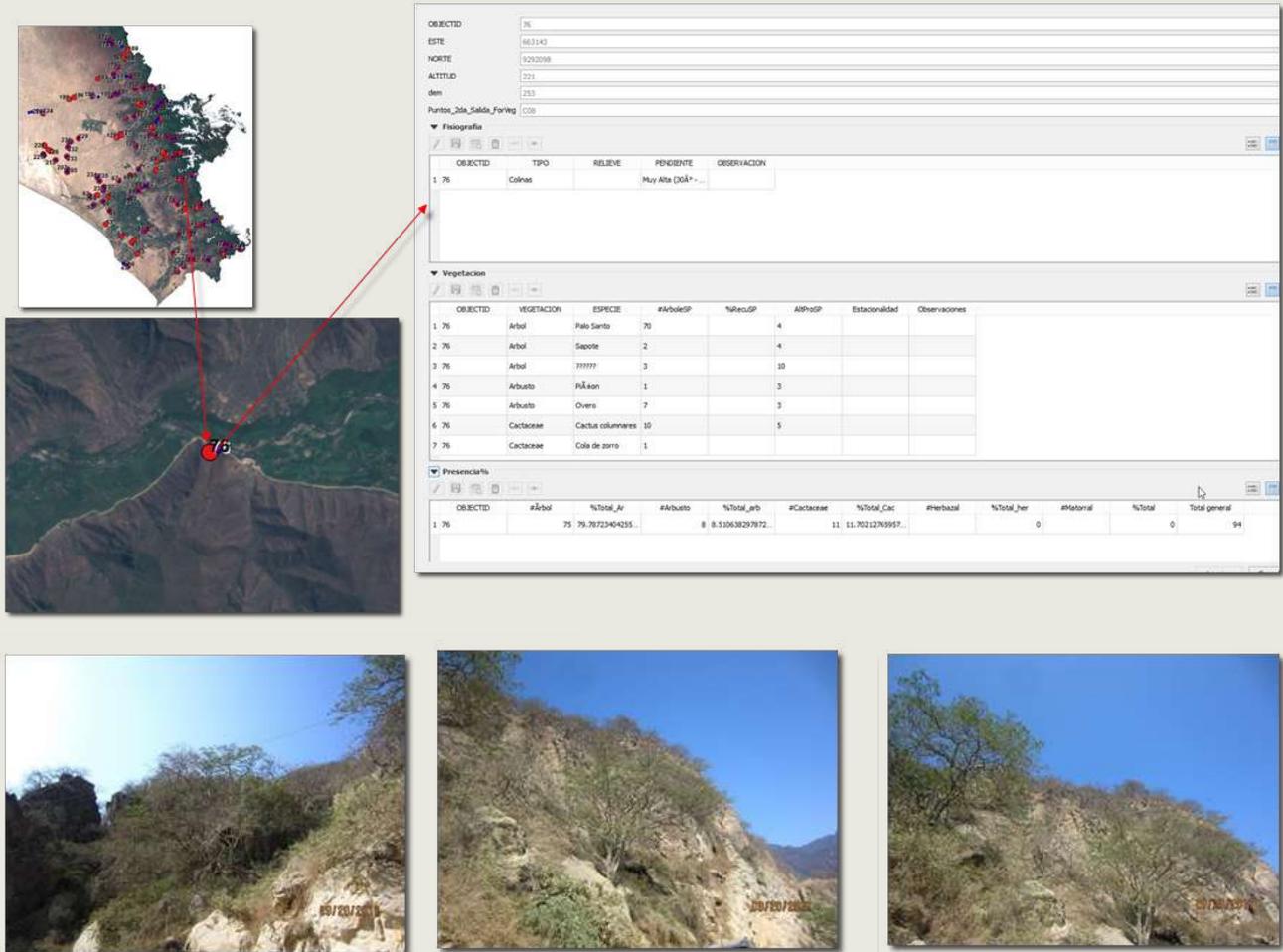


6.23. VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS

La verificación de los resultados consistió en contrastar la información recopilada en campo con los resultados obtenidos de la clasificación.

La verificación, se realizó punto por punto (puntos de muestreo), contrastando la información recopilada en campo, las fotografías tomadas de la vegetación, con la definición de Bosque Seco (ver figura 31).

Figura 31. Ejemplo de verificación de los puntos tomados en campo



6.23. EDICIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE BOSQUE SECO Y NO BOSQUE SECO

En función a la experiencia recabada en las salidas de campo, así como de las diversas consultas hechas con los especialistas (ver figura 32), se identificó lo siguiente:

- Algunas zonas donde se está sobredimensionando el sistema ecológico de bosque seco, ya que se está tomando el suelo como parte del bosque. Esto se debe principalmente a que la respuesta espectral del suelo (en algunas partes), es muy similar a la vegetación.
- Zonas que se están identificando como bosque seco y son actividades antrópicas.
- Zonas con vegetación temporal a lo largo de quebradas, que solo se activan cuando hay presencia de fuertes lluvias (más de tres días seguidos). Esta vegetación temporal, después de un periodo de tiempo (influenciado por la cantidad de agua existente en la napa freática), desaparece.
- Zonas que son rocas desnudas y están siendo clasificadas como bosque seco.

Figura 32. Consulta de los resultados del Bosque Seco y NO Bosque Seco con los especialistas del CORE Lambayeque

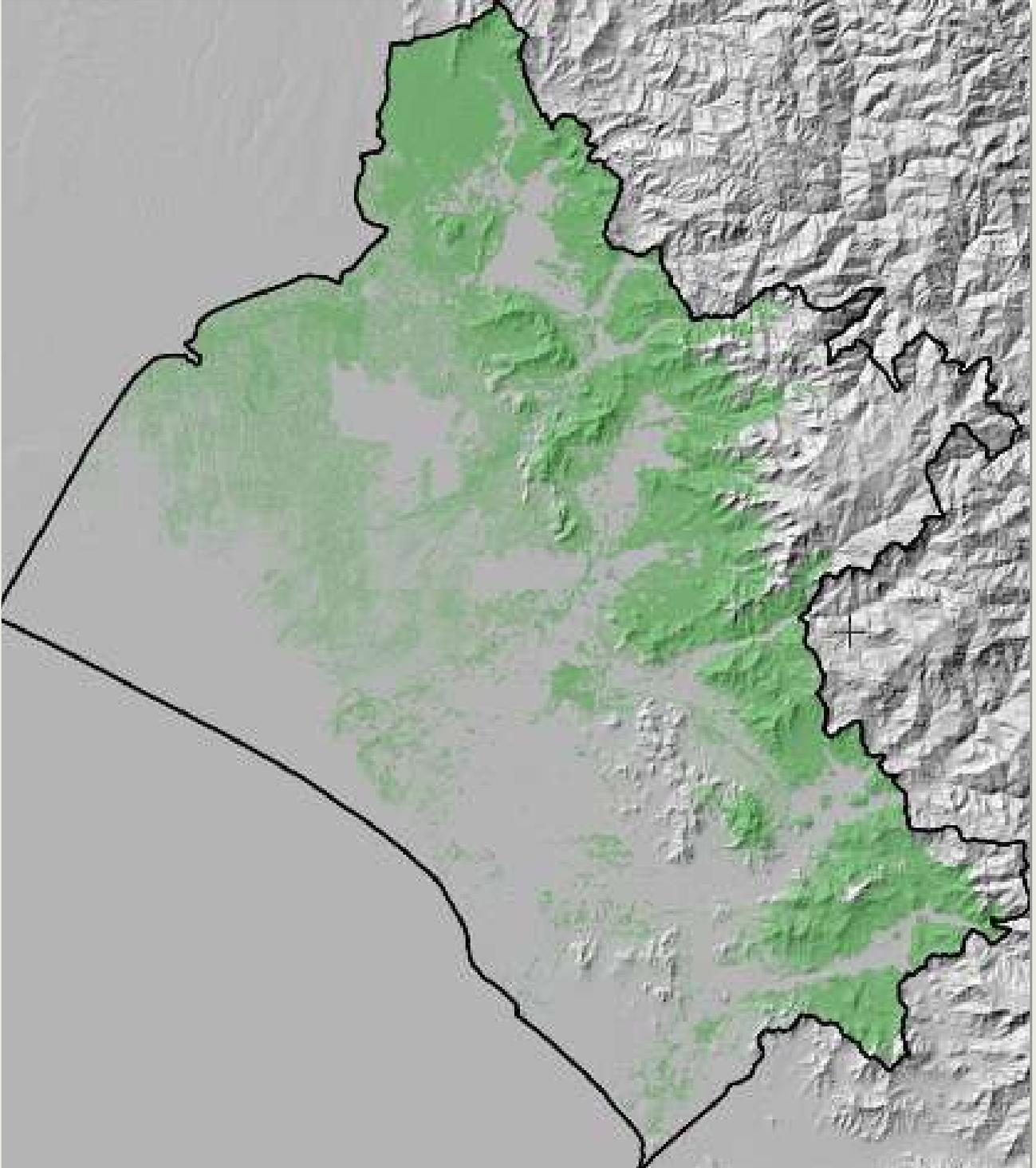


Una vez **identificado** los sobredimensionamientos de los **Bosques Estacionalmente Secos**, se procedió a la edición del mapa de **Bosque Seco y No Bosque Seco**.

6.24. MAPA PRELIMINAR DE BOSQUE SECO y NO BOSQUE SECO

Después de la verificación de los resultados, se elaboró el mapa preliminar de **Bosque Seco** y **No Bosque Seco** (ver figura 33).

Figura 33. Mapa preliminar de Bosque Seco y No Bosque Seco



7. VALIDACIÓN DEL MAPA DE BOSQUE SECO Y NO BOSQUE SECO

La validación del mapa de Bosque Seco y No Bosque Seco, consistió en evaluar la exactitud del mapa, con la aplicación del índice de Kappa, el cual se basa en un test estadístico que indica la correlación entre lo identificado en gabinete (clasificación) con información tanto primaria (puntos de verificación) como secundaria.

7.1. METODOLOGÍA

La metodología para la validación del mapa se basó en la interpretación visual de muestras identificadas como actividades antrópicas, Bosque Seco y No Bosque Seco para el departamento de Lambayeque, sobre imágenes satelitales de alta resolución, basadas en la plataforma de geo-visualización de Google Earth.

La validación de las muestras fue realizada por un equipo conformado por tres especialistas (2 verificadores y 1 revisor).

La secuencia metodológica para la validación se puede ver en la figura N°34.

7.1.1. Diseño de muestreo

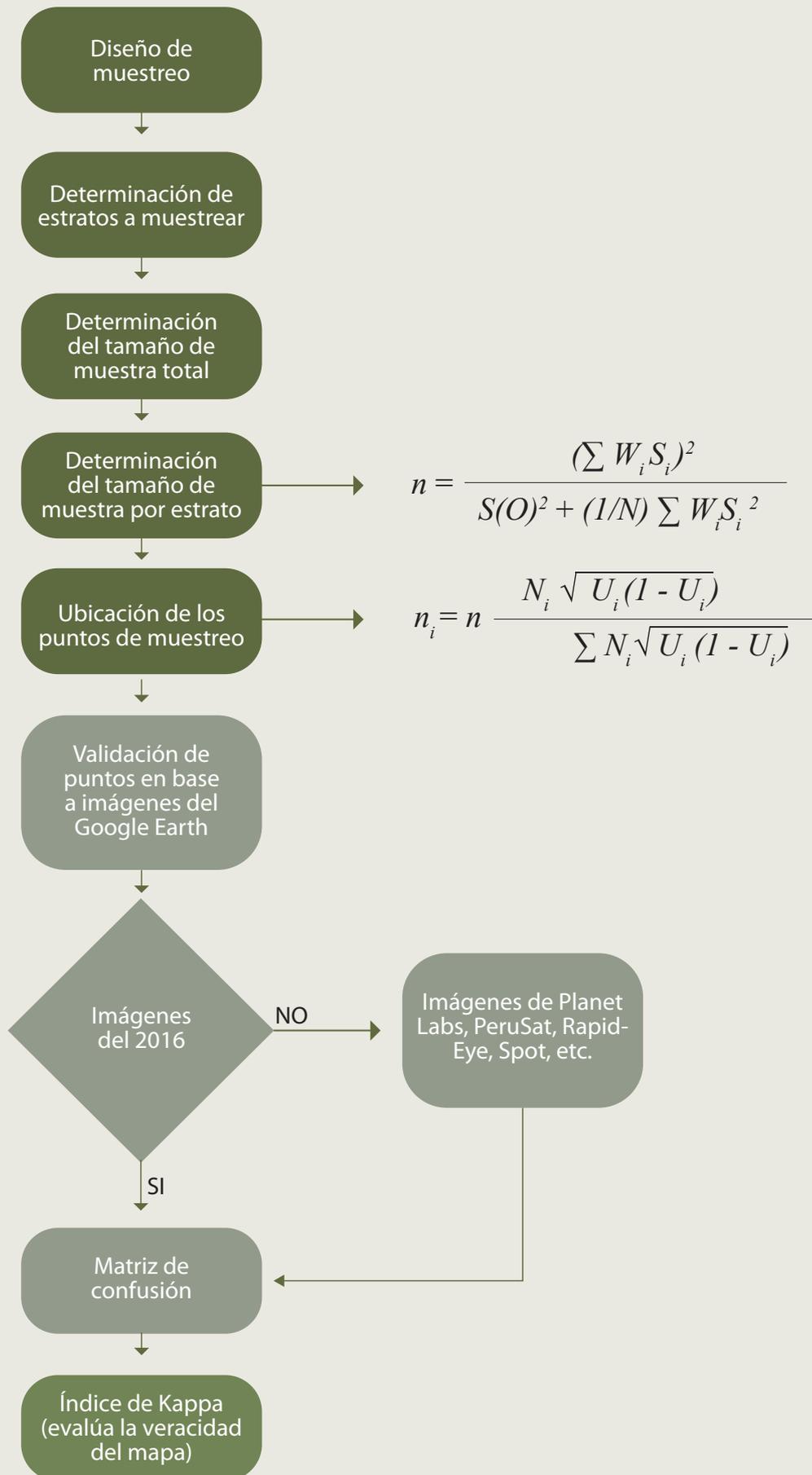
El diseño del muestreo fue aleatorio estratificado.

7.1.2. Determinación de estratos a muestrear

Se identificaron tres (3) estratos a muestrear para la validación del mapa de Bosque seco y No Bosque seco:

- Bosque seco: Ecosistema conformado por árboles en asociación con arbustos, matorrales, cactáceas y herbazales efímeros, donde en 1 hectárea los árboles se presenta una cobertura de copa igual o mayor al 10%, y una altura igual o superior a 2 m.
- No Bosque Seco (formaciones naturales): conformado por
- Formación boscosa que no sea bosque seco, calificada como tamaño de dosel menor a 1 ha.
- Formación de matorrales homogéneos
- Formación de herbazales homogéneas
- Suelo desnudo
- Arena
- Roca expuesta
- Cuerpos de agua
- Actividades antrópicas.
- Toda actividad antropogénica que altere la composición del paisaje y el uso del suelo.

Figura 34: Secuencia metodología para la validación



7.1.3. Determinación del tamaño de muestra total

Para la determinación del tamaño de muestra total (n), se empleó la metodología propuesta por el PNCBMCC, que se basa en la propuesta metodológica de Olofsson¹³.

Se empleó la siguiente **formula**

$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{S(O)^2 + (1/N) \sum W_i S_i^2} \approx n = \left[\frac{\sum W_i S_i}{S(O)} \right]^2$$

Donde:

Wi : Proporción de área mapeada de la clase i

Si : Desviación estándar de la clase i

S(ô): Error estándar esperado de la exactitud general

n : Tamaño total de muestra

Se obtuvo como resultado **n = 475**

7.1.4. Determinación del tamaño de muestra por estrato

Para determinar el tamaño de muestra por estrato, se debe emplear la siguiente fórmula.

$$n_i = n \frac{N_i \sqrt{U_i (1 - U_i)}}{\sum N_i \sqrt{U_i (1 - U_i)}}$$

Donde:

ni : Tamaño de muestra del estrato i

Ni : Área del estrato i

n : Tamaño total de muestra

Ui : Exactitud esperada del usuario para la clase i

Se obtiene como resultados:

Items	Bosque Seco	Formaciones naturales	Antrópico
ni	173.84	193.42	107.74

¹³ Olofsson Pontus et al. 2014. *Good Practices for Assessing Accuracy and Estimating Area of Land Change*.

7.1.5. Ubicación de los puntos de validación

La ubicación de los puntos de validación se realizó al azar, empleando el programa QGIS para la obtención de dichos puntos (ver Figuras 35 a 37).

Figura 35. Puntos de validación de bosque seco



Figura 36. Puntos de validación de bosque no seco



Figura 37. Puntos de validación de actividades antrópicas



7.1.6. Validación de puntos en base a imágenes de alta resolución

La validación de los puntos se realizó a través del empleo de imágenes de alta resolución, empleando la plataforma Google Earth.

Para darle mayor confiabilidad a los resultados de la validación de los puntos usando imágenes de alta resolución, se empleó a tres (3) consultores independientes.

Cada uno de los tres integrantes evaluó la totalidad de los puntos. Cuando se presentaron diferencias en la interpretación de la validación en algún punto en particular el equipo evaluador se reunió y el responsable tomó la decisión sobre dicho punto.

Las imágenes de alta resolución de la plataforma Google Earth fueron del mes y año de las imágenes con que se realizó el estudio. Esto se logró mediante la opción de mostrar por fecha las imágenes, en aquellas zonas donde no existieron imágenes del año 2016, se empleó imágenes de la plataforma Planet-lab.

7.1.7. Matriz de confusión

Una matriz de confusión indica las correspondencias entre las clases del producto a evaluar y el de referencia.

Las columnas señalan las coberturas de referencia y las filas las clases del mapa que se quiere validar. En la diagonal de la matriz se incluyen el número de píxeles correctamente asignados y los marginales son los errores de asignación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total, expresa la fiabilidad global del mapa. Los residuales en columnas indican tipos de cubierta real que no se incluyeron en el mapa, es decir, los errores de omisión, mientras los residuales en filas corresponden con las cubiertas del mapa que no se ajustan a la realidad, dicho con otras palabras, los errores de comisión (ver figura 38).

Figura 38: Ejemplo de una matriz de confusión

Referencia	MAPA (capa temática)				Total	Error de comisión (%)	Exactitud del usuario
	A	B	C	D			
A	2	2	0	0	4	50.0	50.0
B	1	2	0	0	3	33.3	66.7
C	0	0	2	2	4	50.0	50.0
D	0	0	0	4	4	0	100.0
Total	3	4	2	6	15		
Error de comisión (%)	33.3	50.0	0	33.3		Exactitud global (%)	
Exactitud del usuario	66.7	50.0	100.0	66.7			

7.1.8. Índice Kappa

Con los datos de la matriz de confusión, se elaboró el índice de KAPPA para determinar la exactitud del mapa de los Bosques Estacionalmente Secos y No Bosques Estacionalmente Secos (ver figura 39).

Figura 39. Matriz de Confusión e Índice KAPPA

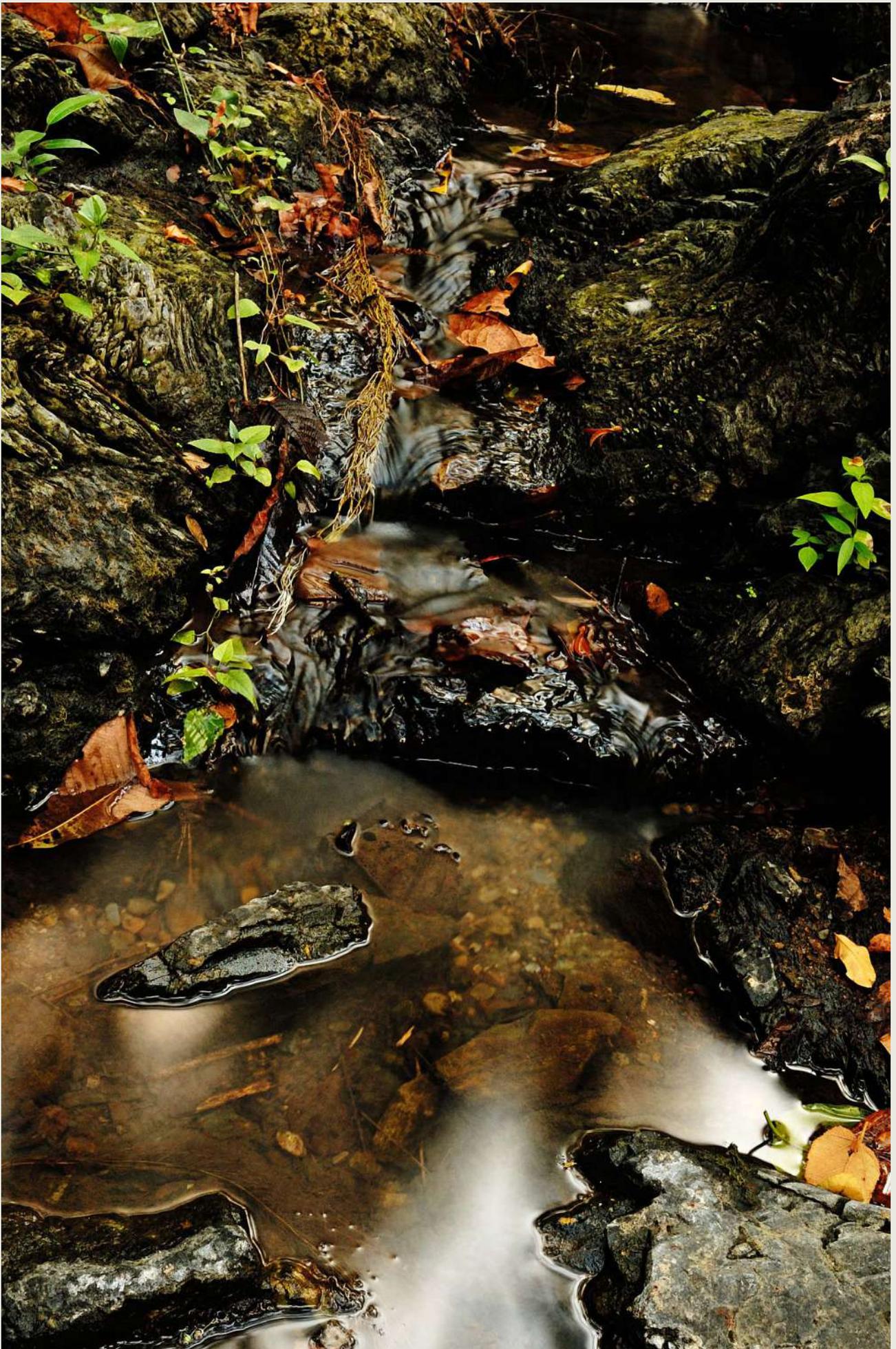
INTERPRETACIÓN →	Bosque seco	No Bosque seco	Actividad antrópica	TOTAL	Exactitud del usuario (%)	Error de omisión (%)
MAPA ↓						
Bosque seco	164	5	5	174	94,25	5,75
No Bosque seco	6	173	14	193	89,64	10,36
Actividad antrópica	0	2	106	108	98,15	1,85
Total	170	180	125	475		
Exactitud del productor (%)	96,47	96,11	84,80		MATRIZ DE CONFUSIÓN	93,26
Error de omisión (%)	3,53	3,89	15,20		KAPPA	0.90

La exactitud global reportado fue del 93.26% lo cual significa que el número de puntos evaluados tiene una confiabilidad mayor del 90% con el mapa.

La exactitud que nos arroja el índice de Kappa es de 0.90, lo que está dentro del rango de Casi Perfecta.

Índice de Kappa	Fuerza de la concordancia
0.00	Pobre (Poor)
0.01 - 0.20	Leve (Slight)
0.21 - 0.40	Aceptable (Fair) 
0.41 - 0.60	Moderada (Moderate)
0.61 - 0.80	Considerable (Substantial)
0.81 - 1.00	Casi perfecta (Almost perfect)





8. ANEXO 1: FICHA DE CAMPO

DATOS GENERALES

ID Punto: Fecha: 09 2017 Hora:

Equipo conformado por:

COORDENADAS (Expresadas en UTM)

ESTE: NORTE: ALTITUD:

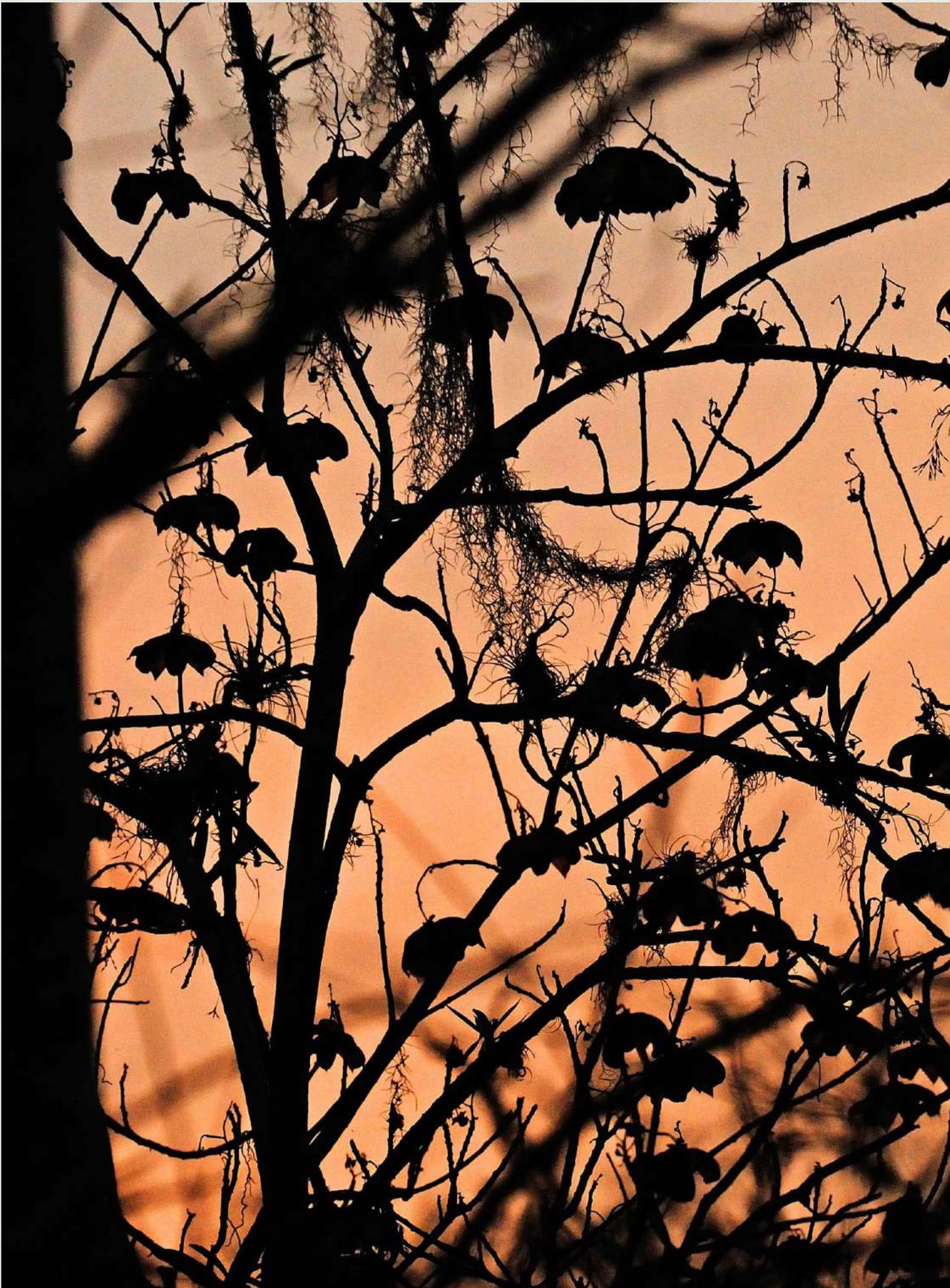
FISIOGRAFÍA

	PLANA	ONDULADO	PENDIENTE			
			BAJA (0- 10°)	MEDIA (10 – 20°)	ALTA (20 – 30°)	MUY ALTA (30 – 45°)
PLANICIE						
LOMAS						
COLINAS						
MONTAÑAS						
OBSERVACIÓN						

VEGETACIÓN (Si hay más especies, ponerlas en la parte posterior de la hoja)

	Especie	 N° de árboles por especie	Altura promedio de cada especie		
Árboles					
Arbustos					
	Especie	Porcentaje de recubrimiento por especie	Altura promedio de cada especie	Temporal	Perenne
Matorrales					
Herbazal					

Suelo Desnudo  (porcentaje de Recubrimiento):



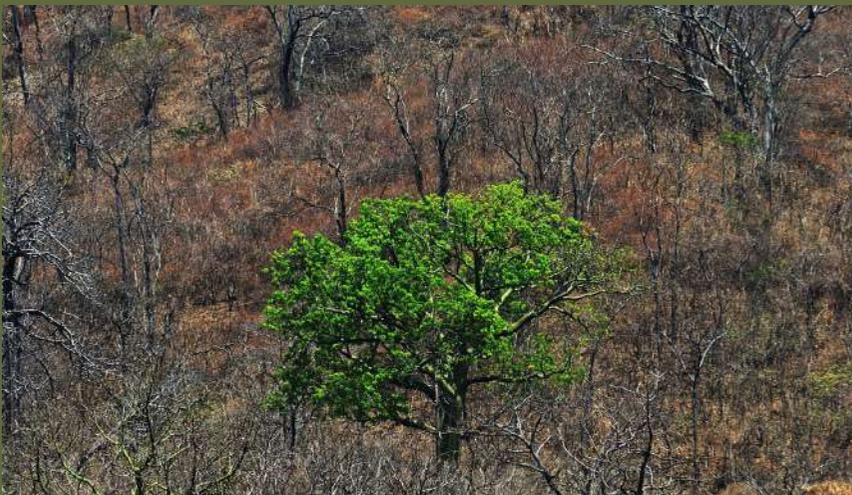




MEMORIA DESCRIPTIVA

Mapeo de los bosques estacionalmente secos y no bosque estacionalmente secos de la costa norte del Perú

Tumbes • Piura • Lambayeque



Agencia de Cooperación
Internacional del Japón

